République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université d'Oran 1 – AHMED BENBELLA
Faculté de Médecine
Département de Médecine Dentaire

Thèse de Doctorat en Sciences Médicales

« Dentinogénèse et Apexogénèse après utilisation d'un biomatériau à base de silicate tricalcique »

Présentée par :
Dr Nabila TAHARI ép BENTOUATI
Maitre assistante en Odontologie Conservatrice/Endodontie

Président	Professeur SID Rachid	Faculté de Médecine ANNABA
Membres	Professeur BOUZIANI Mustapha	Faculté de Médecine ORAN
	Professeur GHODBANE Nadia	Faculté de Médecine CONSTANTINE
	Professeur METREF Zoheir	Faculté de Médecine ORAN
Directeur	Professeur SERRADJ Sid Ahmed	Faculté de Médecine ORAN

Année : 2017

Je dédie ce travail à la mémoire de :

Celui qui a été un père spirituel pour moi.
« Professeur Abdelatif MRABET »

Celle qui a été ma deuxième fille. ***« Ichrak »***
Partie trop jeune, trop tôt……
Elle est, à jamais, dans mon cœur.

Mes parents, à qui je dois tout. Merci pour les valeurs et les principes que vous m'avez inculqués.

Merci Papa. Merci Maman.

Mes enfants : ***Nadège*** et ***Elyes***.
Ce travail a pris énormément de leur temps.

Mon mari, mes sœurs et frères et à toute ma famille.

REMERCIEMENTS

Mes remerciements, ma reconnaissance et mon amitié vont à l'ensemble des maitres-assistants, résidents et personnel paramédical du service d'Odontologie Conservatrice/Endodontie d'Oran pour leur esprit de famille, leur solidarité, disponibilité et leur soutien tout au long de ce parcours. Vous êtes une équipe formidable.

Ma profonde gratitude va sans dire à toute l'équipe du laboratoire de Biostatistique et de la Recherche Clinique, équipe très enthousiaste, dynamique et passionnée.
Particulièrement à Madame ***Djamila LARBI*** pour son accueil chaleureux et son professionnalisme. Merci beaucoup.

Je remercie tous mes malades, ***Nemra*** également, pour m'avoir accompagnée pendant un long moment et facilité leur prise en charge.

A notre Président de jury,

Monsieur le Professeur Rachid SID.

Professeur en Odontologie Conservatrice/Endodontie. C.H.U. Annaba.

Chef de service d'Odontologie Conservatrice/Endodontie. C.H.U. Annaba.

Directeur du Laboratoire de recherche « Santé buccodentaire ».

Université Badji Mokhtar – Annaba.

.

Nous sommes très honorés que vous ayez accepté de présider ce jury de thèse. Votre savoir pourra l'améliorer et l'enrichir.
Votre pédagogie et vos qualités humaines ont une valeur inestimable à nos yeux.

Veuillez trouver ici l'expression de notre profond respect et nos remerciements les plus sincères.

A notre juge,

Monsieur le Professeur Mustapha BOUZIANI.

Professeur en Epidémiologie – Service de Biostatistique et de la Recherche Clinique – Faculté de Médecine Oran.

Nous soumettons notre travail à votre jugement. Nous vous remercions d'avoir bien voulu l'accepter et espérons qu'il aura suscité votre intérêt.

Veuillez trouver ici l'expression de notre gratitude et notre profonde considération.

A notre juge,
Madame le Professeur Nadia GHODBANE.

Professeur en Odontologie Conservatrice/Endodontie. C.H.U. Constantine.

Chef de service d'Odontologie Conservatrice/Endodontie. C.H.U. Constantine.

Directrice du Département de Médecine Dentaire – Faculté de Médecine Dentaire – Constantine.

Vous nous faites l'honneur de siéger au jury de notre thèse. Nous sommes sensibles à l'attention que vous avez bien voulu porter à ce travail.

Veuillez trouver ici le témoignage de notre profonde reconnaissance et de nos remerciements les plus sincères.

A notre juge,

Monsieur le Professeur Zoheir METREF.

Professeur en Odontologie Conservatrice/Endodontie. C.H.U. Oran.

Chef d'unité « Endodontie » du Laboratoire de recherche « Odontologie Conservatrice/Endodontie » Université 1 Ahmed Ben Bella – Oran.

Nous sommes très honorés que vous ayez accepté spontanément de siéger dans de ce jury de thèse.

Votre gentillesse, votre bonne humeur et votre sérieux auront marqué nos années.

Veuillez trouver ici le témoignage de notre plus grande gratitude et de notre estime.

A notre Directeur de Thèse,

Monsieur le Professeur Sid Ahmed SERRADJ.

Professeur en Odontologie Conservatrice/Endodontie. C.H.U. Oran.

Chef de service d'Odontologie Conservatrice/Endodontie. C.H.U. Oran.

Directeur du Laboratoire de recherche « Odontologie Conservatrice/Endodontie».

Université 1 Ahmed Ben Bella – Oran.

Nous tenons à vous remercier pour la confiance que vous nous avez accordée en acceptant de diriger ce travail. Merci de nous avoir accompagnés sur ce chemin, guidés et enseigné les réflexes du bon chercheur.

Nous avons appris avec vous à nous poser les bonnes questions et à y répondre avec le maximum de rigueur.

Votre écoute, votre patience, votre disponibilité, votre optimisme et votre extraordinaire force de travail font de vous un exemple.

Que ce travail soit l'occasion pour nous de vous témoigner notre gratitude et notre profond respect.

.

SOMMAIRE

I – REVUE DE LA LITTERATURE

INTRODUCTION

Chapitre 1 : LE COMPLEXE PULPODENTINAIRE

1.1. LA DENTINE

1.1.1. COMPOSITION ET STRUCTURE DE LA DENTINE **4**

1.1.1.1. La prédentine **5**

1.1.1.2. La dentine **5**

1.1.1.3. La dentine circumpulpaire **7**

1.1.2. LES 03 TYPES DE DENTINE **7**

1.1.2.1. Dentine primaire **7**

1.1.2.2. Dentine secondaire **8**

1.1.2.3. Dentine tertiaire **9**

1.1.2.3.1. La dentine réactionnelle **10**

1.1.2.3.2. La dentine réparatrice **12**

1.1.3. PROPRIETES PHYSICOCHIMIQUES **14**

1.2. LA PULPE

1.2.1. COMPOSITION DE LA PULPE **14**

1.2.2. L'INNERVATION **15**

1.2.3. LA VASCULARISATION **15**

1.3. LE POTENTIEL REGENERATEUR DE LA PULPE **15**

Chapitre 2 : REPONSES DU COMPLEXE PULPODENTINAIRE AUX AGRESSIONS

2.1. LES REACTIONS DU COMPLEXE PULPODENTINAIRE FACE A LA CARIE DENTAIRE **17**

2.1.1. Ligne de défense dentinaire **17**

2.1.2. Ligne de défense pulpaire : l'inflammation **17**

2.2. LES REACTIONS DU COMPLEXE PULPODENTINAIRE FACE AUX AUTRES AGRESSIONS **19**

Chapitre 3 : THERAPEUTIQUES DE CONSERVATION DE LA VITALITE PULPAIRE

3.1. DEFINITIONS ET OBJECTIFS DES THERAPEUTIQUES DE CONSERVATION DE LA VITALITE PULPAIRE

3.1.1. DEFINITIONS DES THERAPEUTIQUES DE CONSERVATION DE LA VITALITE PULPAIRE **20**

3.1.1.1. Thérapeutiques étiologiques **20**

3.1.1.2. Thérapeutiques médicales **20**

3.1.1.3. Thérapeutiques fonctionnelles **20**

3.1.2. OBJECTIFS DES THERAPEUTIQUES CONSERVATION DE LA VITALITE PULPAIRE **21**

3.2. INDICATIONS ET CONTRE-INDICATIONS DES THERAPEUTIQUES DENTINOGENES

3.2.1. INDICATIONS **21**

3.2.2. CONTRE-INDICATIONS **22**

3.3. LES MATERIAUX DE COIFFAGE ET LEURS PROPRIETES

3.3.1. QUALITES DEMANDEES AUX PRODUITS DE COIFFAGE **22**

3.3.1.1. Propriétés biologiques **22**

3.3.1.2. Propriétés anti-inflammatoires **22**

3.3.1.3. Propriétés physico-chimiques **23**

3.3.1.4. Qualités techniques **23**

3.3.2. LES DIFFERENTS MATERIAUX DE COIFFAGE

3.3.2.1. L'HYDROXYDE DE CALCIUM

3.3.2.1.1. Composition **23**
3.3.2.1.2. Présentation du matériau **23**
3.3.2.1.2.1. Préparations commerciales **23**
3.3.2.1.2.2. Préparations magistrales **24**
3.3.2.1.3. Propriétés physiques et chimiques
3.3.2.1.3.1. Le pH **24**
3.3.2.1.3.2. Le temps de travail **24**
3.3.2.1.3.3. Le temps de prise **25**
3.3.2.1.3.4. Solubilité **25**
3.3.2.1.3.5. Conductibilité thermique **25**
3.3.2.1.3.6. Radio-opacité **25**
3.3.2.1.3.7. Résistance à la compression **25**
3.3.2.1.3.8. Adhésion et étanchéité **25**
3.3.2.1.3.9. Dégradation dans le temps **26**
3.3.2.1.4. Propriétés biologiques
3.3.2.1.4.1. Biocompatibilité **26**
3.3.2.1.4.2. Action anti-inflammatoire **26**
3.3.2.1.4.3. Action antihémorragique **26**
3.3.2.1.4.4. Effet bactéricide **26**
3.3.2.1.4.5. Bioactivité **27**
- Mécanisme de réparation pulpaire **27**
- Différenciation en odontoblastes **28**
- Activité de minéralisation et formation d'une barrière de tissu dur **28**
- Défauts dans les barrières de tissu dur **29**

3.3.2.1.5. Le pont dentinaire **30**
3.3.2.1.6. Protocole d'utilisation **31**
3.3.2.1.7. Limites… **31**

3.3.2.2. LE MINERAL TRIOXYDE AGGREGATE

3.3.2.2.1. Historique **32**
3.3.2.2.2. Présentation du MTA **33**
3.3.2.2.3. Réaction de prise et sensibilité à l'humidité **35**
3.3.2.2.4. Propriétés physiques et chimiques
3.3.2.2.4.1. Résistance à la compression **36**
3.3.2.2.4.2. pH **36**
3.3.2.2.4.3. Radio-opacité **36**
3.3.2.2.4.4. Temps de prise **37**
3.3.2.2.4.5. Solubilité **37**
3.3.2.2.4.6. Temps de travail **37**
3.3.2.2.4.7. Etanchéité et adaptation marginale **37**
3.3.2.2.5. Propriétés biologiques
3.3.2.2.5.1. Biocompatibilité **38**
3.3.2.2.5.2. Action anti-inflammatoire **38**
3.3.2.2.5.3. Action antibactérienne **38**
3.3.2.2.5.4. Mécanismes de réparation pulpaire **38**
3.3.2.2.5.5. Induction d'un tissu dur : le pont dentinaire **40**
3.3.2.2.5.6. Indications **42**

3.3.2.2.6. Protocole d'utilisation lors d'un coiffage pulpaire **42**

3.3.2.3. BIODENTINE

3.3.2.3.1. Historique **43**
3.3.2.3.2. Présentation **44**
3.3.2.3.3. Composition **44**
3.3.2.3.4. Réaction de prise **46**
3.3.2.3.5. Temps de travail et de prise **47**
3.3.2.3.6. Propriétés Physiques
3.3.2.3.6.1. Densité et porosité **49**
3.3.2.3.6.2. Résistance à la compression **49**
3.3.2.3.6.3. Résistance à la flexion **52**
3.3.2.3.6.4. Dureté Vickers **52**
3.3.2.3.6.5. Radio-opacité **52**
3.3.2.3.7. Propriétés chimiques
3.3.2.3.7.1. Résistance aux acides **53**
3.3.2.3.7.2. Résistance à l'exposition immédiate aux fluides **56**
3.3.2.3.7.3. Résistance aux micro-infiltrations **56**
3.3.2.3.7.4. Biocompatibilité **57**
3.3.2.3.8. Propriétés biologiques
3.3.2.3.8.1. Liaison à la dentine **61**
3.3.2.3.8.2. Stimulation de la dentinogénèse **65**
3.3.2.3.9. Indications cliniques **72**
3.3.2.3.9.1. Substitut dentinaire et coiffage pulpaire indirect **72**
3.3.2.3.9.1.1. Etude de Koubi *et al.* **73**
3.3.2.3.9.1.2. Etude de cas de Koubi et al. **77**
3.3.2.3.9.1.3. Synthèse de quelques cas publiés de coiffage pulpaire indirect **78**
3.3.2.3.9.2. Coiffage pulpaire direct **79**
3.3.2.3.9.2.1. Suite à un traumatisme **80**
3.3.2.3.9.2.2. Suite à une lésion carieuse ou iatrogène **82**
3.3.2.3.9.2.3. Synthèse de quelques cas publiés de coiffage pulpaire direct **83**
3.3.2.3.9.3. Pulpotomie **84**
3.3.2.3.9.3.1. Etude de Shayegan *et al* **85**
3.3.2.3.9.3.2. Etude de cas de Cauwels et Martens **85**
3.3.2.3.9.3.3. Etude de cas de Cauwels et Martens **86**
3.3.2.3.9.3.4. Synthèse de quelques cas publiés de pulpotomie **87**
3.3.2.3.9.4. Apexogénèse, apexification et mise en place d'un bouchon apical **87**
3.3.2.3.9.4.1. Etude de cas de Cauwels et Martens **88**
3.3.2.3.9.4.2. Etude de cas de Sinha *et al.* **88**
3.3.2.3.9.4.3. Synthèse de quelques cas publiés d'apexogénèse **90**
3.3.2.3.9.4.4. Synthèse de quelques cas publiés de mise en place d'un bouchon **91**
3.3.2.3.9.5. Obturation canalaire a retro **92**
3.3.2.3.9.5.1. Etude de cas de Caron *et al* **92**
3.3.2.3.9.5.2. Etude de cas de Bronnec **93**
3.3.2.3.9.5.3. Synthèse de quelques cas publiés d'obturations *a retro* **94**
3.3.2.3.9.6. Résorptions et perforations radiculaires **95**
3.3.2.3.9.6.1. Etude de cas de Bronnec **96**
3.3.2.3.9.6.2. Etude de cas de Bachoo *et al* **97**
3.3.2.3.9.6.3. Synthèse de quelques cas publiés de réparations de perforations iatrogènes **98**

3.3.2.3.10. Avantages **98**
3.3.2.3.11. Inconvénients **98**

3.4. THERAPEUTIQUES DENTINOGENES SUR DENT MATURE
3.4.1. EVALUATION DE L'ETAT PULPAIRE **100**
3.4.1.1. Le potentiel réparateur de la pulpe **100**
3.4.1.2. Les critères décisionnels cliniques **101**
3.4.1.2.1. L'âge du patient **101**
3.4.1.2.2. Les pathologies générales circulatoires **102**
3.4.1.2.3. L'historique dentaire de la dent **102**
3.4.1.2.4. La symptomatologie décrite par le patient **103**
3.4.1.2.5. L'évaluation par les tests pulpaires **103**
3.4.1.2.5.1. Les tests de vitalité pulpaire **103**
3.4.1.2.5.2. Les tests de sensibilité pulpaire **104**
3.4.1.2.6. L'examen radiographique **106**
3.4.1.2.7. Le type d'évolution de la lésion carieuse **106**
3.4.1.2.8. La surface préparée **107**
3.4.2. MISE EN ŒUVRE DES THERAPEUTIQUES BIOCONSERVATRICES DE LA VITALITE PULPAIRE
3.4.2.1. Le Coiffage pulpaire indirect **108**
3.4.2.1.1. Définitions **108**
3.4.2.1.2. Mise en œuvre clinique du coiffage pulpaire indirect **109**
3.4.2.2. Le Coiffage pulpaire direct
3.4.2.2.1. Définition **110**
3.4.2.2.2. Indications thérapeutiques **110**
3.4.2.2.3. Mise en œuvre clinique du coiffage pulpaire direct **111**
3.4.2.3. La pulpotomie
3.4.2.3.1. Définitions **113**
3.4.2.3.2. Indications thérapeutiques **113**
3.4.2.3.3. Mise en œuvre clinique de la pulpotomie **113**

3.5. THERAPEUTIQUES D'APEXOGENESE SUR DENT IMMATURE
3.5.1. ASPECTS MORPHOLOGIQUES DU DEVELOPPEMENT DENTAIRE **116**
3.5.2. PROBLEMATIQUE DE LA DENT IMMATURE **117**
3.5.2.1. Immaturité amélaire **117**
3.5.2.2. Immaturité de la dentine **117**
3.5.2.3. Immaturité pulporadiculaire **118**
3.5.3. DIAGNOSTIC PULPAIRE ET DENT IMMATURE **121**
3.5.3.1. Objectifs des traitements des dents immatures et procédures cliniques **121**
3.5.3.1.1. Le coiffage direct **122**
3.5.3.1.2. La pulpotomie partielle **122**
3.5.3.1.3. La pulpotomie totale **123**

II – PARTIE CLINIQUE

Chapitre 4 : PROTOCOLES DE L'ETUDE

4.1. PROBLEMATIQUE **125**

4.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE

4.2.1. OBJECTIF PRINCIPAL **126**

4.2.2. OBJECTIFS SECONDAIRES **126**

4.3. MATERIEL ET METHODE

4.3.1. TYPE D'ETUDE **127**

4.3.2. DESCRIPTION DE LA POPULATION D'ETUDE ET TAILLE DE L'ECHANTILLON **127**

4.3.3. LES CRITERES DE SELECTION **127**

4.3.3.1. Pour les thérapeutiques dentinogènes

4.3.3.1.1. Les critères d'inclusion **127**

4.3.3.1.2. Les critères de non inclusion **128**

4.3.3.2. Pour les thérapeutiques d'apexogénèse

4.3.3.2.1. Les critères d'inclusion **128**

4.3.3.2.2. Les critères de non inclusion **128**

4.3.3.3. Gestion des exclusions au cours de l'étude **128**

4.3.3.4. Gestion des événements indésirables graves **128**

4.3.4. LE RECRUTEMENT DES PATIENTS **129**

4.3.5. LA RANDOMISATION **129**

4.3.6. LE DEROULEMENT DE L'ETUDE **129**

4.3.7. LE PROTOCOLE OPERATOIRE

4.3.7.1. Le matériel utilisé **129**

4.3.7.2. Les protocoles opératoires pour les thérapeutiques dentinogènes **138**

4.3.7.3. Les protocoles opératoires pour les thérapeutiques d'apexogénèse **144**

4.3.8. LES CONTROLES POSTOPERATOIRES **148**

4.3.9. LES CRITERES DE JUGEMENT

4.3.9.1. Les critères de jugement principaux **149**

4.3.9.2. Les critères de jugement secondaires **151**

4.3.10. LE RECUEIL DES DONNEES **151**

4.3.11. LE CADRE JURIDIQUE **151**

4.3.12. PLAN D'ANALYSE

4.3.12.1. Pour les thérapeutiques dentinogènes **152**

4.3.12.2. Pour les thérapeutiques d'apexogénèse **152**

Chapitre 5 : RESULTATS DE L'ETUDE

5.1. POPULATION GLOBALE

5.1.1. CARACTERISTIQUES DEMOGRAPHIQUES

5.1.1.1. Distribution des patients selon l'âge **154**

5.1.1.2. Distribution des patients selon le sexe **155**

5.1.1.3. Distribution des patients selon l'état général **155**

5.1.2. CARACTERISTIQUES CLINIQUES PREOPERATOIRES

5.1.2.1. Distribution des dents selon le type de dent **156**

5.1.2.2. Distribution des dents selon le type de cavité **157**

5.1.2.3. Distribution des dents selon la profondeur de la cavité..... 158
5.1.2.4. Distribution des dents selon le diagnostic positif des dents..... 159
5.1.2.5. Distribution des dents selon la thérapeutique indiquée 160
5.1.2.6. Distribution des dents selon le biomatériau utilisé 161

5.2. RESULTATS DE L'ETUDE COMPARATIVE AU BIODENTINE ET A L'HYDROXYDE DE CALCIUM

5.2.1. CARACTERISTIQUES DEMOGRAPHIQUES

5.2.1.1. Distribution des patients selon les tranches d'âge..... 162
5.2.1.2. Distribution des patients selon le sexe..... 163
5.2.1.3. Distribution des patients selon l'état général..... 163

5.2.2. CARACTERISTIQUES CLINIQUES PREOPERATOIRES

5.2.2.1. Distribution des dents selon le type de dent..... 164
5.2.2.2. Distribution des dents selon le type de cavité..... 166
5.2.2.3. Distribution des dents selon la profondeur de la cavité..... 167
5.2.2.4. Distribution des dents selon le diagnostic positif des dents..... 169
5.2.2.5. Distribution des dents selon la thérapeutique indiquée 171
5.2.2.6. Type de dents et diagnostic positif..... 172
5.2.2.7. Type de cavités et diagnostic positif..... 174
5.2.2.8. Profondeur des cavités et diagnostic positif des dents 176
5.2.2.9. Type de cavités et thérapeutiques réalisées..... 177
5.2.2.10. Thérapeutiques réalisées et diagnostic positif..... 179
5.2.2.11. Profondeur des cavités et thérapeutiques réalisées 180

5.2.3. CARACTERISTIQUES CLINIQUES POSTOPERATOIRES

5.2.3.1. La sensibilité transitoire 183
5.2.3.2. Sensibilité transitoire et profondeur des cavités 184
5.2.3.3. Sensibilité transitoire et diagnostic positif 186
5.2.3.4. Sensibilité transitoire et thérapeutiques réalisées..... 187
5.2.3.5. Douleurs provoquées selon les périodes de contrôle postopératoire 188
5.2.3.6. Douleurs spontanées selon les périodes de contrôle postopératoire..... 190
5.2.3.7. Sensibilité pulpaire selon les périodes de contrôle 191
5.2.3.8. Examens et résultats radiologiques selon les périodes de contrôle postopératoire..... 192
5.2.3.9. Taux de succès des thérapeutiques selon les périodes de contrôle postopératoire..... 194
5.2.3.10. Taux de succès des thérapeutiques selon le sexe et les périodes de suivi postopératoire..... 195
5.2.3.11. Taux de succès des thérapeutiques selon l'âge et les périodes de suivi 196
5.2.3.12. Taux de succès des thérapeutiques selon le type de dents et les périodes de suivi..... 198
5.2.3.13. Taux de succès des thérapeutiques selon le type de cavités et les périodes de suivi 199
5.2.3.14. Taux de succès des thérapeutiques selon la profondeur des cavités et les périodes de suivi 201
5.2.3.15. Taux de succès des thérapeutiques selon la sensibilité transitoire et les périodes de suivi..... 203
5.2.3.16. Taux de succès des thérapeutiques selon le diagnostic positif et les périodes de suivi 205
5.2.3.17. Taux de succès des thérapeutiques selon les thérapeutiques et les périodes de suivi 207
5.2.3.18**. Taux de succès des thérapeutiques selon le biomatériau utilisé et les périodes de suivi** 210

5.2.4. RESULTATS DE LA COMPARAISON EN SOUS-GROUPES

5.2.4.1. Comparaison en sous-groupes selon le sexe et le biomatériau utilisé..... 214
5.2.4. 2.Comparaison en sous-groupes selon les tranches d'âge et le biomatériau utilisé..... 214
5.2.4.3. Comparaison en sous-groupes selon le type de dents et le biomatériau utilisé..... 215
5.2.4.4. Comparaison en sous-groupes selon la profondeur des cavités et le biomatériau utilisé..... 215
5.2.4.5. Comparaison en sous-groupes selon la sensibilité transitoire et le biomatériau utilisé..... 215
5.2.4.6. Comparaison en sous-groupes selon le diagnostic positif et le biomatériau utilisé..... 216

5.2.4.7. Comparaison en sous-groupes selon les thérapeutiques indiquées et le biomatériau utilisé..... **216**

5.3. RESULTATS DE L'ETUDE DE SUIVI DE L'APEXOGENESE

5.3.1. CARACTERISTIQUES DEMOGRAPHIQUES

5.3.1.1. Répartition des dents selon les tranches d'âge..... **219**

5.3.2. 2. Répartition des dents selon le sexe..... **220**

5.3.3. 3. Répartition des patients selon l'état général..... **220**

5.3.2. CARACTERISTIQUES CLINIQUES PREOPERATOIRES

5.3.2.1. Répartition des dents selon le type de dents **221**

5.3.2.2. Répartition des dents selon le diagnostic positif **222**

5.3.2.3. Répartition des dents selon la thérapeutique réalisée **223**

5.3.2.4. Diagnostic positif et type de dents..... **224**

5.3.2.5. Thérapeutiques réalisées et diagnostic positif..... **225**

5.3.3. CARACTERISTIQUES CLINIQUES POSTOPERATOIRES **226**

5.3.3.1. Douleurs provoquées selon les périodes de contrôle postopératoire..... **228**

5.3.3.2. Douleurs spontanées selon les périodes de contrôle postopératoire..... **228**

5.3.3.3. Sensibilité pulpaire selon les périodes de contrôle postopératoire..... **230**

5.3.3.4. Examens et résultats radiologiques selon les périodes de contrôle postopératoire..... **230**

5.3.3.5. Taux de succès des thérapeutiques d'apexogenèse selon les périodes de contrôle..... **233**

5.3.3.6. Taux de succès des thérapeutiques selon le sexe et les périodes de suivi **235**

5.3.3.7. Taux de succès des thérapeutiques selon l'âge et les périodes de suivi postopératoire..... **237**

5.3.3.8. Taux de succès des thérapeutiques selon le type de dents et les périodes de suivi **238**

5.3.3.9. Taux de succès des thérapeutiques selon le diagnostic positif et les périodes de suivi **238**

5.3.3.10. Taux de succès des thérapeutiques selon l'étiologie des dents et les périodes de suivi **240**

5.3.3.11. Taux de succès des thérapeutiques selon les thérapeutiques et les périodes de suivi **240**

Chapitre 6 : ANALYSES ET DISCUSSION DES RESULTATS

6.1. ANALYSE DE L'ETUDE DESCRIPTIVE AU BIODENTINE

6.1.1. CARACTERISTIQUES DEMOGRAPHIQUES..... **245**

6.1.2. CARACTERISTIQUES CLINIQUES PREOPERATOIRES **245**

6.1.3. CARACTERISTIQUES CLINIQUES POSTOPERATOIRES **246**

6.1.3.1. Contrôle postopératoire à J15 ..... **246**

6.1.3.2. Contrôle postopératoire à J30 ..... **246**

6.1.3.3. Contrôles postopératoires de J2mois à J12mois **246**

6.1.3.4. Examen radiologique et Apposition dentinaire **247**

6.1.4. TAUX DE SUCCES DES THERAPEUTIQUES SELON LES PERIODES DE CONTROLE. **249**

6.2. ANALYSE DE L'ETUDE DESCRIPTIVE A L'HYDROXYDE DE CALCIUM.

6.2.1. CARACTERISTIQUES DEMOGRAPHIQUES **257**

6.2.2. CARACTERISTIQUES CLINIQUES PREOPERATOIRES **257**

6.2.3. CARACTERISTIQUES CLINIQUES POSTOPERATOIRES..... **257**

6.2.3.1. Contrôle postopératoire à J15 ..... **257**

6.2.3.2. Contrôle postopératoire à J30 ..... **258**

6.2.3.3. Contrôles postopératoires de J2mois à J6mois **258**

6.2.3.4. Contrôle postopératoire de J12mois **258**

6.2.3.5. Examen radiologique et Apposition dentinaire..... **259**

6.2.4. TAUX DE SUCCES DES THERAPEUTIQUES SELON LES PERIODES DE CONTROLE. **260**

6.3. ANALYSE DE L'ETUDE COMPARATIVE AU BIODENTINE ET A L'HYDROXYDE DE CALCIUM

6.3.1. CARACTERISTIQUES CLINIQUES POSTOPERATOIRES

6.3.1.1. Contrôle postopératoire à J15 ..... **265**

6.3.1.2. Contrôle postopératoire à J30 ..... **265**

6.3.1.3. Contrôles postopératoires de J2mois à J6mois **266**

6.3.1.4. Contrôle postopératoire de J12mois **266**

6.3.1.5. Examen radiologique et Apposition dentinaire..... **266**

6.3.2. TAUX DE SUCCES DES THERAPEUTIQUES SELON LES PERIODES DE CONTROLE. **268**

6.3.3. TAUX DE SUCCES GLOBAL DES THERAPEUTIQUES SELON LE BIOMATERIAU UTILISE. **272**

6.3.4. COMPARAISON DES GROUPES BIODENTINE ET HYDROXYDE DE CALCIUM SELON LES PARAMETRE ETUDIES **273**

6.4. ANALYSE DE L'ETUDE DE SUIVI DE L'APEXOGENESE

6.4.1. CARACTERISTIQUES DEMOGRAPHIQUES..... **275**

6.4.2. CARACTERISTIQUES CLINIQUES PREOPERATOIRES **275**

6.4.3. CARACTERISTIQUES CLINIQUES POSTOPERATOIRES **276**

6.4.3.1. Contrôle postopératoire à J15 ..... **276**

6.4.3.2. Contrôle postopératoire à J30 ..... **276**

6.4.3.3. Contrôle postopératoire à J2mois **276**

6.4.3.4. Contrôles postopératoires de J3mois à J12mois **277**

6.4.3.5. Examen radiologique et édification apicale **277**

6.4.4. TAUX DE SUCCES DES THERAPEUTIQUES SELON LES PERIODES DE CONTROLE..... **278**

CONCLUSION **284**

RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES **288**

DIFFICULTES RENCONTREES **289**

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES **290**

LISTE DES TABLEAUX **311**

LISTE DES FIGURES **313**

ANNEXES

- Annexe 1 : Traitement d'urgence d'une pathologie pulpaire irréversible **319**
- Annexe 2 : Attestation d'obtention du consentement éclairé **320**
- Annexe 3 : Fiches d'évaluation postopératoire..... **321**
- Annexe 4 : Listing des tableaux (Analyses statistiques)..... **327**

A

ADA: American Association of Endodontists
ADF: Association Dentaire Française
ADN : Acide Désoxyribonucléique
ATPase: Adénosine Tri-Phosphatase

B

BMP-2: Bone Moprphogenetic Protein 2
BrdU : Bromodésoxyuridine

C

CaI: Calorie
Cat I : Catégorie I de Baume
Cat II : Catégorie II de Baume
CCM : Couronne Céramo-Métallique
CVI: Ciment Verre Ionomère
CVIMAR: Ciment Verre Ionomère Modifié par Adjonction de Résine
C°: degré Celsius
CO_2 : Dioxyde de Carbone
Cu : Cuivre
Ca: Calcium
Cl: Chlore
CPD: Coiffage Pulpaire Direct
CPI: Coiffage Pulpaire Indirect
C_3S: Silicate tricalcique
C_2S: Silicate dicalcique
C_3A: Aluminate tricalcique
CSH: Silicate de Calcium hydrate
CSC_3: Silicate de Calcium

D

DPSC: Dental Pulp Stem Cells
DSP : Sialoprotéine Dentinaire

E

EDR : Epaisseur de Dentine Réactionnelle
EDTA : Ethyl Diamine Tétra-Acétique

F

FGF2 : Facteurs de Croissance Fibroblastique

G

GPa : GigaPascal
GMTA: Grey Mineral Trioxide Aggregate

H

HBSS: Hank's Balanced Salt Solution

I

IRM®: Intermediate Restorative Material

J

JAD: Jonction Amélo-Dentinaire
JCD: Jonction Cémento-Dentinaire

K

Kg : Kilogramme
KV : Kilo Volt

M

mm : millimètre
µm : micron-mètre
MTA: Mineral Trioxide Aggregate
mm^2/sec : Millimètre carré par seconde
MPa : Méga Pascal
mW : milliwatt
MM-MTA : Micro Méga Mineral Trioxide Agregate
mA : milliampère

N

nm : nanomètre
NaOCl : hypochlorite de sodium

O

OPN: ostéopontine
OSN: ostéonectine

P

Ppm: Partie par million
PP : Pulpotomie Partielle
PT : Pulpotomie Totale
PBS: Phosphate Buffered Saline

S

Sec: Seconde
Sn : Etain
Super EBA: Ethoxy Benzoic Acid

T

TGF β: Transforming Growth Factor Beta
TNF-α : Tumor Necrosis Factor (facteur de nécrose tumorale)

V

VEGF: Vascula Endothelial Growth Factor

W

WMTA: White Mineral Trioxide Aggregate

Z

ZOE : Oxyde de Zinc Eugénol
Zn : Zinc

INTRODUCTION

Le complexe pulpodentinaire est un organe unique capable de s'adapter et de répondre à une multitude de *stimuli*. Le rôle primaire de la pulpe est de secréter la dentine ; lorsque l'édification de la dent est terminée, elle s'engage alors dans une seconde voie, celle de son auto protection. La pulpe a l'aptitude de réenclencher à tout moment la fabrication d'une dentine cicatricielle, afin de s'éloigner et se protéger des agressions externes. Elle est considérée comme un carrefour de bons nombres de nos thérapeutiques.

Depuis quelques années, une nouvelle approche de la dentisterie restauratrice a permis de prendre en compte l'importance de la vitalité pulpaire, et de la communication très sophistiquée existant entres les différentes cellules de ce tissu finalement très complexe.
La conservation de sa vitalité est la préoccupation majeure des cliniciens que nous sommes. En effet, cette vitalité permet le maintien de la vascularisation normale assurant ainsi aux odontoblastes la possibilité de jouer leur rôle dans la dentinogénèse réparatrice et dans l'édification apicale des dents immatures.

L'objectif des thérapeutiques dentinogénes est la régénération du complexe pulpodentinaire, en d'autres termes la cicatrisation et la guérison de la pulpe exposée directement ou indirectement ainsi que la formation d'une bride cicatricielle de dentine de réparation.

Les coiffages pulpaires constituent des attitudes thérapeutiques de choix des dents pulpées dénudées accidentellement ou à la suite d'une lésion carieuse ayant induit une inflammation pulpaire réversible. Leur indication doit être basée sur un diagnostic aussi précis que possible de l'état de santé pulpaire. Ces thérapeutiques ne s'appliquent qu'à une pulpe atteinte de façon réversible.

Par ailleurs, la réalisation clinique des coiffages pulpaires est liée à certaines difficultés qui ont été largement analysées. Le succès clinique va dépendre essentiellement : de l'indication, de la technique opératoire exigeant une asepsie stricte avec un scellement coronaire hermétique et du choix du produit de coiffage pulpaire. Ce dernier est fonction de sa biocompatibilité et de ses capacités d'induire ou de favoriser la formation du pont dentinaire.

Une évolution récente des principes thérapeutiques d'odontologie conservatrice a été possible grâce au développement justement de nouveaux matériaux plus performants et dont la tolérance est adaptée aux conditions cliniques. En effet, les concepts biologiques ont évolué, et il est apparu indispensable d'obtenir une fermeture biologique de la plaie, fermeture qui serait, elle, étanche à long terme. Ainsi, des matériaux avec des propriétés

bioactives ont été mis en place, puis de nouveau développés dans cet unique but : induire la formation d'un pont dentinaire.
Trois biomatériaux sont actuellement considérés comme les « chefs de file » :

L'hydroxyde de calcium a été l'un des premiers matériaux utilisés et ce depuis plus de 70 ans. Il a longtemps été indiqué comme matériau de coiffage ; soit pur, soit associé à des résines pour faciliter sa manipulation. Son application directe au contact de la pulpe induit bien la formation d'une barrière minérale mais qui en aucun cas n'est uniforme, ni soudée aux parois dentinaires. A l'heure actuelle, il ne semble plus être le matériau idéal pour le coiffage pulpaire. La nature non adhésive du ciment et sa dissolution dans le temps peuvent conduire à des microporosités et à la ré-infiltration du site exposé par des bactéries.

Les ciments à base de silicate tricalcique, tels que le ***Mineral Trioxide Aggregate*** ont également été utilisés comme matériau de coiffage.
Lorsqu'il est comparé à l'Hydroxyde de Calcium, le MTA induit la formation de dentine réparatrice à un taux plus élevé et une intégrité structurale supérieure du pont dentinaire est observée. Un des inconvénients majeurs de ce matériau est le temps de prise très long (environ trois heures pour la fin de la prise initiale).

Tout comme le MTA*,* ***Biodentine*** est un ciment à base de silicate de calcium, mais qui a l'avantage de posséder un temps de prise court (12 minutes) et des propriétés physico-mécaniques améliorées. Il a été préconisé pour les thérapeutiques dentinogénes par son fabricant. Son utilisation n'est pas encore élargie à toute la communauté nationale et internationale. Ce matériau a été comparé, dans certaines études, peu nombreuses, *in vivo* et *in vitro*, au MTA mais non pas à l'Hydroxyde de Calcium, ce qui a suscité notre curiosité scientifique.

Notre projet de recherche a donc la prétention de répondre un peu à cette attente, à travers une étude comparative des effets dentinogénétiques de Biodentine et de l'Hydroxyde de Calcium sur dents permanentes matures d'une part et d'autre part d'observer ces mêmes effets sur des dents immatures lors de thérapeutiques d'apexogénèse.

Les principaux objectifs de ce travail sont :

- Comparer les effets dentinogénétiques de Biodentine™ versus Hydroxyde de Calcium au cours des thérapeutiques dentinogènes sur dents matures,
- Décrire ces mêmes effets dentinogénétiques de Biodentine™ au cours des thérapeutiques d'apexogénèse sur dents immatures

Nous avons, donc, procédé, après mise en place d'un protocole répondant aux normes scientifiques validés, pris en charge des patients consentants, et pour lesquels nous avons réalisé des thérapeutiques dentinogènes avec les deux matériaux, en l'occurrence

Biodentine et Hydroxyde de Calcium. La sélection des patients s'est faite selon des critères bien définis. L'attribution du matériau pour chaque dent s'est fait suite à une randomisation. L'étude a duré trois années, de 2013 à 2015 et le suivi des patients s'est fait jusqu'à une année.

Avant cela, et dans la première partie de ce travail consacrée à la revue bibliographique, nous évoquerons en un rappel sur le complexe pulpodentinaire, ses réponses face aux agressions carieuses et autres, ensuite nous parlerons des thérapeutiques dentinogènes dans leurs aspects objectifs, indications et techniques. Nous détaillerons les matériaux de coiffage que nous avons étudiés à savoir Hydroxyde de Calcium, MTA et Biodentine.

Nous terminerons ce travail, par une discussion, analyse et comparaison de nos résultats avec ceux de la littérature ainsi que des recommandations et des perspectives.

REVUE DE LA LITTERATURE

CHAPITRE 1 : LE COMPLEXE PULPODENTINAIRE

La dentine protège la pulpe qui, elle, assure la « vitalité » de la dent. Le complexe pulpodentinaire est ainsi qualifié à cause de la relation étroite qui lie ces deux tissus, l'un minéralisé, l'autre conjonctif. La proximité existant entre ces deux tissus confère à ce binôme la dénomination de complexe pulpodentinaire. La séparation de l'un et de l'autre est difficile tant sur le plan histologique, fonctionnel que thérapeutique. **(Fig. 1-1)**

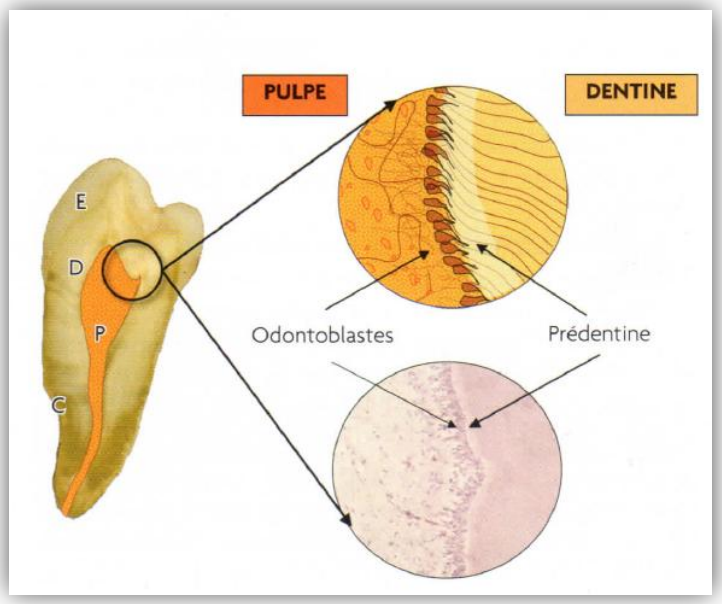


Fig. 1-1 : Le complexe pulpodentinaire *[1] (Lasfargues)*

1.1. LA DENTINE

1.1.1. COMPOSITION ET STRUCTURE DE LA DENTINE (Tableau1-1)

La dentine est un tissu minéralisé qui représente le principal constituant de l'organe dentaire. Elle assure le support de l'organe et lui confère ses propriétés élastiques. La part du minéral en poids est inférieure à celle de l'émail et voisine de celle du tissu osseux. *[2] (Goldberg)*. Sa composition est : 70% d'une phase minérale sous forme de cristaux d'hydroxyapatites riches en carbonate et en magnésium, 20% de matrice organique et 10% d'eau.

Cependant, la composition en volume est sensiblement différente : 45 à 50% minéral, 30% de matrice organique et 25% d'eau.

Tableau 1-1 : Compositions comparées des tissus minéralisés (valeurs moyennes, en %) *[1] (Lasfargues)*

Phase	**Email**		**Dentine**		**Cément**		**Os**	
	Poids	Volume	Poids	Volume	Poids	Volume	Poids	Volume
Minérale	**96**	**87**	**70**	**45-50**	**65-72**		**45**	**75%**
Organique	**0,4**	**2**	**20**	**30**	**20**	**20**	**30**	**25%**
Aqueuse	**3,6**	**7-11**	**10**	**25**	**10**	**25**	**25**	

Ces proportions entre la matrice minérale d'une part et le volume canaliculaire occupé par les éléments cellulaires et la lymphe dentinaire d'autre part, changent avec la maturation continue de la dentine lors du vieillissement. *[3] (Tziafas)*

La matrice organique est majoritairement composée de protéines qui joueront un rôle majeur dans le processus de cicatrisation pulpaire.

1.1.1.1. La prédentine

Elle est présente à l'interface entre la dentine et la pulpe, constitue la phase non minéralisée à l'origine de la matrice dentinaire. Sa composition est très proche de celle de la dentine, même si quelques modifications peuvent survenir au cours du processus de minéralisation.

1.1.1.2. La dentine

Elle est composée de plusieurs types de collagènes (90%), tels les collagènes de types I (le composant majeur), V et VI, mais également de nombreuses protéines non collagéniques (10%) (Protéoglycanes, glycoprotéines, phosphoprotéines dentinaires, etc.)
C'est un tissu perméable qui est traversé par des structures tubulaires appelées *tubuli* ou canalicules dentinaires. Ces canalicules traversent la dentine de part en part, de la jonction amélodentinaire (ou jonction cémentodentinaire dans la région de la racine) jusqu'à la lumière canalaire qui contient le tissu pulpaire. Leur répartition est inégale dans l'épaisseur de la dentine et leur densité augmente à proximité de la cavité pulpaire. **(Fig.1-2)**

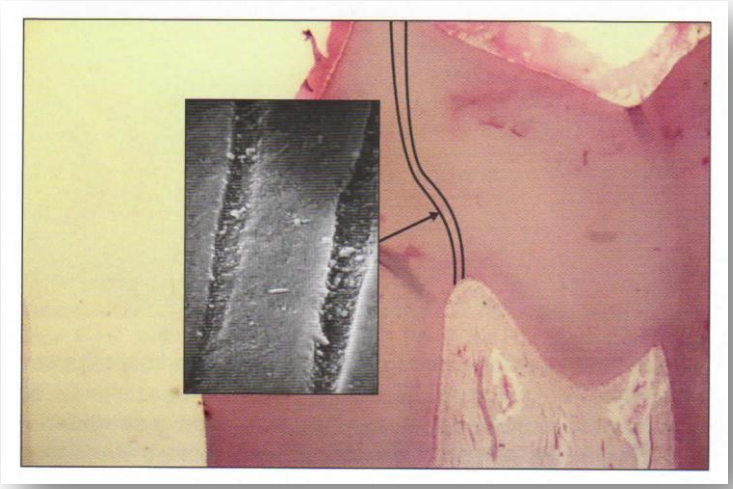


Fig. 1- 2 : Les canalicules traversent la masse dentinaire sur une longueur de 3 à 4mm *[2] (Goldberg)*

Ces canalicules ont un trajet sinusoïdal au niveau de la couronne et présentent de nombreuses ramifications. Ainsi, la surface de contact entre l'odontoblaste et la matrice dentinaire est largement augmentée grâce à la présence du prolongement au sein des canalicules et de nombreuses ramifications.

La densité des tubules varie considérablement entre les couches interne et externe de la dentine. En périphérie, immédiatement sous l'émail, les canalicules occupent environ 15 % de la surface dentinaire et ont un diamètre de 0,5µm **(Fig.1-3).** A proximité de la pulpe, leur diamètre est de 3µm et la surface occupée est de 22 % *[4] (Simon).* Il est important de prendre

en considération ces variations de répartition au moment de la réalisation d'une cavité ou d'une préparation périphérique sur la dent.

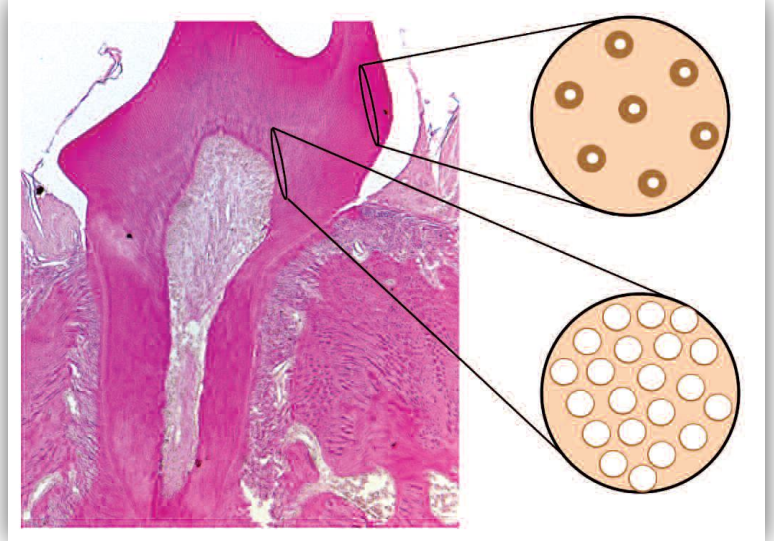


Fig.1-3 : La densité des tubuli dentinaires varie en fonction de la profondeur de la dentine et de sa proximité de la cavité endodontique. *[4] (Simon)*

Les *tubuli* contiennent le fluide dentinaire d'origine pulpaire et le prolongement de l'odontoblaste. Le niveau d'extension de ces prolongements cellulaires au sein des canalicules reste controversé puisque, pour certains, le prolongement cytoplasmique occupe la lumière canaliculaire sur toute sa longueur, alors que d'autres suggèrent que cette extension occupe au maximum un tiers de cette même longueur *[4] (Simon)*

Cette particularité de structure est importante car la présence de ces extensions cellulaires au sein du tissu minéralisé peut influencer l'approche thérapeutique. Certains canalicules sont partiellement oblitérés par des produits issus de l'activité cellulaire elle-même ; après agression carieuse de la dent, cette fermeture même partielle confère à la dentine des propriétés de perméabilité vers la pulpe sensiblement différentes de celles où les diamètres des canalicules exposés sont plus importants. Ces modifications doivent être prises en compte lors de l'établissement du plan de traitement de la dent.
Par ailleurs, le nombre des canalicules dépend de la zone dentinaire considérée et varie de 8000 à 58 000U/mm^2. **(Tableau 1-2).**
Au niveau du tiers dentinaire médian, le nombre moyen de canalicules est sensiblement constant et voisin de 30 000 quelle que soit la zone anatomique considérée.

Tableau 1-2 : Nombre moyen de canalicules dentinaires par mm² des couronnes dentaires, en fonction de la localisation et du niveau *[4] (Simon)*				
Tiers dentinaire	**Occlusal**	**Cuspide**	**Mi-couronne**	**Jonction Cémento**
Niveau situation				**Dentinaire**
Externe	**8.000**	**20.000**	**10.000**	**10.000**
Moyen	**32.000**	**36.000**	**32.000**	**29.000**
Interne	**58.000**	**58.000**	**48.000**	**48.000**

1.1.1.3. La dentine circumpulpaire

Ou périphérique, elle est composée de dentine intercanaliculaire (entre les canalicules) et de dentine péri ou intracanaliculaire (qui a été déposée secondairement en périphérie du canalicule et qui réduit ainsi le diamètre de sa lumière). **(Fig.1-4).**

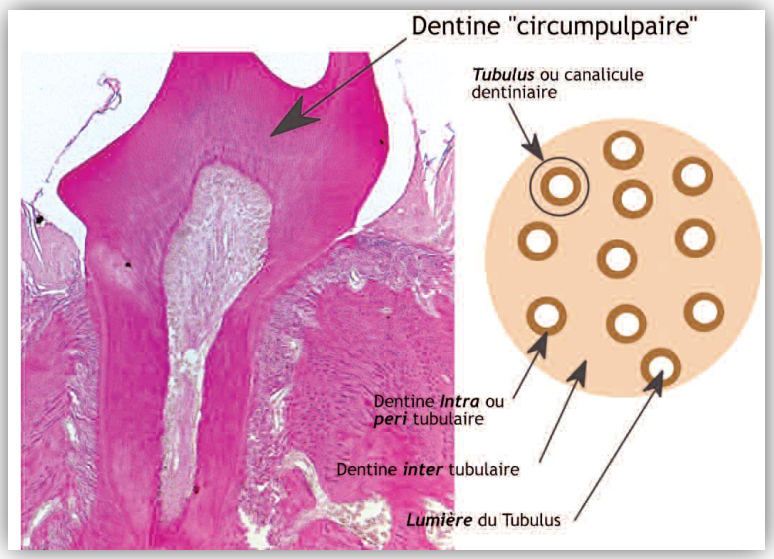


Fig.1-4 : Description schématique de la structure de la dentine périphérique ou circumpulpaire. *[4] (Simon)*

1.1.2. LES TROIS (03) TYPES DE DENTINE

Il existe une grande confusion dans la dénomination des différentes dentines, à savoir, primaire, secondaire et tertiaire. De nombreuses définitions ont été proposées dans la littérature, et plusieurs sont contradictoires. Néanmoins, elles ont été synthétisées par ***Goldberg*** qui les définit comme suit : *[5] (Goldberg)*

1.1.2.1. La dentine primaire

C'est la première dentine formée lors du développement de la dent, et qui permet d'établir le « patron de l'organe ». **(Fig.1-5)**

La partie la plus externe de cette couche fine, immédiatement sous-jacente à la jonction amélodentinaire, est sécrétée par les odontoblastes au cours de leur différenciation terminale. Elle est non tubulaire et présente une structure histologique particulière, il s'agit de la « mantle dentine » ou « dentine manteau »

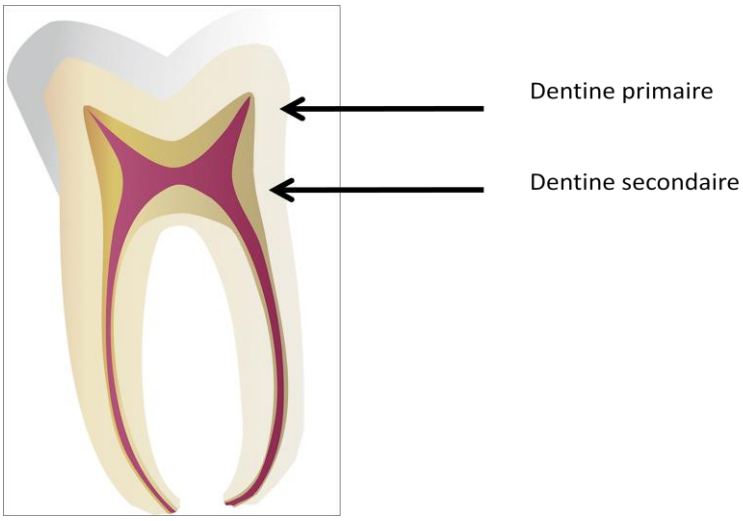
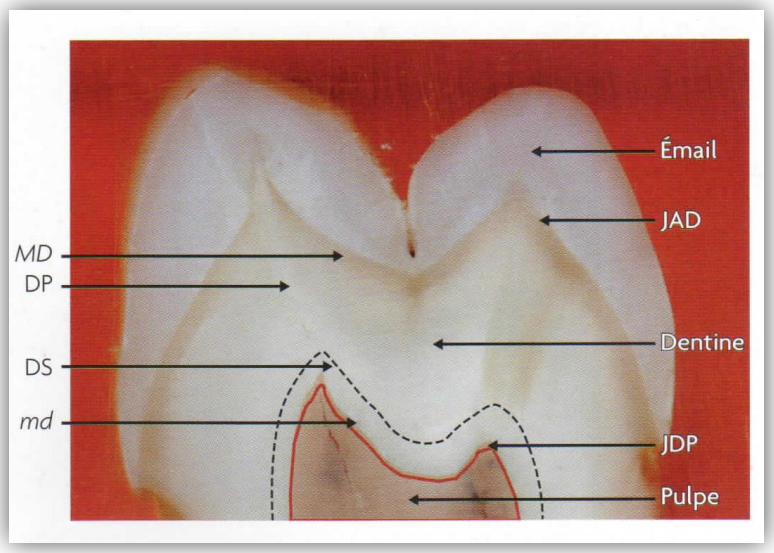


Fig. 1-5 : Patron histologique des deux types de dentine physiologiques *[4] (Simon)*

1.1.2.2. La dentine secondaire

Elle est secrétée de façon physiologique, après que la dent ait fait son apparition sur l'arcade dentaire. Cette dentine est responsable de la diminution progressive et asymétrique du volume de la lumière canalaire au cours du vieillissement, souvent improprement dénommée « calcification » ou « minéralisation ». **(Fig.1-6)**



(DP) Dentine Primaire ; (DS) Dentine Secondaire ; (JAD) Jonction Amélo-Dentinaire ; (JCD) Jonction Cémento-Dentinaire ; (MD) Manteau Dentinaire ; (md) Métadentine

Fig. 1-6 : Organisation de la dentine coronaire *[2] (Goldberg)*

Ce processus biologique explique les différences qui existent entre le volume canalaire d'une dent jeune et celui d'une dent plus âgée. Cette dentine est physiologique, en aucun cas pathologique.

La sécrétion de cette dentine ne semble pas se faire de façon uniforme, elle est plus importante au niveau du plafond et des parois externes de la chambre pulpaire qu'au niveau du plancher.

La composition chimique et la structure histologique des deux types de dentine (primaire et secondaire) sont absolument identiques. Seule la vitesse de sécrétion 4 µm/j pour la primaire et 0,4 µm/j pour la secondaire est différente. La zone réelle de passage de l'une vers l'autre est non matérialisable, elle n'a aucune incidence ni physiologique, ni thérapeutique. *[4] (Simon)*

En résumé, la dentinogénèse primaire existe au cours du développement et conduit à la formation de la couronne et de la racine de la dent, alors que la dentine secondaire est sécrétée tout au long du reste de la vie de la dent et est responsable de la réduction de la taille de la chambre pulpaire, des canaux radiculaires et de la sécrétion continue de dentine péricanaliculaire.

1.1.2.3. La dentine tertiaire

Les agressions (caries, traumatismes, abrasions…) provoquent un arrêt de la dentinogénèse, puis sa reprise sous la forme d'une dentinogénèse cicatricielle, aboutissant à la formation de dentine tertiaire.

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. **(Fig.1-7)**

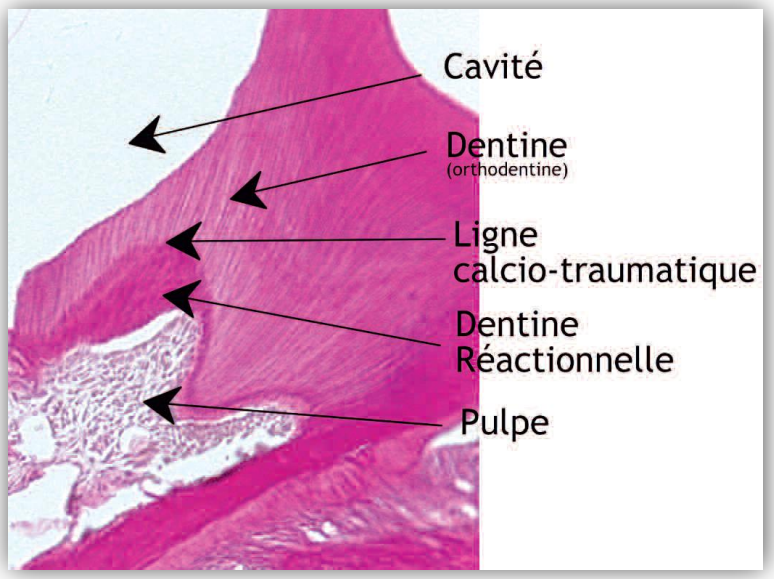


Fig. 1-7 : Coupe histologique frontale d'une molaire de souris traitée avec une obturation coronaire. *[4] (Simon)*

Dans le cas d'une agression modérée (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.* **(Fig.1-8)**

1.1.2.3.1. La dentine réactionnelle

Elle est secrétée par les odontoblastes postmitotiques de première génération ayant survécu à l'agression. Elle est de type canaliculaire. Elle se dépose lentement et ressemble à la dentine secondaire physiologique avec laquelle elle est en continuité.

Après une agression externe, l'odontoblaste sort de sa phase quiescente, et se remet à sécréter à un rythme plus soutenu. Histologiquement, la zone de stimulation de ces cellules est démarquée par une ligne calciotraumatique, marque dans l'épaisseur de la dentine le moment de « déclenchement » de cette nouvelle activité.

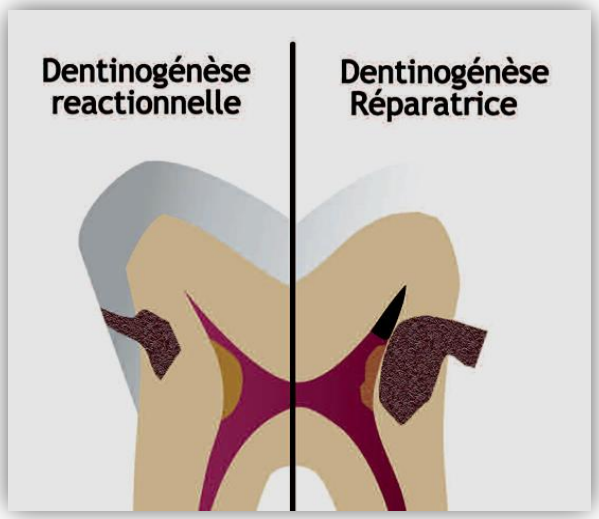


Fig. 1-8 : Les deux types de dentinogénèse tertiaire *[6] (Simon)*

Les processus exacts mis en jeu restent non élucidés ; néanmoins il est tentant de penser que les processus génétiques éteints lors du passage à la dentinogénèse secondaire pourraient être réactivés en cas de stimulation des cellules sécrétrices.

Le deuxième facteur mis en jeu dans ce concept est la voie de signalisation existant entre l'agent d'agression et l'odontoblaste lui-même. *[2] (Goldberg)*

Une approche différente donnée par ***Durand*** consiste à penser que les bactéries et leurs toxines elles-mêmes pourraient être à l'origine de la stimulation directe des odontoblastes. *[7] (Durand).* Si le rôle des lipopolysaccharides membranaires et de plusieurs toxines sur le déclenchement du processus inflammatoire intra pulpaire a été mis en évidence, d'autres formes de signalisation vers les odontoblastes sont étudiées *[3] (Tziafas)*

La dentine est un tissu conjonctif minéralisé, riche en collagène I, d'autres molécules bioactives (notamment des cytokines et des facteurs de croissance,) entrent dans sa composition et se trouvent séquestrées au sein de la matrice au moment de la minéralisation. **(Fig.1-9a)**

Lorsqu'un processus carieux s'installe, la déminéralisation du tissu s'engage et s'accompagne donc d'un relargage progressif de ces molécules initialement séquestrées. Dans ce pool de substances, se trouvent de nombreux facteurs de croissance et notamment ceux de la famille TGF β *[4] (Simon)*

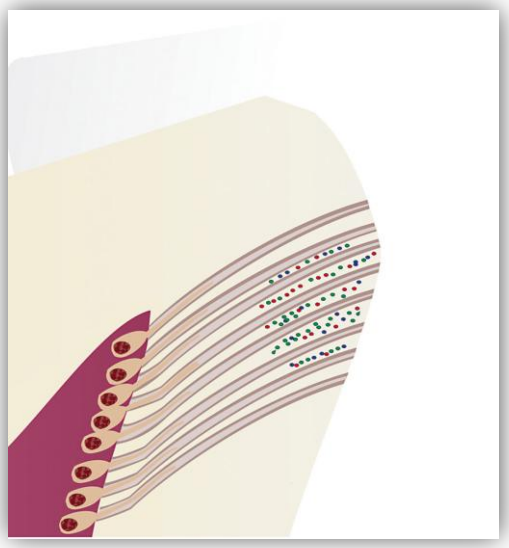


Fig.1-9a : Sécrétion de la dentine réactionnelle (1)

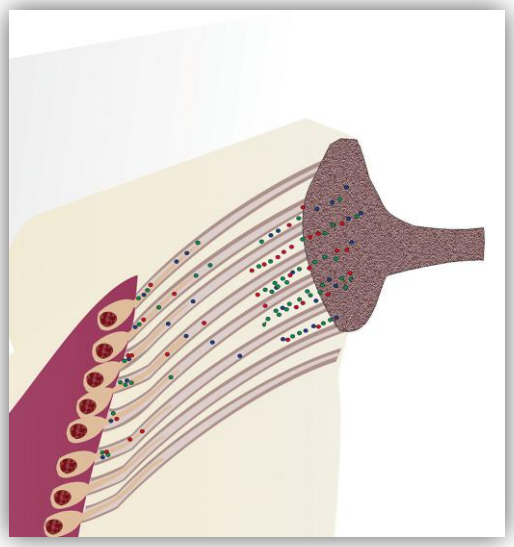


Fig.1-9b : Sécrétion de la dentine réactionnelle (2)

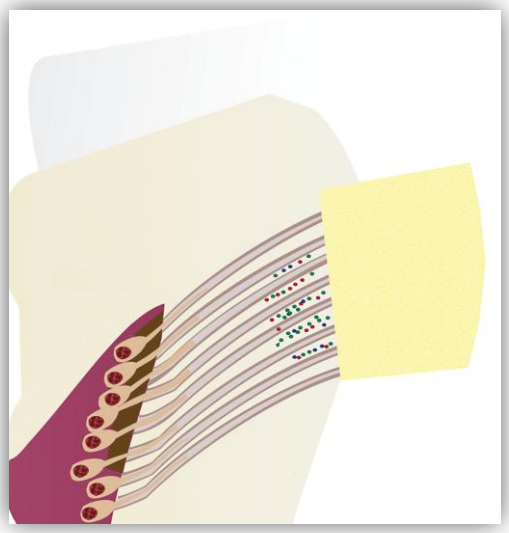
[6] (Simon)

De nombreuses protéines matricielles (représentées par les points colorés) sont séquestrées au sein de la matrice collagénique de la dentine pendant le processus de minéralisation, Ces facteurs sont relargués lors de la dissolution de la matrice minérale

Ces molécules atteignent les odontoblastes par les canalicules

Ces facteurs de croissance possèdent de nombreuses propriétés de signalisation et peuvent agir à de très faibles concentrations. Une fois libérés, ils cheminent le long des canalicules vers le parenchyme pulpaire, où ils peuvent déclencher différentes réponses cellulaires notamment l'activation des odontoblastes. **(Fig.1-9b)**

Ainsi stimulées, ces cellules sortiraient de leur phase quiescente, et secréteraient la dentine tertiaire réactionnelle. *[6] (Simon)* **(Fig.1-9c)**



Elles sont considérées comme d'importants régulateurs des voies de signalisation dans le processus de cicatrisation pulpaire.

Fig. 1-9c : Sécrétion de la dentine réactionnelle (3) *[6] (Simon)*

Partant de ce concept, il est possible d'imaginer une stimulation induite par des thérapeutiques induisant une libération volontaire de ces protéines matricielles.

- Le nettoyage d'une cavité avec de l'EDTA par exemple, permettrait une dissolution superficielle de la dentine, la libération des facteurs de croissance et une stimulation induite des odontoblastes *[8] (Smith).*
- Le mordançage à l'acide orthophosphorique permet également une déminéralisation contrôlée de la dentine et la libération des facteurs biologiques. *[6] (Simon)*
- l'Hydroxyde de Calcium a une aptitude à dissoudre la dentine, et ainsi libérer progressivement des facteurs de croissance *[9] (Graham)*. Il a une action lente, prolongée, et éventuellement contrôlable en fonction de la forme galénique du produit. *[6] (Simon)*
- L'action de libération de ces facteurs dentinaires par le Mineral Trioxyde Aggregate (MTA®) a été démontrée mais avec des concentrations différentes de celles libérées par l'Hydroxyde de Calcium. *[10] (Tomson)*.

1.1.2.3.2. La dentine réparatrice

Elle est secrétée par des néoodontoblastes remplaçant les odontoblastes primaires détruits en cas d'agression sévère, par exemple en cas de carie profonde ou d'effraction pulpaire. Cette dentine réparatrice, édifiée rapidement, est dépourvue de canalicules. Elle est assimilable à l'ostéodentine. Sous un matériau de coiffage, le processus conventionnel de cicatrisation d'un tissu épithelio-conjonctif se fait toujours par migration des cellules bordant la plaie. En se divisant, les cellules superficielles migrent vers le centre de la plaie, jusqu'à former une couche protectrice ; la réorganisation tissulaire sus jacente peut alors s'organiser. **(Fig.1-10a)**

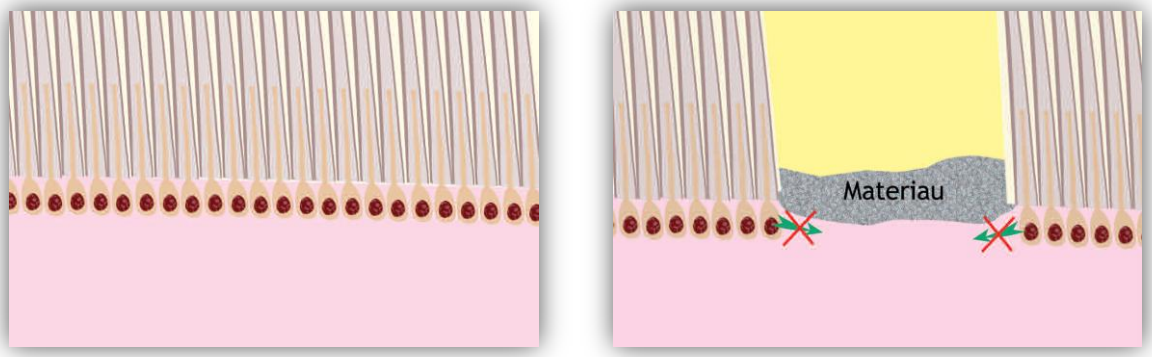
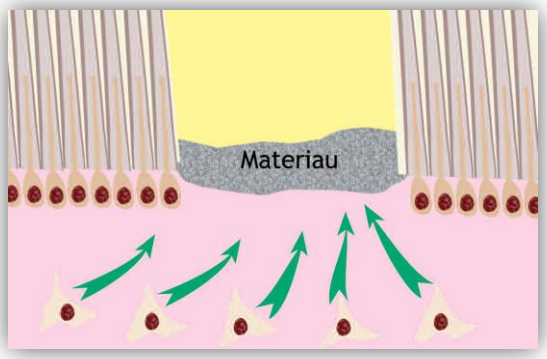


Fig.1-10a : Dentinogénèse réparatrice (1) *[4] (Simon)*

Contrairement aux autres tissus conjonctifs, le processus de cicatrisation de la couche odontoblastique ne se fait pas par la division des cellules bordant la plaie (a et b)

Les odontoblastes sont des cellules différenciées postmitotiques, incapables de se diviser pour produire de nouvelles cellules sécrétrices, mais les seules capables de sécréter de la dentine. Lorsqu'ils disparaissent, la formation d'un pont dentinaire est toujours possible à

partir du moment où de nouvelles cellules progénitrices locales ou distantes, de phénotype odontoblastique sont disponibles sur le site lésé. **(Fig.1-10b)**



Le recrutement de nouvelles cellules et leur différenciation en cellules sécrétrices de dentine (c)

Fig. 1-10 b : Dentinogénèse réparatrice (2) *[4] (Simon)*

La formation de dentine réparatrice implique donc un processus de division et de migration des cellules souches pulpaires vers la zone enflammée. Ces cellules se différencient et synthétisent une couche de dentine atubulaire, ou fibrodentine, qui isole la pulpe du milieu extérieur. **(Fig.1-10c)**

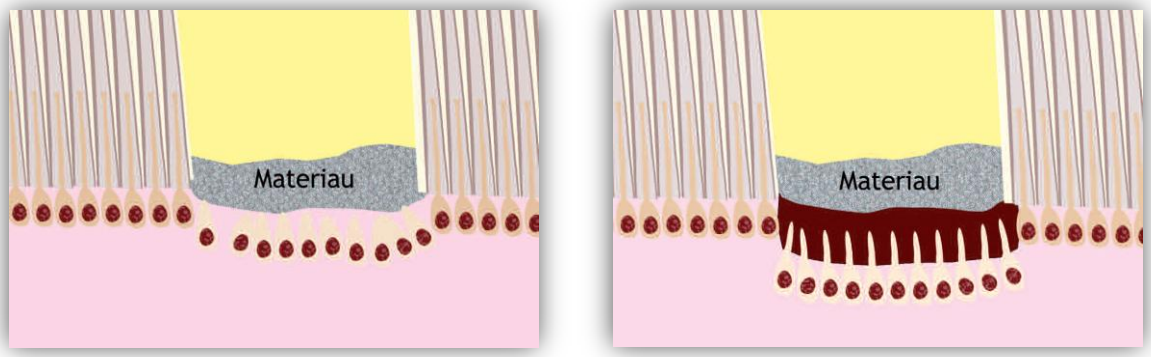


Fig. 1-10 c : Dentinogénèse réparatrice (3) *[4] (Simon)*

Les nouvelles cellules induisent la formation d'un pont dentinaire en contact direct avec un matériau spécifique. (d et e)

Cet isolement crée les conditions de la polarisation des cellules accrochées à leur fibrodentine, qui prennent l'aspect odontoblastique et déposent une dentine canaliculaire, ce qui marque l'aboutissement de la cicatrisation pulpaire. La différenciation de ces néo-odontoblastes prend environ 20 jours chez l'homme, puis la dentine réparatrice est secrétée à raison de 1,5 µm/j. Il faudrait, donc, environ 100 jours pour obtenir 0,13mm de dentine réparatrice. *[1] (Lasfargues)*

La bonne compréhension et connaissance de ces trois types de dentinogénèse est primordiale pour une approche thérapeutique raisonnée. *[6] (Simon)*

1.1.3. PROPRIETES PHYSICOCHIMIQUES DE LA DENTINE

Les propriétés physicochimiques comparées de l'émail et de la dentine sont synthétisées dans le tableau 1-3

Tableau 1-3 : Propriétés physicochimiques comparées de l'émail et de la dentine

	Email	Dentine
Propriétés optiques		
Indice de réfraction *[1] (Lasfargues)*	**1,655**	**1,655**
Propriétés physiques		
Diffusivité thermique **(x 10^{-6}/°C/mm^2/sec)** *[11] (Millet)*	**0,14**	**0,18**
Conductivité thermique K **((cal. $cm^{-1}.s^{-1}.°C^{-1}$)** *[12] (Colon)*	**2,2. 10^{-3}**	**1,4. 10^{-3}**
Coefficient de dilatation thermique **(x10^{-6}/°C)** *[11] (Millet)*	**11,4**	**8,6**
Coefficient d'expansion thermique **(ppm/°C)** *[1] (Lasfargues)*	**11,4**	**8,4**
Energie libre de surface **(ergs/cm^2)** *[1] (Lasfargues)*	**87**	**92**
Propriétés mécaniques		
Module d'élasticité **(GPa)** *[12] (Colon)*	**84,1**	**18,3**
Résistance à la rupture **(MPa)** *[12] (Colon)*	**10,3**	**98,7**
Résistance à la compression **(MPa)** *[12] (Colon)*	**384**	**297**
Résistance à la flexion **(MPa)** *[1] (Lasfargues)*	**10,3**	**60**
Résistance au cisaillement **(MPa)** *[12] (Colon)*	**90**	**138**
Dureté Vickers **(HVN)** *[13] (Mount)*	**408**	**90**
Dureté Knopp **(Kg/mm^2)** *[12] (Colon)*	**343**	**68**
Ténacité (**Mpa.$M^{1/2}$**) *[1] (Lasfargues)*	**0,6 - 0,7**	**3,1**

1.2. LA PULPE

1.2.1. COMPOSITION DE LA PULPE

La pulpe est un tissu conjonctif lâche contenant 75% d'eau et 25% de matériel organique, consistant en différents types cellulaires au sein d'une matrice extracellulaire. Comme tout tissu conjonctif, la pulpe possède des structures nerveuses, vasculaires et lymphatiques et du matériel immunologique. Les principales fonctions pulpaires sont :

- La formation des dentines primaire, secondaire et réactionnelle par les odontoblastes embryonnaires,
- La formation de la dentine réparatrice par les odontoblastes de remplacement et le maintien de la structure du tissu pulpaire.
- La pulpe a également des fonctions neurosensorielles qui se manifestent par la transmission des informations douloureuses au système nerveux central.

Ces fonctions s'exercent principalement lors d'agressions pathologiques (caries, abrasions…) ou iatrogènes (éviction du tissu carieux, préparations prothétiques).

Elle est composée de cellules dispersées dans une matrice extracellulaire hydratée et peu dense. **(Fig.1-11)**

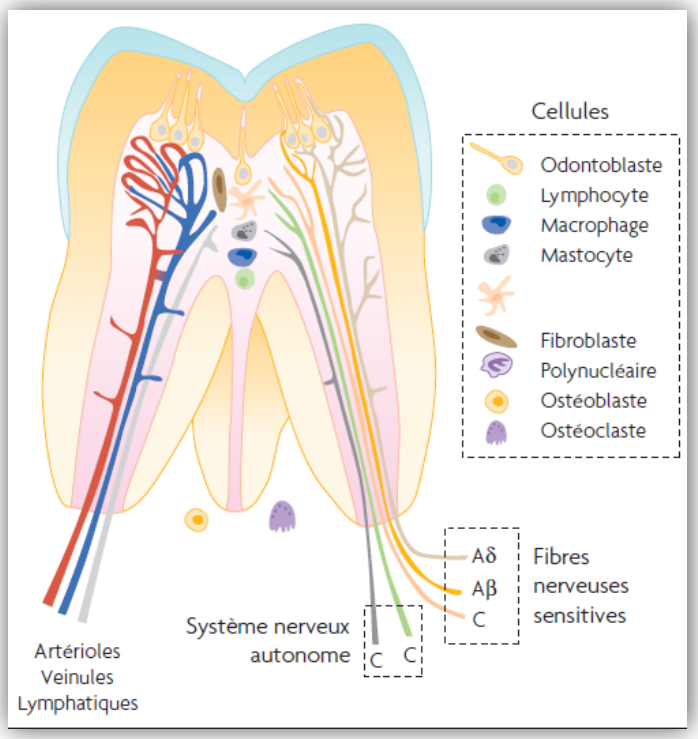


Fig. 1-11 : Vue schématique des principaux constituants pulpaires. *[14] (Boucher)*

1.2.2. L'INNERVATION PULPAIRE

L'innervation pulpaire est le support de la transmission des messages douloureux perçus par la dent au système nerveux central**.** Elle contrôle, à différents niveaux biologiques, la formation de dentine et les réponses inflammatoires et cicatricielles du complexe pulpodentinaire. *[15] (Olgart)*

1.2.3. LA VASCULARISATION PULPAIRE

La pulpe est un tissu très vascularisé : environ 5% du volume pulpaire est occupé par les vaisseaux qui se répartissent dans un rapport 3/1 entre les vaisseaux de sortie (axes veineux) et d'entrée (axes artériels).

1.3. POTENTIEL REGENERATEUR DE LA PULPE

La pulpe possède une capacité de réparation par le biais de ses dentines, réactionnelle et de réparation, mais elle possède également un potentiel régénérateur via la présence de cellules progénitrices indifférenciées. *[16](Simon).*

Appelées Dental Pulp Stem Celles (DPSC), leur mise en évidence au sein de la masse pulpaire a permis de démontrer l'intérêt de la pulpe en tant que niche de remplacement. Ces cellules souches présentent un intérêt évident et plusieurs études ont été réalisées pour déterminer leur degré de plasticité (capacité à se différencier en différents tissus dentaires). Elles posséderaient ainsi plusieurs voies de différenciation : odontoblastique bien entendu mais aussi ostéoblastique, chondroblastique, adipogénique et même neuronale *[17] (Renard)*

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

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

CHAPITRE 2 : REPONSES DU COMPLEXE PULPODENTINAIRE AUX AGRESSIONS

2.1. LES REACTIONS DU COMPLEXE PULPODENTINAIRE FACE A LA CARIE DENTAIRE

La formation de dentine sclérotique et de dentine réactionnelle, en réponse à la progression de la carie, constitue des mécanismes efficaces de protection pulpaire. Cette défense s'organise en plusieurs lignes. (**Fig.2-1)** Certains de ces mécanismes de défense se déroulent dans la dentine, d'autres au niveau de la pulpe. *[18] (Beer)*

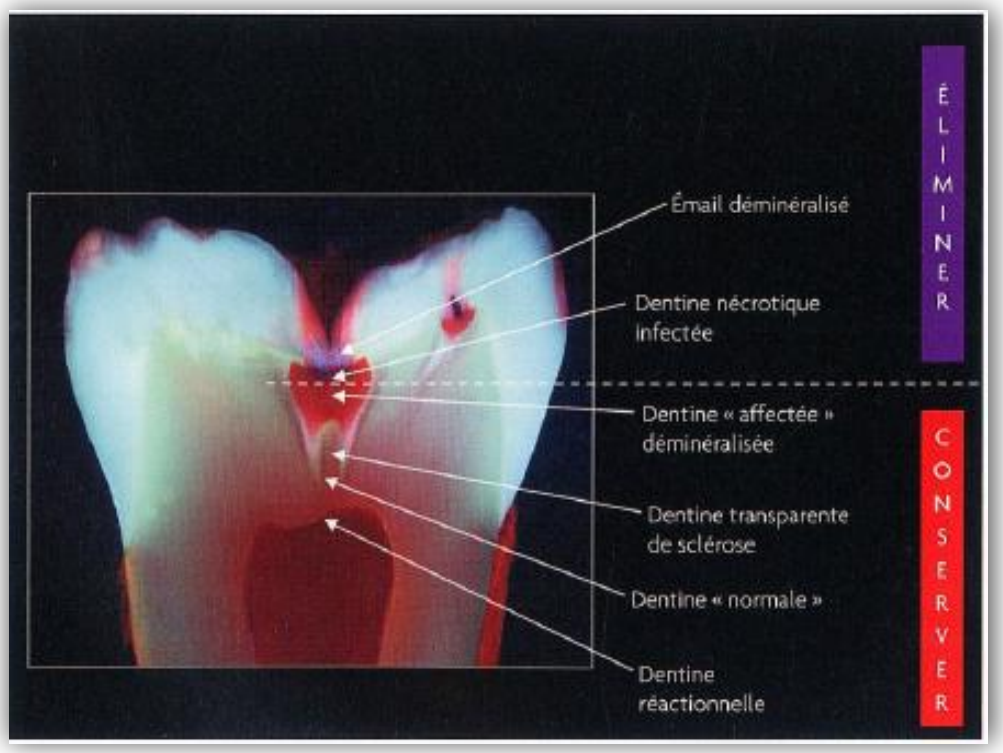


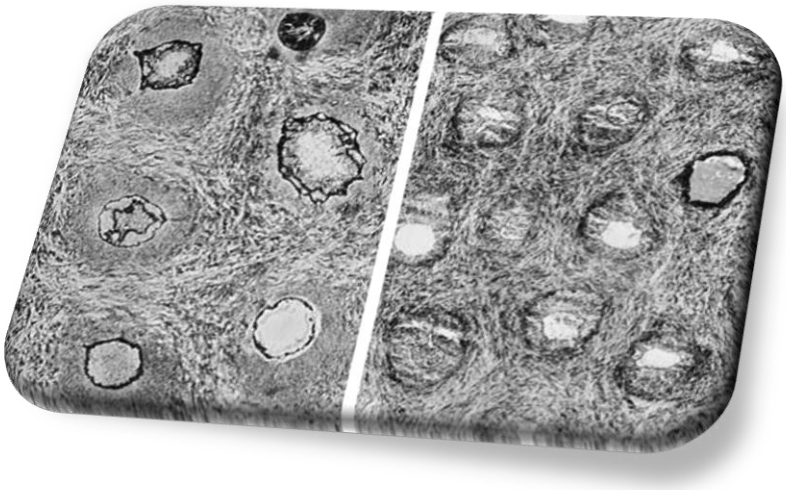
Fig.2-1 : Illustration schématique des différentes couches de la carie et les réactions pulpodentinaires sous-jacentes. *[1] (Lasfargues)*

2.1.1. LIGNE DE DEFENSE DENTINAIRE

La diffusion vers la profondeur de substances toxiques à partir des lésions carieuses passe essentiellement à travers les tubules dentinaires. Par conséquent, la profondeur jusqu'à laquelle les toxines pénètrent dans les tubules est d'importance critique dans le déclenchement de la réaction pulpaire. *[19] (Ciucchi)*

2.1.1.1. Sclérose dentinaire

La réponse habituelle à la carie est la sclérose dentinaire. Cette zone de sclérose apparait transparente sur les coupes histologiques. Les tubules dentinaires sont obturés partiellement ou complètement par des sels phosphocalciques sous forme d'apatite et/ou de whitlockite. *[20] (Vreven).* **(Fig.2-2)**



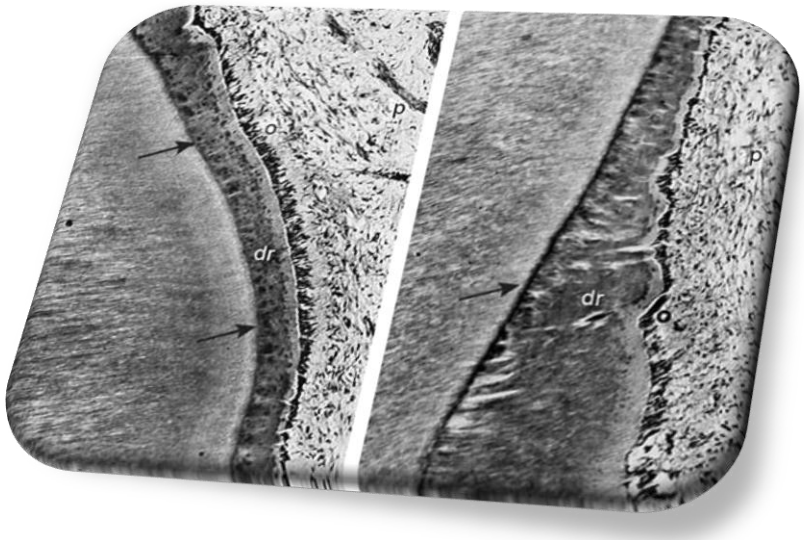
La lumière des canalicules est comblée par des minéralisations non apatitiques

Fig.2-2 : Zone de sclérose de dentine humaine cariée. *[21] (Goldberg)*

Certains considèrent que la sclérose est un phénomène actif qui ne se produit que si des prolongements cytoplasmiques d'odontoblastes vivants sont présents à l'intérieur des tubules. D'autres considèrent qu'il s'agit d'une simple reprécipitation. Les deux phénomènes existent : le premier permet plutôt une fermeture centripète du type « *dentine péritubulaire* », le deuxième une précipitation directe dans la lumière du canalicule *[20] (Vreven)*

2.1.1.2. Dentine réactionnelle (Fig.2-3)

La dentine réactionnelle diminue la perméabilité de la dentine, principalement en augmentant son épaisseur face au stimulus irritant. C'est une réaction tardive et lente.

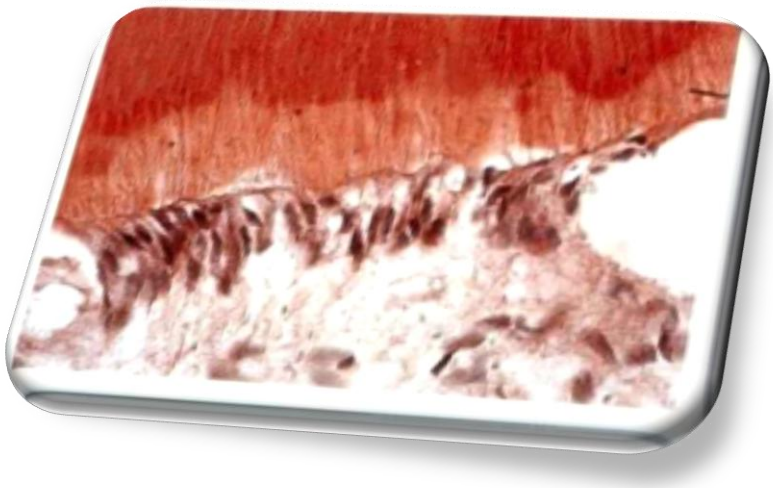


(dr) : dentine réactionnelle formée par les odontoblastes (o) et les cellules sous-odontoblastiques de Hôhl sous une ligne calciotraumatique *(flèches).*

Fig.2-3 : Dentine réactionnelle *[21] (Goldberg)*

2.1.2. LIGNE DE DEFENSE PULPAIRE : L'INFLAMMATION

Quelle que soit la flore microbienne et ses éléments pathogènes, il semble que la première réaction pulpaire aux caries est une inflammation chronique. Cette première manifestation est observée au niveau de la couche odontoblastique située en regard de la lésion *[22] (Karjalainen).* **(Fig.2-4).**



leur disposition est irrégulière, avec des places libres, indiquant que des corps cellulaires ont disparu

Fig.2-4 : Signes de souffrance dans une rangée d'odontoblastes située en regard d'une carie *[20] (Vreven)*

Cependant, ce n'est que lorsque la dentine réactionnelle formée sous la lésion est envahie par les bactéries, que la pulpe est enflammée de manière aigue.

Lorsque les bactéries arrivent ainsi très près de la pulpe, les caractéristiques de l'inflammation aigue deviennent manifestes. *[20] (Vreven)*

2.2. LES REACTIONS DU COMPLEXE PULPODENTINAIRE FACE AUX AGRESSIONS : MECANIQUE, THERMIQUE ET CHIMIQUE

Des agressions non bactériennes sévères, vont provoquer une importante vasodilatation et un déplacement conséquent de sang et de protéines dans les tissus.

Chez le sujet jeune, une guérison est possible. Par contre chez un patient plus âgé ou si la pulpe a déjà subi précédemment des épisodes inflammatoires et de cicatrisation, la même agression va induire une nécrose pulpaire.

CHAPITRE 3 : THERAPEUTIQUES DE CONSERVATION DE LA VITALITE PULPAIRE

3.1. DEFINITIONS ET OBJECTIFS DES THERAPEUTIQUES DE CONSERVATION DE LA VITALITE PULPAIRE

3.1.1. DEFINITIONS DES THERAPEUTIQUES DE CONSERVATION DE LA VITALITE PULPAIRE

3.1.1.1. Thérapeutiques étiologiques : Elles consistent en la suppression des causes directes ou indirectes des affections pulpaires. Presque toujours les lésions pulpaires sont consécutives à une perte de tissu calcifié d'origine carieuse, traumatique ou iatrogène. L'ouverture des canalicules, ou l'exposition indirecte de la pulpe, permet la pénétration des bactéries ou de leurs toxines dans la pulpe. La limite à la conservation de la pulpe est alors liée à : *[23] (Jean)*

- La possibilité de supprimer ces causes,
- L'ancienneté de l'agression,
- L'épaisseur de dentine résiduelle, (EDR)
- L'étendue de la perte de substance minérale ou de l'exposition pulpaire,
- L'établissement d'une protection hermétique de la plaie pulpodentinaire

3.1.1.2. Thérapeutiques médicales : Il s'agit des thérapeutiques bioconservatrices à proprement parler : Les coiffages. Il en existe trois grands types :

- Le coiffage pulpodentinaire
- Le coiffage biologique ou naturel
- Le coiffage direct.

Le coiffage pulpodentinaire, à distance de la pulpe, a pour objectif de favoriser la sclérose dentinaire. *Le coiffage biologique* ou *naturel* est indiqué à proximité de la pulpe, en présence d'une couche de dentine déminéralisée non infectée, conservée afin de protéger la pulpe ; l'objectif est de favoriser la reminéralisation de la dentine et la formation d'une barrière calcifiée. *Le coiffage direct* peut-être appliqué au niveau d'une corne pulpaire après exposition accidentelle et immédiate de la pulpe, ou après biopulpotomie, à l'entrée du ou des canaux radiculaires ; son objectif est de favoriser la formation d'un pont dentinaire. Des biomatériaux sont employés pour leurs propriétés antiseptiques, anti-inflammatoires, inductrices et cicatrisantes. *[23] (Jean)*

3.1.1.3. Thérapeutiques fonctionnelles : Elles imposent généralement l'utilisation de matériaux de reconstitution plastiques et/ou coulés afin d'atteindre l'objectif d'herméticité, d'étanchéité et du maintien ou de la remise en fonction de la dent dans l'ensemble de l'appareil manducateur. Les propriétés de chacun de ces matériaux, ainsi que les impératifs techniques liés à leur manipulation imposent des limites à la conservation vitale de la pulpe. Ces matériaux doivent également répondre à des principes biologiques de non toxicité et surtout d'herméticité. Les matériaux de reconstitution fonctionnelle présentent des limites à leurs indications liées à la localisation, aux rapports avec les autres dents (point de contact),

au volume et à la forme de la reconstitution, en résumé à la pérennité des fonctions rétablies. *[23] (Jean)*

3.1.2. OBJECTIFS DES THERAPEUTIQUES DE CONSERVATION DE LA VITALITE PULPAIRE

Les principaux objectifs des thérapeutiques bioconservatrices sont les suivants :

- Maintenir toutes les fonctions du complexe pulpodentinaire
- Favoriser la résistance à l'infection par la vascularisation pulpaire
- Favoriser le potentiel de régénération/réparation en réponse aux agressions bactériennes ou traumatiques.
- Maintenir les fonctions neurosensorielles et proprioceptives
- Entretenir une meilleure résistance mécanique des tissus minéralisés
- Maintenir la teinte naturelle de la dent.
- Pour les dents immatures : favoriser une apexogénèse.

3.2. INDICATIONS ET CONTRE-INDICATIONS DES THERAPEUTIQUES BIOCONSERVATRICES.

3.2.1. INDICATIONS

Si on se réfère à la classification de Baume, ce sont les catégories I et II qui constituent les indications de coiffage. Rappelons que :

La Catégorie I : sont les pulpes vivantes, sans symptomatologie, lésées accidentellement ou proches d'une carie ou d'une cavité profonde et susceptibles d'être protégées par coiffages.

La Catégorie II : sont les pulpes vivantes avec symptomatologie, dont on tentera surtout chez les jeunes de conserver la vitalité par coiffages ou biopulpotomie. **(Tableau 3-1)**

Tableau 3-1 : Classification de Baume *[24] (Bouillaguet)*

Catégorie	Définitions
Catégorie I	***Pulpes vivantes sans symptomatologie, lésées accidentellement ou proches d'une carie profonde susceptible d'être protégées par coiffages***
Catégorie II	***Pulpes vivantes avec symptomatologie dont on tentera surtout chez les jeunes de conserver la vitalité par coiffage ou biopulpotomie***
Catégorie III	Pulpes vivantes dont la biopulpectomie ….. et l'obturation canalaire sont indiquées pour des raisons symptomatologiques, prothétiques ou iatrogènes
Catégorie IV	Pulpes nécrosées avec infection de la dentine radiculaire, avec ou sans complications périapicales exigeant un traitement antiseptique

3.2.2. CONTRE-INDICATIONS

Les contre-indications sont peu nombreuses, la difficulté principal résidant dans la connaissance de l'état pulpaire de la dent à traiter. Elles sont surtout d'ordre général

3.2.2.1. Contre-indications absolues : les grands malades où les défenses de l'organisme sont réduites (diabète, cardiopathies...)

3.2.2.2. Contre-indications relatives : ce sont principalement :

- L'exposition d'origine traumatique dans laquelle le temps de latence entre l'accident et la mise en œuvre thérapeutique est déterminant pour le succès du traitement conservateur (un délai supérieur à 4 heures augmente le risque de contamination bactérienne et diminue les chances de succès) ;
- Le passé inflammatoire de la dent notamment le vieillissement pulpaire prématuré lié à des antécédents de réparation dentinaire qui diminue le potentiel réparateur et compromet le diagnostic ;
- Les exigences techniques car l'importance de la perte de substance coronaire peut compromettre la reconstitution coronaire succédant au coiffage ;
- La pulpe dentaire hémorragique avec un exsudat inflammatoire non contrôlé (Catégorie III de Baume) et exposition pulpaire jaune pâle, non hémorragique et sans exsudat (Catégorie IV de Baume).

3.3. LES MATERIAUX DE COIFFAGE ET LEURS PROPRIETES

3.3.1. QUALITES DEMANDEES AUX PRODUITS DE COIFFAGE : Les produits de coiffages doivent répondre à un cahier des charges bien précis : *[25] (Hess) ; [26] (Gregoire) ; [27] (Duncan)*

3.3.1.1. Propriétés biologiques

Elles constituent l'essentiel de ce qu'on demande à un produit de coiffage, au nombre de six

1. Solubilité parfaite dans l'eau et les fluides tissulaires ;
2. pH alcalin le plus voisin de celui des tissus vivants en contact (pH d'une pulpe saine = 7,4);
3. Non toxicité et non tendance allergogène ;
4. Pas d'irritation des tissus dentaires et péridentaires ;
5. Innocuité pour la muqueuse buccale ;
6. Grande efficacité même à faible concentration.

3.3.1.2. Propriétés anti-inflammatoires

Elles complètent les précédentes dans la recherche de la remise en condition normale du tissu pulpaire ; anti-inflammatoires, mais aussi anti-infectieuses. Le produit de coiffage doit :

7. Avoir une action anti-infectieuse durable, si faible soit- elle ;
8. Empêcher toute putréfaction ;

C'est à partir de ces exigences que l'on juge bon d'adjoindre aux produits de coiffages des antiseptiques, des antibiotiques et des anti-inflammatoires.

3.3.1.3. Propriétés physico-chimiques

9. Pas de coloration des dents ;
10. Pas d'odeur ni de goût désagréables ;
11. Adhérence à la surface dentinaire ;
12. Résistance mécanique suffisante à la pression du matériau d'obturation ;
13. Compatibilité avec les matériaux d'obturation

3.3.1.4. Qualités techniques

14. Bonne conservation de la préparation
15. Facilité d'introduction.

Celles - ci sont importantes car elles conditionnent en fin de compte le résultat du coiffage. Une seizième (16ème) qualité serait souhaitable, c'est la radio-opacité qui est obtenue par adjonction d'oxyde de baryum. *[25] (Hess)*

3.3.2. LES DIFFERENTS MATERIAUX DE COIFFAGE

Il existe de nombreux matériaux de coiffage pulpaire direct et indirect. Certains, présents depuis plus de 50 ans, tels l'Hydroxyde de Calcium ou l'Oxyde de Zinc Eugénol (ZOE), d'autres plus récents tels que les adhésifs, les Ciments Verres Ionomères, les Ciments Verres Ionomères Modifiés par Adjonction de Résine, MTA, Biodentine ……

Tous ces matériaux ont fait leurs preuves en Dentisterie à des degrés différents.

Nous allons étudier dans ce chapitre trois (3) matériaux des plus utilisés, à savoir l'Hydroxyde de Calcium, le MTA et Biodentine

3.3.2.1. L'HYDROXYDE DE CALCIUM

3.3.2.1.1. COMPOSITION DE L'HYDROXYDE DE CALCIUM

La première utilisation de l'Hydroxyde de Calcium dans le milieu de la dentisterie remonterait à **1920** et serait attribuée à ***Hermann*.** Puis, en **1937**, ***Hess*** l'utilise pour la première fois dans une procédure de coiffage pulpaire. Depuis cette époque, son champ d'action n'a cessé de se développer et il reste, aujourd'hui encore, un produit de premier choix dans l'arsenal thérapeutique du Médecin Dentiste

3.3.2.1.2. PRESENTATION DU MATERIAU

L'Hydroxyde de Calcium se présente de deux façons différentes.

3.3.2.1.2.1. Préparations commerciales : On le retrouve sous différentes formes : seringues, carpules, compules, pointes et tubes. Elles peuvent être : **(Fig.3-1)**

• **Fluides** : elles le sont en fonction du vecteur qui les compose et qui peut être

- Aqueux : il permet une libération ionique rapide.
- Visqueux : il permet une diffusion ionique plus lente.
- Huileux : il permet une dissolution ionique très rapide. *[28] (Claisse-Cringuette) :*

Les effets biologiques sur les tissus dentaires varient en fonction du vecteur qui est ajouté à l'Hydroxyde de Calcium. Plus la viscosité du mélange est faible, plus la dissociation ionique sera forte. C'est pourquoi les pâtes à base d'une solution visqueuse entraînent une libération lente et progressive des ions Ca^{+} et OH^{-}, et sont plutôt indiquées pour les cas d'apexification. A l'inverse, pour obtenir une libération ionique rapide dès le début du traitement, il faut utiliser une pâte d'Hydroxyde de Calcium avec un vecteur aqueux *[28] (Claisse-Cringuette).*

• **Pâtes durcissantes** : elles sont le plus souvent utilisées lors des coiffages pulpaires. Elles se présentent sous la forme d'une base et d'un catalyseur ou d'une pâte photopolymérisable.



Fig.3-1 : Présentation de l'hydroxyde de calcium

3.3.2.1.2.2. Préparations magistrales : Ces préparations correspondent à un mélange de poudre d'Hydroxyde de Calcium pur et d'un liquide. Dans la majorité des cas, le sérum physiologique est utilisé comme composant liquide**.** La préparation à l'aide d'eau stérile permet un meilleur effet du matériau car la libération des ions Ca^{+} et OH^{-} est plus forte. Par conséquent, elle stimule mieux l'induction et la formation de la barrière calcifiée, ainsi que l'activité antimicrobienne *[18] (Beer).*

3.3.2.1.3. PROPRIETES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DE L'HYDROXYDE DE CALCIUM

3.3.2.1.3.1. Le pH

L'Hydroxyde de Calcium est une base forte. Son pH est de 12,5 *[29] (Mohammadi).* 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**.**

3.3.2.1.3.2. Le 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 trois à cinq minutes, et il dépend de l'humidité et de la composition *[30] (ADF).*

3.3.2.1.3.3. Le temps de prise

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 *[31] (Craig).*

3.3.2.1.3.4. 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 *[29] (Mohammadi).* La faible solubilité de l'Hydroxyde de Calcium est un avantage car elle s'oppose à la diffusion alcaline toxique. Lorsque la température augmente, cette solubilité diminue.

3.3.2.1.3.5. Conductibilité thermique

L'Hydroxyde de Calcium présente une faible conductivité thermique. Afin que l'isolation thermique soit correcte, il faut une épaisseur minimale de 1,5 à 2 mm *[32] (Burdairon).*

3.3.2.1.3.6. Radio-opacité

L'Hydroxyde de Calcium est faiblement radio-opaque, proche de la dentine. Il est donc difficile à discerner sur les radiographies *[28] (Claisse-Crinquette).*

3.3.2.1.3.7. Résistance à la compression

L'Hydroxyde de Calcium possède une résistance à la compression de 3,9 MPa au début de la réaction et de 10,5 MPa 24 heures plus tard. Ces valeurs, bien inférieures à celles de l'émail (384 MPa) ou de la dentine (297 MPa) ne permettent pas son utilisation comme matériau de reconstitution coronaire. Il est donc nécessaire de le protéger à l'aide d'un autre matériau *[32] (Burdairon).*

3.3.2.1.3.8. Adhésion et étanchéité

L'Hydroxyde de Calcium présente une mauvaise adhérence à la dentine et une faible capacité de scellement *[33] (Aeinehchi).* Les matériaux à base d'Hydroxyde de Calcium ne permettent donc pas d'obtenir un scellement étanche contre les bactéries. La non-adhésion de l'Hydroxyde de Calcium à la dentine et ses faibles propriétés mécaniques imposent de l'appliquer ponctuellement en fine couche uniquement dans les zones les plus profondes (EDR< 0,5mm). Une surface maximale de contact entre le matériau d'obturation coronaire et les tissus minéralisés restants doit être conservée afin d'optimiser l'étanchéité de l'obturation *[34] (El Arrouf).* De plus, lors de restaurations en résine composite, la rétraction de prise pourrait écarter le coiffage pulpaire de la surface tissulaire et provoquer un hiatus. Il est donc 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 *[34] (El Arrouf) ; [35] (Swift)*

3.3.2.1.3.9. Dégradation dans le temps

La plupart des matériaux à base d'Hydroxyde de Calcium ont tendance à se dissoudre dans le temps et disparaissent après 6 mois, laissant un vide sous la restauration et, de ce fait, un accès potentiel à l'infiltration bactérienne *[33] (Aeinehchi) ; [35] (Swift)*

3.3.2.1.4. PROPRIETES BIOLOGIQUES DE L'HYDROXYDE DE CALCIUM

3.3.2.1.4.1. Biocompatibilité

De par sa forte basicité, l'Hydroxyde de Calcium a la capacité de détruire les tissus vivants. Au contact direct de la pulpe, il va générer une nécrose de coagulation. Cependant, sa faible vitesse de diffusion limitera l'altération à une zone superficielle en contact direct avec le matériau. Celui-ci n'est toxique que pour les éléments avec lesquels il est en contact. Par conséquent, et du fait de sa faible solubilité et diffusibilité dans les fluides tissulaires, l'Hydroxyde de Calcium est considéré comme un matériau biocompatible. *[36] (Cochet-Barril).*

3.3.2.1.4.2. Action anti-inflammatoire

L'Hydroxyde de Calcium possède une activité anti-inflammatoire par les mécanismes suivants :

- Son caractère alcalin associé à la diffusion des ions Calcium et Hydroxyle, s'oppose à l'acidose inflammatoire *[28] (Claisse-Crinquette).*
- Il diminue l'action des ostéoclastes et des macrophages et favorise ainsi les mécanismes dentinogéniques par inhibition des hydrolases acides et activation des phosphatases alcalines *[37] (Segura).*
- Il favorise l'activation du complément, prépondérant lors de réactions immunologiques *[28] (Claisse-Crinquette).*

3.3.2.1.4.3. Action antihémorragique

L'ion Calcium est un facteur de coagulation sanguin humain. Il va induire une vasoconstriction des capillaires. En outre, la nécrose de coagulation générée par le contact de l'Hydroxyde de Calcium avec la pulpe va limiter l'apparition d'un caillot sanguin entre la pulpe et le matériau *[28] (Claisse-Crinquette).*

3.3.2.1.4.4. Effet bactéricide

L'Hydroxyde de Calcium présente des propriétés bactéricides et désinfecte la pulpe superficielle. Son activité antimicrobienne est liée à son pH élevé et à la libération d'ions hydroxyles. Le caractère fortement alcalin de ce produit rend le milieu impropre à la vie bactérienne *[36] (Cochet-Barril).*

En effet, la majorité des bactéries ne peut survivre à un pH supérieur à 9. De plus, les ions Ca^{+} libérés vont maintenir dans le temps un milieu défavorable à la prolifération bactérienne *[34] (El Arrouf).*

Les ions hydroxyles parviennent à l'effet bactéricide en induisant :

- Une altération de la membrane cytoplasmique des bactéries par destruction des phospholipides, des lipopolysaccharides, des acides gras insaturés.
- Une dénaturation des protéines structurelles et des enzymes, perturbant ainsi le métabolisme bactérien et ralentissant la croissance et la division cellulaires.
- Des dommages de l'ADN et une inhibition de sa réplication *[18] (Beer).*

L'Hydroxyde de Calcium est également capable de détruire les produits de dégradation des bactéries comme les endotoxines. Il est actif sur les Streptococcus mutans et sur les bactéries anaérobies *[18] (Beer).* Toutefois, certaines espèces comme Enterococcus Faecalis et Candida Albicans résistent à son pH élevé *[28] (Claisse-Crinquette).* L'action antibactérienne de l'Hydroxyde de Calcium diminue au fur et à mesure que les ions hydroxyles diffusent. *[36] (Cochet-Barril).*

3.3.2.1.4.5. Bioactivité

3.3.2.1.4.5.1. Mécanisme de réparation pulpaire

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 *[18] (Beer) ; [38] (Blunck)*

Suite au coiffage direct à l'Hydroxyde de Calcium, le tissu pulpaire enflammé est éliminé sur une épaisseur d'environ 1,5 mm. La nécrose des tissus pulpaires peut se décrire en 3 couches :

- Dans la pulpe superficielle, l'effet chimique des ions hydroxyles déclenche une nécrose de liquéfaction,
- La région sous-jacente est maintenue, grâce au pH élevé, dans un état d'alcalinité nécessaire pour la formation de dentine,
- Dans les couches plus profondes de la pulpe, la neutralisation du pH élevé entraine une nécrose de coagulation à la jonction entre les tissus nécrotiques et les tissus vivants, avec seulement une irritation modérée de la pulpe *[29] (Mohammadi) ; [35] (Swift).*

Cette nécrose superficielle empêche la poursuite de l'hémorragie et engendre une inflammation modérée du tissu pulpaire vivant périphérique

- *Quelques heures* après le coiffage pulpaire, les neutrophiles inflammatoires migrent dans cette zone, et sont séparés des tissus pulpaires par une zone fibrillaire.
- *Quatre jours* plus tard, on observe une prolifération des cellules pulpaires.
- Dès *le septième jour*, des fibroblastes apparaissent et synthétisent du collagène à la frontière de la zone nécrotique. Des vaisseaux sanguins capillaires prolifèrent et se développent dans le tissu endommagé. Par la suite, les fibres de collagène se minéralisent et forment une couche tissulaire minéralisée de structure irrégulière.
- *Quatre semaines* plus tard, on observe du côté pulpaire une rangée de cellules de type odontoblastique.

- Au bout de *trois mois,* le tissu dur de minéralisation irrégulière a formé une barrière de substance dure ; celle-ci, délimitée par des odontoblastes, présente, du côté pulpaire, des structures contenant des tubules *[18] (Beer).*

La formation de dentine réparatrice en réponse à l'Hydroxyde de Calcium n'est pas due à la capacité bioinductrice du matériau, mais résulte de la réaction de défense de la pulpe induite par la nature irritante de l'Hydroxyde de Calcium *[39] (Goldberg).*
Les pâtes d'Hydroxyde de Calcium à prise rapide sont moins caustiques que l'Hydroxyde de Calcium pur et ne nécrosent pas la pulpe superficielle, mais elles initient le même type de guérison que l'Hydroxyde de Calcium en poudre *[35] (Swift).*
A côté du phénomène de nécrose, le coiffage pulpaire à l'Hydroxyde de Calcium induit également l'apoptose dans le tissu pulpaire sous-jacent. L'apoptose est un processus de mort cellulaire de contrôle non-inflammatoire, tandis que la nécrose induit une réponse pro-inflammatoire. Suite au coiffage pulpaire, l'équilibre entre ces deux processus pourrait avoir une influence importante sur la réponse inflammatoire induite *[40](Horsted-Bindslev)*

3.3.2.1.4.5.2. 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… *[41] (Seux).*
Il induit l'expression de molécules réparatrices comme le collagène de type III et la fibronectine, qui sont essentielles à la réparation tissulaire *[9] (Graham).*
Associée à la couche calcifiée initialement formée après coiffage, la fibronectine joue un rôle dans la différenciation des cellules pulpaires en cellules odontoblastes-like durant la dentinogenèse de réparation.
Par ailleurs, l'Hydroxyde de Calcium aurait une aptitude à dissoudre la dentine de façon prolongée et rémanente, et ainsi libérer progressivement certaines protéines et facteurs de croissance, comme le TGF *[9] (Graham).* Ces derniers stimulent la réaction odontoblastique et la formation de dentine tertiaire *[6] (Simon)*

3.3.2.1.4.5.3. 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 *[36] (Cochet-Barril) ; [42] (Tziafas).* 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 *[29] (Mohammadi).* 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 *[9] (Graham).*

L'Hydroxyde de Calcium initialise la minéralisation en agissant sur l'ATPase, la phosphatase alcaline et la pyrophosphatase, qui sont des activateurs de la minéralisation. Ainsi, l'Hydroxyde de Calcium stimule la phosphatase alcaline qui est favorable à la dentinogenèse. Cette enzyme hydrolytique sépare les esters phosphoriques et libère les ions Phosphates.
Ces ions Phosphates, une fois libres, réagissent avec les ions Calcium en provenance du flux sanguin pour former un précipité : le Phosphate de Calcium, dans la matrice organique. Ce précipité est l'unité moléculaire de l'hydroxyapatite. De plus, les ions Calcium entraînent une réduction de la perméabilité des nouveaux capillaires, diminuant la quantité de liquide intercellulaire, et activant ainsi la pyrophosphatase, facteur important de la minéralisation *[43] (Estrela).*
L'élévation localisée de la concentration en ions Calcium augmenterait également l'expression de gènes promoteurs de la minéralisation (ostéopontine, BMP-2) dans les cellules pulpaires *[9] (Graham).* ; *[44] (Rashid).* La formation d'un pont dentinaire peut ainsi être obtenue 3 mois après le coiffage sur dents humaines *[33] (Aeinehchi).* Il n'y a pas de barrière de tissus durs rapportée dans les études de moins de 3 semaines *[45] (Olsson).* **(Fig.3-2)**



(1) Hydroxyde de calcium;
(2) pulpe. Quelques vaisseaux peuvent être vus (flèches) indiquant

Fig.3-2 : Coupe histologique d'un coiffage pulpaire à l'Hydroxyde de Calcium à 3 mois.
[33] (Aeinehchi)

3.3.2.1.4.5.4. Défauts dans les barrières de tissu dur

Le pont dentinaire formé sous l'Hydroxyde de Calcium présente souvent des inclusions cellulaires et des défauts en tunnels**.** Ces défauts en tunnels sont retrouvés dans 89% des ponts dentinaires. Des cellules inflammatoires mononucléées, agrégées à proximité des défauts dans le tissu pulpaire sous-jacent, ont également été observées *[38] (Blunck).*
(Fig.3-3). 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 *[46] (Modena).*

En plus du manque d'adhésion de l'Hydroxyde de Calcium, les porosités du pont dentinaire sont autant de portes d'entrée pour les micro-organismes à long terme. Ceux-ci peuvent provoquer une inflammation secondaire du tissu pulpaire entraînant un échec du coiffage.
Lorsque l'inflammation pulpaire persiste et devient chronique, on assiste à une évolution à bas bruit vers la nécrose. La persistance de l'inflammation peut également causer des résorptions internes *[47] (Cohen).*

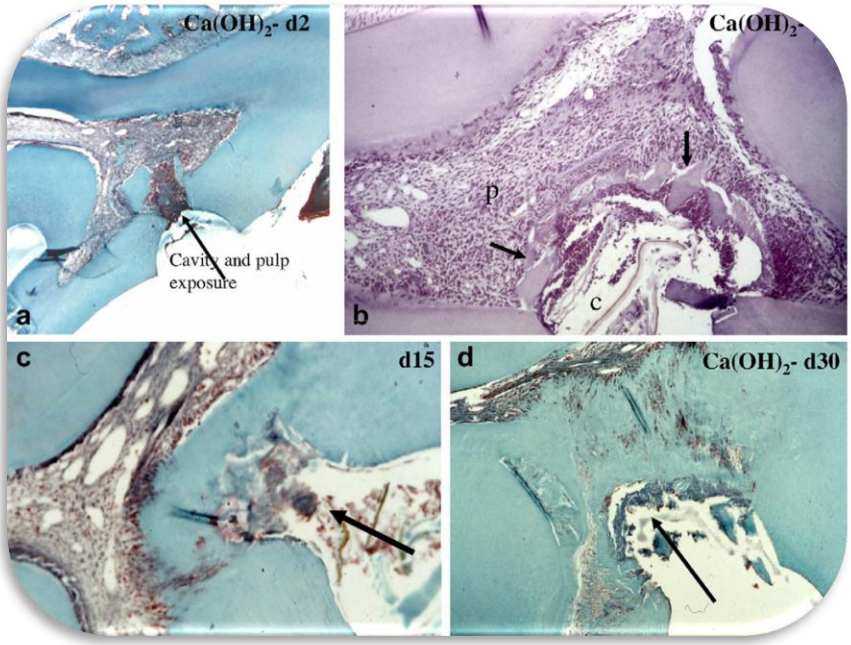


Fig. 3-3 : Coupe histologique d'un coiffage pulpaire à l'hydroxyde de calcium *[48] (Goldberg).*

(a) à J2, (b) à j8, (c) à j15 et (d) à j30 sur une 1ère molaire maxillaire. Des débris de pâte et des tunnels sont observés dans la pulpe; la légère inflammation disparait à J15, un pont dentinaire se forme à J8 et devient plus épais à J15 et J30. Les débris de pâte sont visibles à J30.

3.3.2.1.5. LE PONT DENTINAIRE

L'étude structurale du pont dentinaire en Microscopie Electronique à Balayage, et à l'aide de la MicroRadiographie, a permis de définir trois couches minéralisées :

- Une couche supérieure, coronaire, de structure amorphe, avec des débris tissulaires,
- Une couche médiane atubulaire, de type fibro-dentinaire,
- Une couche inférieure, juxtapulpaire, de type orthodentine, présentant une structure canaliculaire, avec des prolongements odontoblastiques et des odontoblastes nouvellement différenciés *[49] (Koubi).*

Au départ, la structure du pont dentinaire est souvent irrégulière et perméable. Par la suite, elle se régularise, prenant alors la forme d'une véritable orthodentine tubulaire *[5] (Goldberg).* Le Calcium présent au sein de ce pont dentinaire provient exclusivement du tissu pulpaire et non de l'Hydroxyde de Calcium *[18] (Beer).*

On observe également que le pont dentinaire, qu'il soit formé par de l'Hydroxyde de Calcium sous forme magistrale ou commerciale, présente des qualités équivalentes *[47] (Cohen).*

3.3.2.1.6. PROTOCOLE D'UTILISATION

L'Hydroxyde de Calcium en préparation commerciale peut être utilisé en l'état. S'il se présente sous forme magistrale, il faut mélanger la poudre d'Hydroxyde de Calcium au sérum physiologique, jusqu'à obtenir la consistance désirée. Il est ensuite placé directement au contact de la pulpe exposée lors d'un coiffage pulpaire direct, ou sur de la dentine lors d'un coiffage indirect. Une couche de 2 à 3 mm d'épaisseur est laissée en place et recouverte d'une obturation coronaire étanche (CVI, IRM et amalgame...). **(Fig.3-4)**



Fig. 3-4 : Thérapeutique d'apexogenèse à l'Hydroxyde de Calcium *[50] (Parirokh).*
Radiographies pré et postopératoire ; 06 mois et 11 ans après

3.3.2.1.7. LIMITES

Malgré le traitement, il arrive parfois que la pulpe reste enflammée de façon chronique et se nécrose à bas bruit. Des résorptions internes peuvent être observées *[47] (Cohen).*

Le manque d'adhésion de l'Hydroxyde de Calcium et sa porosité sont autant de portes d'entrées secondaires pour les bactéries et leurs métabolites, ce qui peut entraîner une inflammation secondaire, provoquant un échec du coiffage.

En résumé

En matière de coiffage pulpaire direct, l'Hydroxyde de Calcium possède de nombreuses propriétés intéressantes telles que sa biocompatibilité, son action bactéricide, ainsi que sa propension à induire une dentinogénèse de réparation. Cependant, son manque d'étanchéité est un inconvénient majeur qui laisse à penser que l'Hydroxyde de Calcium n'est pas le matériau parfait pour cette thérapeutique.

3.3.2.2. Le Mineral Trioxyde Aggregate

3.3.2.2.1. HISTORIQUE

Initialement, les Silicates de Calcium (CSCs) étaient des ciments employés dans le domaine des travaux publics ; le ciment de Portland, découvert et breveté en 1824 par un Anglais, ***Joseph Apsdin***, étant le plus grand représentant de cette famille. Le nom « *Ciment de Portland* », dû à sa couleur et à sa dureté, lui donne l'apparence de la pierre calcaire de Portland. Depuis une vingtaine d'années, ces ciments minéraux ont été introduits en Dentisterie Endodontique et Restauratrice. Leur composition peut être décrite soit en fonction des composés (silicate tricalcique, silicate dicalcique, aluminate tricalcique, alumino-ferrite tétracalcique) **(Tableau 3-2),** soit en fonction des oxydes (oxyde de Calcium, Silice, Aluminium, Magnésium…) constitutifs.

Tableau 3-2 : Composition minéralogique du ciment de Portland *[51] (Semennikova)*

Composés	Composition	Appellation abrégée	Taux
Silicate tricalcique	$3CaO\text{-}SiO_2$.	C_3S	45 à 65 %
Silicate dicalcique	$2CaO\text{-}SiO_2$	C_2S	15 à 35 %
Aluminate tricalcique	$3CaO\text{-}Al_2O_3$.	C_3A	4 à 14 %
Alumino-ferrite tétracalcique	$4CaO\text{-}Al_2O_3\text{-}Fe_2O_3$	C_3AF	10 à 18 %

Le Mineral Trioxide Aggregate (MTA), commercialisé sous le nom de ProRoot® MTA par la société Dentsply, a été le premier représentant dentaire des CSCs. Il a été décrit pour la première fois dans la littérature scientifique en 1993 *[52] (Lee).* Le brevet a été déposé en 1995 et a reçu l'approbation de *l'US Food and Drug Administration* en 1998 pour un usage endodontique *[53] (Torabinejad); [54] (Schwartz).*

Sa couleur est grise (Gray ProRoot® MTA). Aussi, en 2002, est apparu le White ProRoot® MTA contenant moins d'ions métalliques (fer) *[55] (Asgry); [56] (Song).* Du fait de la demande du marché, la version originale, aujourd'hui nommée, ProRoot® MTA Original, est réapparue. Elle se compose de 50 à 70 % d'oxyde de calcium et de 15 à 25 % d'oxyde de silicium *[57] (Camilleri).*

Il s'agit donc d'un CSC dont l'hydratation aboutit à la formation d'un gel silicate dicalcique hydraté et d'Hydroxyde de Calcium *[58] (Camilleri ; [59] (Camilleri)*

Depuis l'introduction du ProRoot® MTA en 1998, de nouveaux matériaux ont été mis sur le marché **(Tableau 3-3).**

Tableau 3-3 : Dérivés des ciments de Portland et du Pro Root MTA [51] (Semennikova)	
Nom commercial	***Industriel***
Gray Pro Root Mineral Trioxyde Aggregate (GPTA)	Dentsply,Tulsa, Oklahoma, USA
White Pro Root Mineral Trioxyde Aggregate (WPTA)	Dentsply,Tulsa, Oklahoma, USA
MTA – Angelus (Gris)	Angelus, Londrina, Brésil
MTA – Bianco (Blanc)	Angelus, Londrina, Brésil
Bioaggregate	Innovative BioCeramix, Vancouver, Canada
Endosequence Root Repair Material	Brasseler USA, Savannak, GA, USA
iRoot BP	Innovative BioCeramix, Vancouver, Canada
iRoot SP	Innovative BioCeramix, Vancouver, Canada
Retro MTA	BioMTA, Seoul, Corée
Ortho MTA	BioMTA, Seoul, Corée
MTA Filapex	Angelus, Londrina, Brésil
Endo Cem MTA	Maruchi, Wonju, Corée
MTA Plus (gris)	Avalon Biomed, Bradenton, USA
MTA Plus (blanc)	Prevest Denpro, Jamma, Inde
MTA + product	Cerakamed, Wojoieck Pawlowali, Pologne
MM MTA	MicroMega, Besançon, France

Tous dérivés de la formulation des ciments de Portland, ils sont très semblables en termes de propriétés et d'indications endodontiques, mais différents *[60] (Camilleri) ; [61] (Jefferies)*

- Par leur composition chimique : absence de Fer, pourcentage moins élevé d'Aluminium, présence de Phosphate ;
- Par la morphologie de la poudre tendant vers une granulométrie plus fine ;
- Par le packaging (mélange poudre-liquide, pâte, ciment de scellement, capsule, seringue).

Les premières recherches scientifiques sont publiées par ***Torabinejad*** en ***1995*** et depuis, de nombreuses études menées sur le sujet ont élargi le champ de ses indications. Il fut utilisé pour la première fois comme matériau de coiffage pulpaire en ***1996*** *[62] (Pitt Ford).*

3.3.2.2.2. PRESENTATION DU MTA

Il existe trois produits sur le marché :

- ProRoot MTA, commercialisé par Dentsply Maillefer. **(Fig.3-5)**
- MTA-Angelus, commercialisé par Dental DCP.
  Ces deux produits se présentent sous la forme d'une poudre conditionnée en sachets prédosés. Il faut mélanger le contenu du sachet à de l'eau distillée pour obtenir le produit final.
- MM-MTA, commercialisé par Micro-Méga : ce produit se présente sous la forme de capsule à faire vibrer.



Fig. 3-5 : Présentation du PRO ROOT MTA *[63] (Dentsply)*

Composition du MTA

Le MTA ou *Mineral Trioxyde Aggregate* se présente sous forme d'une poudre conditionnée en sachets prédosés Celle-ci est mélangée à de l'eau distillée dans des proportions de 3:1 (soit 1 gramme de poudre de MTA + 0,35 grammes de H_2O) *[64](Schönenberger).*

Sa composition est la suivante : **(Tableau 3-4).**

Tableau 3-4 : Principaux composants de la poudre du MTA *[65](Camilleri);[66](Iwamato);[67](Roberts); [63] (Dentsply)*			
Ciment de Portland	Silicate tricalcique Silicate dicalcique Aluminate tricalcique Alluminoferrite tétracalcique	$3CaO\text{-}SiO_2$. $2CaO\text{-}SiO_2$ $3CaO\text{-}Al_2O_3$. $4CaO\text{-}Al_2O_3\text{-}Fe_2O_3$	75%
Oxyde de Bismuth		Bi_2O_3	20%
Sulfate de Calcium déshydraté		$CaSO_4 2H_2O$	5%

On y retrouve également des traces de Sulfate de Potassium et de Sulfate de Sodium, ainsi que d'oxyde de Magnésium et d'oxyde de Calcium *[67] (Roberts)*

Même si la composition du MTA ressemble fortement au ciment de Portland, il faut noter qu'il a subi un processus de purification supplémentaire, et contient ainsi des particules plus fines, moins de métaux lourds toxiques et un temps de travail plus long dû à une plus faible teneur en gypse, accélérateur du temps de prise du MTA par rapport au ciment de Portland *[67] (Roberts); [68] (Islam).*

A l'origine, l'oxyde de Bismuth était absent de la composition du MTA. Il a été ajouté afin d'augmenter la radio-opacité de celui-ci. Cet ajout a alors modifié la réaction d'hydratation du MTA, libérant ainsi plus d'ions Calcium. Pour ***Camilleri*** *et al.* , c'est la seule chose qui différencie le MTA du ciment de Portland *[65] (Camilleri).*

A l'origine, le MTA se présentait sous forme d'une poudre grise. Sa préparation donnait un produit de couleur grise pouvant entraîner des désordres esthétiques, notamment lors de

son utilisation sur les dents antérieures. Depuis ***2002***, une forme blanche, sans fer, est désormais disponible. L'absence de fer évite les colorations dues aux sulfates ferriques.
On distingue ainsi le *Grey MTA* (GMTA) et le *White MTA* (WMTA) *[64](Schönenberger); [65] (Camilleri).* Ces deux produits se distinguent par leurs compositions chimiques. Comparé au GMTA, le WMTA contient moins d'alumine (Al_2O_3), moins d'oxyde de Magnésium (MgO) et bien sûr moins d'oxyde de Fer (FeO) *[55] (Asgry).* De plus, les particules du WMTA sont plus petites**.** 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 *[69] (Accorinte).*
Le ProRoot® MTA est composé de 75% de ciment de Portland, 20% d'oxyde de Bismuth et 5% de gypse (en % pondéral) *[63] (Dentsply).*
Le MTA-Angelus®, quant à lui, contient seulement du ciment de Portland (80%) et de l'oxyde de Bismuth (20%) *[69] (Accorinte).*

3.3.2.2.3. REACTION DE PRISE ET SENSIBILITE A L'HUMIDITE DU MTA

La réaction de prise du MTA correspond à une hydratation des particules du silicate tricalcique et du silicate dicalcique. C'est le silicate dicalcique qui est responsable de la solidité du matériau *[67] (Roberts) ; [70] (Dammachke).* Quand il est mélangé à de l'eau, il se forme des cristaux de calcium et une structure amorphe constituée de phosphate (49%), de calcium (33%), de carbone (2%), de chlorure (3%) et de silice (6%) *[71] (Dominguez).*

En ***1993***, ***Torabinejad*** et al ont précisé que les caractéristiques de dureté du MTA étaient liées au ratio eau/poudre, au taux d'humidité autour du matériau, et à la quantité d'air piégée dans le mélange *[72] (Torabinejad).* Les fines particules hydrophiles retrouvées dans la poudre de MTA durcissent en présence d'humidité. Le mélange avec l'eau forme donc un gel colloïdal qui se solidifie en une structure dure en deux à trois heures *[65] (Camilleri).*

Lors du mélange de la poudre de MTA avec l'eau, deux phases se présentent :
• Une phase cristalline, composée en majorité d'oxyde de Calcium.
• Une phase amorphe, composée en majorité de Phosphate de Calcium *[53] (Torabinejad).*
Il est également possible que le degré de pression lors de la mise en place du matériau soit à prendre en compte. En effet, la pression est différente selon l'indication : elle est plus importante dans le cas d'une obturation *a retro* que lors d'un coiffage pulpaire où le matériau doit éviter d'être traumatique pour le tissu pulpaire *[73] (Nekoofar).*
De fait de l'absence de précision du fabricant, les études concernant le MTA ne prennent pas toujours en compte la pression lors de la mise en place. Dans l'étude de ***Nekoofar*** et al, plus la pression était forte lors de la mise en place, moins le matériau avait une dureté de surface importante, et inversement. Ceci pouvant s'expliquer par la fuite de l'eau lorsqu'une pression trop importante était appliquée.
L'eau joue un rôle prépondérant lors du mélange en créant des micro-canaux afin de lier chimiquement les différentes phases du ciment. Ces derniers fournissent des voies pour que l'eau diffuse à l'intérieur du matériau pendant la phase d'hydratation.

Quand la pression est moins forte, l'eau diffuse mieux. Ce plus grand degré d'hydratation conduit à des structures cristallines mieux formées *[73] (Nekoofar).* Autrement dit, une pression trop forte réduit la formation de cristaux en raison d'un manque d'espace suffisant pour les molécules d'eau, et par conséquent entraine une dureté de surface plus faible.

3.3.2.2.4. PROPRIETES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DU MTA

3.3.2.2.4.1. Résistance à la compression

La résistance du MTA s'élève à 40 MPa après 24 heures donc plus faible que celle de l'amalgame d'Argent (313MPa) et de l'IRM (57 MPa) qui est un ciment à base d'Oxyde de Zinc Eugénol. La force compressive du matériau progresse en présence d'humidité pendant 21 jours *[68] (Islam).* Après 21 jours, elle est de 67 MPa, donc équivalente aux ciments à l'Oxyde de Zinc Eugénol et proche de celle de l'IRM (57 MPa) *[53] (Torabinejad).*
Ainsi le MTA est contre-indiqué comme matériau de restauration coronaire puisqu'il ne résisterait pas aux forces occlusales masticatoires. En revanche, du fait que les matériaux utilisés pour la réalisation d'obturations *a retro* ou pour la fermeture des perforations latérales ou dans les furcations ne sont en principe pas soumis à la sollicitation directe de compression provoquée par les forces masticatrices. La faible valeur de la résistance à la compression du MTA ne devrait pas être à l'origine de répercussions défavorables dans ces indications précises *[64](Schönenberger).*

Certains auteurs estiment que le délai de prise prolongé représente un inconvénient, en raison du fait qu'il existerait dès lors un risque que le MTA soit alors dissous pouvant ainsi entraîner une irritation des tissus environnants *[74] (Abdullah).* Il convient de noter qu'il est possible de réduire le temps de prise du MTA par l'adjonction de Chlorure de Calcium ($CaCl_2$) lors du mélange *[64](Schönenberger).*

3.3.2.2.4.2. pH

Le MTA est un matériau très alcalin. Immédiatement après mélange, son pH est de 10,2. Au cours des trois premières heures, celui-ci augmente à 12,5, et reste ainsi durant plus de 20 heures *[64](Schönenberger) ; [53] (Torabinejad).* Cette réaction est due à la présence d'oxyde de Calcium qui, réagissant avec les fluides tissulaires, forme de l'Hydroxyde de Calcium de pH 12,5**.** Le pH du MTA correspond de ce fait à celui de l'Hydroxyde de Calcium *[64](Schönenberger).*

3.3.2.2.4.3. Radio-opacité

Elle est due à l'adjonction d'Oxyde de Bismuth dans la composition de la poudre de MTA *[57] (Camilleri).* Elle est équivalente à celle d'une plaque d'Aluminium d'une épaisseur de 6,4mm. De ce fait, elle est supérieure à celle de la dentine (0,7), tout en étant inférieure à celle de l'IRM (9,3mm) ou de l'amalgame (15,6mm) *[75] (Laghios).*

3.3.2.2.4.4. Temps de prise

Le temps de prise du MTA est en moyenne de 2 h 45, *[53] (Torabinejad)* ce qui constitue un inconvénient pour les cliniciens. Cette réaction de prise lente oblige, lors d'un coiffage pulpaire, à réintervenir dans une seconde séance afin de réaliser la restauration coronaire définitive, une obturation provisoire ayant été mise en place lors de la première séance. La maturation du MTA se poursuit après ce temps de prise. Des études montrent que la prise maximale du matériau est obtenue au bout de 7 jours, voire 21 jours *[64](Schönenberger); [68] (Islam).* Dans le cas du MM-MTA, le temps de prise a été réduit de 20 minutes par adjonction du Chlorure de Calcium ($CaCO_3$) *[64] (Schönenberger).*

3.3.2.2.4.5. Solubilité

Le ratio eau/poudre est d'1 volume d'eau pour 03 volumes de poudre, soit 1 gramme de MTA pour 0,35 gramme d'eau. Une augmentation de ce ratio entraine 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. Après la prise finale (21 jours), le matériau est insoluble dans l'eau *[64](Schönenberger).*

3.3.2.2.4.6. Temps de travail

Une fois le mélange poudre et liquide effectué, le temps de travail est d'environ cinq minutes.

3.3.2.2.4.7. Etanchéité et adaptation marginale

L'adaptation marginale du MTA a été étudiée au moyen de la technique de pénétration des colorants lors d'obturation *a retro* *[72] (Torabinejad)* et d'observations au Microscope Electronique à Balayage *[76] (Torabinejad).* L'analyse de ces études montre que le MTA présente une bonne adaptation marginale aux parois dentaires. Elle 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 termes d'étanchéité par rapport à l'Amalgame, l'IRM® et le Super-EBA® *[52] (Lee) ; [77] (Torabinejad).*

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 *[77] (Torabinejad).*

L'étanchéité du MTA n'est pas perturbée par la présence d'humidité ni de sang. Son étanchéité supérieure est liée à sa prise lente, sans contraction. En effet, le caractère hydrophile du MTA lui confère une faible expansion de prise en milieu humide, ce qui contribue à une meilleure adaptation au niveau des parois *[68] (Islam).* Le MTA ne semble pas se détériorer ni se désagréger au cours du temps.

3.3.2.2.5. PROPRIETES BIOLOGIQUES DU MTA

3.3.2.2.5.1. Biocompatibilité

D'après une étude *in vitro* menée par ***Torabinejad*** et al, le MTA est moins cytotoxique que l'Amalgame, les super-EBA ou l'IRM avec la méthode de relargage de Chrome radioactif *[53] (Torabinejad).*

Chang et al ont montré, lors d'une étude *in vitro* sur cellules pulpaires humaines, que le MTA présente une cytotoxicité moins importante que l'IRM *[78] (Chang).*

Il est biocompatible dans les cultures cellulaires. Il est d'ailleurs, observé une adhérence et une croissance cellulaires à son contact. La phosphatase alcaline, l'ostéocalcine ont une synthèse augmentée à son contact *[30] (ADF).*Le MTA ne nuit pas aux fibroblastes du ligament parodontal *[68] (Islam).* A son contact, les tissus parodontaux cicatrisent bien, et il y a une formation de néo-cément ainsi qu'une croissance des cellules desmodontales *[30] (ADF).*

La cémentogenèse observée sur le MTA après une obturation *a retro* est un phénomène qui n'avait jamais été observé avec les autres matériaux d'obturation *[64](Schönenberger) ; [79](Schönenberger)*

Cependant, la biocompatibilité du WMTA est controversée, notamment par rapport au GMTA. Dans l'étude de ***Pérez*** et al, les ostéoblastes adhèrent moins au WMTA qu'au GMTA dans des cultures cellulaires *[80] (Pérez).*

Mais une étude de ***Parirokh***, certes de courte durée, n'a montré aucune différence de réaction pulpaire, lors d'un coiffage de pulpe de chien au GMTA ou WMTA *[81] (Parirokh).*

Toutes ces études et beaucoup d'autres allants dans le même sens permettent de conclure à la biocompatibilité du MTA avec les cellules du milieu buccal.

3.3.2.2.5.2. Action anti-inflammatoire

Le MTA n'affecte pas l'expression des cytokines produites par les macrophages lors de processus inflammatoires. La phagocytose et la capacité des macrophages à éliminer les micro-organismes ne sont pas affectés par le MTA *[82] (Rezende).*

En revanche, une étude *in vivo* sur la pulpe de souris a évalué la régulation de certaines molécules par le MTA après pulpotomie expérimentale. Les résultats ont montré que le MTA diminue l'expression des cytokines pro-inflammatoires. Il a donc un effet anti-inflammatoire *in vivo*, ce qui favorise la formation d'un pont dentinaire *[83] (Silva).*

Selon plusieurs études *in vivo*, le MTA engendrerait moins d'inflammation pulpaire que l'Hydroxyde de Calcium *[33] (Aeinehchi); [84] (Chacko) ; [85] (Faraco); [86] (Nair).* Il 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 *[87] (Reston)*

3.3.2.2.5.3. Action antibactérienne

Le MTA possède une activité antibactérienne en milieu aqueux, grâce à son pH alcalin *[88] (Hauman).* Il est exempt d'effet inhibiteur sur les bactéries anaérobies strictes, telles qu'elles

sont prédominantes dans la flore des parodontites apicales, mais en revanche, il semble être efficace sur certaines bactéries anaérobies facultatives comme *S. mitis, S. mutans, S.salivarius, L. species, S. epidermidis* [28] (Claisse-Crinquette); [64](Schönenberger) ;[89] (Beslot) ; [54] (Schwartz); [90] (Torabinejad). Il présente aussi des propriétés antifongiques, en particulier sur *C. albicans* [67] (Roberts) ; [91] (Al-Nazhan)

3.3.2.2.5.4. Mécanismes de réparation pulpaire

Les résultats des études histologiques montrent que le MTA favorise la guérison tissulaire [71] (Dominguez).

Sous l'interface du MTA, le tissu pulpaire lésé cicatrise par angiogénèse et néo-vascularisation, et aussi par prolifération de cellules cubiques fonctionnelles à proximité de la zone endommagée. Celui-ci stimulerait cette angiogénèse par induction de la libération de cytokines, phénomène essentiel à la guérison du tissu conjonctif [92] (Mitchell). Durant la formation de dentine, ces cellules sont caractérisées par la synthèse et la sécrétion de nombreuses protéines non-collagéniques [93] (Bogen).

L'effet initial du MTA entraine l'apparition d'une couche de structure cristalline au contact de la pulpe, avec des cellules pulpaires cylindriques disposées à proximité des cristaux.

In vitro, le MTA n'engendre pas l'apoptose des cellules pulpaires, leur permettant ainsi de continuer à jouer un rôle primordial dans la guérison et dans la régénération.

Il entraîne la prolifération de cellules odontoblastes-like et des cellules indifférenciées de la pulpe. Il augmente la synthèse d'ADN de ces deux types de cellules *in vitro*, suggérant un effet positif sur la régénération du complexe pulpodentinaire *in vivo* [94] (Moghaddame-Jafari).

Après 02 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. L'étude au Microscope Electronique à Transmission de ***Tziafas*** a mis en évidence des fibres collagéniques regroupées en masse en contact direct de la couche cristalline superficielle. Cette nouvelle matrice formée le long de l'interface pulpe-MTA est de type fibro-dentinaire [42] (Tziafas).

A J+3 semaines après le coiffage au MTA, on observe de la dentine réparatrice avec de la matrice fibro-dentinaire solide. Des cellules odontoblastes-like élaborant une matrice tubulaire sont alors observées. Ce mécanisme de déclenchement de la dentinogénèse réparatrice est similaire à celui induit par l'Hydroxyde de Calcium. Avec ces deux agents de coiffage pulpaire, la formation d'une matrice fibro-dentinaire précède l'expression du phénotype des cellules odontoblastes-like [42] (Tziafas).

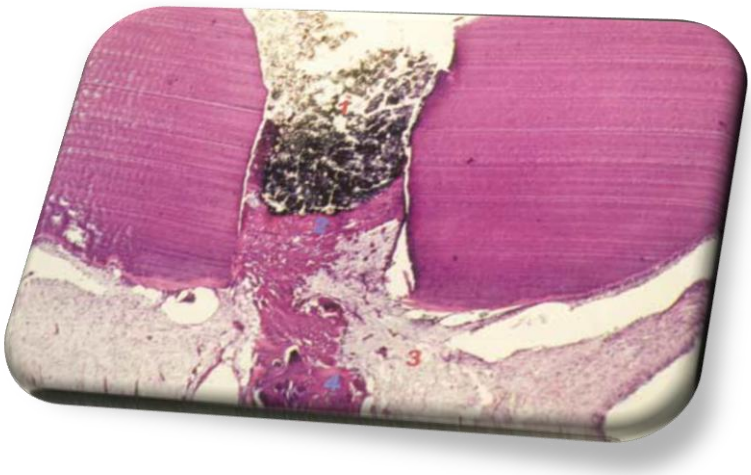
Faraco et al, ont observé la présence de tissu pulpaire nécrosé à proximité du pont dentinaire ce qui suggère que le MTA, comme l'Hydroxyde de Calcium, provoquerait initialement une nécrose de coagulation [85] (Faraco).

Cependant, cette nécrose serait négligeable par rapport à celle provoquée par l'Hydroxyde de Calcium [95] (Witherspoon).

Des granulations proches des tubuli dentinaires coiffés par du MTA ont été observées. Ces structures sont similaires aux cristaux de calcite observés avec l'Hydroxyde de Calcium *[96] (Holland).* Ces cristaux attirent la fibronectine, responsable de l'adhésion et de la différenciation cellulaires.

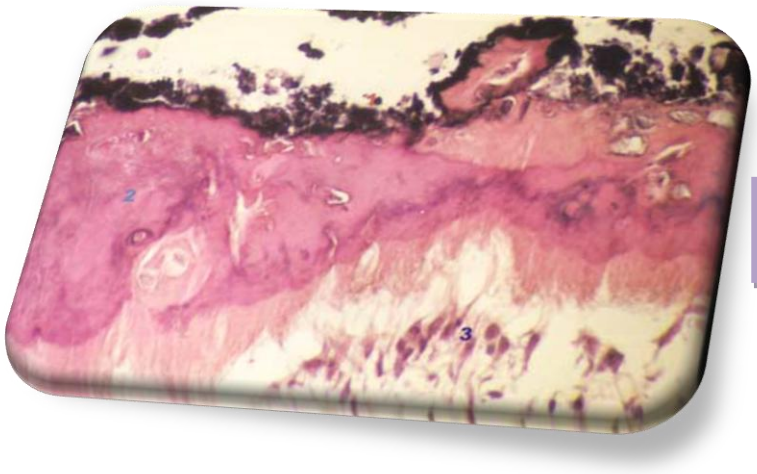
3.3.2.2.5.5. Induction d'un tissu dur : le pont dentinaire

Plusieurs études *in vivo* ont démontré, après analyse histologique, que le MTA induit la formation de dentine réparatrice. *[33] (Aeinehchi) [62] (Pitt Ford); [66] (Iwamato); [97] (Sawicki); [98] (Min)* **(Fig.3-6; 3-7)**



(1) MTA; (2) pont dentinaire; (3) pulpe; (4) calcification

Fig. 3-6 : Coupe histologique d'un coiffage pulpaire au MTA à 2 mois. *[33] (Aeinehchi)*



(1) MTA; (2) pont dentinaire; (3) odontoblastes

.

Fig. 3-7 : Coupe histologique d'un coiffage pulpaire au MTA à 3 mois. *[33] (Aeinehchi)*

Le mécanisme exact de formation du pont dentinaire par le MTA n'est pas entièrement compris. Certains auteurs l'attribuent à son excellente capacité de scellement, sa biocompatibilité, à l'augmentation temporaire de la valeur du pH ou à une combinaison de ces propriétés *[79](Schönenberger); [99] (Fischer); [92] (Mitchell); [76] (Torabinejad)*

Il semble que le déclenchement de la formation de dentine réparatrice ne soit pas lié à un effet « dentino-inducteur » spécifique du MTA. Néanmoins, grâce à ses propriétés alcalines, un environnement pulpaire approprié est formé, favorisant l'expression du potentiel dentinogénétique des cellules pulpaires. 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 *[42] (Tziafas).*

Comme nous l'avons cité plus haut, les observations histologiques montrent que l'initiation de la dentinogenèse réparatrice par le MTA et l'Hydroxyde de Calcium sont similaires *[85] (Faraco); [42] (Tziafas).* La réponse biologique du MTA serait donc liée à celle de l'Hydroxyde de Calcium. En effet, le MTA entraine une libération lente d'ions Calcium *[65] (Camilleri) ; [100] (Sarkar)* qui diminue au cours du temps *[101] (Duarte).* L'origine de ces ions Calcium serait liée à l'oxyde de Calcium du MTA, qui après sa prise, est principalement constitué d'oxyde de Calcium et Phosphate de Calcium. Cet oxyde de Calcium pourrait réagir avec les fluides tissulaires pour former l'Hydroxyde de Calcium *[42] (Tziafas) ; [85] (Faraco).* Cet Hydroxyde de Calcium se sépare ensuite en ions calcium et hydroxyles, expliquant la similarité de l'action dentinogénétique entre le MTA et l'Hydroxyde de Calcium.
Par ailleurs, l'effet régulateur du MTA dans la production d'ostéocalcine, de phosphatase alcaline pourrait être lié à la stimulation de l'activité dentinogénétique dans la pulpe dentaire. De plus, la zone riche en fibronectine observée le long de l'interface pulpe-MTA, et l'environnement alcalin, peuvent jouer un rôle dans la dissolution des facteurs de croissance de la dentine environnante, comme il a été suggéré pour l'Hydroxyde de Calcium *[42] (Tziafas).*

Ces facteurs de croissance agissent comme des molécules signal pour les cellules odontoblastes-like, nécessaires à la formation de dentine réparatrice. L'action de libération des facteurs dentinaires par le MTA a été démontrée mais à des concentrations différentes de celles libérées par l'Hydroxyde de Calcium *[10] (Tomson).*
De plus, ***Min*** et al, ont évalué les effets cellulaires du ciment Portland, qui est le composant de base du MTA, sur des cellules pulpaires en culture. Ils ont conclu que le ciment de Portland est biocompatible et permet l'expression de gènes relatifs à la minéralisation (ostéonectine, sialopratéine 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. *[98] (Min).*
Donc Le MTA se comporte comme un substrat biologiquement actif pour les cellules pulpaires capables de dentinogénèse *[42] (Tziafas).*
Le M.T.A.®, par son adaptation marginale remarquable, son étanchéité et sa biocompatibilité, limite l'inflammation pulpaire et permet d'obtenir un pont dentinaire de meilleure qualité qu'avec les autres matériaux de coiffage *[28] (Claisse-Cringuette),* pont dentinaire de bonne qualité, étanche, et fusionné avec les parois dentinaires bordant l'effraction *[6] (Simon).*

3.3.2.2.5.6. Indications du MTA

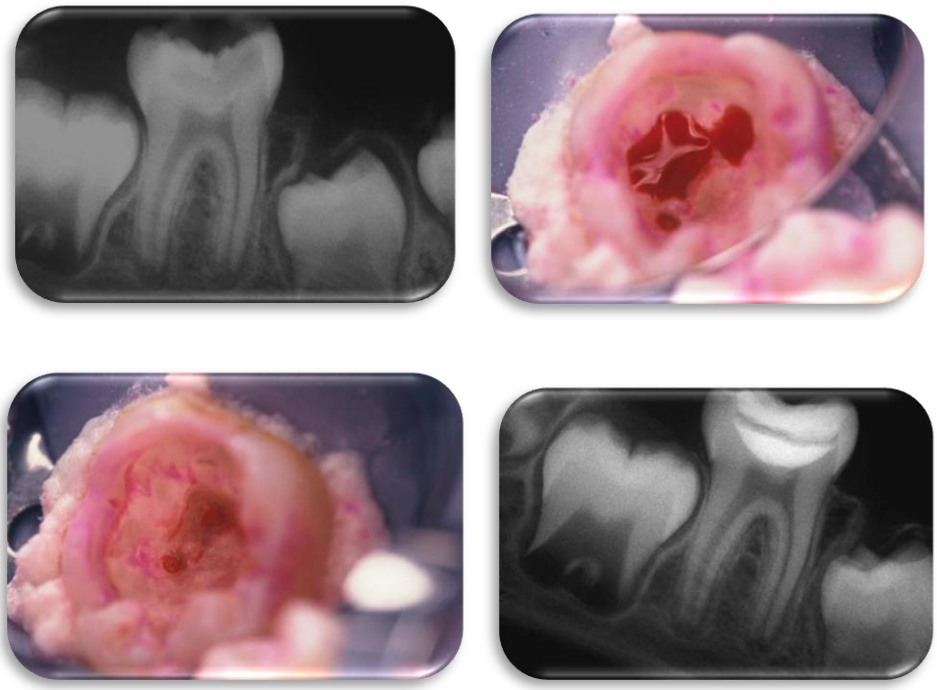
Les indications du MTA sont :

- Préservation de la vitalité pulpaire : coiffage pulpaire direct, pulpotomie, apexogénèse,
- Apexification,
- Obturation endodontique rétrograde,
- Fermeture des perforations radiculaires ou du plancher pulpaire
- Réparation des résorptions internes.

3.3.2.2.6. PROTOCOLE D'UTILISATION LORS D'UN COIFFAGE PULPAIRE

Le MTA se prépare immédiatement avant son utilisation. On mélange la poudre à de l'eau stérile dans un rapport de 3 pour 1 sur une plaque de verre. La prise du MTA se faisant dans un milieu humide, l'assèchement absolu du site est contre-indiqué *[64](Schönenberger).* Le MTA est appliqué sur la zone en petite quantité.

Il est recommandé de placer une boulette de coton humide au contact du MTA pour favoriser sa prise *[67] (Roberts).* Puis, la cavité est refermée à l'aide d'une obturation temporaire étanche. Enfin, dans un second temps, l'obturation temporaire est déposée, la boulette de coton est enlevée et une obturation définitive est mise en place. La bonne prise du MTA sera vérifiée par sondage. **(Fig.3-8)**





Radiographie préopératoire, mise en attente de 2mm d'hypochlorite de sodium pour l'hémostase pendant 05 mn. Radiographie postopératoire à J0 et à 5an 1/2

Fig.3-8 : Coiffage pulpaire direct au MTA sur une 36 (9ans) *[93] (Bogen).*

En résumé

Le MTA est un excellent matériau de coiffage pulpaire direct et semble être plus efficace que l'Hydroxyde de Calcium *[62] (Pitt Ford)* étant donné que ses principales propriétés qui sont sa biocompatibilité (absence de mutagénicité et de cytotoxicité) *[102] (Torabinejad)* et plus particulièrement sa bioactivité (formation de Phosphate de Calcium en rapport avec l'environnement buccal, dentinaire et parodontal *[100] (Sarkar)*, formation de dentine réparatrice *[97] (Sawicki)* par prolifération cellulaire *[103] (Peng)*, stimulation de l'angiogénèse *[104] (Wang)*, activité antibactérienne *[105] (Ribeiro); [106] (Parirokh)* vecteur de la minéralisation *[107] (Tay)*, stimulation de la production de facteurs de croissance *[10] (Tomson).;[108](Guven)* largement décrites dans la littérature.

Cependant, vu ses faibles propriétés mécaniques et son temps de prise long, ses indications cliniques sont d'ordre endodontique : traitements des coiffages pulpaires directs et indirects, traitements d'apexification, résorptions, perforations, obturations en chirurgie *a retro* *[109] (Liu)* ; *[57] (Camilleri); [106] (Parirokh); [72] (Torabinejad).*

3.3.3. BIODENTINE

3.3.2.3.1. HISTORIQUE

Biodentine™ est un nouveau ciment de restauration à base de silicate tricalcique développé par l'équipe de recherche de développement de Septodont. Comme le MTA® et les ciments Portland, c'est un ciment à base de calcium et de silicate *[53] (Torabinejad); [65] (Camilleri); [57] (Camilleri)*

L'enjeu initial de la mise au point de ce nouveau biomatériau a été de développer un matériau de type Silicate de Calcium, dont la réaction de prise se fait grâce à la présence d'eau. Bien que reconnus comme hautement bioactifs et biocompatibles, ces ciments manquent de réactivité, avec des temps de prise très longs (supérieurs à 2 heures), et ont de faibles propriétés mécaniques ainsi qu'une manipulation peu aisée (dépendante du ratio d'eau).

Pour relever le défi de combiner la chimie des Silicates de Calcium et les exigences d'une formulation compatible avec les techniques traditionnelles de dentisterie restauratrice et endodontique, Septodont a développé une nouvelle plateforme technologique appelée

l'« *Active Biosilicate Technology™* » qui correspond à une maîtrise parfaite des compositions, des structures minérales et granulométriques des composants de base de ce produit dentaire *[110] (Colon) ; [111] (Septodont SRD)*

En plus de sa composition chimique qui est basée sur l'hydratation du Silicate Tricalcique (Ca_3SIO_5) qui lui confère la même haute biocompatibilité que les ciments de réparation endodontique déjà connus (à base de MTA), Septodont en a amélioré les propriétés physico-chimiques (temps de prise court, résistance mécanique élevée..) qui font de Biodentine™ un matériau facile à manipuler et compatible, mais aussi dans les cas de restaurations conservatrices comme substitut dentinaire. Ses capacités de scellement ont aussi été évaluées comme étant équivalentes à celles des Ciments Verres Ionomères, sans nécessiter aucun conditionnement spécifique de la surface dentinaire. Son étanchéité ainsi que sa résistance mécanique augmentent durant les premières semaines après sa mise en place.

Au-delà des indications endodontiques classiques de cette classe de ciment à base de Silicate de Calcium (réparation des perforations et résorptions, apexification, chirurgie périapicale), Biodentine™ est aussi un substitut dentinaire définitif et amélaire provisoire.

3.3.2.3.2. PRESENTATION DE BIODENTINE

Biodentine® se présente sous forme de capsule prédosée contenant 0,7 g de poudre et une pipette à usage unique contenant le liquide nécessaire (0,18 g) **(Fig.3-9 ; 3-10).** Après vibration (30 secondes), on obtient une pâte de ciment hydratée dont la manipulation est aisée. *[112] (About).*



Fig.3-9 : Conditionnement de Biodentine™



Fig.3-10 : Présentation du matériau

3.3.2.3.3. COMPOSITION DE BIODENTINE

Biodentine™ est conditionné en deux parties, qui contiennent le bon ratio de poudre et de liquide *[113] (Koubi),* dont la composition est donnée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3-5 : Composition pondérale de Biodentine™ et rôle de chaque composant. *[113] (Koubi); [114] (Bachoo)*				
Poudre (0,7g)	Silicate tricalcique	$(CaO)_3SiO_2$	90,75%	Composant principal
	Silicate dicalcique	C_2S		Composant minoritaire
	Carbonate de calcium	$CaCO_3$	4,25%	Charge
	Oxyde de zirconium	ZrO_2	5%	Opacifiant radiographique
Liquide (0,18g)	Chlorure de calcium	$CaCl_2$	14,70%	Accélérateur de prise
	Premia		3%	Agent réducteur d'eau
	Eau	H_2O	100%	

Propriétés des composants

- $(CaO)_3SiO_2$: c'est le principal composant de la poudre qui régule la réaction de prise (que l'on notera dorénavant C_3S) **(Fig.3-11)**
- Carbonate de Calcium ($CaCO_3$) : joue le rôle de charge, réagissant avec l'eau pour former du CSH, Silicate de Calcium hydraté et l'Hydroxyde de Calcium.
- Dioxyde de Zirconium (ZrO_2) : confère la radio-opacité au ciment
- Chlorure de Calcium ($CaCl_2$, $2H_2O$) : est un accélérateur de prise utilisé couramment dans la formulation des bétons.
- Agent réducteur aqueux (super-plastifiant) : permet de réduire la viscosité du ciment. C'est un carboxylate qui a été modifié afin d'obtenir une haute résistance sur le court terme. Il permet de réduire la part d'eau nécessaire au mélange (eau/ciment), tout en conservant la même facilité de manipulation.

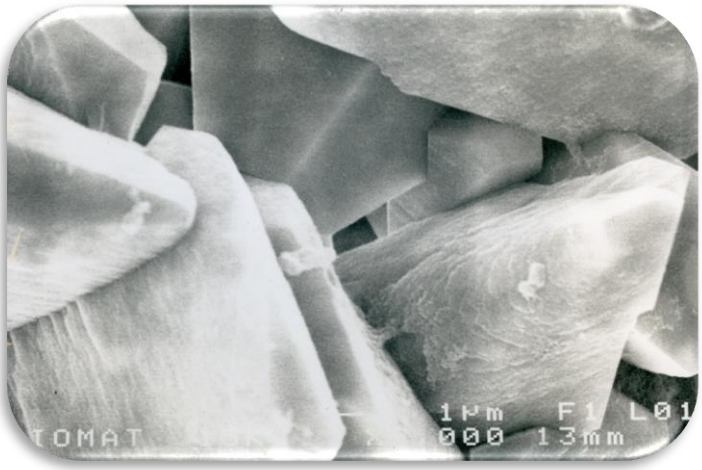


Fig. 3-11 : Vue en Microscopie Electronique à Balayage des cristaux constituant la poudre de Biodentine *[110] (Colon)*

On peut donc conclure que Biodentine™ contient de l'eau, du Calcium et de la silice mais pas de Phosphates. La présence d'eau permet le transport d'espèces ionisées *[110] (Colon).*

En effet, afin d'obtenir une formulation avec un temps de prise court (12 minutes) avec des propriétés mécaniques de l'ordre de celles de la dentine naturelle, les Silicates de Calcium ne pouvaient pas être utilisés seuls. L'amélioration du temps de prise a été obtenue par la combinaison de plusieurs éléments. Tout d'abord, la taille des particules de poudre influence ce temps de prise car plus la surface spécifique est élevée, plus le temps de prise est court.

Puis l'addition de Chlorure de Calcium au liquide accélère le système. Et enfin la diminution du contenu en liquide abaisse le temps de prise pour durcir en 9 à 12 minutes.

L'obtention d'une résistance mécanique élevée est aussi difficile à obtenir pour ces systèmes. La première cause des faibles propriétés mécaniques des ciments Portland est la présence d'aluminates qui en font un produit fragile, d'où le contrôle rigoureux de la pureté du Silicate de Calcium qui consiste justement en l'élimination de ces aluminates et des autres impuretés. En effet, la principale différence avec des ciments commercialisés comme le Pro Root MTA® vient de l'absence d'Alumino-silicates dans la formulation *[110] (Colon).*

Le second axe de travail a été l'ajustement de la distribution de la taille des particules afin d'obtenir une densité maximale de poudre. Le système de charge additionnel sélectionné est le carbonate de Calcium à la fois pour sa biocompatibilité et son contenu en Calcium.
Enfin, il a fallu trouver un compromis quant à la quantité d'eau dont la présence est nécessaire au processus de durcissement, mais paradoxalement influe sur la solidité du matériau. D'un côté, l'excès d'eau dans le système va générer une porosité résiduelle, dégradant de manière notable les propriétés de résistance macroscopique, et de l'autre côté la diminution du contenu en eau diminue la possibilité d'un mélange homogène.
D'où l'intérêt de l'agent réducteur d'eau qui permet l'équilibre entre un faible contenu en eau et une consistance adéquate du mélange *[111] (Septodont SRD)*

3.3.2.3.4. REACTION DE PRISE DU BIODENTINE

Le temps de prise du matériau en bouche est de 9 à 12 minutes mais, de part sa structure de gel, la cinétique de prise est longue et il faut environ 7 jours pour obtenir une stabilité des résultats *[115] (Villat).* Par comparaison, le temps de prise du MTA est de 2 heures 45 *[53] (Torabinejad);*
La réaction de prise du liquide avec la poudre entraîne la prise et la solidification du ciment.
L'hydratation du silicate tricalcique va donner un gel de Silicate de Calcium hydraté (gel CSH) et de l'Hydroxyde de Calcium. Le ciment localisé dans les zones entre les grains a un taux élevé de calcite ($CaCo_3$). Cette hydratation du silicate tricalcique est obtenue par sa dissolution et la précipitation du silicate de Calcium hydraté, désigné par les chimistes C-S-H (C=CaO, S=SiO_2, H=H_2O). **(Fig.3-12)**

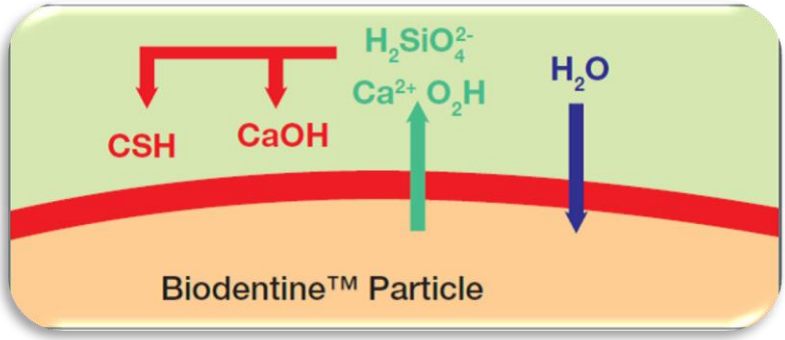
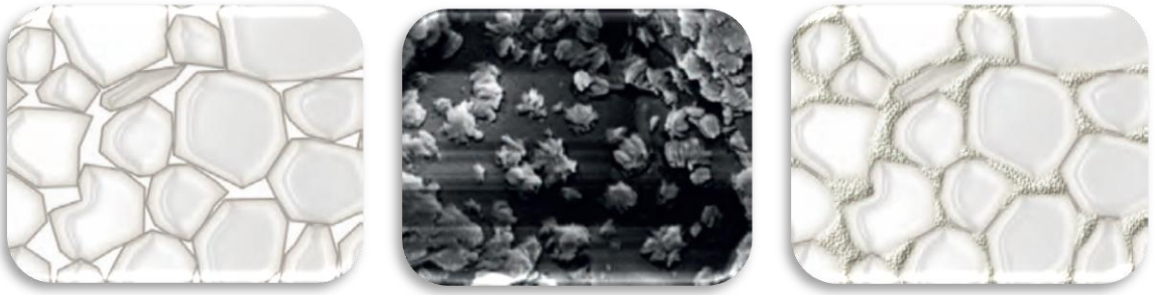


Fig. 3-12 : Processus de dissolution de Biodentine *[111] (Septodont SRD)*

L'Hydroxyde de Calcium provient de la phase liquide. Les grains de silicate tricalcique qui n'ont pas réagi, sont entourés d'une couche de gel de silicate de Calcium hydraté (le gel CSH), qui est relativement imperméable à l'eau, ce qui, par ailleurs ralentit les effets de la réaction. La formation du gel CSH est due à l'hydratation permanente du silicate tricalcique. Ce gel comble petit à petit les espaces entre les cristaux de silicate tricalcique. Le durcissement de Biodentine™ se crée par la formation de cristaux se déposant dans une solution super saturée **(Fig.3-13)** *[111] (Septodont SRD) ; [112] (About)*



Poudre avant hydratation *Dépôt du gel C-S-H* *Biodentine™ après prise*

Fig. 3-13 : Illustration des étapes de la prise du matériau.

[111] (Septodont SRD)

La réaction complète d'hydratation est résumée par la formule suivante :

$$\underset{C_3S}{2(3CaO.SiO_2)} + 6H_2O \longrightarrow \underset{CSH}{3CaO.2SiO_2.3H_2O} + 3Ca(OH)_2$$

3.3.2.3.5. TEMPS DE TRAVAIL ET DE PRISE DE BIODENTINE

Plusieurs méthodes existent pour mesurer le temps de prise des matériaux. La première consiste à mesurer la résistance du matériau à la pénétration d'une aiguille, à différents moments du durcissement. Quand l'aiguille ne laisse plus de trace sur le matériau, le temps de prise est considéré comme écoulé. Avec cette méthode dite de *Gilmore*, le temps de travail de Biodentine calculé, est d'une minute et le temps de prise de 9 à 12 minutes. *[111] (Septodont SRD)*

Un rhéomètre peut aussi être utilisé. Il permet de mesurer la transmission par un échantillon d'une contrainte appliquée de façon sinusoïdale. Un rhéomètre ARES a été choisi pour Biodentine™. Après mélange, le matériau est placé entre deux plateaux striés de 6mm de diamètre et espacés de 2mm. Le plateau inférieur est maintenu à 37,5°C et l'ensemble est soumis à 100% d'humidité relative. La contrainte est appliquée avec des oscillations de 1 radian par seconde et une déformation de 0,0005%. Cette déformation doit être inférieure à celle qui altérerait la structure du matériau (0,0015%). Grâce à cet instrument, le module d'élasticité du matériau peut aussi être mesuré *[116] (Nonat).*

Avec cette méthode, le temps de prise de Biodentine™ a été comparé avec celui du ProRoot MTA® et celui d'un Ciment Verre-Ionomère. Le début du temps de prise correspond à un module d'élasticité de 10 MPa, lorsqu'il commence à augmenter, et la fin du temps de prise

à un module de 100 MPa. Le temps de travail est donc l'intervalle de temps entre le mélange du matériau et le début du temps de prise **(Fig.3-14).**

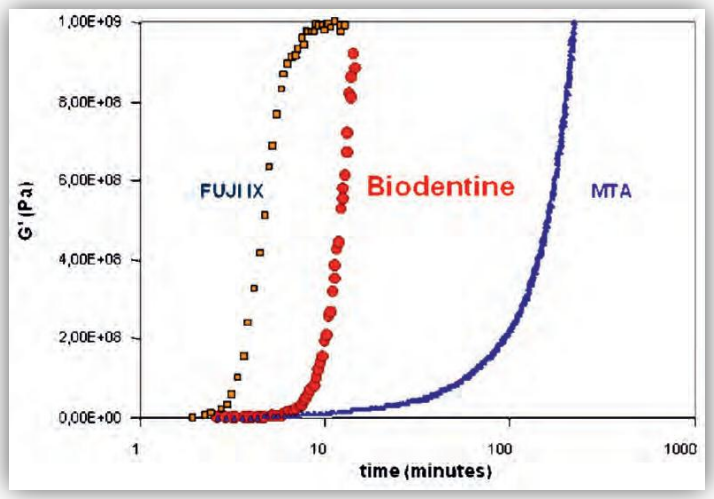


Fig. 3-14 : Evolution de la rhéométrie dynamique du début à la fin du temps de prise *[111] (Septodont SRD)*

Ainsi, le temps de travail de Biodentine™ est de 6 minutes, avec un temps de prise de 10 à 12 minutes, ce qui est bien inférieur aux ciments à base de Silicate de Calcium tel que le MTA *[111] (Septodont SRD).* ***Grech*** et al ont comparé le temps de prise de Biodentine™ avec plusieurs ciments : ciment à base de silicate tricalcique et d'oxyde de Zirconium, Bioaggregate® et IRM®, après immersion dans une solution saline gélifiée avec 20% de gélatine de porc *[117] (Grech).* Cette solution saline simule les conditions cliniques. Le temps mesuré est de 45 minutes, ce qui est inférieur au ciment à base de silicate tricalcique utilisé en comparaison **(Fig.3-15)**

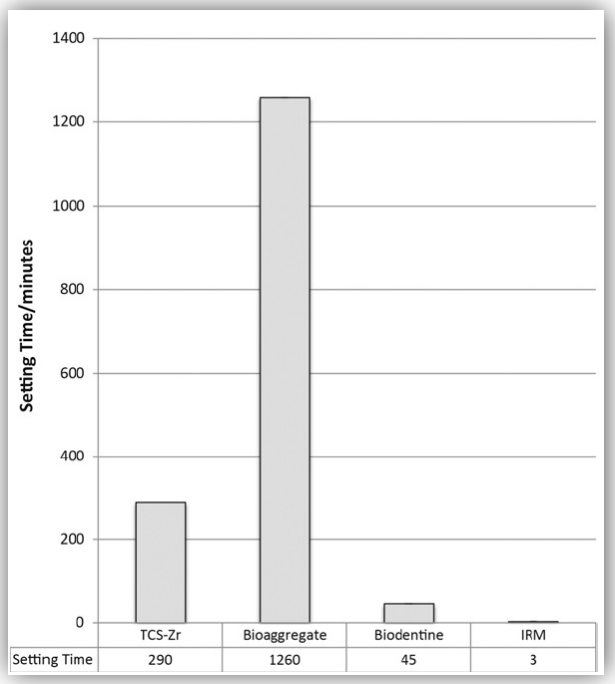


Fig.3-15 : Evaluation du temps de prise dans une solution saline *[117] (Grech)*

3.3.2.3.6. PROPRIETES PHYSIQUES

3.3.2.3.6.1. Densité et porosité

Les matériaux à base de Silicate de Calcium présentent une relation inversement proportionnelle entre leur porosité et leur dureté. Plus la porosité du matériau est basse, plus sa densité est élevée. Ainsi, la densité supérieure de Biodentine™ par rapport aux ciments à base de Silicate de Calcium est due à la faible teneur en eau utilisée pour le mélange.

Deux méthodes réalisées par les Laboratoires Septodont ont confirmé la faible porosité de Biodentine®

- Méthode de porosimétrie par intrusion de mercure : Avec une pression qui dépend du diamètre des pores, le mercure va être forcé à travers le matériau. Les résultats obtenus montrent que Biodentine™ a une densité plus importante que le ProRoot MTA® : elle est de 2,3g/cm^3 pour Biodentine™ et de 1,9g/cm^3 pour le ProRoot MTA®. La porosité est de 6,8% pour Biodentine™ et 22,6% pour le ProRoot MTA®

- Méthode des impédances électrochimiques qui examine la mobilité des ions par mesure de la résistance électrique. Leur mobilité dépend de la taille et du nombre de pores et de leur répartition dans le matériau. Cette technique a montré que la réaction d'hydratation du C_3S se poursuit dans le temps au-delà de l'acquisition des propriétés mécaniques par une augmentation progressive de la résistance de Biodentine™ au passage des ions et par conséquent par une diminution de la porosité *[110] (Colon); [111] (Septodont SRD)*

3.3.2.3.6.2. Résistance à la compression

La résistance à la compression est évaluée avec un test défini par la norme ISO 9917,1991. Les mêmes matériaux que pour les autres tests ont été évalué. Chaque produit est mélangé selon les recommandations du fabricant. Pour chaque matériau, 6 échantillons sont préparés dans des moules cylindriques en Téflon de 4 mm de diamètre et de 6 mm de long, en éliminant les bulles d'air. Les échantillons sont placés 15 minutes dans un incubateur à 100% d'humidité relative, à 37°C, puis, une fois démoulés, sont plongés dans de l'eau distillée à 37°C pour simuler une situation clinique. Pour le MTA, les échantillons sont placés 24h dans l'incubateur, en raison de son temps de prise plus lent. Chaque matériau est testé à 1 heure, puis à 1, 7 et 28 jours. Le test est réalisé avec une machine de traction avec une vitesse de compression de 0,5 mm par minute. **(Fig.3-16)**

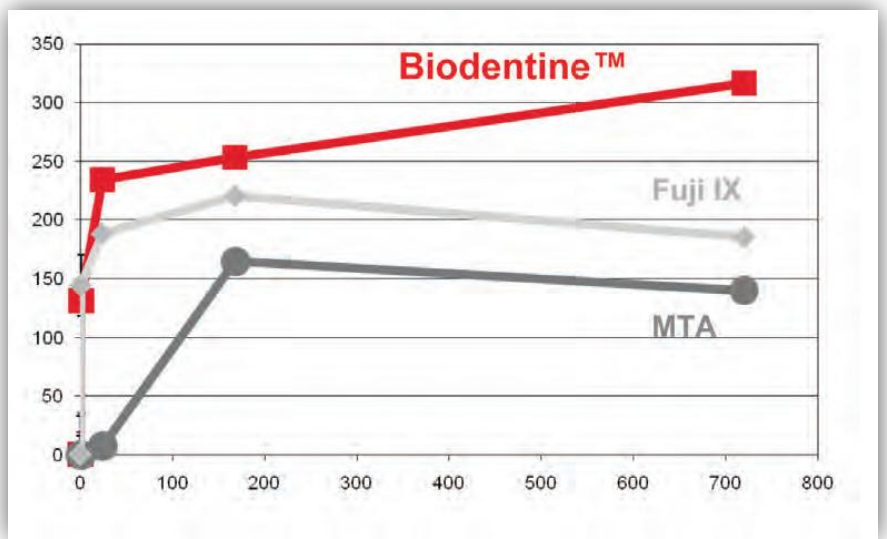


Fig.3-16 : Evolution de la résistance à la compression après la prise du Biodentine™, Fuji IX® et ProRoot MTA® *[111] (Septodont SRD)*

Le Biodentine™, pendant la première heure, voit sa résistance à la compression augmenter fortement jusqu'à atteindre 100 MPa.
Comme la densité du matériau s'améliore avec le temps, la résistance mécanique va elle aussi s'améliorer, jusqu'à atteindre une valeur de 300 MPa au bout d'un mois, ce qui est similaire à la résistance à la compression de la dentine (297 MPa) *[118] (O'Brien); [119] (Goldberg) ; [111] (Septodont SRD).* Cette valeur devient totalement stable. Ce processus de maturation peut être en rapport avec la diminution de la porosité dans le temps *[111] (Septodont SRD).*

Le CVI testé a une résistance équivalente au Biodentine™ au bout d'une heure, mais sans augmentation au fil du temps. Le ProRoot MTA® n'a pas de résistance mécanique après 24h et cette résistance va progresser et atteindre un maximum de 150 MPa après une semaine *[111] (Septodont SRD).* Au bout de 7 jours pour Biodentine™, la résistance à la compression est suffisante pour permettre tous les traitements préparatoires avant la mise en place d'une obturation définitive directe ou indirecte (préparation à l'aide d'instruments rotatifs, prise d'empreinte, mordançage acide…) *[120] (Koubi).* **(Fig.3-17).**

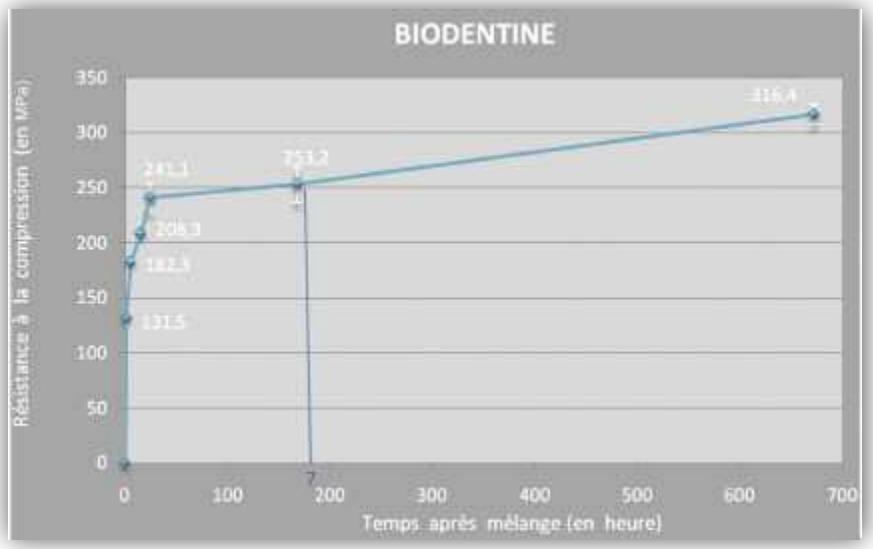


Fig. 3-17. : Évolution de la résistance à la compression de Biodentine™ en fonction du temps. *[120] (Koubi)*

Le temps 0 correspond au début du malaxage

Grech et al ont comparé la résistance à la compression de Biodentine™ avec plusieurs ciments, après immersion dans une solution saline HBSS pendant 28 jours *[117] (Grech).* Ces conditions permettent également de simuler le milieu buccal. La résistance à la compression obtenue dans ces conditions est de 67 MPa environ, valeur significativement supérieure aux autres matériaux testés dans l'étude **(Fig.3-18).**

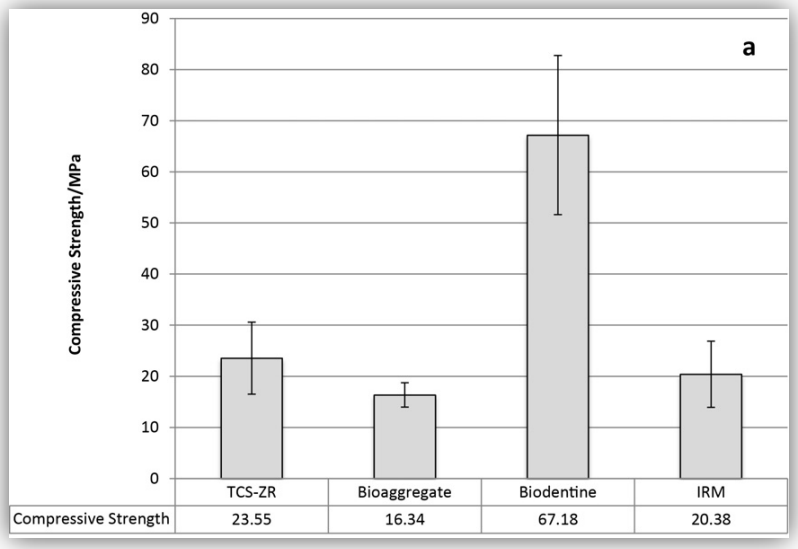


Fig. 3-18 : Résistance à la compression des différents matériaux après immersion dans une solution HBSS pendant 28 jours *[117] (Grech)*

3.3.2.3.6.3. Résistance à la flexion

Plus la résistance d'un matériau à la flexion est importante, moins le risque de fracture est important. Biodentine™ présente une résistance à la flexion de l'ordre de 34 MPa, ce qui est proche des CVI (5-25 MPa), mais très loin de la dureté des résines composites (61-182 MPa) *[111] (Septodont SRD).*

3.3.2.3.6.4. Dureté Vickers

Les tests de micro-dureté Vickers permettent d'évaluer la dureté du matériau dans le temps et dans des solutions simulant le milieu buccal. Des mesures sont faites à différents moments. La dureté augmente dans le temps après une immersion dans l'eau distillée des ciments testés. Après 2 heures de compression, on observe une dureté Vickers de 51 unités pour Biodentine™. Cette dureté augmente à 69 unités au bout d'un mois. Cette progression est due à la formation continue de gel CSH qui va diminuer la porosité du matériau. Elle est de 36 unités pour le Ciment Verre Ionomère Modifié par Adjonction de Résine Fuji II et de 97 unités pour la résine composite.
Enfin, la dentine a une dureté Vickers de 60 à 90 unités *[118] (O'Brien),* ce qui est similaire au Biodentine™ *[111] (Septodont SRD).*

L'étude de ***Grech*** et al décrite plus haut, mesure une micro-dureté de 48,4 unités après immersion dans une solution saline pendant 28 jours, *[117] (Grech).* Là encore, la micro-dureté de Biodentine™ est supérieure aux autres matériaux, notamment le ciment au silicate tricalcique **(Fig.3-19).**

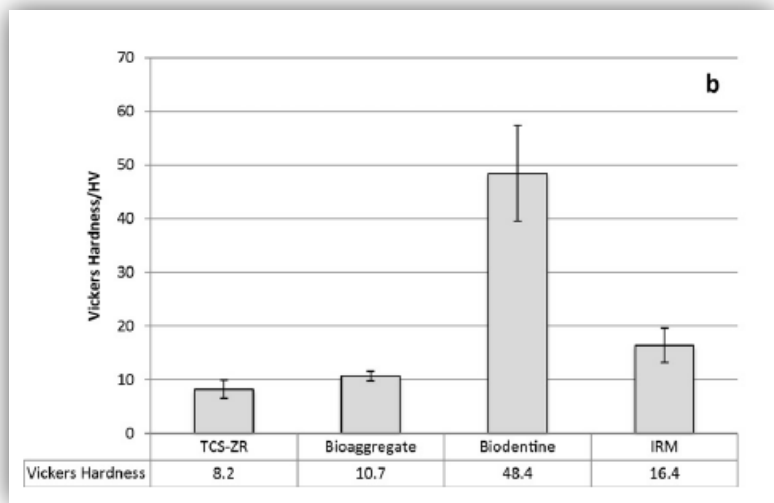


Fig. 3-19 : Micro-dureté Vickers de différents matériaux après immersion dans une solution HBSS pendant 28 jours
[117] (Grech)

3.3.2.3.6.5. Radio-opacité

Selon la norme ISO 6876:2001, les matériaux dentaires à visée d'obturation endodontique doivent avoir une radio-opacité équivalente à 3 mm d'aluminium. ***Tanalp*** *et al* ont comparé

la radio-opacité de Biodentine™, MTA Angelus® et MM-MTA®. Des échantillons de 10 mm de diamètre et de 1 mm d'épaisseur sont préparés dans un moule en acier inoxydable et conservés à 37°C jusqu'à la prise. Un disque de dentine de même épaisseur, issu de canines extraites sans tissus carieux, est utilisé comme témoin. Les cylindres sont placés à côté d'un échantillon d'Aluminium pur à 99,5% et du témoin de dentine naturelle, sur une plaque au Phosphore. *[121] (Tanalp).*
Le cliché est réalisé à l'aide d'un tube radiologique Trophy, avec un faisceau de 65kV et de 8mA et à une distance de 30 cm. Le film est scanné et les images converties par un logiciel (Digora®).

Tous les échantillons ont une radio-opacité supérieure à la dentine. Mais Biodentine™ a une radio-opacité inférieure aux deux autres matériaux *[122](Kaup).* De plus, elle est aussi légèrement inférieure à la radio-opacité obtenue par 3 mm d'aluminium. Le fait que cette opacité se rapproche davantage de la dentine que du MTA complique sa visibilité radiologique et rend plus difficile la visualisation radiographique d'une obturation *a retro* par exemple *[121] (Tanalp).*

3.3.2.3.7. PROPRIETES CHIMIQUES

3.3.2.3.7.1. Résistance aux acides

Une des principales propriétés, qui détermine la durabilité des ciments dans la cavité orale, est la résistance à la dissolution et à la désintégration en milieu acide et salivaire.
La cavité buccale peut avoir des conditions de pH acide liées à l'ingestion de nourriture acide ou bien à la suite de la désintégration de ces aliments (notamment polysaccharides) par les bactéries de la plaque dentaire. *[110] (Colon).* L'érosion acide est évaluée en mesurant chaque jour et pendant une semaine la perte de hauteur d'échantillons de Biodentine™ (2 mm de haut, 30 mm de diamètre) plongés dans une solution aqueuse de 0,02 mol/L d'acide lactique et de 0,1 mol/L de lactate de Sodium. Le pH est de 2,74. Un Microscope Electronique à Balayage a été utilisé pour observer la surface du matériau avant et après le vieillissement *[111] (Septodont SRD).*

Enfin, une mesure de la concentration de Silicium, de Zirconium, de Calcium et de Carbone inorganique dans de la salive artificielle de Meyer et Fusayama, contenant des Phosphates et de pH 5,3, va permettre d'évaluer la dissolution du matériau après 1, 2, 3 et 4 semaines.

Dans la solution acide au pH de 2,74, une érosion est observée pour le Biodentine™. Elle s'est faite de façon quasi linéaire avec au bout de 7 jours une profondeur érodée moyenne de 209 µm. Comparé aux résultats rapportés dans la littérature avec d'autres ciments de restauration à base d'eau tels que le Fuji II et le Ketac Fil, on constate que Biodentine™ est celui qui présente la plus faible érosion, Il est même 2 fois moins érodé que le Fuji II, mais plus faible qu'avec un CVI *[123](Nomoto).* **(Fig.3-20).**

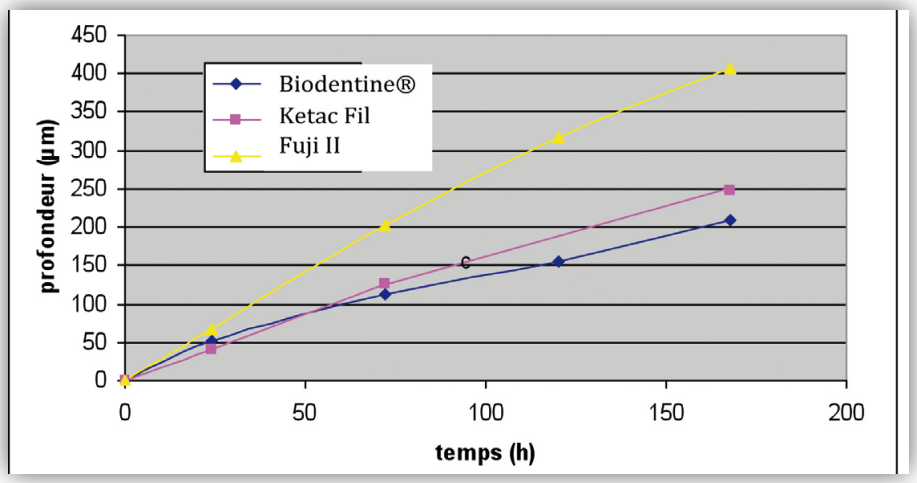


Fig. 3-20 : Comparaison de la profondeur d'érosion acide du Biodentine™ et de 2 CVI *[110] (Colon).*

Dans la salive artificielle, un dépôt blanc se forme à la surface de Biodentine™ et il n'y a pas d'érosion. Il y a même une augmentation de l'épaisseur des échantillons **(Fig.3-21).**

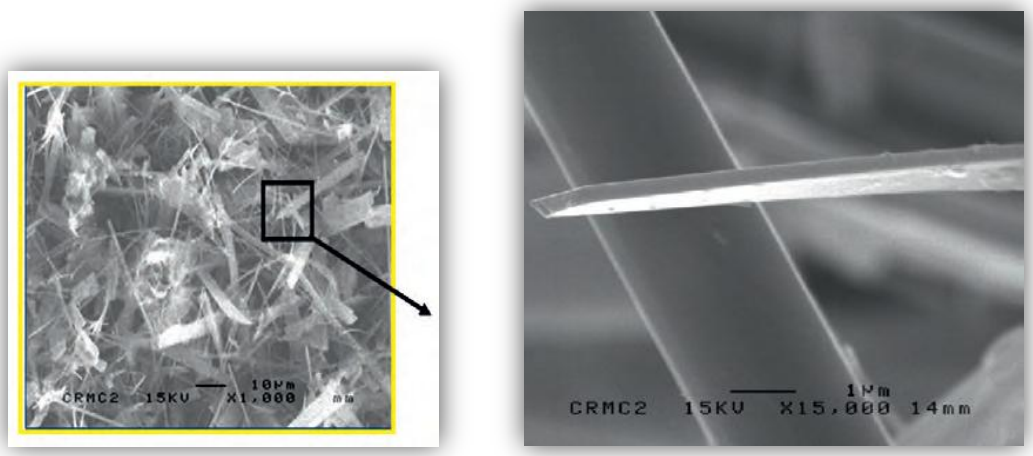


Fig. 3-21 : Aspect des précipités à la surface de Biodentine™ dans une solution salivaire artificielle *[111] (Septodont SRD).*

Leur composition évoque celle de l'hydroxyapatite

En présence d'apports exogènes d'ions Phosphates (milieu salivaire, fluides biologiques) et des ions Calcium en saturation, une apatite biologique cristallise au contact du matériau **(Fig.3-22).** Des controverses existent quant au type d'apatite formée : apatite carbonatée, hydroxycarbonate apatite *[107](Tay); [124](Reyes-Carmona);[125] (Han).* Des analyses en diffractions X ou de neutrons ont montré qu'il s'agissait d'hydroxyapatite *[126](Ouladdiaf).*

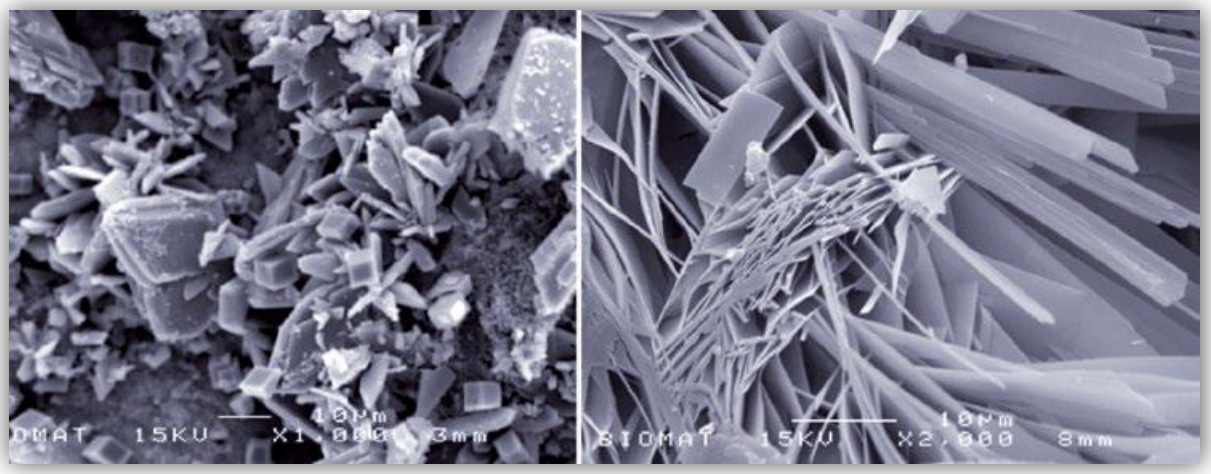


Fig. 3-22 : Morphologie des cristaux retrouvés à la surface de Biodentine™ en présence de solution phosphate *[51] (Semennikova)*

L'adhérence, l'étanchéité, la résistance à l'érosion et l'adaptation marginale s'améliorent donc dans le temps. *[117] (Grech); [126](Ouladdiaf).* Ce dépôt se formant à la surface du matériau est responsable de la fermeture d'éventuels défauts d'étanchéité ou d'un potentiel de reminéralisation à l'interface dentine-matériau *[127](Bozeman);[128](Aggarwal); [129](Watson)*

Le Microscope Electronique à Balayage montre une structure de cristaux en aiguilles, qui rappellent l'apatite. La diffraction aux rayons X confirme cette nature de type apatite, avec un ratio Calcium/Phosphate de 1,6. Cela correspond à l'analyse de la concentration d'éléments dans la salive artificielle au cours du temps. En effet, la concentration en ions Calcium diminue au fur et à mesure du dépôt de cristaux sur le matériau. Ces dépôts sont aussi observables avec des matériaux de type MTA *[110] (Colon); [111] (Septodont SRD)* **(Fig.3-23).**

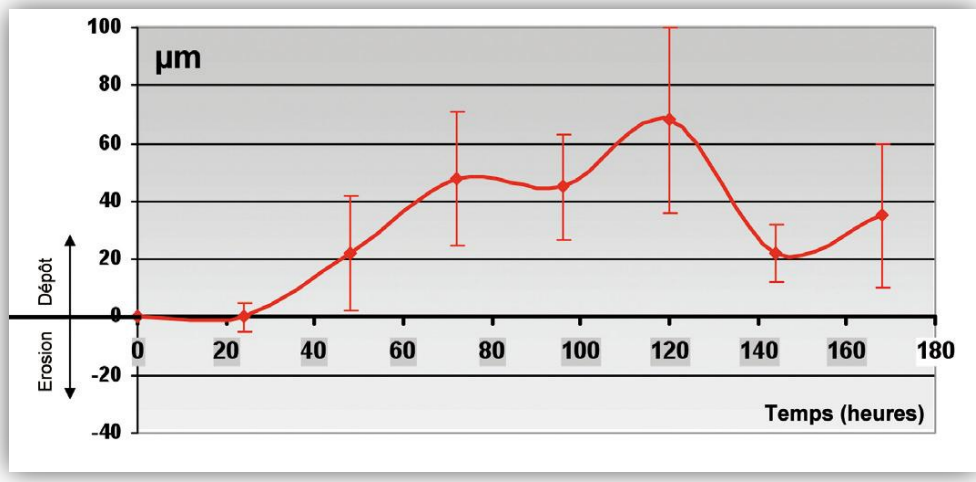
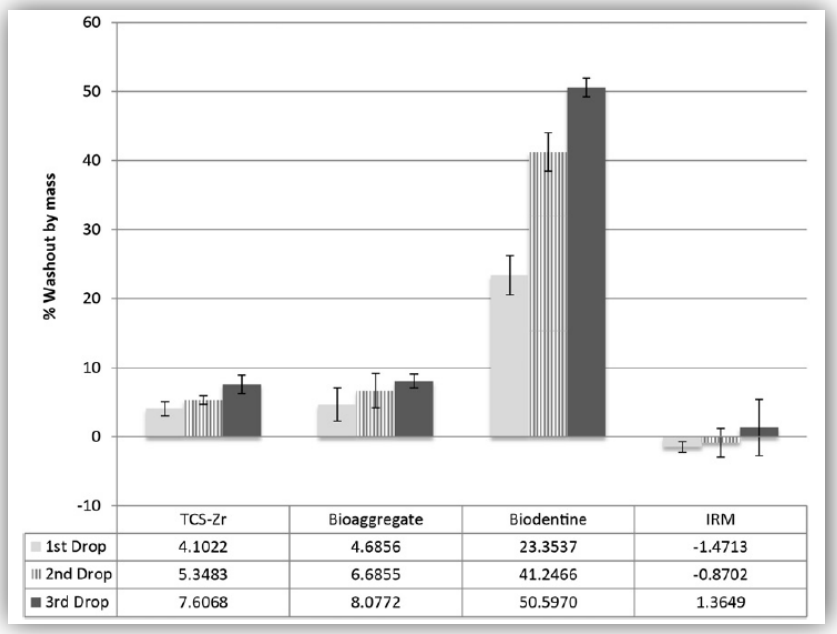


Fig. 3-23 : Évolution de la hauteur de Biodentine™ (µm) en fonction de la durée d'incubation dans la salive reconstituée *[110] (Colon); [111] (Septodont SRD)*

3.3.2.3.7.2. Résistance à l'exposition immédiate aux fluides

L'étude de ***Grech*** et al décrite précédemment porte également sur la résistance à l'exposition immédiate à l'eau. Cette propriété décrit la tendance d'un ciment fraîchement préparé à se désagréger après une première exposition au sang ou à d'autres fluides *[104] (Wang).*

Un (1) g du matériau à tester est placé dans un cylindre de laiton tressé dont le poids a été pesé précisément. Puis le tout est immergé 15s dans un tube à essai avec 120 mm d'eau distillée. L'ensemble cylindre/matériau est ensuite égoutté pendant 2 minutes et l'eau résiduelle est éliminée à l'aide de papier absorbant, puis l'échantillon est pesé. L'ensemble est plongé puis ressorti du tube trois fois. *[117] (Grech).*Le test est réalisé deux fois par matériau. Le résultat est exprimé en perte de masse par rapport au poids initial **(Fig.3-24).**



	TCS-Zr	Bioaggregate	Biodentine	IRM
1st Drop	4.1022	4.6856	23.3537	-1.4713
2nd Drop	5.3483	6.6855	41.2466	-0.8702
3rd Drop	7.6068	8.0772	50.5970	1.3649

Fig.3-24 : Résistance à l'immersion immédiate dans l'eau après une, deux et trois immersions. *[117] (Grech)*

D'après ce test, Biodentine™ tend à perdre sa cohésion lors d'une exposition à l'eau pendant sa prise, plus que les autres produits étudiés. Une isolation du site opératoire semble donc nécessaire avant utilisation de Biodentine™, du moins pendant la réaction de prise du matériau *[117] (Grech)*

3.3.2.3.7.3. Résistance aux micro-infiltrations

Les interfaces développées entre Biodentine® et les surfaces dentaires (émail et dentine) ou les systèmes adhésifs sont très résistantes à la micro-infiltration, avec ou sans prétraitement à l'acide polyacrylique. **(Fig.3-25)**

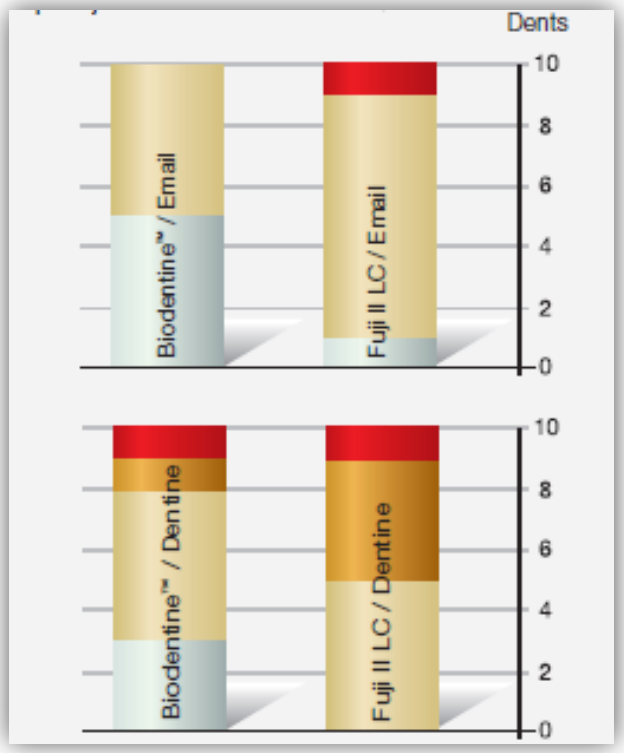


Fig. 3-25 : Haute résistance à la micro-infiltration de Biodentine *[130] (Dhuru)*

Biodentine® présente une meilleure résistance aux infiltrations que le Fuji II LC sur les interfaces émail et dentine. Donc, Biodentine® est indiquée dans les restaurations de classe II par sandwich ouvert sans aucun traitement préalable *[111] (Septodont SRD)*

3.3.2.3.7.4. Biocompatibilité

Les Ciments Silicates de Calcium sont des dispositifs médicaux de classe III considérés comme des matériaux implantables. Si la biocompatibilité du MTA n'est plus à démontrer *[102] (Torabinejad)*, les différents tests précliniques sur Biodentine™ montrent une absence de cytotoxicité, de mutagénicité et de génotoxicité, une biocompatibilité comparable à celles du MTA *[131](Attik)* et une évidente bioactivité *[132](Laurent).*

En effet, la biocompatibilité de Biodentine a été étudiée et évaluée par des tests selon la norme ISO 7405-2008 *[111] (Septodont SRD))*

3.3.2.3.7.4.1. Cytotoxicité

Plusieurs études ont été menées pour mesurer la cytotoxicité de Biodentine™.

La première compare les effets de Biodentine™, de ProRoot MTA® et d'Hydroxyde de Calcium sur des fibroblastes humains issus de pulpe de dents de sagesse. Les résultats montrent que le Biodentine™ et le MTA ne sont pas cytotoxiques, contrairement à l'Hydroxyde de Calcium qui affecte 22% des fibroblastes. L'expression de certaines protéines par les fibroblastes (collagène, sialoprotéine dentinaire (DSP) et ostéonectine (OSN)) ont été observées au contact de Biodentine™ et du MTA, après 4 semaines d'exposition des matériaux aux cellules **(Fig.3-26)** *[133](About)*; *[111] (Septodont SRD)*

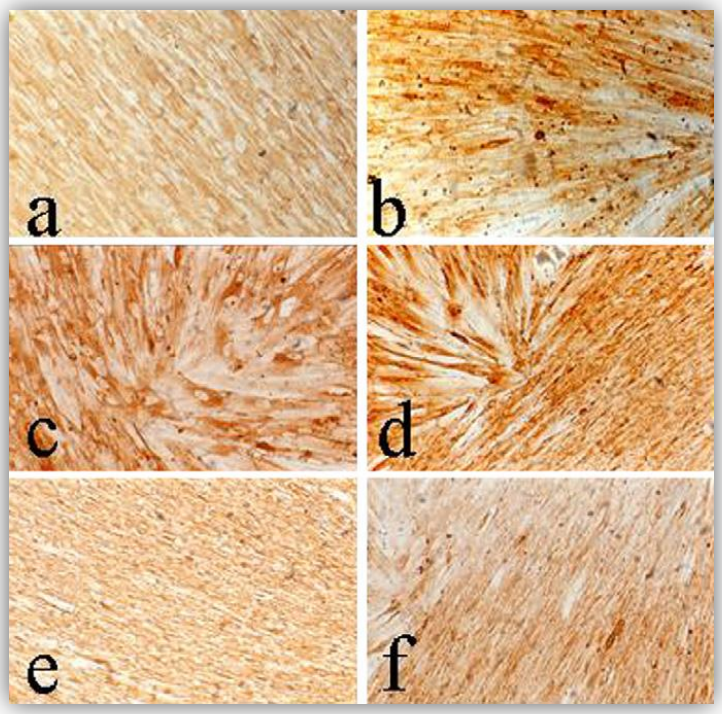


Fig. 3-26 : Expression de collagène (gauche) et de DSP (droite) après contact avec Biodentine™ (c, d) et MTA (e, f).
Le groupe contrôle est visible en a et b *[133](About)*

La deuxième étude consiste à exposer le Biodentine™, le MTA et la résine composite Filtek™ Z250 à des fibroblastes. Les échantillons sont extraits au bout de 3h, 24h et 7 jours après la mise en place des matériaux. La survie des cellules est mesurée. Biodentine™ n'a pas de toxicité et ce indépendamment de la durée d'exposition des cellules au matériau *[134](Franquin); [111] (Septodont SRD)*

***Laurent** et al*. ont comparé la cytotoxicité de Biodentine™ à d'autres matériaux utilisés pour le coiffage pulpaire : MTA et Hydroxyde de Calcium (Dycal®) *[132](Laurent).* Avec une interposition de dentine, aucun de ces matériaux n'est cytotoxique mais sans interposition, le Dycal® est cytotoxique, contrairement au Biodentine™ *[111] (Septodont SRD).* Ainsi, ces études montrent l'absence de cytotoxicité de Biodentine™ au contact de fibroblastes pulpaires et de cellules pulpaires spécialisées et que l'expression des protéines fibroblastiques pulpaires n'est pas altérée. (**Tableau 3-6)**

Tableau 3-6 : Fibroblaste (%) morts après contact direct avec Dycal®, MTA et Biodentine™	
Matériau	**% fibroblastes morts**
Biodentine	**0 ± 8**
MTA	**0 ± 9**
$Ca(OH)_2$	**22 ± 10**

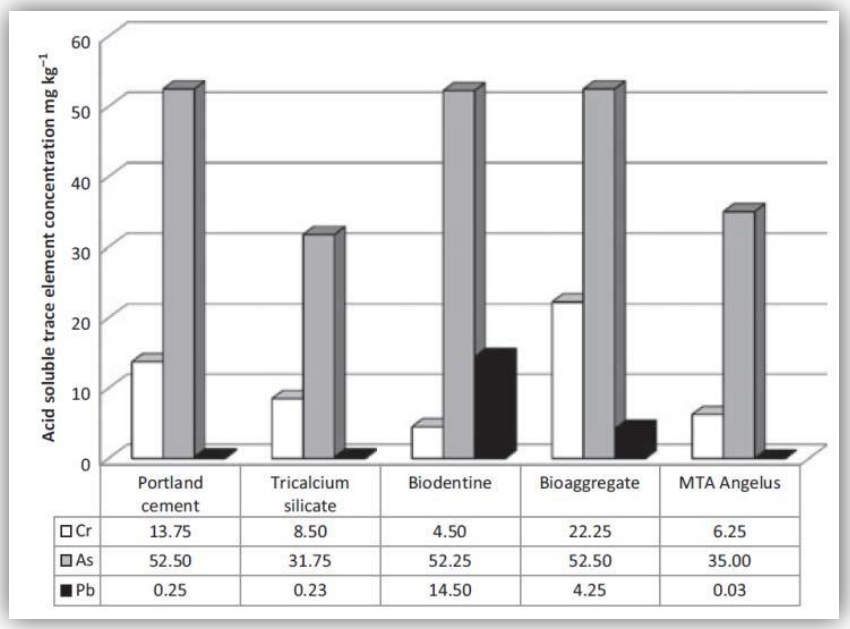
[111] (Septodont SRD) ; [132] (Laurent)

De plus, les fibroblastes pulpaires sont capables de se différencier en cellules odontoblastiques après contact avec Biodentine® lorsqu'ils sont mis en culture avec du ß-glycérophosphate *[132] (Laurent).*

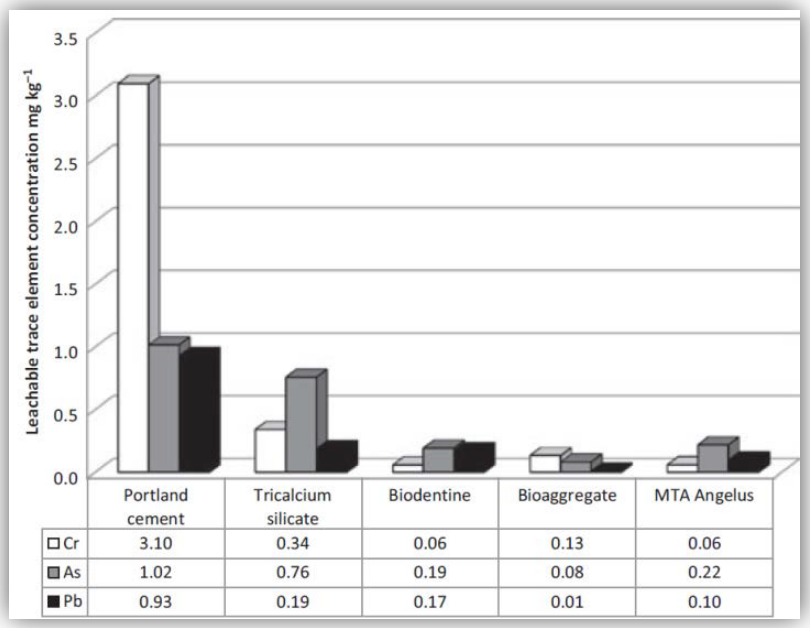
3.3.2.3.7.4.2. Relargage de métaux

Le relargage de certains métaux par Biodentine™ a été étudié, conjointement avec le MTA Angelus® *[135](Camillieri).* Dans cette étude, le taux de relargage d'Arsenic, de Plomb et de Chrome a été mesuré dans une solution acide, puis dans une solution neutre.

D'abord, les poudres et les liquides des matériaux ont été mesurés par spectrométrie de fluorescence X. Ensuite, des échantillons de chaque matériau ont été préparés et placés en incubation à 37°C pendant 24h, puis réduits en poudre et mélangés à une concentration de 50ml d'acide chlorhydrique à 2,4 mol/L, pour 2 grammes de matériau. Après 16h d'incubation, la solution est passée en centrifugeuse puis les concentrations en Arsenic, Plomb et Chrome ont été mesurées par spectrométrie de masse. Ces concentrations sont également mesurées dans 10 ml d'une solution saline équilibrée, servant de témoin, à 37°C pendant 28 jours **(Fig.3-27].**



	Portland cement	Tricalcium silicate	Biodentine	Bioaggregate	MTA Angelus
Cr	13.75	8.50	4.50	22.25	6.25
As	52.50	31.75	52.25	52.50	35.00
Pb	0.25	0.23	14.50	4.25	0.03



	Portland cement	Tricalcium silicate	Biodentine	Bioaggregate	MTA Angelus
Cr	3.10	0.34	0.06	0.13	0.06
As	1.02	0.76	0.19	0.08	0.22
Pb	0.93	0.19	0.17	0.01	0.10

Fig. 3-27 : Libération d'éléments métalliques dans une solution acide et tampon *[135](Camillieri).*

Les résultats montrent que la présence d'éléments tels que le Plomb, le Chrome et l'Arsenic est très faible dans des conditions simulant le milieu buccal, ce qui permet donc l'utilisation de ces matériaux au contact des tissus humains *[135](Camillieri).*

3.3.2.3.7.4.3. Relargage d'ions Silicium et Calcium

Les ions Calcium et un pH alcalin auraient un effet positif sur la formation de tissus durs. L'induction de la formation de tissus durs par les ions Silicium est encore mal décrite, bien qu'ils aient un rôle supposé dans la calcification osseuse *[136](Patel).* Ces ions induisent aussi la reminéralisation de la dentine *in vitro* *[137](Saito).*

Une étude a évalué la capacité de Biodentine™ et d'autres ciments au Silicate de Calcium à libérer ces ions : ProRoot MTA® et EndoSequence® *[138](Han).* Des disques de racines de dents humaines sont sectionnés sur 3 mm d'épaisseur, puis nettoyés et débarrassés de la pulpe. Les matériaux sont ensuite placés dans le canal pulpaire. Les échantillons (20 par matériau et 5 témoins) sont placés pendant 4h dans un milieu à 100% d'humidité avant d'être placés dans une solution saline tampon. Les précipités à la surface des matériaux sont récupérés après 14 jours dans la solution PBS puis observés et analysés avec un Microscope Electronique à Balayage.

Les interfaces dentine/matériau ont aussi été analysées de la même façon, pour mesurer la profondeur du relargage d'ions dans les canalicules dentinaires. D'autres échantillons, 5 par matériau, ont été préparés puis placés dans 10mL d'eau distillée. Les concentrations en Silicium et Calcium dans l'eau distillée ont été mesurées de 0 à 168h (7jours). Ces analyses montrent un plus grand relargage de ces ions par Biodentine™ et une pénétration plus profonde du matériau dans les canalicules dentinaires.

Ce phénomène va permettre au matériau une liaison sans préparation avec la dentine, comme expliqué plus bas.

***Khan** et al*. ont mesuré le pH de Biodentine™ ainsi que sa capacité à libérer des ions Calcium, en comparaison avec du ProRoot MTA® et du MTA gris. Les échantillons ont été placés dans des tubes en plastique remplis d'eau distillée. Le pH avant immersion est de 6,8 et aucun ion Calcium n'est présent. Les mesures ont été réalisées après immersion de 3 heures, 6 heures et 7 jours. Biodentine™ a un pH de 9,1 environ qui décroit à 8 au bout de 7 jours. De même, le relargage d'ions Calcium décroit lentement *[139](Khan).* La réaction de prise du matériau, qui génère de l'Hydroxyde de Calcium, explique ce pH alcalin, ainsi que la libération d'ions *[140](Koubi).*

3.3.2.3.8. PROPRIETES BIOLOGIQUES

3.3.2.3.8.1. Liaison à la dentine

Il a été observé que les ciments à base de Silicate de Calcium interagissent avec la dentine pour s'y lier sans préparation préalable. Ils vont ainsi pénétrer dans les canalicules dentinaires pour renforcer cette liaison. Les relargages d'ions précédemment décrits semblent jouer un grand rôle dans cette liaison.

Une étude a comparé l'interaction avec la dentine d'un CVI et Biodentine™ *[141](Atmeh).* Des cavités occlusales ont été préparées sur 49 dents humaines. Ces dents sont nettoyées par ultrasons pendant 5 min. 31 cavités sont obturées avec Biodentine™ et 18 avec le CVI, sans mordançage préalable. Puis, les échantillons sont placés en incubateur à 37°C pendant 24h avant d'être sectionnés pour l'observation au microscope.
10 disques de dentine sont préparés avec d'autres dents extraites, 5 sont mis en contact avec Biodentine™ et les 5 autres avec le CVI. Les disques sont plongés 4 jours dans de l'eau distillée à 37°C avant d'être sectionnés perpendiculairement à l'interface dentine/matériau. Avant l'observation, les échantillons sont séparés en plusieurs groupes.

- Dans le premier groupe, une solution de 0,25% de Rhodamine B est placée dans la cavité pulpaire ouverte des échantillons obturés par Biodentine™ (n=10) et par le CVI (n=5). Ces échantillons sont placés en environnement humide pendant 3h pour laisser la Rhodamine B pénétrer à travers l'interface.
- Dans le second groupe, Biodentine™ (n=10) et le CVI (n=5) sont mélangés avec 1 mg de fluorescéine avant d'être appliqués dans les cavités. Un MEB permet d'observer la structure de l'interface dentine/matériau.

Un microscope confocal est utilisé pour observer le premier groupe et un microscope confocal à balayage Laser le second groupe. Un groupe sans ajout de produit fluorescent est aussi préparé, seulement avec les ciments comblant la cavité dentinaire (5 échantillons par ciment). Un microscope à fluorescence est utilisé pour l'observation de ces échantillons. Enfin, un dernier groupe (n=6 pour Biodentine™ et n=3 pour le CVI) est placé 8 jours dans de l'eau distillée à 37°C. Ce groupe est analysé par micro-spectroscopie Raman **(Fig.3-28, 3-29).**

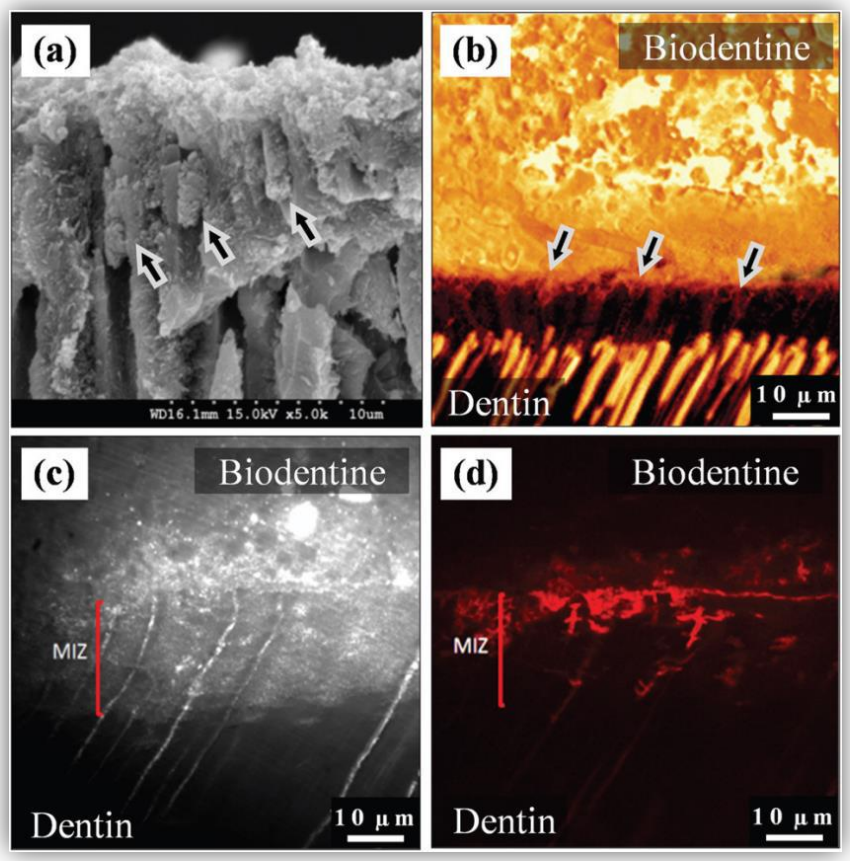


Fig. 3-28 : Vue au MEB montrant la pénétration de Biodentine™ dans les canalicules dentinaires, *[141](Atmeh)*

(a) Ici le matériau est fracturé. (b) Image fluorescente au Microscope Confocal montrant les mêmes structures. (c) Zone d'infiltration minérale (MIZ) au Microscope TSM. (d) Infiltration de rhodamine-B observée par Fluorescence

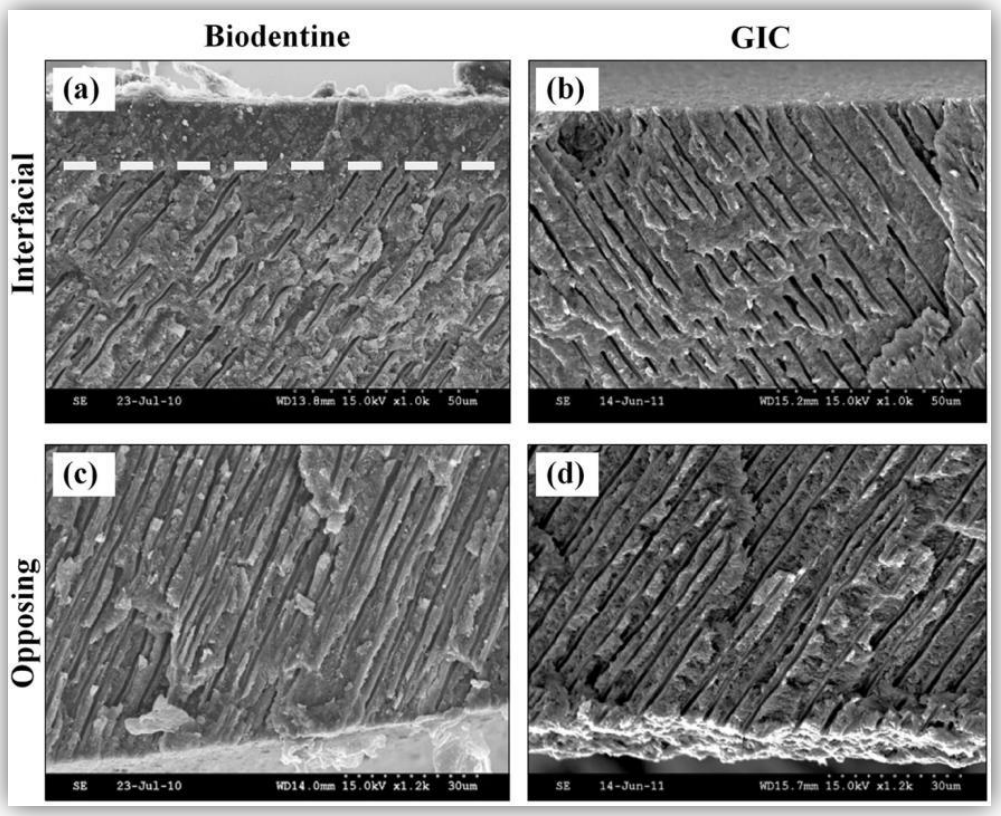


Fig.3-29 : Observation au MEB de l'interface avec la dentine (a et b) et au côté opposé (c et d), pour le Biodentine™ (gauche) et le CVI (droite) *[141](Atmeh)*

Les images au Microscope montrent une bande fluorescente entre Biodentine™ et la dentine, mais moins évidente au niveau de l'interface CVI/dentine. Cette bande de 5 à 15 µm, le long de l'interface Biodentine™/dentine, est révélatrice d'une modification des propriétés fluorescentes du collagène de la dentine. Avec de la Rhodamine B dans la chambre pulpaire, on observe une infiltration dans les canalicules dentinaires et dans l'interface au niveau du matériau, mais très peu dans la dentine intertubulaire.

Enfin, par analyse au MEB, la bande de dentine altérée se retrouve au contact du Biodentine™, mais pas au contact du CVI. Sur cette bande, les canalicules sont oblitérés.

L'analyse spectrométrique montre une pénétration des deux matériaux dans la dentine : du Carbonate de Calcium et de l'Hydroxyde de Calcium pour Biodentine™ et des sels d'acide polyacrylique et tartrique pour le CVI. Cette pénétration se fait sur une distance d'une cinquantaine de microns pour les deux matériaux. Ces observations sont expliquées par la structure et la réaction de prise de Biodentine™. En effet, pendant ce temps de prise, le gel CSH non cristallisé va pénétrer dans les canalicules jusqu'à sa précipitation. L'apparition d'une bande fluorescente, appelée zone d'infiltration minérale (MIZ), est expliquée par le changement des propriétés optiques de la dentine. Le pH élevé de l'Hydroxyde de Calcium libéré par la réaction de prise va dénaturer le collagène dentinaire.

Cet effet est beaucoup moins important au niveau de la dentine péritubulaire, plus minéralisée *[141](Atmeh).*

D'autres images au MEB à fort grossissement confirment cette présence de structures minéralisées au sein des canalicules *[119] (Goldberg)* ,**(Fig.3-30).**

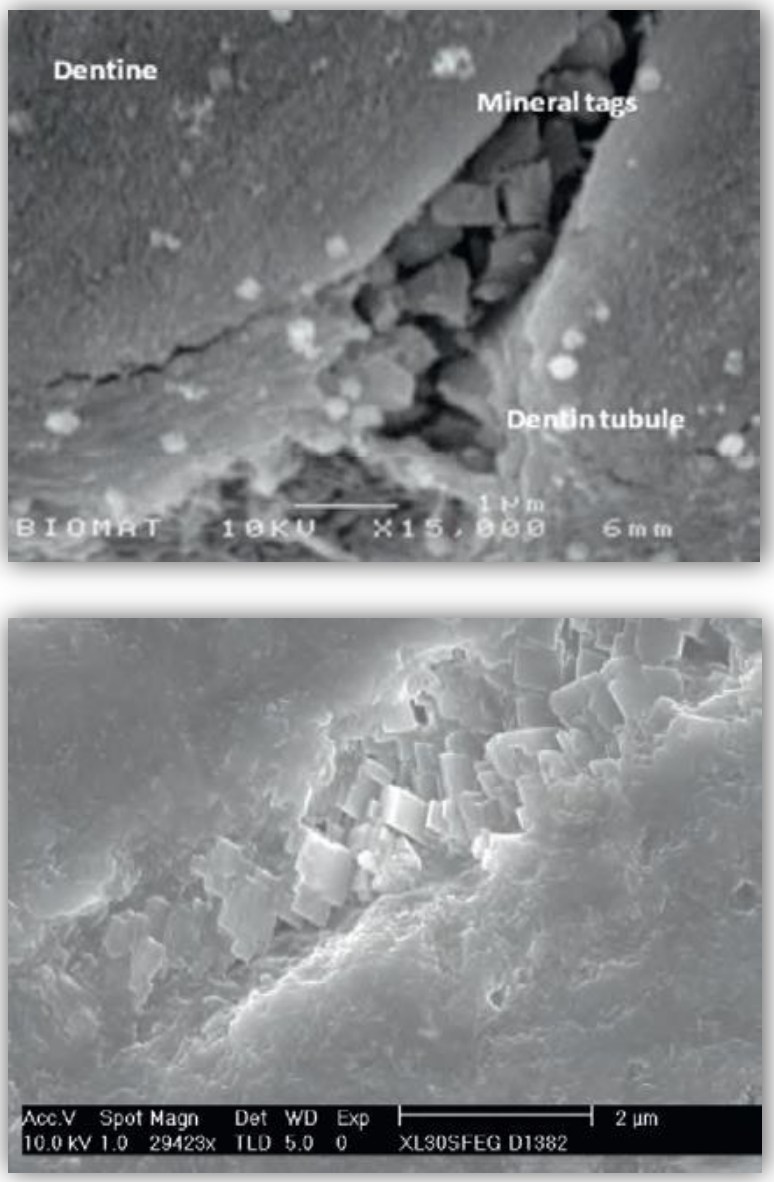


Fig. 3-30 : Observation au MEB de l'Interface Biodentine™/dentine *[119] (Goldberg)*

C'est donc le pH alcalin du matériau pendant sa réaction de prise et la pénétration du matériau dans les canalicules dentinaires qui vont permettre au Biodentine™ d'avoir une étroite interaction avec la dentine.

3.3.2.3.8.2. Stimulation de la dentinogénèse

Un modèle de culture a été créé pour observer les différentes étapes de la régénération dentinaire après exposition pulpaire. Des troisièmes molaires immatures ont été extraites et placées dans un milieu de culture, l'ouverture de l'apex permettant aux nutriments du milieu de passer de façon plus efficace que pour un apex mature édifié. Un marqueur, le 5-bromo-20-désoxyuridine (BrdU) est placé dans le milieu de culture pendant un jour le temps qu'il se fixe sur les cellules progénitrices pulpaires.

Au bout de deux semaines, par observation au microscope optique, ces cellules sont trouvées dans les vaisseaux sanguins aux alentours de la cavité d'exposition. Puis au bout de 4 semaines, elles sont retrouvées sous la cavité. Dans les échantillons de dents témoins avec ou sans cavité dentinaire et sans exposition pulpaire, un tel recrutement de cellules progénitrices dans les vaisseaux ne se produit pas *[142](Téclès)* **(Fig.3-31)**

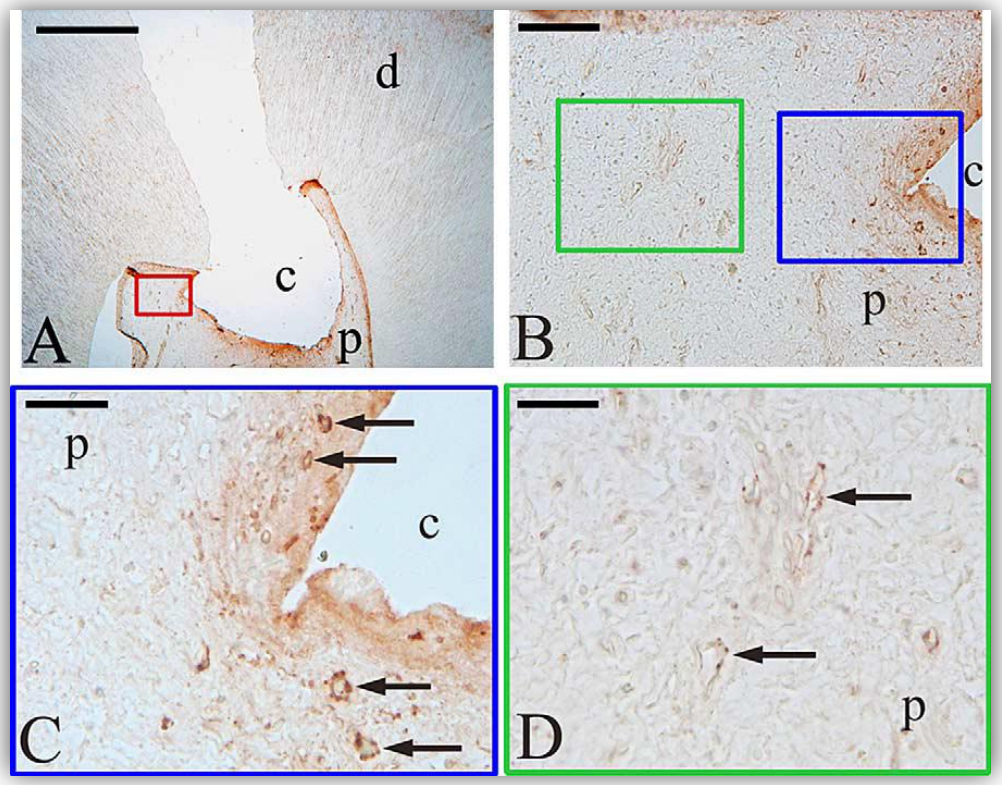


Fig. 3-31 : Observation au Microscope Optique de la migration des cellules progénitrices *[142](Téclès)*

c : cavité, d dentine, p ; pulpe

***Laurent** et al*. ont utilisé ce type de modèle de culture pour comparer la capacité de Biodentine™, ProRoot MTA® et la résine composite (Xeno III®) à stimuler la dentinogénèse par coiffage pulpaire direct et plus précisément à stimuler la sécrétion de facteur de croissance TGF-β1 *[143](Laurent).* Les dents extraites ont été placées dans un milieu de culture enrichi en antibiotiques.

Sur chaque dent, une perforation pulpaire est réalisée et du matériau placé en coiffage. Puis les dents sont surveillées pendant 2, 14 et 28 jours (5 dents par groupe), en changeant le milieu de culture chaque jour.

Pour observer la différentiation des cellules pulpaires et évaluer la synthèse de dentine réparatrice, des anticorps marqués ont été ajoutés au tissu dentaire avant son sectionnement pour observation au Microscope Optique. Ces anticorps sont dirigés contre des protéines témoignant de ces phénomènes : le collagène de type I, l'ostéonectine, la sialoprotéine dentinaire et la nestine, qui sont des protéines caractéristiques de la matrice extracellulaire dentinaire *[144](About).* Le marqueur sera ensuite révélé chimiquement avant observation. Des anticorps anti TGF-β1 ont été utilisés pour quantifier cette molécule avec la méthode ELISA. Cette méthode permet de quantifier des molécules en leur associant des anticorps marqués, dont la concentration sera mesurée par spectrophotométrie.

Deux jours après le coiffage pulpaire avec Biodentine™, pour 2 échantillons sur 5, la coloration à l'hématoxyline/éosine révèle dans la pulpe des nodules de minéralisation, petits et denses, juste sous le matériau. Ces nodules sont observés dans tous les échantillons à partir de 14 à 28 jours, plus nombreux et plus gros. De petites cavités remplies de cellules sont présentes dans les nodules. Les protéines dentinaires marquées sont observées en grande quantité aux environs de ces nodules.

La nestine est fortement présente dans les cellules au centre des nodules. Biodentine™ stimule donc fortement la sécrétion de TGF-β1, indépendamment de la surface de biomatériau en contact avec la pulpe. Cette sécrétion est également observée avec le MTA, mais moins avec la résine *[143](Laurent)* **(Fig.3-32)**

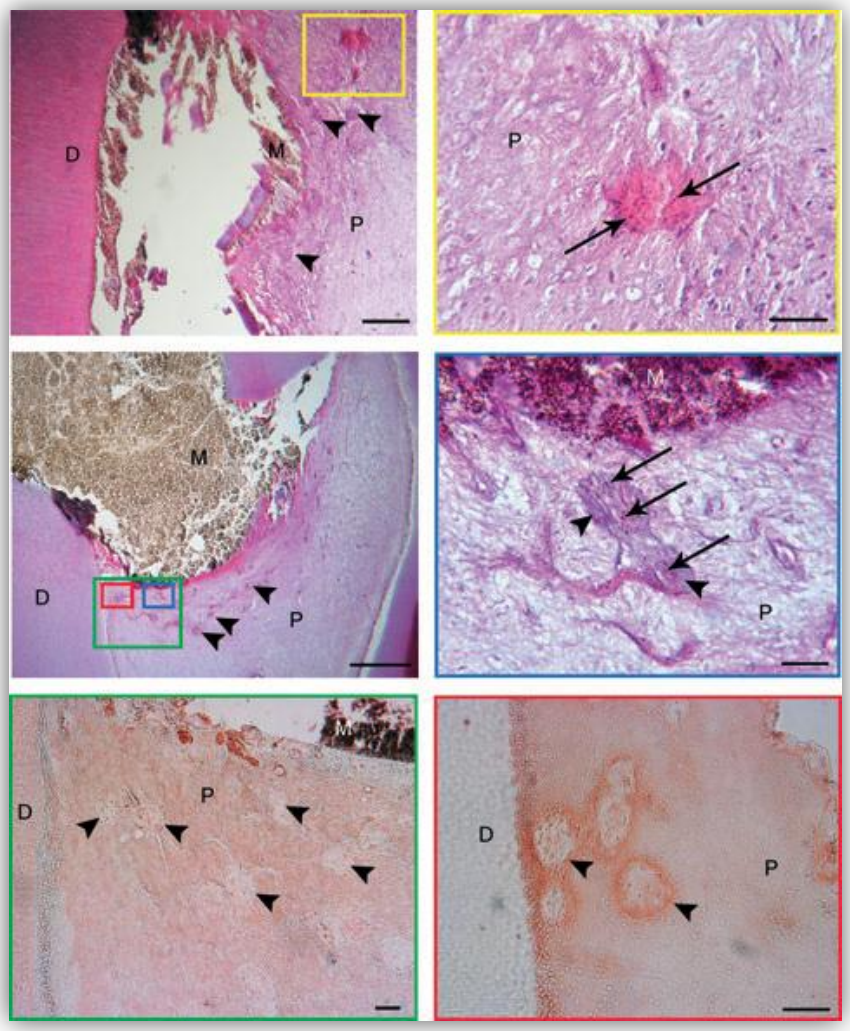


Fig. 3-32 : Observation au Microscope Optique de nodules de minéralisation au contact de Biodentine™, *[143](Laurent)*

Les flèches montrent les nodules. 2 jours après exposition, 14 jours après exposition. D : dentine, P : pulpe, M : matériau

Cette expérience montre que la dentinogénèse réparatrice induite par Biodentine™ est similaire à celle induite par le MTA et l'Hydroxyde de Calcium, ainsi qu'à la dentinogénèse réparatrice *in vivo*. Les molécules détectées dans les nodules de minéralisation sont révélatrices d'une réparation du tissu dentinaire. De plus, les particules de Biodentine™ semblent emprisonnées dans les nodules et non dans le tissu pulpaire ou dans des macrophages, comme c'est le cas avec des monomères de résine *[145](Kitasako).* Biodentine™ semble ainsi être intégré par les cellules pulpaires.

A propos des mécanismes de déclenchement de cette minéralisation du tissu pulpaire, seules des hypothèses peuvent être émises : le relargage d'ions Calcium et Silicium par des matériaux à base de silicate de Calcium semble stimuler la différenciation des cellules progénitrices pulpaires en odontoblastes, puis augmenter la sécrétion du facteur TGF-β1 *[143](Laurent)*

Une autre expérience de ***Laurent*** *et al*. a également permis d'étudier la différentiation des fibroblastes pulpaires en présence de Biodentine™. Des anticorps antinestine, anti-collagène de type I et anti-sialoprotéine dentinaire ont été utilisés pour observer les protéines dentinaires. Les échantillons de fibroblastes pulpaires ont été observés avant et après exposition au Biodentine™ et une expression plus importante des protéines dentinaires a été observée. *[143](Laurent).*

Enfin, ***Tran*** *et al*. ont étudié la formation de dentine tertiaire après coiffage pulpaire avec Biodentine™ *in vivo*, chez le rat. Du ProRoot MTA® et de l'Hydroxyde de Calcium mélangé à du sérum physiologique à 0,9% ont été utilisés en comparaison. 27 rats mâles ont été anesthésiés puis une cavité de 0,6 mm sur chaque première molaire a été réalisée, jusqu'à exposition pulpaire. Chaque cavité a été obturée par coiffage pulpaire avec Biodentine™, MTA ou Hydroxyde de Calcium. *[146](Tran).*

Les matériaux ont été recouverts de CVI. Puis les rats sont euthanasiés à 7, 14 et 28 jours. Les molaires sont prélevées puis préparées pour une observation au Microscope Optique. Des anticorps marqués sont utilisés pour observer l'expression de plusieurs molécules dentinaires : sialoprotéine dentinaire (DSP) et ostéopontine (OPN). Des zones nécrotiques sont observées au contact des matériaux, mais décroissent avec le temps, surtout au niveau des matériaux à base de Silicate de Calcium.

- Après 7 jours, pour les échantillons coiffés avec du MTA et Biodentine™, les fibres de collagène s'organisent en paquets au niveau du site d'exposition pulpaire.
- Après 2 semaines sur ces mêmes échantillons, une dentine réparatrice homogène est observée sous les matériaux en continuité avec la dentine adjacente. Le tissu pulpaire sous-jacent ne présente plus de cellules inflammatoires ou nécrosées. Dans le groupe d'échantillons à 7 jours, on peut observer une concentration de DSP et d'OPN au niveau des paquets de fibrilles de collagène, sous Biodentine™.
- Enfin, dans les échantillons prélevés à 14 jours, des cellules polarisées contenant ces deux molécules sont observées sous le matériau. **(Fig.3-33)**

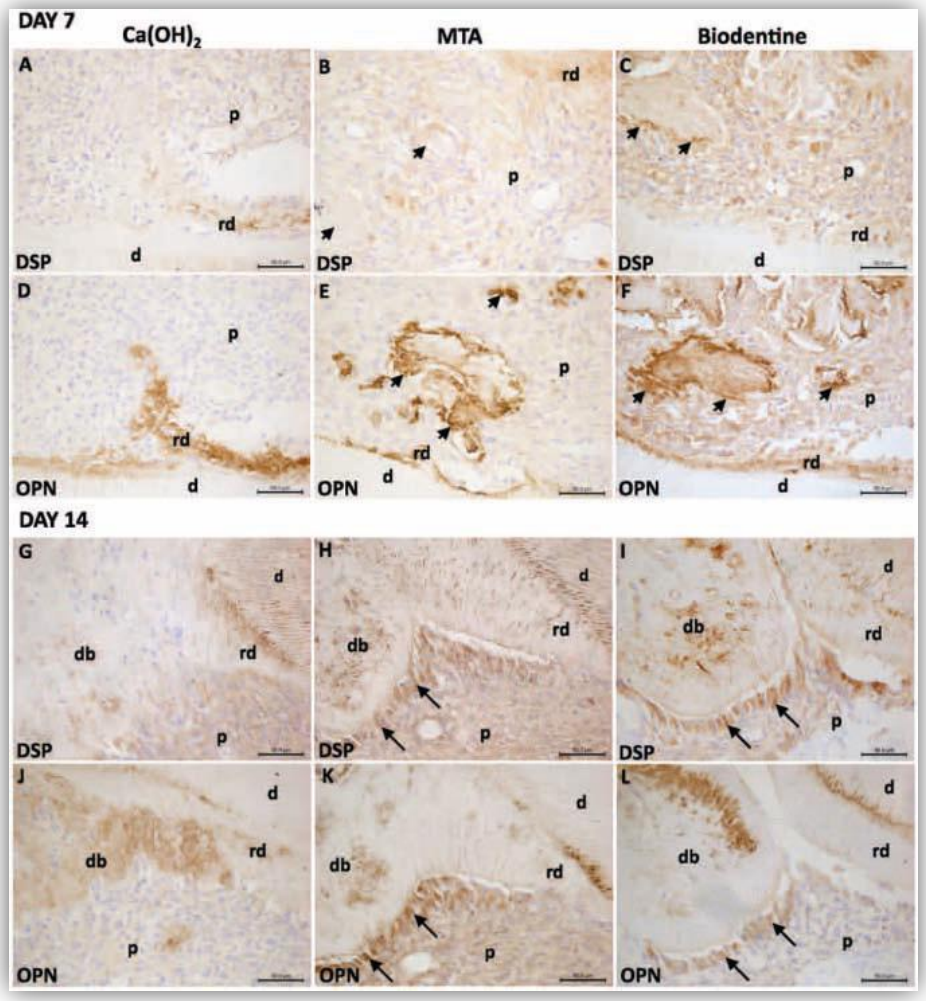


Fig. 3-33 : Observation au Microscope Optique de l'expression de DSP et OPN au contact des trois matériaux, à 7 et 14 jours *[146](Tran)*

Les flèches correspondent aux cellules positives aux molécules correspondantes.
P : pulpe, d : dentine, db : pont dentinaire, rd : dentine réactionnelle

La dentine réparatrice sécrétée sous le matériau reste localisée au site d'agression. Cette dentine présente des canalicules et les cellules sont polarisées, comme des odontoblastes et sécrètent des DSP.

Les cellules nécrotiques présentes sur les échantillons prélevés au 7ème jour sont dues au pH alcalin de l'Hydroxyde de Calcium libéré par la réaction de prise de Biodentine™. Ce relargage alcalin diminue avec le temps, au fur et à mesure du durcissement *[146](Tran).*
Ainsi, dans un organisme vivant, Biodentine™ semble biocompatible et tout à fait utilisable pour un coiffage pulpaire direct **(Fig.3-34).**

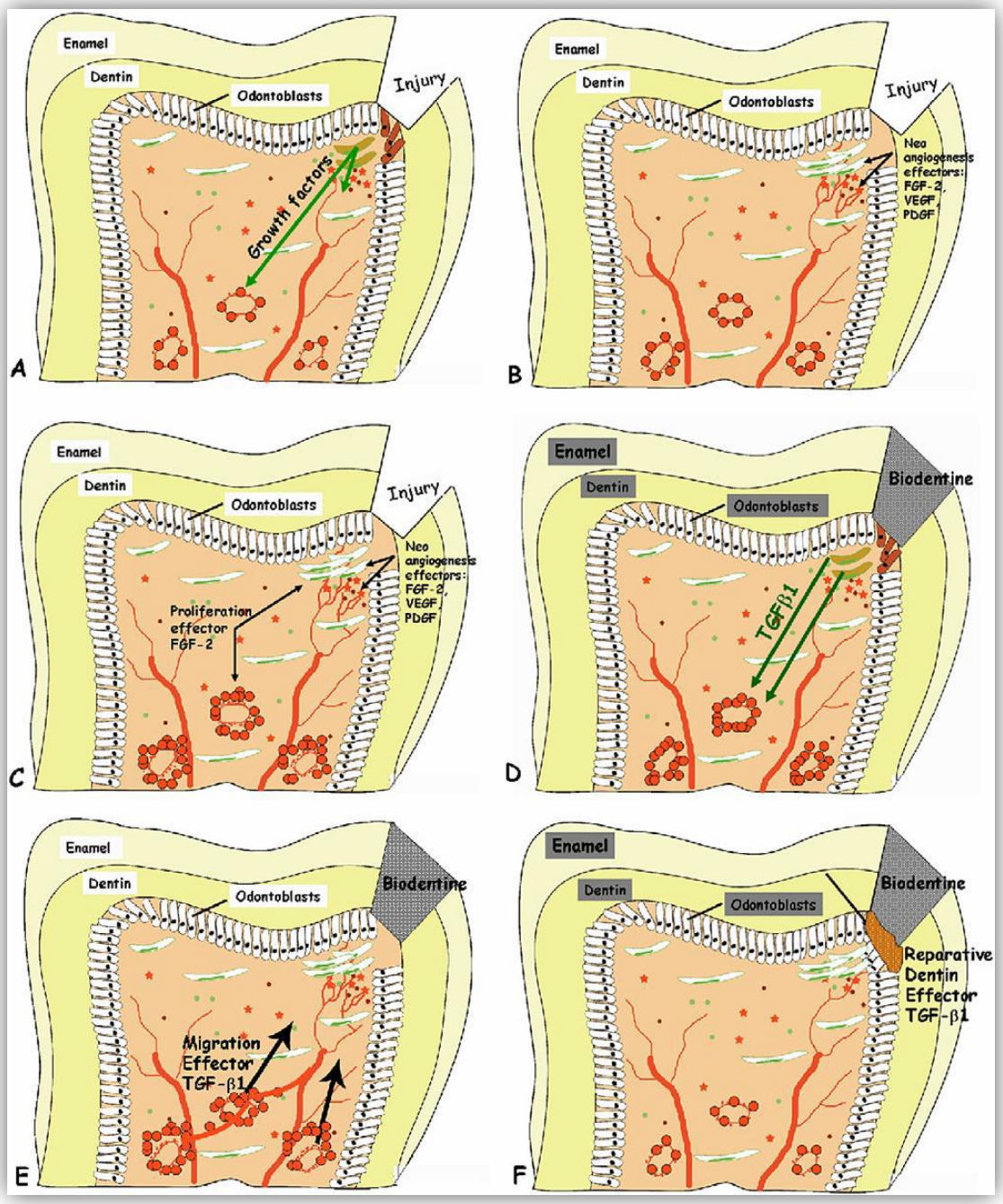


Fig. 3-34 : Schéma de la stimulation de la dentinogénèse réactionnelle au contact de Biodentine™ *[144](About)*

Plusieurs études ont démontré donc, que Biodentine™ présente une action sur la synthèse de facteurs de croissance tels que VEGF et FGF2 responsables de l'angiogénèse *[147](Peters),* de facteurs de l'inflammation, notamment certaines interleukines ; sur l'inhibition de TNF-α responsable de l'inflammation ; et enfin, sur la cicatrisation *[148](El Karim); [149](Luo)*

Ces différents éléments mettent en évidence l'action de Biodentine™ sur la cicatrisation pulpaire par le contrôle de l'inflammation et la stimulation de l'angiogénèse.

La mise en contact de cellules souches pulpaires avec Biodentine™ provoque, dans un premier temps, une adhésion cellulaire remarquable, leur migration et leur prolifération *[149](Luo) ;[150](Luo)* **(Fig.3-35).** La même observation est faite en présence de fibroblastes pulpaires *[143](Laurent).*

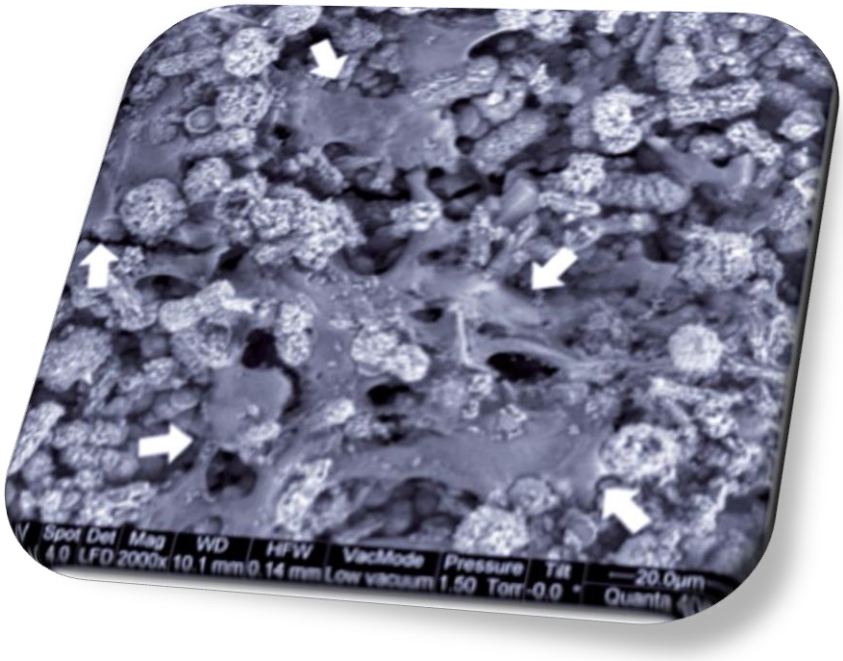


Fig. 3-35 : **Adhésion et prolifération des cellules à la surface de Biodentine™,** *[151](Widbiller)*

Dans un deuxième temps, la sécrétion d'une matrice minéralisée se produit mettant ainsi en avant sa capacité à induire la différenciation odontoblastique des fibroblastes pulpaires et la minéralisation. *[132](Laurent).* En présence de ce matériau, des néoformations minéralisées apparaissent après seulement 48 heures, parallèlement à la synthèse de facteurs de la minéralisation tels que le TGF- β1 *[143](Laurent),* l'ostéocalcine *[150](Luo)* ou encore l'ostéopontine *[152](Daltoé).*

Cette synthèse de tissu minéralisé est associée à l'augmentation de l'activité de la phosphatase alcaline *[148](El Karim); [143](Laurent); [153](Zanini)* et à la libération d'ions Calcium *[124](Reyes-Carmona); [128](Aggarwal).* Au-delà de 28 jours, il y a formation d'un pont minéralisé en regard du matériau correspondant à une dentine tertiaire *[154](Bortoluzzi); [155](Tziafa).* Ainsi, Biodentine™ est capable de stimuler l'adhésion et la prolifération des cellules pulpaires, leur différenciation en odontoblastes et la formation d'un pont de dentine réparatrice *[51] (Semennikova).*

Par ailleurs, L'activité antimicrobienne des CSCs a largement été référencée. Le ciment Biodentine™ présente des activités antibactérienne et antifongique limitées. Elles sont liées au pH très alcalin du matériau. La formation d'hydroxyde de Calcium lors de la réaction de prise du matériau et la libération secondaire d'ions hydroxyles permettent de maintenir un environnement alcalin au-delà de 28 jours (de pH 12,5 à 9,5). *[156](Gandolfi); [157](Poggio).*

L'action de Biodentine™ a été étudiée sur différentes populations cellulaires : ce ciment présente globalement une tolérance tissulaire très favorable.

En présence de fibroblastes gingivaux, les cellules adhèrent, migrent et prolifèrent à la surface du matériau, montrant un taux de survie cellulaire proche de 100 % sur le long terme *[158](Zhou); [159](Camps)* et la formation d'un ligament parodontal parallèlement à la surface *[160](Jung).*L'implantation sous-cutanée du matériau pendant 30 jours montre une inflammation non significative, permettant d'envisager l'utilisation de Biodentine™ au contact du parodonte *[161](Mori).* En présence de cellules souches de la moelle osseuse, on observe une augmentation de la minéralisation osseuse après 14 jours associée à une différenciation ostéogénique *[162](Margunato).* Enfin, il a été démontré que Biodentine™ stimulait l'activité des cémentoblastes et inhibait l'activité ostéoclastique améliorant ainsi la cicatrisation périradiculaire *[163](Hakki).*

3.3.2.3.9. INDICATIONS CLINIQUES

Le fabricant indique plusieurs applications pour Biodentine™ (Septodont. Biodentine™: notice d'utilisation):

- Substitut dentinaire et coiffage pulpaire indirect
- Coiffage pulpaire direct
- Pulpotomie
- Réparation des perforations et résorptions
- Apexification
- Obturation radiculaire *a retro*

Des études de cas à propos d'obturation de sillons palato-radiculaires avec Biodentine™ ont également été publiées, ce qui semble ajouter un champ d'application à ce matériau *[164](Johns); [165](Naik)*

3.3.2.3.9.1. Substitut dentinaire et coiffage pulpaire indirect

Pour les restaurations carieuses postérieures importantes, les résines composites sont couramment utilisées. Cependant l'utilisation de ces matériaux reste limitée par une résistance à l'usure insuffisante lors de fortes contraintes, une rétraction lors de la polymérisation (appelé facteur C), un manque d'étanchéité par liaison à la dentine et une libération de monomères libres toxiques dans le tissu pulpaire *[166](Dewaele).*

Un substitut dentinaire peut être utilisé en technique sandwich ouverte ou fermée pour pallier à ces inconvénients. Il doit permettre la protection des tissus pulpaires et la réduction du facteur C. Il doit pouvoir être mis en place rapidement et acquérir dans les plus brefs délais de bonnes propriétés biologiques et mécaniques. Il doit aussi être compatible avec les systèmes adhésifs et pouvoir rehausser les limites cervicales d'une restauration sous-gingivale *[140](Koubi).* Ainsi, Les bonnes propriétés mécaniques et biologiques de Biodentine™ permettent de l'indiquer en tant que substitut dentinaire.

3.3.2.3.9.1.1. Etude de Koubi *et al.* *[140](Koubi)*

***Koubi** et al.* ont publié en 2013 une étude prospective à propos de l'utilisation de Biodentine™ comme matériau de restauration sur les dents postérieures. Les auteurs ont étudié la résistance de Biodentine™ dans le temps en tant que restauration postérieure et notamment sa résistance aux forces de mastication. La résine Z100® a été utilisée pour permettre au Biodentine™ de jouer le rôle de substitut dentinaire. *[140](Koubi).*

L'étude multicentrique a commencé en 2005 sur 400 patients (des services d'Odontologie du CHU de Marseille et Garancière à Paris). Les participants ont été sélectionnés selon plusieurs critères : consentement éclairé du patient quant à sa participation à l'étude, âge de 18 à 80 ans, indication de restauration directe définitive occlusale ou occluso-proximale sur dents postérieures vitales. Les lésions carieuses doivent être confirmées radiologiquement et un test de vitalité pulpaire, devant être positif, est réalisé avant le soin. Les critères de non-inclusion à cette étude sont l'impossibilité clinique de réaliser une restauration avec Biodentine™ ou Z100®, une allergie ou hypersensibilité à ces matériaux ou à l'un de leurs composants, une forte maladie parodontale, un refus de restauration définitive et un antécédent de traitement par radiothérapie.

Les patients ont été répartis aléatoirement pour recevoir une obturation soit avec Biodentine™, soit avec Z100®. Les cavités et les obturations ont été réalisées selon les exigences cliniques en vigueur pour une restauration en résine composite et selon les consignes des fabricants des matériaux utilisés. Une radiographie de contrôle est prise après l'obturation. Ensuite, des contrôles cliniques sont réalisés à 15 jours, puis 6, 12, 24 et 36 mois.

Les évaluations ont porté sur plusieurs critères et un score a été donné pour chaque critère : plus le score est élevé, moins il est acceptable. **(Fig.3-36a ; 3-36b ; 3-36c ; 3-36d ; 3-36e).** Les paramètres évalués sont :

- La consistance, le temps de travail, l'adhésion aux instruments et la facilité de travail (0 à 3) ;
- La forme anatomique de la restauration (0 à 3, acceptable jusqu'à 1) ;
- L'adaptation marginale (0 à 4, acceptable jusqu'à 2) ;
- La qualité du point de contact proximal (en cas de restauration occluso-proximale, 0 à 4, acceptable jusqu'à 2) ;
- La coloration marginale (0 à 3, acceptable jusqu'à 2) ;
- La rugosité de surface (0 à 3, acceptable jusqu'à 1) ;
- La présence de caries secondaires (0 à 1, la note de 1 correspond à une lésion donc n'est pas acceptable)
- La douleur postopératoire (0 à 2, acceptable jusqu'à 1).

En tout, 397 patients ont été suivis, dont 212 pendant au moins 12 mois. Les résultats de l'étude concernent ces derniers patients : 77 sujets ont eu des cavités occlusales et 135 des cavités occluso-proximales ; 96 patients d'un âge moyen de 36 ans ont été soignés avec Biodentine™ et 116 avec Z100®.

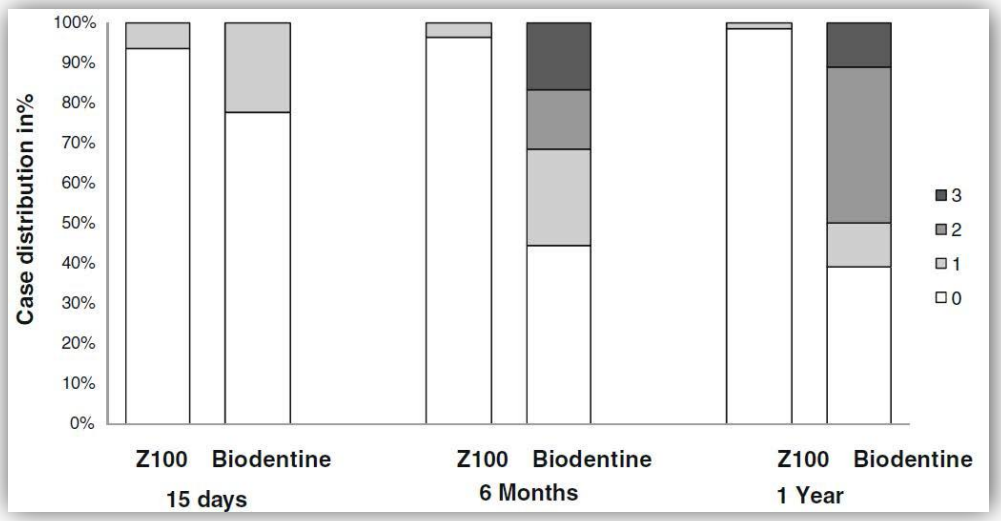


Fig.3-36a : Evaluation des restaurations pendant les phases du suivi : Score de la forme anatomique *[140](Koubi)*

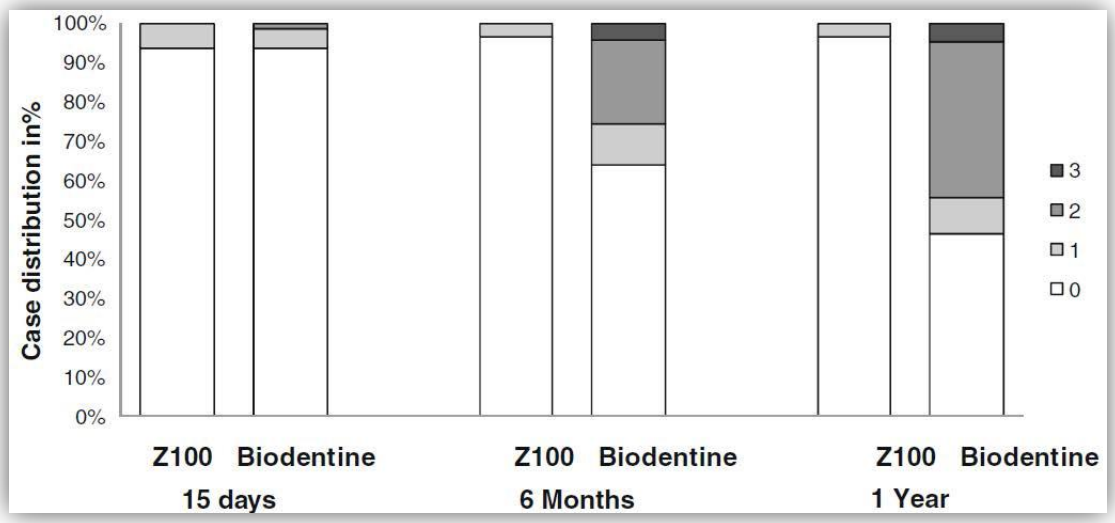


Fig.3-36b : Evaluation des restaurations pendant les phases du suivi : Score de l'adaptation marginale *[140](Koubi)*

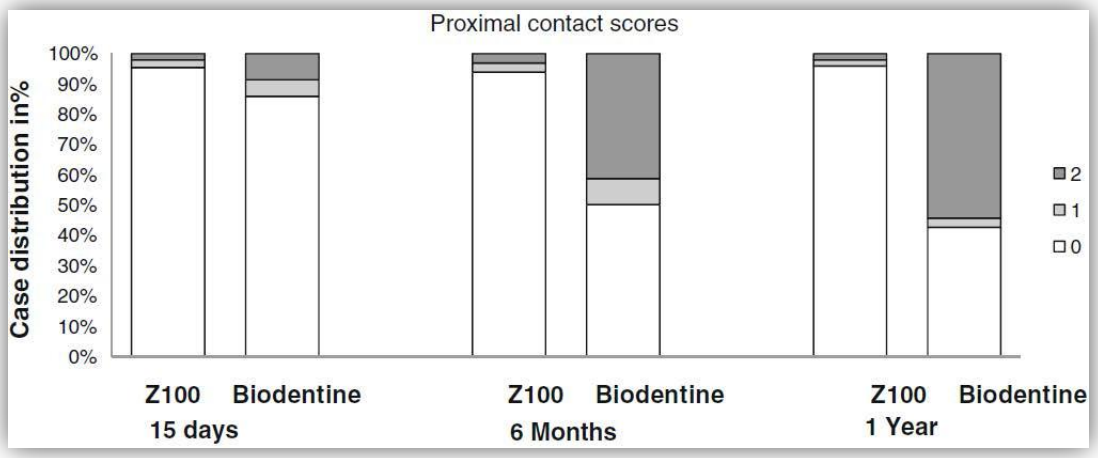


Fig. 3-36c : Evaluation des restaurations pendant les phases du suivi : Score de la qualité du point de contact *[140](Koubi)*

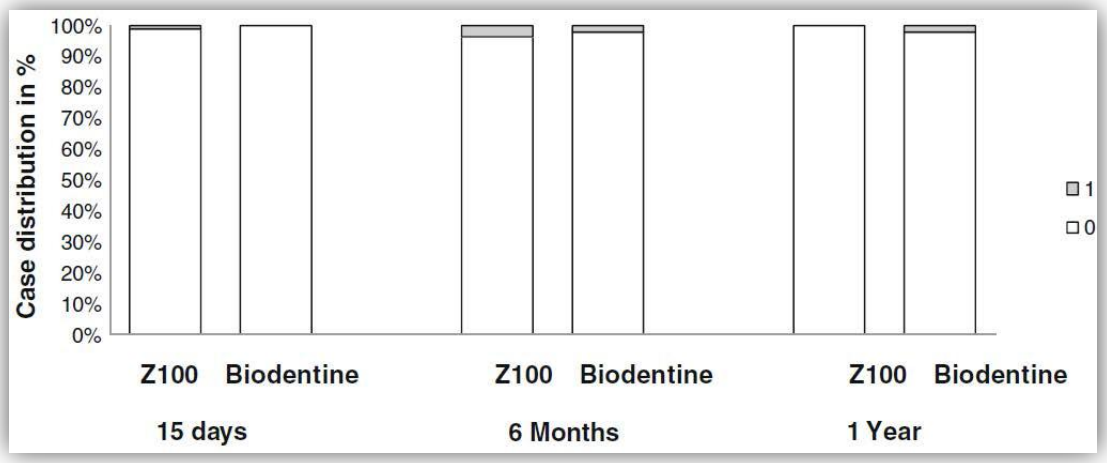


Fig.3-36d : Evaluation des restaurations pendant les phases du suivi : Score de la coloration de l'interface *[140](Koubi)*



Fig.3-36e : Evaluation des restaurations pendant les phases du suivi : Score de l'état de surface *[140](Koubi)*

La manipulation et la mise en place de Biodentine™ semble aussi aisée que celle du Z100®. Mais l'état de surface du matériau, sa forme anatomique ainsi que les zones proximales présentent des scores de moins en moins bons au fil du temps. En effet, 80 restaurations avec Biodentine™ ont dû être recouvertes avec Z100® au bout de plusieurs mois. Les causes de ce traitement complémentaire sont surtout liées à la faible résistance mécanique du Biodentine™ : d'abord l'abrasion du matériau, puis la qualité du point de contact et la fracture du matériau **(Fig.3-37).**

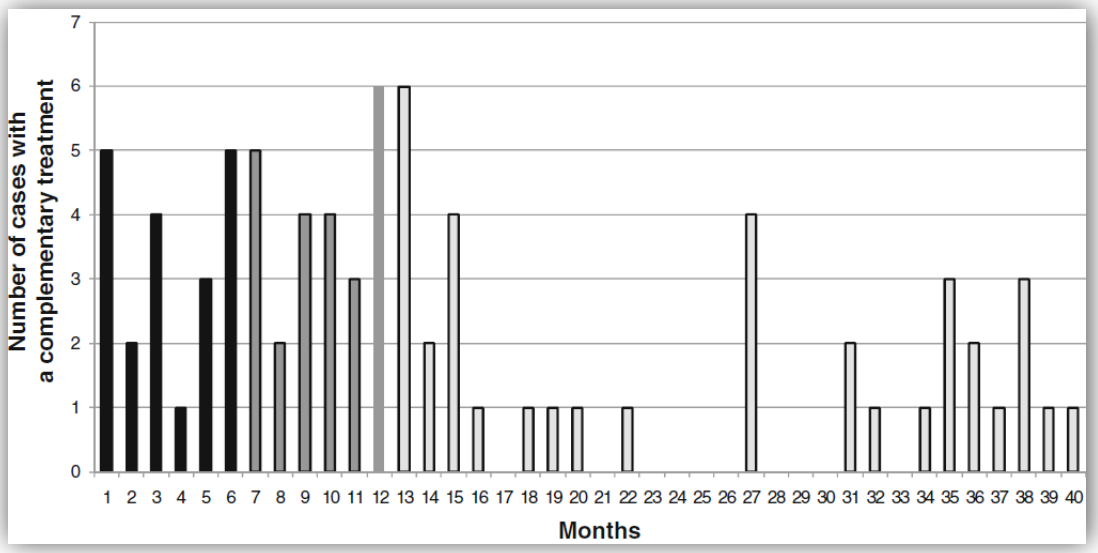


Fig. 3-37 : Nombre de cas ayant nécessité un recouvrement de Biodentine™ par Z100 en fonction des mois *[140](Koubi)*

Plusieurs études ont été réalisées pour déterminer la capacité d'adhésion de Biodentine™ aux résines composites. ***Hashem*** *et al*. ont étudié la force d'adhésion du matériau en fonction du moment où la résine est collée à l'échantillon puis en fonction du moment où l'adhésif est mis en place Le test a été réalisé avec deux types d'adhésifs automordançants. Aucune différence significative n'a été mesurée quel que soit le type d'adhésif, ou le moment où il est appliqué. *[167](Hashem).* Par contre, plus le moment de la mise en place de la résine sur le Biodentine™ est tardif, plus la force d'adhésion sera grande, ce qui confirme les résultats de l'étude de ***Koubi*** *et al*. *[168](Koubi)*

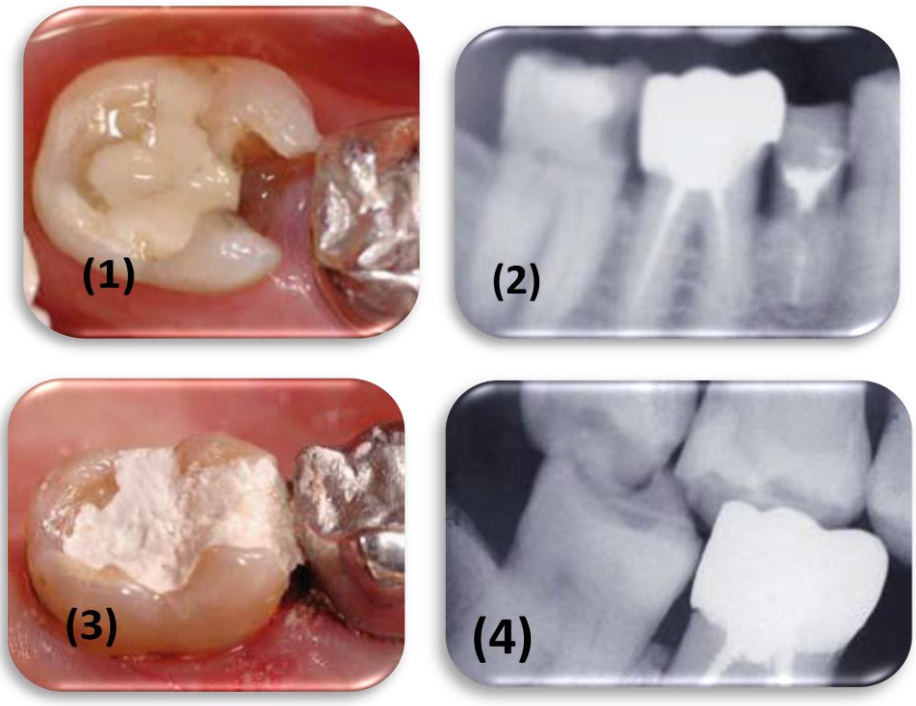
Odabas *et al*. ont étudié la force d'adhésion de Biodentine™ avec plusieurs types d'adhésifs : un système mordançage/rinçage en deux étapes, un système automordançant en deux étapes et un système automordançant en un seul temps. Les mesures ont été faites pour un collage sur Biodentine™ juste après son temps de prise (12 minutes) et après 24 h. Là encore, les résultats montrent que plus le collage est réalisé longtemps après la prise de Biodentine™, plus il est solide. De plus, le système automordançant en deux étapes étudié permet un meilleur collage. Cependant cette étude n'est pas exhaustive du fait de la grande variabilité des compositions des systèmes adhésifs. *[169](Odabas).*

***Kayahan** et al.* ont étudié la résistance à la compression de Biodentine™ après mordançage à l'acide orthophosphorique à 37% pendant 15 secondes et rinçage à l'eau distillée pendant 15 secondes. Aucune variation significative par rapport à la résistance à la compression sans mordançage n'a été mesurée. *[170](Kavahan).*

Sous des restaurations indirectes de type inlay/onlay souvent volumineuses, l'utilisation de Biodentine™ comme substitut dentinaire doit être limitée, notamment à cause de l'altération des propriétés mécaniques à long terme de la dentine par le matériau, décrites plus haut. Cependant, une épaisseur réduite de matériau en coiffage pulpaire direct sous ces restaurations peut être envisageable *[171](Decup).*

3.3.2.3.9.1.2. Etude de cas de Koubi et al. *[172](Koubi)*

Un cas de pose d'inlay en résine composite sur Biodentine™ a été décrit par ***Koubi** et al*. en 2011. La patiente, âgée de 54 ans a consulté pour des douleurs au chaud, au froid et à la pression sur sa deuxième molaire mandibulaire droite (47). Les examens clinique et radiographique révèlent la présence d'une carie juxtapulpaire sous une ancienne obturation à la résine composite, avec invagination de la gencive dans la cavité carieuse en mésial.
Une obturation avec Biodentine™ est réalisée de la même façon que pour l'étude prospective de ***Koubi** et al.* A 6 et 12 mois, le test de vitalité est contrôlé positif. A 18 mois une légère usure du matériau est observée en proximal. Une préparation pour inlay est réalisée, avec 3mm de matériau laissé au-dessus du joint cervical proximal, au vu de la bonne santé gingivale au contact de Biodentine™. Puis l'inlay en résine composite est collé une semaine plus tard **(Fig.3-38).**



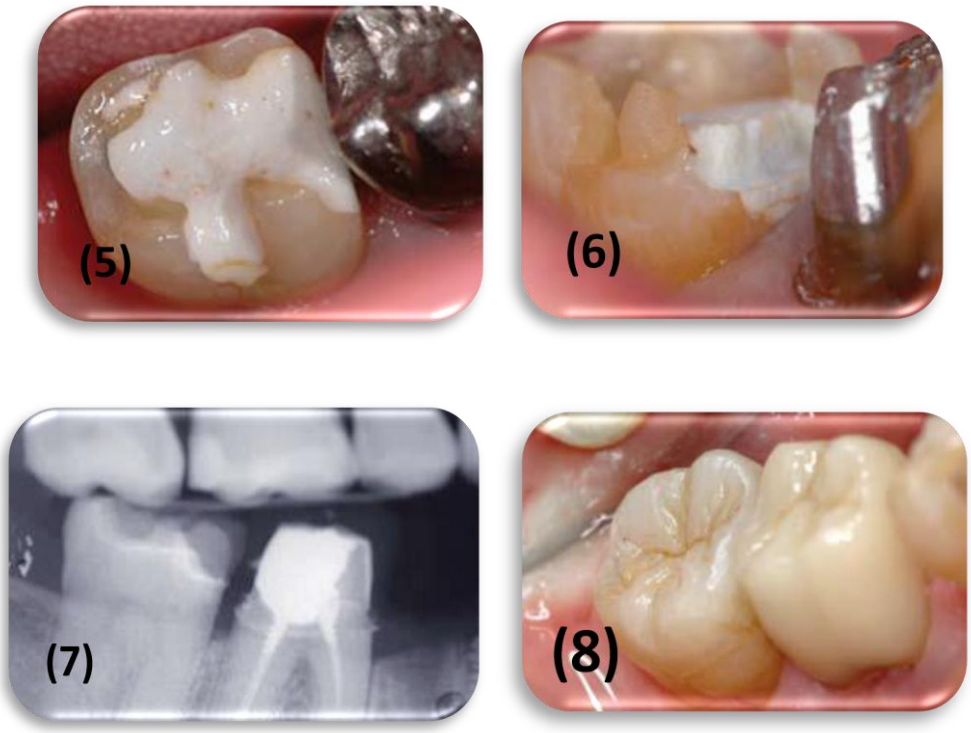


Fig. 3-38 : Coiffage pulpaire indirect au Biodentine™ *[172](Koubi)*

(1) Etat initial: carie sous une ancienne obturation. (2) Radiographie préopératoire. (3)Biodentine™ mis en place. (4) Radiographie postopératoire. (5) Biodentine™ à 18 mois. (6) Taille de la cavité pour l'inlay. (7) Radiographie de l'inlay collé. (8) Vue vestibulaire de l'inlay après collage

Au vu de ces études, nous pouvons conclure que Biodentine™ est un bon matériau de coiffage pulpaire indirect, grâce à ses bonnes propriétés mécaniques et sa biocompatibilité pulpaire. Mais pour les soins définitifs, il est plus indiqué comme substitut dentinaire en raison de sa mauvaise tolérance aux forces occlusales et à l'abrasion.

3.3.2.3.9.1.3. Synthèse de quelques cas publiés de coiffage pulpaire indirect avec Biodentine™

Tableau 3-7 : Synthèse de quelques cas publiés de coiffage pulpaire indirect avec du Biodentine™.

Auteurs	Nbre de cas	Objectifs	Résultats
Koubi *et al* *[172](Koubi)*	**96**	Etude multicentrique prospective randomisée, afin d'évaluer l'utilisation de Biodentine™ en tant que substitut dentinaire.	80 obturations avec Biodentine™ seul altérées à 1 an. 1 cas de carie secondaire
Spirollari, *[173](Spirollari)*	**2**	Soin de caries profondes sans exposition pulpaire, en tant que substitut dentinaire	Aucun symptôme à 1 an pour un patient, à 16 mois pour l'autre
Roubalikova, *[174](Roubalikova)*	**3**	Soin de caries profondes sans exposition pulpaire, en tant que substitut dentinaire	Aucun symptôme à 6 mois
Levin, *[175](Levin)*	**9**	Soin de caries profondes sans exposition pulpaire, en tant que substitut dentinaire	Aucun symptôme à 3 mois.
Boutsiouki et al. *[176](Boutsiouki)*	**1**	CPI en tant que substitut dentinaire sous un onlay en céramique.	Aucun symptôme à 6 mois
Denga *et al.* *[177](Denga)*	**30**	Evaluation d'un traitement des caries profondes chez des patients avec d'importants antécédents allergiques, comparaison entre Biodentine™ et une résine composite (Grandio, VOCO)	Aucun symptôme postopératoire, reminéralisation des tissus à 12 mois
Bakopoulou et About, *[178](Bakopoulou)*	**6**	CPI en tant que substitut dentinaire sous composite pour 2 cas, des inlays en composite pour 2 cas et des CCM pour 2 cas.	Aucun symptôme à 6 mois et un an.
Banerji, *[179](Banerji)*	**1**	CPI, en tant que substitut dentinaire sous une résine composite.	Aucun symptôme à 2 ans
Cauwels et Martens, *[180](Cauwels)*	**2**	CPI sur 46 immature.	Aucun symptôme à un mois et un an
Hashem *et al.*, *[181](Hashem)*	**36**	Essai clinique randomisé pour comparer l'efficacité de Biodentine™ et d'un CVI en CPI après pulpite réversible	6 nécroses un an après

3.3.2.3.9.2. Coiffage pulpaire direct

Les expositions pulpaires ont plusieurs causes : la maladie carieuse, les traumatismes dentaires et les expositions iatrogènes. Une exposition et d'autant plus si elle est large et/ou ancienne, peut provoquer une inflammation pulpaire par contact avec le milieu buccal et les toxines bactériennes. Le rôle du coiffage pulpaire direct est de permettre la dentinogénèse réparatrice en formant un pont dentinaire sous le matériau utilisé.

Le pronostic dépend de la biocompatibilité du matériau de coiffage, de l'élimination de l'inflammation et du contrôle de l'infection locale *[182](Simon)*

Biodentine™, de par son absence de toxicité, sa capacité à stimuler la dentinogénèse et son étanchéité semble être un matériau de choix pour cette indication.

Aucune étude clinique concernant le coiffage pulpaire direct n'a encore été publiée, mais plusieurs rapports de cas ont été traités avec Biodentine™.

3.3.2.3.9.2.1. Suite à un traumatisme

- **Etude de cas de Borkar et al.** *[183](Borkar)*

Cette étude de cas porte sur le coiffage pulpaire direct d'incisives centrale ou latérale maxillaires permanentes matures suite à une exposition pulpaire d'origine traumatique. Les quatre cas étudiés sont similaires : les patients sont des hommes âgés de 18 à 26 ans et leur traumatisme est survenu 5 à 8 jours auparavant. Les dents sont vitales et ne présentent pas de fractures radiculaires. Le protocole de soins est similaire pour les 4 cas. L'incisive concernée est anesthésiée, isolée du milieu buccal par une digue et la pulpe inflammatoire est éliminée sur 2mm avec une fraise diamantée. Puis, la bonne santé pulpaire est à nouveau vérifiée par la présence d'un saignement après fraisage. Ce saignement est ensuite stoppé par rinçage au sérum physiologique et application de cotons stériles pendant 5 minutes. Biodentine™ est ensuite placé immédiatement au contact de la pulpe, en le laissant prendre pendant 20 minutes. Les fragments fracturés sont reconstitués avec de la résine composite, collée par un adhésif automordançant. Dans un des cas décrits le fragment de couronne a été conservé et a pu être recollé **(Fig.3-39).**

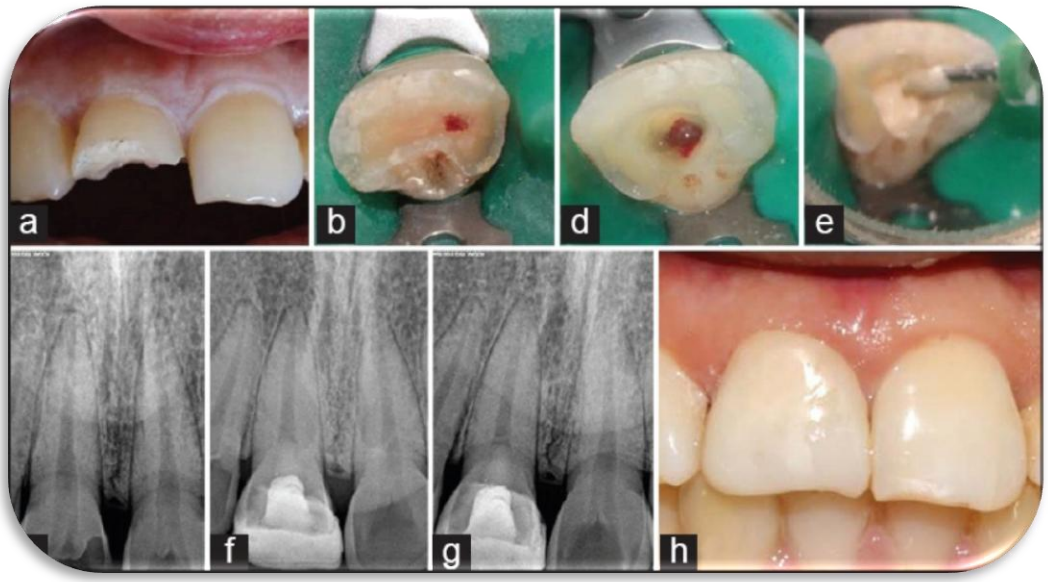


Fig.3-39 : Coiffage pulpaire direct au Biodentine™ *[183](Borkar)*

La dent (11) mature. Les trois radiographies respectivement: préopératoire, postopératoire et 18 mois plus tard, reconstitution à la résine composite

Le suivi postopératoire est réalisé à 24h, 7 et 30 jours, puis à 3, 6, 9, 12 et 18 mois. Lors de ce suivi, des tests de percussion et électrique vérifient l'absence de douleur et la réponse pulpaire aux stimuli. Une radiographie rétroalvéolaire vérifie l'intégrité de l'apex et l'absence de lésion périapicale. Ce suivi n'a révélé aucun symptôme significatif postopératoire. Pour deux cas, une opacité adjacente au Biodentine™ suggère une formation de pont dentinaire. Pour les deux autres cas, il n'y a pas de pont dentinaire distinct, mais une radio-opacité plus importante de la pulpe adjacente au matériau.

- **Etudes de cas de Bhat et al.** *[184](Bhat)* **et Cauwels et Martens** *[180](Cauwels)*

Les cas de ces deux études sont similaires. Les patients, fille ou garçon, sont âgés de 7 à 8 ans et présentent une fracture amélodentinaire d'une incisive maxillaire survenue lors d'un choc. L'exposition pulpaire est récente (moins de 24h) et mesure jusqu'à 1 mm. Les stimuli douloureux décrits par les patients sont déclenchés par le froid ou à la percussion. Il n'y a pas de mobilité ni de fracture radiculaire. Le protocole opératoire est le même que pour les cas précédents, de même que les séances de suivi. Les radiographies de contrôle montrent qu'une apexogenèse débute à partir du 18ème mois après le soin et se poursuit ensuite normalement. Les patients n'ont pas présenté de douleurs postopératoires. **(Fig.3-40)**



Fig. 3-40 : Coiffage pulpaire direct au Biodentine™ *[180](Cauwels)*

La dent (11) immature. Les radiographies : postopératoire et 18 mois plus tard, reconstitution à la résine composite

D'après ces quelques cas, nous pouvons conclure qu'un coiffage pulpaire direct avec Biodentine™ semble être efficace, si la pulpe dentaire ne présente ni nécrose, ni inflammation de type pulpite irréversible. En effet, tous les patients soignés n'avaient ni douleurs spontanées, ni infection périapicale. Il est important de réaliser les soins sous champ opératoire et de rincer minutieusement le site, pour éviter au maximum les contaminations bactériennes. En plus de créer un pont dentinaire à son contact, le matériau va également induire une fermeture apicale si la dent est immature.

3.3.2.3.9.2.2. Suite à une lésion carieuse ou iatrogène :

- **Etude de cas de Dammaschke** *[185](Dammaschke),* **Cauwels et Martens** *[186](Cauwels),* **Firla** *[187](Firla)* **et Villat et al** *[188](Villat)*

Des cas de coiffage pulpaire direct avec Biodentine™ ont été étudiés, suite à une lésion carieuse ou à une effraction iatrogène du plancher pulpaire lors d'une éviction carieuse.
Comme précédemment, les dents concernées sont soit asymptomatiques, soit atteintes d'une pulpite réversible (catégorie II de Baume). Il n'y a ni nécrose pulpaire, ni fort délabrement dentaire, ni forte exposition pulpaire. Les patients soignés sont jeunes, de 7 à 14 ans, sauf pour un homme âgé de 42 ans.
Dans un des cas, la pulpe était déjà exposée par l'atteinte carieuse. Dans l'ensemble des cas, le test de vitalité étant positif, un coiffage pulpaire direct après pulpotomie partielle a été effectué. Une résine composite a été placée sur Biodentine™ soit dans la même séance, soit quelques semaines plus tard. Dans un cas, un CVI a été utilisé. Les patients soignés ne se plaignaient d'aucune douleur après le traitement lors des séances de suivi. Le pont dentinaire se forme au bout de quelques mois et l'apexogénèse se poursuit si la dent est immature **(Fig.3-41).**



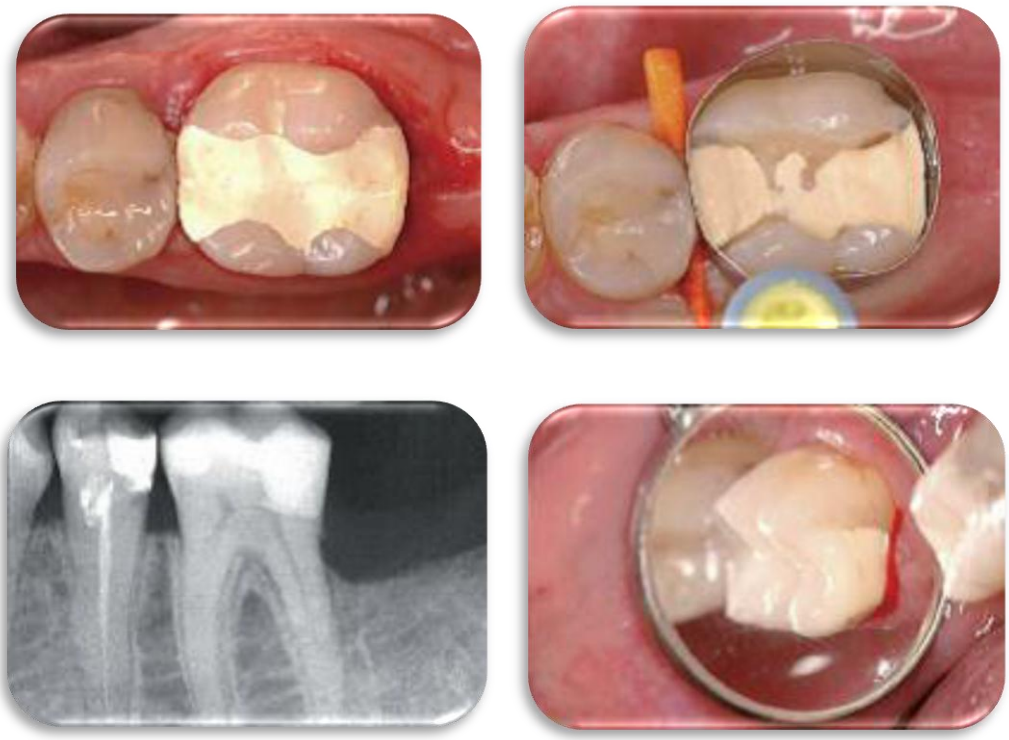


Fig. 3-41 : Coiffage pulpaire direct d'une dent cariée. *[187](Firla)*

La dent (46) mature. L'obturation finale en sandwich ouvert à la résine composite est réalisée 6 semaines après l'obturation provisoire au Biodentine™ seul

Ainsi, Biodentine™ semble pouvoir permettre un coiffage pulpaire direct efficace quelle que soit la cause de l'exposition pulpaire, selon les conditions précédemment exposées.

3.3.2.3.9.2.3. Synthèse de quelques cas publiés de coiffage pulpaire direct avec Biodentine™

Tableau 3-8 : Synthèse de quelques cas publiés de coiffage pulpaire direct avec Biodentine™			
Auteurs	**Nbre de cas**	**Objectifs**	**Résultats**
Dammaschke, *[185] (Dammaschke)*	**3**	Soin d'une carie profonde, CPD après exposition pulpaire et obturation à la résine en technique sandwich à 3 mois	Aucun symptôme à 3 mois lors de l'obturation à la résine, ni à 6 mois et 1 an.
Goupy, *[189](Groupy)*	**1**	Soin d'une carie profonde, CPD après exposition pulpaire et collage d'un onlay céramique 1 mois plus tard.	Aucun symptôme à 3 mois.
Firla, *[187](Firla)*	**1**	CPD après dépose d'un amalgame et mise en place à 6 mois d'une résine en sandwich ouvert.	Aucun symptôme à 6 mois
Levin, *[175](Levin)*	**37**	CPD suivis d'une obturation directe ou indirecte par résine ou prothèse fixée.	4 échecs décrits
Bakopoulou et About, *[190](Bakopoulou)*	**1**	Soin d'une carie profonde, CPD après exposition pulpaire et obturation indirecte par une CCM à 6 semaines.	Aucun symptôme à 6 mois
Nowicka *et al.* *[191](Nowicka)*	**11**	Comparaison de la réponse pulpaire après un CPD avec Biodentine™ ou du ProRoot MTA®. Etude *in vivo*.	A 6 semaines, pont dentinaire dans tous les cas, pas d'inflammation ni de nécrose pulpaire.
Villat et al. *[188](Villat)*	**1**	Soin de carie profonde sur 45 immature, pulpite réversible.	Aucun symptôme à 7 jours et 3mois
Cutts, *[192](Cutts)*	**2**	Soin d'une carie profonde, CPD, obturation à la résine en technique sandwich à 2 semaines. CPD de 11 immature fracturée et reconstitution à la résine.	Aucun symptôme à 3 et 6 mois, poursuite du développement de 11.
Borkar *et al.* *[183](Borkar)*	**4**	Soin de fracture du bord libre d'incisives, avec exposition pulpaire de 5 à 7 jours, par coiffage direct et reconstitution coronaire en résine.	Aucun symptôme à 24h, 7 jours, 1, 3 et 6 mois, 1 et 2 ans.
Bhat *et al.* *[184](Bhat)*	**1**	CPD d'une fracture de 11 immature et reconstitution coronaire en résine.	Aucun symptôme à 24h, 1, 3, 6 mois et 1an. Poursuite du développement de 11.
Ree, *[193](Ree)*	**2**	CPD de fractures d'incisives immatures, puis reconstitution à la résine.	Aucun symptôme à 7j, 6, 12 et 18 mois. Poursuite du Développement dentaire
Cauwels et Martens, *[180](Cauwels)*	**2**	CPD de caries profondes,. Obturation à la résine en technique sandwich.	Aucun symptôme à 4 et 8 mois

3.3.2.3.9.3. Pulpotomie

Le coiffage pulpaire direct donnant de bons résultats avec Biodentine™, il semble tout indiqué en obturation après une pulpotomie sur dent temporaire. Cette technique est utilisée chez l'enfant pour les traitements de lésions carieuses profondes provoquant des pulpites aigues ou chroniques, difficiles à évaluer à cet âge selon la coopération du patient. On émet l'hypothèse que seule la pulpe camérale est inflammatoire. Elle est alors éliminée et la pulpe radiculaire est conservée après contrôle de l'hémostase. Le but est d'éviter la pulpectomie, difficile à réaliser sur les dents temporaires en raison de leur anatomie radiculaire et de la résorption physiologique des racines *[186](Cauwels); [194](Zhang)*

Le matériau idéal pour ce type de soins doit être (i) bactéricide, (ii) biocompatible, (iii) assurer la cicatrisation et (iv) la régénération du complexe pulpodentinaire et ne pas affecter la résorption radiculaire physiologique.

3.3.2.3.9.3.1. Etude de Shayegan *et al*. *[195](Shayegan)*

***Shayegan** et al*. ont analysé les réactions pulpaires de dents temporaires de cochons après pulpotomie. Les dents ont été obturées soit par du formocrésol, soit par du MTA, soit par Biodentine™. Les cochons sont répartis en trois groupes, avec un matériau d'obturation différent pour chaque groupe. Les dents sont extraites soit une semaine, un mois, ou 3 mois après l'obturation pour réaliser des observations sous microscope. Un début de calcification est observé au niveau de la pulpe radiculaire au bout d'une semaine pour les dents obturées avec Biodentine™ et MTA. Au bout de trois mois, le pont dentinaire est complètement formé **(Fig.3-42).**

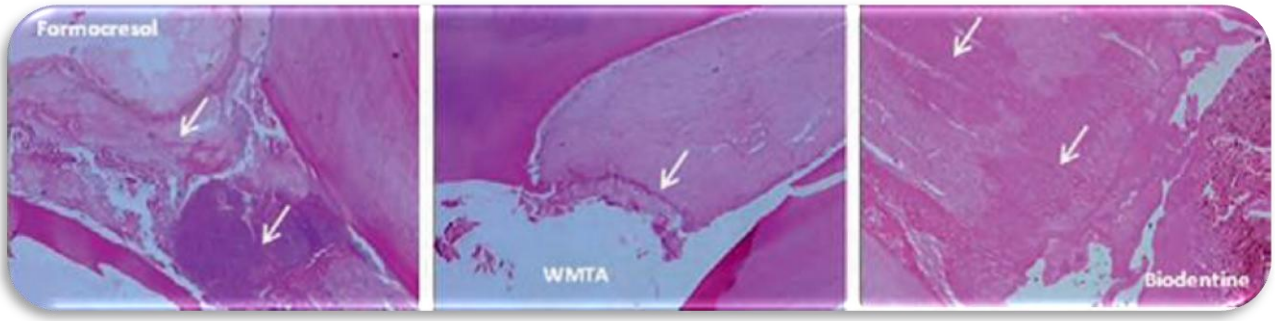


Fig.3-42 : Observation au microscope optique d'une obturation au formocrésol, au MTA et au Biodentine™ chez le cochon. *[195](Shayegan).*

Les flèches montrent une nécrose et une inflammation sous le formocrésol et une formation de pont dentinaire sous les autres matériaux

3.3.2.3.9.3.2. Etude de cas de Cauwels et Martens *[196](Cauwels); [197](Cauwels)*

Plusieurs cas d'obturation avec Biodentine ont été décrits chez l'enfant, notamment par ***Cauwels et Martens***. Le protocole opératoire est toujours similaire : toute la pulpe camérale est éliminée, ainsi que le tissu carieux. Le saignement de la pulpe radiculaire est contrôlé par rinçage régulier au sérum physiologique et le séchage est réalisé à l'aide de coton stérile. Puis le matériau est mis en place en le foulant correctement afin qu'il soit en contact avec la pulpe radiculaire. La bonne résistance mécanique de Biodentine™ va permettre une obturation provisoire prolongée, puis une obturation par résine composite ou une coiffe pédodontique est réalisée en fonction du délabrement dentaire. Dans trois des cas étudiés, des enfants de 3 à 6 ans présentaient une lésion carieuse sur une de leur molaire temporaire, les dents sont toujours asymptomatiques un an après la pulpotomie et

l'obturation. Dans un des cas, la pulpe radiculaire a été complètement oblitérée par l'apposition de dentine tertiaire, sans aucune complication clinique **(Fig.3-43).**

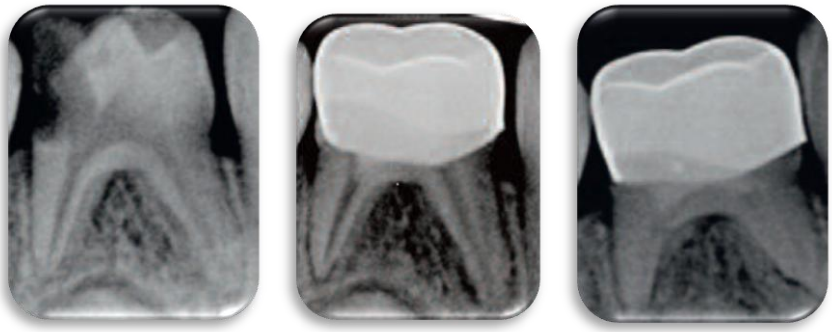


Fig.3-43 : Pulpotomie sur une dent temporaire
[196](Cauwels) ; [197](Cauwels)

La dent (84) temporaire. Radiographies préopératoire ; postopératoire et 1 an plus tard.

3.3.2.3.9.3.3. Etude de cas de Cauwels et Martens *[198](Cauwels)*

Des obturations avec Biodentine™ après pulpotomie sur des premières molaires définitives ont été étudiées, chez l'enfant. Comme pour la pulpotomie sur dents temporaires, la dent ne doit pas être nécrosée et présenter des signes de pulpite réversible ou chronique. Dans les deux cas présentés, une obturation de deux molaires mandibulaires est réalisée chez deux enfants âgés 9 et 11 ans. Le protocole de soin est le même que pour une dent temporaire.
Là encore, aucun symptôme postopératoire n'est observé **(Fig.3-44).**



Radiographie postopératoire et à 10 mois. Des calcifications apparaissent au niveau des flèches rouges

Fig. 3-44 : Pulpotomie sur une dent permanente mature *[198](Cauwels)*

Les techniques de coiffage pulpaire indirect, direct et de pulpotomie, semblent présenter de très bons résultats lorsque Biodentine™ est utilisé comme matériau de coiffage.

D'autres utilisations de ce matériau sont faites en endodontie pour permettre de réaliser une obturation canalaire complexe, par fermeture de l'apex des racines immatures ou encore en réalisant une obturation a retro.

3.3.2.3.9.3.4. Synthèse de quelques cas publiés de pulpotomie avec Biodentine™

Tableau 3-9 : Synthèse de quelques cas publiés de pulpotomie avec Biodentine™.

Auteurs	Nbre de cas	Objectifs	Résultats
Goupy, *[189](Groupy)*	**1**	Soin d'une carie asymptomatique d'une dent temporaire par pulpotomie, et mise en place d'une coiffe pédodontique un mois plus tard.	Aucun symptôme à 3 mois.
Cauwels et Martens, *[196](Cauwels); [197](Cauwels) ; [198](Cauwels)*	**5**	Soins de caries de 3 dents temporaires sous anesthésie générale et de 2 permanentes par pulpotomie, puis obturation par un CVI ou une résine selon les cas.	Aucun symptôme. Un an après, une oblitération canalaire est visible.

3.3.2.3.9.4. Apexogénèse, apexification et mise en place d'un bouchon apical

Dans le cas où la pulpe est nécrosée, les odontoblastes ne pourront plus synthétiser de dentine réparatrice et le coiffage pulpaire est contre indiqué. La pulpectomie suivie d'une obturation canalaire sont alors nécessaires. Les apex larges rendent plus difficile cette obturation. Ils peuvent être la conséquence d'une résorption apicale sur dent mature, à l'arrêt de la formation de l'apex d'une dent immature ou à un traumatisme *[182](Simon)*

Deux techniques permettent de poursuivre cette édification radiculaire, en fonction de la persistance ou de l'absence de tissus pulpaires vitaux dans le canal. L'apexogénèse est un procédé de traitement de la pulpe vivante exécuté pour encourager le processus physiologique de formation de l'apex *(American Association of Endodontists).*

L'apexification est une thérapeutique qui vise à induire une barrière calcifiée d'une racine présentant un apex ouvert, ou la poursuite du développement apical d'une racine immature à pulpe nécrosée *(American Association of Endodontists*). La lenteur du processus d'apexification conduit à une dernière solution : la mise en place au fond du canal d'un bouchon apical de matériau biocompatible. Ce bouchon apical joue le rôle d'une butée pour les matériaux d'obturation canalaire tout en permettant la régénération du desmodonte à son contact *[199](Shabahang); [200](Felippe)*

La formation d'une barrière calcifiée est possible grâce à la présence de cémentoblastes, d'ostéoblastes et de cellules épithéliales de la gaine de Hertwig dans cette zone. Ces cellules ont une grande résistance à l'inflammation et à la nécrose *[201](Huang); [202](Rafter).* La barrière apicale formée a un aspect cémentaire et présente des inclusions cellulaires. Le ligament parodontal est la plupart du temps correctement reformé autour de l'apex. *[200](Felippe)*

Ce sont les bons résultats du MTA quant à son utilisation pour ces indications thérapeutiques qui ont conduit à tester Biodentine™ pour l'apexogénèse et l'apexification *[203](Banchs); [204](Bose); [201](Huang).*

L'utilisation du MTA en tant que bouchon apical permet une procédure de soins en un temps : le durcissement du matériau forme une barrière qui sert de butée pour l'obturation canalaire *[205](Raskin).* L'Hydroxyde de Calcium, matériau fréquemment utilisé pour ces techniques, réduit les chances de succès car il nécessite plusieurs renouvellements et fragilise la racine *[206](Andreasen).*

3.3.2.3.9.4.1. Etude de cas de Cauwels et Martens *[198](Cauwels)*

Un cas a été rapporté chez une patiente de 10 ans où des incisives centrale et latérale maxillaires droites (11 et 12) ont été luxées et maintenues en place 3 semaines par une attelle.

Les deux incisives présentent une réponse négative au froid. 3 mois après le choc, la 11, qui n'a toujours aucun signe de vitalité et un apex ouvert, est obturée sur toute sa longueur avec Biodentine™. La 12 est trépanée 6 mois plus tard pour les mêmes raisons, les tissus pulpaires au niveau du tiers apical présentent toujours une sensibilité après anesthésie et Biodentine™ a été mis en place dans le canal. Après 9 mois, l'apex des deux dents poursuit sa maturation, une légère sensibilité au froid est réapparue au niveau de la 12.

Aucune douleur ni décoloration ne sont à déplorer **(Fig.3-45).**



Fig.3-45 : Apexogenèse d'une 12 par apposition de Biodentine™ *[198](Cauwels)*

De gauche à droite : radiographie préopératoire, radiographie 3 mois plus tard avec obturation complète de 11 par du Biodentine™ et partielle de 12 (flèche), radiographie postopératoire à 3 mois, à 9 mois

3.3.2.3.9.4.2. Etude de cas de Sinha *et al.* *[207](Sinha)*

Un cas présentant une lésion périapicale plus avancée a été présenté par ***Sinha*** *et al*. Le patient âgé de 18 ans décrit des tuméfactions intermittentes du secteur antérieur gauche, avec parfois présence de pus et un changement de couleur de l'incisive latérale maxillaire

droite (12). Il a été victime d'une chute à l'âge de 10 ans, ce qui a nécessité l'obturation endodontique de l'incisive centrale (11) ainsi que la pose d'une couronne céramo-métallique avec ancrage radiculaire. La 12 n'est plus vitale, la radiographie montre une obturation endodontique incomplète de la 11, une fermeture incomplète de l'apex et une lésion périapicale en regard des 11 et 12, sans que le desmodonte de la 12 ne soit affecté.

- Après dépose de la couronne, le canal de la 11 est désobturé, rincé, séché et à nouveau obturé à l'aide d'une pâte comprenant trois antibiotiques (Minocycline, Ciprofloxacine et Métronidazole, chacun à 100 µg/mL).
- Le canal de la 12 est nettoyé, rincé, séché et obturé avec un gel de chlorhexidine à 2%. Deux semaines plus tard, Biodentine™ est placé en fond de canal de la 11 puis les dents 11 et 12 sont obturées à la gutta-percha.

A trois semaines les symptômes décrits par le patient ont disparu et à un an, les radiographies rétroalvéolaires montrent une cicatrisation progressive de la lésion périapicale, ainsi qu'une barrière calcifiée apicale sur la 11 **(Fig.3-46).**

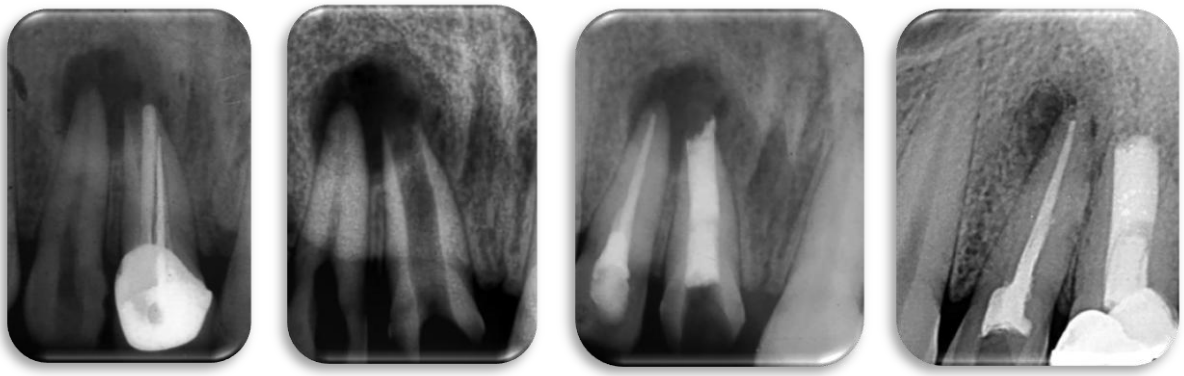


Fig.3-46 : Mise en place d'un bouchon apical de Biodentine™ sur 11 et pulpectomie de 12. *[207](Sinha)*

Dans l'ordre : radiographie préopératoire, radiographie après dépose de l'obturation de 11 et de la couronne, radiographie postopératoire et radiographie de contrôle à 1 an

D'autres cas similaires ont été présentés par ***Cauwels*** et ***Martens*** *[198](Cauwels).* Les dents soignées avaient un canal suffisamment large pour être complètement obturé avec du Biodentine™. Cette obturation complète se justifie par les bonnes propriétés mécaniques du matériau. Le traitement semble durable **(Fig.3-47).**

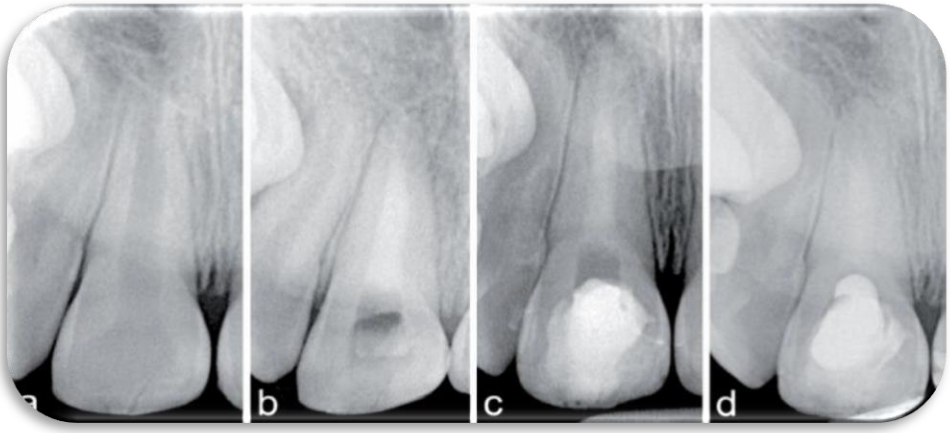


Fig.3-47 : Mise en place d'un bouchon apical sur 11, suivie d'une obturation complète du canal, avec Biodentine™. *[198](Cauwels)*

(a) radiographie préopératoire, (b) radiographie postopératoire, (c) à 6 mois, (d) à 1 an

3.3.2.3.9.4.3. Synthèse de quelques cas publiés d'apexogénèse avec Biodentine™

Tableau 3-10 : Synthèse de quelques cas publiés d'apexogénèse avec du Biodentine™.

Auteurs	Nbre de cas	Objectifs	Résultats
Cauwels et Martens, *[198](Cauwels)*	**4**	Soin de traumatismes sur des incisives immatures. Coiffage des tissus pulpaires résiduels dans le tiers apical et attente du développement radiculaire par apexogenèse.	Aucun symptôme lors des suivis, poursuite du développement radiculaire.
Cauwels et Martens, *[198](Cauwels)* Bhat et al. *[184](Bhat) ;* Cutts, *[192](Cutts)* ; Ree, *[193](Ree);* Villat et al. *[188](Villat)*	**8**	Cas de coiffages pulpaires directs décrits dans le tableau de synthèse des cas de coiffage pulpaire avec Biodentine™.	Poursuite de l'apexogenèse, en plus de la formation d'un pont dentinaire précédemment décrite.

3.3.2.3.9.4.4. Synthèse de quelques cas publiés de mise en place d'un bouchon apical avec Biodentine™

Tableau 3-11 : Synthèse de quelques cas publiés de mise en place d'un bouchon apical de Biodentine™.			
AUTEURS	**NBRE DE CAS**	**OBJECTIFS**	**RESULTATS**
Sinha et al., *[207](Sinha)*	**1**	Formation d'une barrière apicale pour obturer une 11 nécrosée après un traumatisme ancien, dont l'apex est ouvert et présentant une lésion périapicale. Obturation canalaire.	Aucun symptôme 3 semaines plus tard, guérison de la lésion à un an.
Khetarpal et al, *[208](Khetarpal)*	**1**	Formation d'une barrière apicale pour obturer une 12 nécrosée après un traumatisme ancien, douloureuse, dont l'apex est ouvert et présentant une lésion périapicale. Obturation canalaire.	Aucun symptôme 3 et 18 mois plus tard, guérison de la lésion à partir de 3 mois.
Cauwels 2013 ; *[209](Cauwels)* Cauwels et Martens, *[198](Cauwels)*	**4**	Symptômes similaires pour tous les cas: formation d'une barrière apicale pour obturer des incisives nécrosées après un traumatisme ancien. Obturation canalaire	Aucun symptôme lors des contrôles, de 3 à 15 mois selon les cas.
Bronnec, *[210](Bronnec)*	**1**	Dépose d'une obturation canalaire insuffisante, formation d'une barrière apicale et ré-obturation	Aucun symptôme lors des contrôles.
Mercado V.et al. *[211](Mercado)*	**1**	Formation d'une barrière apicale pour obturer une 11 immature et nécrosée après un traumatisme ancien. Obturation canalaire.	Aucun symptôme à 6, 10 et 14 mois.
Nayak et al., *[212](Nayak)*	**1**	Formation d'une barrière apicale pour obturer une 21 nécrosée après un traumatisme survenu il y a 10 ans, présentant un apex ouvert et une lésion périapicale. Obturation canalaire.	Aucun symptôme à 1 an

3.3.2.3.9.5. Obturation canalaire *a retro*

L'obturation canalaire *a retro* consiste en une apposition de matériau placé dans une cavité apicale aménagée pendant une procédure d'endodontie chirurgicale ou avant une réimplantation dentaire intentionnelle. Elle est destinée à augmenter l'étanchéité d'une obturation canalaire orthograde non optimale. Les matériaux utilisés pour ce type de soin sont les amalgames, les ciments à base d'Oxyde de Zinc Eugénol comme l'IRM® ou le Super-EBA®, le MTA. *(American Association of Endodontists*)

L'endodontie chirurgicale doit être réalisée en complément à une obturation orthograde précédemment réalisée, ou d'emblée. En complément du traitement orthograde, ce type de soins va permettre de drainer une collection kystique, de remédier à la persistance de douleurs ou de lésions après une obturation canalaire correcte ou incomplète et de corriger les fenestrations et résorptions iatrogènes ou non. Réalisée d'emblée, l'endodontie chirurgicale va permettre de traiter les cas où toute obturation canalaire par voie orthograde est impossible, par exemple en cas d'éléments prothétiques volumineux et/ou dont la dépose est risquée *[182](Simon)*

Le matériau d'obturation est primordial pour la réussite du soin. Il devra répondre à plusieurs critères *[182](Simon):*

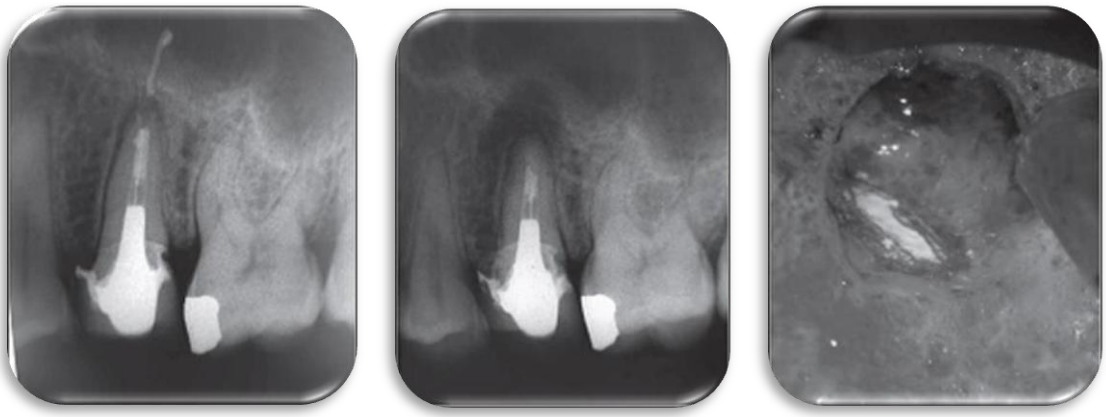
- Le scellement hermétique du système canalaire,
- La biocompatibilité,
- La stimulation de la régénération des tissus périapicaux,
- La bonne tolérance de l'humidité pour son durcissement,
- La stabilité volumétrique et l'absence de corrosion,
- L'absence de coloration des dents et des tissus adjacents,
- La facilité de manipulation,
- La radio-opacité distincte de la dentine.

A nouveau, les bons résultats du MTA en obturation *a retro* ont conduit à utiliser Biodentine™ pour cette indication.

3.3.2.3.9.5.1. Etude de cas de Caron *et al* *[213](Caron)*

Deux cas similaires nécessitant un acte d'endodontie chirurgicale ont été présentés par ***Caron*** *et al.* Dans le premier cas, la patiente âgée de 45 ans lui a été adressée par son praticien traitant pour une lésion périapicale asymptomatique découverte fortuitement lors d'un suivi de routine. Cette lésion est située en regard de la deuxième prémolaire maxillaire gauche (25), support d'une couronne céramo-métallique, présentant un inlay-core volumineux. Dans l'autre cas, la patiente âgée de 50 ans souffre d'une maladie de Crohn stabilisée.

Une douleur à la percussion et à la palpation est détectée sur la 25, avec un dépassement de pâte d'obturation visible radiologiquement. Son praticien traitant a réalisé un retraitement endodontique mais les symptômes n'ont pas cessé et le dépassement de pâte n'a pas pu être éliminé. Le praticien a alors réalisé un lambeau d'accès pour cureter la pâte, à nouveau sans disparition des symptômes. La patiente a donc été adressée pour réaliser une obturation *a retro* **(Fig.3-48).**



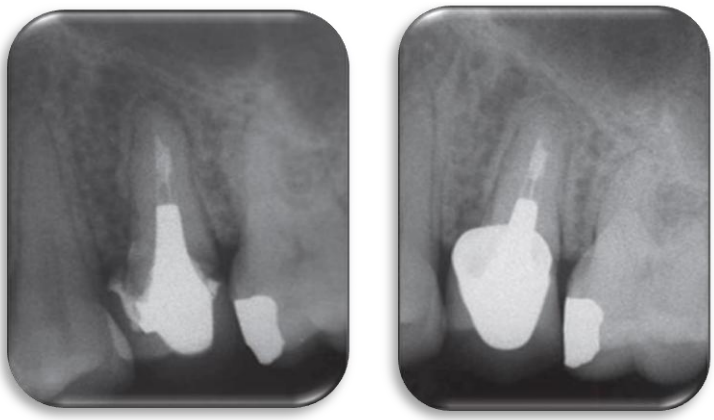


Fig.3-48 : Obturation *a retro* de la 25 au Biodentine™. *[213](Caron)*

(De gauche à droite) Radiographie préopératoire, postopératoire, observation à fort grossissement de l'obturation, contrôle à 6 mois et à 2 ans

Le traitement est le même pour les deux cas. Après anesthésie et bain de bouche antiseptique, un lambeau est réalisé suivi d'une ostéotomie sous irrigation constante au sérum physiologique. L'hémostase est réalisée au moyen de compresses imbibées de sulfate ferrique. Une résection de la racine est réalisée perpendiculairement à l'axe de la dent sur 3 mm. La cavité d'obturation est préparée à l'aide d'inserts ultrasonores sur une profondeur de 3mm environ. Après séchage, Biodentine™ est appliqué sur le site opératoire et l'excès de matériau est retiré avec un coton stérile. Une radiographie est réalisée pour contrôler la qualité de l'obturation. La cavité osseuse est rincée et le lambeau suturé. Une séance de contrôle est programmée à 1, 3, 6, 12 et 24 mois. Aucun symptôme douloureux ou pathologique n'est observé et les radiographies montrent une reminéralisation osseuse de la lésion ainsi que la régénération du desmodonte.

3.3.2.3.9.5.2. Etude de cas de Bronnec *[210](Bronnec):*

Bronnec a rapporté un autre cas d'obturation au Biodentine™. Le patient présente une symptomatologie persistante de lésion périapicale après un retraitement orthograde sur l'incisive latérale maxillaire droite (12): 3 mois après le retraitement, la radiographie montre une persistance de la radioclarté et une résorption inflammatoire de l'apex. Un inlay-core est en place ainsi qu'une couronne provisoire. L'obturation endodontique est jugée satisfaisante. Le protocole de la résection apicale et de l'obturation avec Biodentine™ est quasiment identique aux deux cas précédents. Le patient est revu 48h plus tard pour la dépose des fils et trois mois plus tard pour un contrôle. Les symptômes ont disparu et la lésion semble bien cicatriser. A un an la guérison est complète **(Fig.3-49)**



Fig.3-49 : Obturation *a retro* de la 12 avec Biodentine™ *[210](Bronnec)*

(de gauche à droite) : Radiographie avant le retraitement endodontique, radiographie de contrôle du retraitement montrant une absence de guérison, obturation a retro observée au microscope, radiographie postopératoire, contrôle à 1 an

L'efficacité de Biodentine™ semble donc satisfaisante en considérant ces quelques cas. La prise rapide du matériau et sa facilité d'utilisation est un avantage par rapport au MTA dont les propriétés biologiques sont similaires. Selon les auteurs, sa capacité de liaison avec la dentine pour cette indication est soit identique, soit légèrement inférieure au MTA. L'inconvénient de Biodentine™ pour cette indication est sa radio-opacité similaire à la dentine, rendant difficile la visualisation de l'obturation rétrograde, surtout si l'apport du matériau est faible *[213(Caron)*

3.3.2.3.9.5.3. Synthèse de quelques cas publiés d'obturations *a retro* avec Biodentine™

Tableau 3-12 : Synthèse de quelques cas publiés d'obturations a retro avec Biodentine™.			
Auteurs	**Nbre de cas**	**Objectifs**	**Résultats**
Bronnec, *[210](Bronnec)*	**1**	Résection apicale et obturation *a retro*. Lésion périapicale présente	Aucun symptôme à 3 mois et 1 an
Caron *et al.* *[213](Caron)*	**2**	Résection apicale et obturation *a retro*. Lésion périapicale présente.	Aucun symptôme à 1 et 2 ans.
Pawar *et al.* *[214](Pawar)*	**1**	Résection apicale, obturation *a retro* et obturation canalaire. Exérèse du kyste périapical large.	Aucun symptôme à 1, 3, 6, 12 et 18 mois. Bonne guérison de la lésion, complète à 18 mois
Gutierrez, *[215](Gutiérrez)*	**1**	Obturation canalaire, résection apicale et obturation *a retro*. Lésion périapicale présente.	Pas de suivi décrit.

3.3.2.3.9.6. Résorptions et perforations radiculaires

Une résorption est un état associé à un processus physiologique ou pathologique conduisant à une perte de dentine, de cément et/ou d'os (*American Association of Endodontists*). Elle peut avoir plusieurs origines et localisations. Elle est interne ou externe, inflammatoire ou de remplacement. Elle peut aboutir à une perforation et faire communiquer la cavité pulpaire et les tissus parodontaux *[182](Simon)*

Son étiologie peut provenir de facteurs généraux : maladies systémiques ou endocriniennes, prise de certains médicaments ; ou de facteurs locaux, tels que des traumatismes, des traitements orthodontiques, des infections et des agents chimiques ou thermiques. Les perforations peuvent aussi avoir une origine iatrogène, notamment lors des traitements ou retraitements endodontiques orthogrades *[216](Gluskin).*

Le MTA est jusqu'alors un matériau de choix pour traiter ce type de lésions *[106] (Parirokh).* Biodentine™ semble plus intéressant grâce à ses propriétés mécaniques plus élevées et son temps de prise réduit. ***Jeevani** et al* ont étudié la résistance à la micro-infiltration de Biodentine™ en tant que matériau d'obturation des perforations du plancher pulpaire *[217](Jeevani).* L'infiltration est plus élevée pour Biodentine™ que pour le MM-MTA™, mais cette infiltration a été mesurée à 48 h, alors que les propriétés de liaison de Biodentine™ s'améliorent avec le temps.

***Aggarwal** et al*. confirment cette amélioration des propriétés en mesurant la force d'adhésion de Biodentine™ à la dentine de molaires extraites avec ou sans contamination sanguine *[218](Aggarwal).* Cette force augmente avec le temps, notamment au bout d'une semaine et sans être altérée par une exposition au sang.

Une étude de ***Gruneser** et al.* souligne la bonne adhérence de Biodentine™ à la dentine en présence de plusieurs irrigants utilisés en endodontie (Hypochlorite de Sodium à 3,5%, chlorhexidine et solution saline, pour la même indication de réparation des perforations

[219](Gruneser). Plusieurs études de cas confirment l'efficacité de Biodentine™ pour l'obturation des perforations.

3.3.2.3.9.6.1. Etude de cas de Bronnec *[210](Bronnec)*

Bronnec a présenté un cas de soin de perforation du plancher pulpaire. La patiente lui a été adressée après une complication survenue au cours d'un retraitement endodontique de la 26. Une symptomatologie de type parodontite apicale est mise en évidence et la radiographie montre d'une part des lésions périapicales en regard des apex, ce qui justifiait le retraitement endodontique, d'autre part une radioclarté est visible au niveau de la furcation sans perte d'attache parodontale associée. L'obturation provisoire est déposée, permettant de diagnostiquer une perforation iatrogène du plancher pulpaire. En accord avec la patiente, il est décidé de tenter de conserver la dent en tentant la réparation de la perforation.

Deux séances seront nécessaires. D'abord, la perforation est nettoyée au moyen d'inserts ultrasonores après désobturation et préparation canalaire. De l'Hydroxyde de Calcium est mis en place en interséance pour réduire l'inflammation parodontale. Une semaine plus tard les symptômes ont disparu. L'obturation de la perforation est réalisée avant celle des canaux, pour éviter une contamination de la perforation par le ciment de scellement canalaire. Les orifices canalaires sont isolés par du coton stérile puis la perforation est obturée avec Biodentine™ à l'aide d'un porte-amalgame. Le matériau est adapté à la cavité avec une boulette de coton sans compression. Puis l'obturation canalaire est réalisée après curetage des excès de matériau. En fin de séance, la convexité du plancher pulpaire est recréée en fraisant Biodentine™, en vue d'une future restauration indirecte.

Puis une coiffe métallique provisoire scellée au CVI est mise en place. 3 mois plus tard, aucun symptôme n'est observé et la radiographie montre la guérison des lésions périapicales et au niveau de la furcation **(Fig.3-50)**



Fig.3-50 : Réparation d'une perforation du plancher pulpaire de 26 avec du Biodentine *[210](Bronnec)*

(de gauche à droite) : Radiographie préopératoire, site de la perforation nettoyé observé au microscope, réparation de la perforation, radiographie postopératoire, contrôle à 1 an

3.3.2.3.9.6.2. Etude de cas de Bachoo *et al* *[220](Bachoo)*

Bachoo et al. ont, quant à eux, ont présenté un cas d'obturation de perforation radiculaire latérale.. Un homme âgé de 54 ans est adressé par son praticien traitant après une perforation distale iatrogénique de la 35, due à une tentative d'accès au canal pulpaire. Le patient décrit une douleur légère sur cette dent, exacerbée après la perforation.

Un Amalgame occluso-mésial est partiellement déposé pour accéder aux canaux et les tissus résiduels sont suffisamment importants pour permettre une restauration indirecte. La radiographie avec une lime en place met en évidence la perforation, une lésion périapicale est également visible justifiant la thérapeutique endodontique. Après anesthésie et mise en place d'une digue, le canal est préparé, rincé, séché et protégé par du coton stérile. La perforation est visible au microscope optique et mesure 5 sur 2 mm ; elle se situe sous la crête osseuse alvéolaire. Après rinçage et obtention de l'hémostase, Biodentine™ est mis en place avec un fouloir à amalgame. Puis l'obturation endodontique est réalisée. La radiographie de contrôle montre une reconstitution du desmodonte et l'examen ne révèle aucune douleur **(Fig.3-51)**

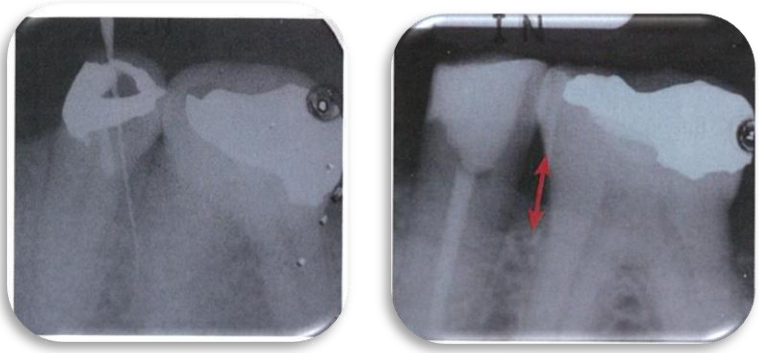


Fig.3-51 : Réparation d'une perforation distale de 35 au Biodentine™. *[220](Bachoo)*

Radiographie préopératoire avec la perforation mise en évidence, radiographie postopératoire

Dans ces cas de figure, la rapidité de prise du matériau permet aussi de réduire le temps de traitement tout en associant biocompatibilité et résistance.

3.3.2.3.9.6.3. Synthèse de quelques cas publiés de réparations de perforations iatrogènes avec Biodentine™

Tableau 3-13 : Synthèse de quelques cas publiés de réparations de perforations iatrogènes avec Biodentine™.			
Auteurs	**Nbre de cas**	**Objectifs**	**Résultats**
Bachoo, *[220](Bachoo)*	**1**	Réparation d'une perforation iatrogène en distal de la chambre pulpaire d'une 35, survenue après un échec de trépanation. Obturation canalaire.	pas de résultats précisés
Bronnec, *[210](Bronnec)*	**2**	Réparation d'une perforation iatrogène du plancher pulpaire. Obturation canalaire ou ré-obturation selon le cas. Des lésions périapicales sont présentes.	A 3 mois, les lésions sont en cours de guérison. A 1 an aucun symptôme
Roubalikova, *[174] (Roubalikova)*	**4**	Réparation de 2 perforations iatrogènes du 1/3 coronaire et 2 du plancher pulpaire. Obturation canalaire	Aucun symptôme à 2 et 4 mois
Dammaschke, *[185] (Dammaschke)*	**1**	Réparation d'une perforation iatrogène du plancher pulpaire. Obturation canalaire.	Aucun symptôme à 1 mois, résorption de la radioclarté inter-radiculaire
Cutts, *[192](Cutts)*	**3**	Réparation de perforations iatrogènes du plancher pulpaire. Obturation canalaire ou ré-obturation selon le cas.	Pour 2 cas, aucun symptôme à 3 et 6 mois, non précisé pour le 3ème cas
Gomez-Rojas *et al* *[221] (Gómez-Rojas)*	**2**	Réparation de perforations iatrogènes du plancher pulpaire. Ré-obturation radiculaire et restauration au composite.	Aucun symptôme à 6 et 12 mois, guérison de la lésion.
Lorenzo, *[222](Lorenzo)*	**1**	Réparation d'une perforation iatrogène du plancher pulpaire, après dépose d'un amalgame, ré-obturation canalaire, pose d'une couronne.	Aucun symptôme à 2 et 3 ans.

3.3.2.3.10. AVANTAGES

D'après **Septodont**, l'emploi de Biodentine™ présente les avantages suivants :

- Une manipulation aisée.
- Une bonne sculpture anatomique.
- Une bonne adaptation marginale.
- Une meilleure tolérance que le Filtek Z100.
- Une excellente tolérance pulpaire.
- Un maintien de la vitalité pulpaire, même dans les cas difficiles.
- Un temps de prise et résistance à la compression supérieure aux matériaux à base de Silicate de Calcium (MTA, ProRoot MTA, White MTA).
- Une dureté proche de la dentine naturelle.

3.3.2.3.11. INCONVENIENTS

Les inconvénients de Biodentine™ sont :

• Une faible résistance à l'usure : il existe une dégradation de l'anatomie, des contacts inter-proximaux et marginaux six mois après la mise en place.

• Dans 93,8% des cas, il faut déposer une certaine épaisseur de Biodentine™, afin de la conserver seulement comme substitut dentinaire. Elle peut alors être recouverte de CVI, résine composite, CVIMAR ou amalgame en fonction des indications *[111] (Septodont SRD)*

En résumé

Si la notion fondamentale à retenir concernant les ciments minéraux à base de silicate de calcium est la bioactivité (formation d'hydroxyapatite, cicatrisation pulpaire, formation de dentine réparatrice), il va sans dire qu'en fonction des propriétés de chacun des matériaux constituant cette famille, les indications pourront être différentes.

Actuellement, la plupart des matériaux sont à visée endodontique. Cependant, avec le ciment hautement purifié « Biodentine™ », initialement commercialisé à des fins restauratrices comme substitut dentinaire car ses propriétés mécaniques, physico-chimiques, de mise en œuvre, de biocompatibilité, d'auto-réparation le permettent, sa bioactivité dans les domaines pulpaires et parodontaux permet d'expliquer l'extension de ses indications vers une utilisation dans les thérapeutiques endodontiques.

3. 4. THERAPEUTIQUES DENTINOGENES SUR DENT MATURE

Introduction

Le coiffage d'une pulpe par un biomatériau est un acte opératoire codifié, qui, en soi, ne présente pas de difficulté technique majeure. En revanche, la prise de décision et les conditions de sa réalisation clinique sont des éléments déterminants pour le pronostic, conditionnant le succès ou l'échec des thérapeutiques bioconservatrices. *Quand et dans quelles limites le praticien peut-il envisager ces thérapeutiques pour conserver la totalité ou une partie d'une pulpe exposée* ? *[223](Boukpessi)*

D'une manière générale, dès qu'il s'agit de préserver la vitalité pulpaire quelle que soit la situation clinique, il est essentiel, dans un premier temps, d'évaluer l'état pulpaire. Ne disposant d'aucun test fiable à 100 %, le diagnostic pulpaire s'établit grâce à la somme des éléments recueillis lors de l'anamnèse, de l'examen clinique et radiologique, ajoutés aux réponses obtenues lors des tests *[224](Paladino).*

3.4.1. EVALUATION DE L'ETAT PULPAIRE

Il n'existe pas de règles de bonne pratique pour décider clairement la limite entre dépulpation et conservation de la vitalité pulpaire. Le sens clinique et l'expérience du praticien sont encore prédominants dans la décision du maintien de la vitalité pulpaire *[225](Deveaux)*

3.4.1.1. Le potentiel réparateur de la pulpe

Il ne faut pas surestimer ou sous-estimer le potentiel réparateur du complexe pulpodentinaire. En effet, chaque dent possède, à un temps donné, un pouvoir de cicatrisation et de réparation qui lui est propre et limite. Plus le tissu pulpaire est jeune, plus le potentiel réparateur est grand. Avec le vieillissement, le potentiel réparateur de la pulpe diminue *[226] (Chazel).* De plus, à chaque agression, ce potentiel est altéré. Les agressions vont ainsi provoquer un vieillissement prématuré de la pulpe, limitant ainsi les possibilités de cicatrisation ultérieure.

Lorsque la succession d'agressions dépasse la capacité de réponse du tissu pulpaire, une inflammation pulpaire aigue ou chronique, voire une nécrose, peut survenir et s'accompagner de sensibilités douloureuses. Un élément dentaire déjà altéré par des pathologies carieuses ou parodontales, même en présence d'une chambre pulpaire réduite, peut ainsi être incapable de réagir positivement aux agressions ultérieures *[224](Paladino)* **(Fig.3-52)**

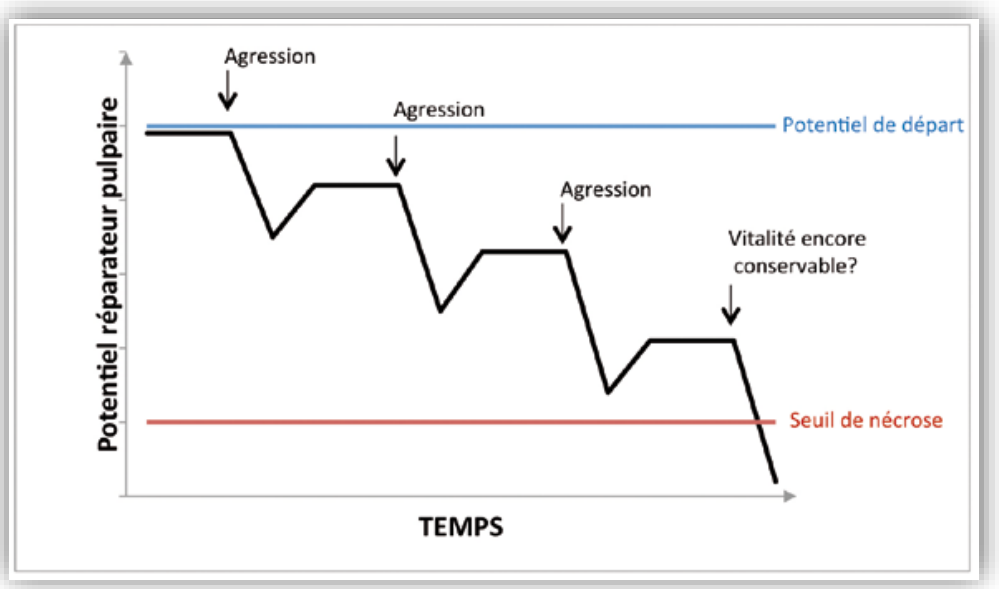


Fig.3-52 : Le potentiel réparateur de la pulpe diminue à chaque agression, l'âge avançant (adapté d'après Bence). *[224](Paladino)*

3.4.1.2. Les critères décisionnels cliniques

Le diagnostic clinique de la pathologie pulpaire et son pronostic ne s'établissent que sur une anamnèse circonstanciée, un examen clinique, des tests pulpaires et des radiographies.

3.4.1.2.1. L'âge du patient

C'est un des critères décisionnels les plus déterminants. Plus le patient est jeune et plus le potentiel réparateur pulpaire est grand. Il en découle le principe selon lequel toutes les techniques de conservation de la vitalité pulpaire doivent être mises en œuvre chez les sujets jeunes. Chez les jeunes patients, la section des tubuli va entrainer l'ouverture de grands vecteurs de diffusion et de filtration vers et depuis le tissu pulpaire. Il faudra donc, privilégier les restaurations directes *a minima* ou les préparations prothétiques partielles. De plus, en raison d'un gros volume pulpaire chez les sujets jeunes, l'épaisseur de dentine subsistante peut être insuffisante pour freiner les atteintes pulpaires lors des préparations périphériques. *[224](Paladino).* A l'inverse, en avançant dans l'âge, les dents présentent une perméabilité diminuée. Elle s'explique par l'accumulation de dépôts minéraux à l'intérieur des tubuli dentinaires et par la diminution du diamètre de ces derniers. Il existe aussi une diminution du volume pulpaire par apposition de dentine secondaire. Ces facteurs sont positifs dans le maintien de la vitalité pulpaire. Il faut aussi tenir compte du vieillissement physiologique du complexe pulpodentinaire avec l'âge. En raison des réductions du volume pulpaire, du nombre et de l'activité des éléments cellulaires nobles au profit des fibres et de calcifications, les réactions de réparation post-traumatiques sont amoindries et les processus de cicatrisation pulpaire seront moins actifs. *[226] (Chazel).*

3.4.1.2.2. Les pathologies générales circulatoires

L'état de sante général du patient nous informe indirectement sur les capacités de défense du complexe pulpodentinaire. La présence de troubles calciques, de pathologies circulatoires, ou affectant le système immunitaire (diabète, déficiences vitaminiques ou hormonales, maladies immunodépressives) sont des éléments défavorables pour l'état de santé pulpaire et devront inciter à la prudence lors de la conservation de la vitalité pulpaire

3.4.1.2.3. L'historique dentaire de la dent

L'historique dentaire reflète la capacité de réponse que l'on peut attendre de la pulpe. L'historique des agressions subies par la dent est très important et doit être pris en compte. L'absence d'atteinte carieuse ou de fraisage antérieur laisse intact le potentiel initial de cicatrisation pulpaire *[227](Farges).* Il augure ainsi du pronostic de survie de la vitalité le plus favorable. Des surfaces dentinaires intactes, et des dents ayant des restaurations étanches sont à considérer comme un signe positif. Les parafonctions sont des signes positifs de conservation de la vitalité pulpaire. Elles s'accompagnent généralement d'une rétraction du plafond de la chambre pulpaire. La présence d'obturation à l'amalgame en raison de la présence de produits de corrosion contenant du Cu, Sn Ca, Cl et Zn à l'intérieur des tubuli est un signe positif, car il signe la présence de dentine peu perméable. *[13] (Mount)* **(Fig.3-53)**



Fig.3-53 : Fracture de l'amalgame sur 26 laissant apercevoir l'infiltration de la dentine par les produits de corrosion métallique. *[224](Paladino)*

La présence de lésions parodontales avancées est un facteur défavorable au même titre qu'une occlusion mal équilibrée *[225](Deveaux).* Il faut être vigilant aussi en présence de restaurations anciennes, perméables ou de caries secondaires. Elles sont souvent le siège de bactéries dans les couches profondes de la dentine, en particulier, sous les restaurations composite, ou toutes les conditions requises pour leur prolifération sont assurées (humidité, température et nature du substrat) *[34] (El Arrouf).*

Dans certains cas, la dent peut présenter un état inflammatoire asymptomatique et évoluer de l'inflammation pulpaire à la nécrose de façon insidieuse. Cela s'explique par l'abolition de l'excitabilité des fibres nerveuses par les acides organiques contenus dans la lésion carieuse, mais aussi par la filtration du fluide dentinaire. Il est alors préférable, après dépose des anciennes obturations et éviction carieuse, de procéder à une période d'assainissement afin d'éviter une mauvaise interprétation clinique initiale. *[224](Paladino)*

3.4.1.2.4. La symptomatologie décrite par le patient

L'interrogatoire dentaire du patient est un élément majeur du diagnostic de l'état pulpaire.
L'absence de symptôme signe généralement l'absence d'inflammation au sein du tissu pulpaire, bien que certaines complications pulpaires se développent de façon asymptomatique. Une symptomatologie douloureuse est associée à une inflammation pulpaire.

- Les douleurs provoquées sont liées à des processus inflammatoires pulpaires mineurs et réversibles.
- Les douleurs spontanées sont constantes ou lancinantes. Elles se produisent en l'absence de stimulus et continuent après l'arrêt de celui-ci. Elles sont associées à une inflammation pulpaire majeure, étendue et irréversible ou à un processus dégénératif en cours ou à une nécrose pulpaire compliquée.

Ces données essentielles restent néanmoins subjectives et doivent être corroborées par les tests pulpaires.

3.4.1.2.5. L'évaluation par les tests pulpaires

Il n'existe aucun test pulpaire qui permette de décrire tous les états pulpaires possibles.
On distingue néanmoins :

- Les tests mesurant la vascularisation pulpaire : ce sont les tests de vitalité pulpaire,
- Les tests évaluant la réponse sensorielle : ce sont les tests de sensibilité pulpaire.

Tous ces tests, et dans la mesure du possible, doivent être mis en œuvre sur la dent dont on veut évaluer l'état pulpaire, mais aussi sur une dent controlatérale saine afin de pouvoir établir un comparatif.

3.4.1.2.5.1. Les tests de vitalité pulpaire

La vascularisation du tissu pulpaire est le critère le plus important pour déterminer l'état de santé pulpaire. C'est d'ailleurs l'arrêt de la circulation sanguine intrapulpaire qui induit la nécrose pulpaire.

- **La Fluxmétrie Laser Doppler (LDF) :** La Fluxmétrie Laser Doppler est une technique fiable, non-invasive, de haute précision dont la validité dans l'évaluation de la vitalité pulpaire a été démontrée *[228] (Gopikrishna) ; [229] (Chen) [230] (Vaghela); [231] (Roeykens)*. Elle permet un suivi de la vitalité pulpaire puisque ses résultats ne sont pas opérateur-dépendants et sont ainsi comparables *[232] (Karayilmaz)*. Son efficacité est également reconnue sur les dents immatures *[233] (Samraj)*. Cette technique permet

de diagnostiquer à un stade précoce la nécrose pulpaire *[234](Chala).* Mais, elle requiert un long temps d'enregistrement, jusqu'à une heure et au coût prohibitif *[235] (Ashraf)*

- **L'oxymétrie pulsative :** C'est une méthode non-invasive, objective et considérée comme efficace dans la détermination de la vitalité pulpaire. *[236] (Jespersen); [237] (Jafarzadeh).* Elle fournit des résultats fiables, reproductibles, et comparables entre deux mesures. Elle permet de mesurer la circulation pulpaire à travers l'émail et la dentine, indépendamment de la circulation gingivale. *[233] (Samraj); [230] (Vaghela)*. C'est une méthode qui semble appropriée à un usage pédiatrique, puisqu'elle ne provoque aucune sensation désagréable, et la mesure est effectuée assez rapidement. Elle est de plus applicable sur les dents temporaires et immatures dont l'innervation incomplète réduit l'efficacité des autres méthodes.

Tous les tests de vitalité pulpaire sont difficiles à mettre en œuvre dans l'exercice quotidien, et les tissus parodontaux peuvent contaminer les mesures et fausser les résultats obtenus. Leur fiabilité et leur précision doivent encore être améliorées. Aucun test de vitalité n'a prouvé être supérieur aux tests de sensibilité pulpaire sur tous les aspects *[238](Chen).*

3.4.1.2.5.2. Les tests de sensibilité pulpaire

Les résultats de ces tests permettent d'évaluer la réponse sensorielle pulpaire en activant les fibres nerveuses Aα et d'extrapoler l'état de santé pulpaire *[238](Chen)*

- **Les tests de sensibilité au froid :** Ce sont les plus connus et les plus utilisés. Un test au froid sur une dent à pulpe saine doit être positif, le patient ressent une sensation de gêne ou de douleur légère à modérée mais limitée dans le temps. Une douleur vive, intense et durable par rapport aux dents témoins permet d'orienter le diagnostic vers une inflammation pulpaire irréversible. Dans le cas d'une inflammation pulpaire chronique, le patient peut ressentir une sensation de gêne, de très légère douleur mais, le plus souvent, un retard de réponse aux stimuli est observé. Une douleur diminuée par le froid ou une absence de réponse peuvent correspondre à une nécrose pulpaire. Ce diagnostic est uniquement clinique, et non histologique. *[228] (Gopikrishna).* Le test au froid est influencé par plusieurs paramètres, qui rendent ses résultats inconstants : l'âge, le volume de la chambre pulpaire, l'épaisseur amélaire. *[239] (Villa-Chávez)*.

- **Les tests de sensibilité au chaud :** Ces tests sont à éviter car dangereux pour le tissu pulpaire. Les réponses obtenues par ces tests sont équivalentes à celles obtenues par le test au froid. Le test s'avère positif avec une dent à pulpe saine et une dent présentant une inflammation pulpaire réversible. La douleur est exacerbée en cas d'inflammation pulpaire. Un test au chaud très douloureux caractérise la présence de

micro-abcès à l'intérieur de la pulpe ou une nécrose complète du tissu pulpaire avec complications infectieuses périapicales. Tout comme le test au froid, le test au chaud repose sur une réponse subjective du patient, et n'est donc pas une mesure directe de la vitalité pulpaire. Il ne quantifie pas l'état de santé de la pulpe mais simplement si elle est vitale ou non. ***[240] (Ashraf)***

Les tests thermiques sont informatifs lorsqu'ils déclenchent une réponse douloureuse chez les patients. Ils sont très utiles pour diagnostiquer la dent causale dans les pathologies pulpaires. L'intensité de la réponse varie d'un individu à un autre. De plus, des modifications du seuil douloureux peuvent être engendrées par le stress (diminution du seuil) ou par la prise d'antalgiques (augmentation du seuil). La réponse aux tests est influencée par différents facteurs tels que l'épaisseur de l'émail, l'épaisseur de la dentine secondaire ou tertiaire, le seuil douloureux, le seuil émotionnel et l'âge du patient. ***[237] (Jafarzadeh)***

- **Les tests électriques :** ce sont des tests de sensibilité qui repose sur l'excitation directe des fibres nerveuses pulpaires A$delta$ à l'aide d'un stimulus électrique. Une dent à pulpe vivante répond positivement à un test électrique avec des valeurs comprises dans la fourchette indiquée par le fabricant. Une dent présentant une inflammation pulpaire irréversible nécessite une intensité de courant moins élevée que la normale pour être stimulée. Une dent à pulpe nécrosée ou en voie de dégénérescence nécessite au contraire une intensité de courant électrique plus importante pour être stimulée. En cas de nécrose pulpaire, la pulpe peut ne répondre à aucun stimulus électrique qu'elle qu'en soit l'intensité. Le test électrique permet d'obtenir une valeur spécifique et reproductible du seuil de réaction d'une dent. Cette valeur peut être utilisée dans un but comparatif dans le temps sur une même dent, ou sur des dents différentes. ***[235] (Ashraf).***

Tout comme les tests thermiques, il s'agit d'un test subjectif et non d'une mesure directe de la vitalité pulpaire. Il est également préférable de ne pas l'utiliser sur des dents couronnées, restaurées, ou en cours de traitement orthodontique, car ces situations engendrent beaucoup de faux négatifs par transmission du courant aux dents adjacentes. ***[229] (Chen)***

La combinaison des tests au froid et des tests électriques donne les résultats les plus favorables ***[241](Weisleder).***. De plus, l'état pulpaire ne pourra pas toujours être estimé à l'aide de ces tests, sur les dents présentant :

- Des calcifications : en cas d'apposition de dentine tertiaire suite à une agression externe, la lumière canalaire dans sa portion coronaire peut être oblitérée et la transmission des stimuli thermiques et électriques est alors bloquée ***[6] (Simon)***
- Un apex immature : les dents à racine encore non formée présentent une immaturité sensorielle liée à leurs apex ouverts ***[242](Camp).*** Elles ont des seuils de sensibilité plus

élevés et nécessitent des stimuli plus importants que les dents normales pour provoquer une réponse**.**

- Une irritation mécanique : comme lors des manœuvres orthodontiques, celles-ci peuvent accroitre le flux vasculaire *[226] (Chazel)* et entrainer une perte temporaire de la sensibilité qui, en premier lieu, n'est pas liée à la perte de la vitalité *[234](Chala)*
- Un traumatisme : le paquet vasculo-nerveux est alors sidéré et peut ne pas répondre jusqu'à trois mois après le choc dans les cas de luxation *[243](Diangelis)*
- Les dents pluriradiculées, car différents statuts pulpaires (nécrose partielle d'une seule racine) peuvent coexister.

Les réponses aux tests de sensibilité couplées essentiellement aux informations recueillies auprès du patient permettent de distinguer cliniquement *[238](Chen) :*

- Les pulpes dites « normales » asymptomatiques répondant aux divers stimuli, sans réponse prolongée,
- Les pulpes supposées nécrosées si aucune réponse à aucun des tests n'est enregistrée,
- Les inflammations irréversibles, lorsque la douleur est sévère et prolongée ou spontanée, synonymes d'une pulpe inflammatoire ou lorsqu'il existe une réaction douloureuse. Elle requiert une pulpectomie.

3.4.1.2.6. L'examen radiographique

Cet examen nous informe peu sur l'état de santé pulpaire, et ne doit donc pas se substituer aux examens cliniques évaluant la sensibilité nerveuse, mais les compléter. Il va servir, particulièrement à :

- Évaluer les obturations antérieures et l'étendue des lésions carieuses,
- Apprécier les limites et le volume pulpaires (minéralisations, résorptions),
- Rechercher la rétraction d'une corne pulpaire signant la formation de dentine réactionnelle péripulpaire face à une lésion carieuse modérée. Elle constitue un signe favorable de maintien de la vitalité pulpaire car elle résulte de l'augmentation du dépôt de prédentine par les odontoblastes *[2] (Goldberg),*
- Estimer l'épaisseur résiduelle de dentine après la préparation (cliche pré et peropératoire).
- Voir l'aspect des structures périapicales et périradiculaires et détecter des lésions apicales.
- Examiner attentivement les tissus périradiculaires au niveau des dents ayant subi un traumatisme et de rechercher les signes d'une parodontite apicale ou encore une résorption inflammatoire *[234](Chala)*

3.4.1.2.7. Le type d'évolution de la lésion carieuse

Les caries à progression lente sont un signe en faveur de la conservation de la vitalité pulpaire. Elles présentent en effet une perméabilité dentinaire réduite par deux phénomènes *[244](Mjör) :*

- Hyperminéralisation de la dentine par augmentation de la minéralisation de la dentine péritubulaire,
- Hyperminéralisation de la dentine sous la lésion carieuse. Il existe aussi une formation de dentine tertiaire réactionnelle péripulpaire tubulaire *[245](Bjørndal).*

Les caries à progression rapide doivent inciter à la prudence. Elles sont un facteur défavorable au maintien de la vitalité pulpaire.

Elles s'accompagnent de réactions inflammatoires au sein du tissu pulpaire, d'une augmentation de la pression du fluide dentinaire qui entraine une exsudation de celui-ci, responsable de l'aspect humide de ces lésions *[244](Mjör).*

Elles peuvent induire la formation de dentine tertiaire de type atubulaire ou fibrodentine. En l'absence de formation de dentine tertiaire, ces lésions conduisent à la nécrose pulpaire et à des pathologies périapicales *[245](Bjørndal).*

Il existe des caries dont la progression n'est pas caractérisable ; elles montrent différentes phases à différents temps dans leur développement *[244](Mjör).* Et sur une même dent, différentes vitesses de progression peuvent coexister sur les différentes parois cavitaires de la lésion carieuse *[245](Bjørndal).* Ces lésions s'accompagnent de réactions tissulaires combinées. Elles sont difficilement interprétables.

3.4.1.2.8. La surface préparée

Il faut réaliser une évaluation de la perte de substance et de l'épaisseur résiduelle de dentine. Il existe en effet une corrélation entre l'épaisseur résiduelle de dentine et la sévérité de l'inflammation pulpaire. Plus l'épaisseur est faible et plus sévère est la réaction inflammatoire au sein du tissu pulpaire *[246](Viţalariu)*

Il est admis qu'une épaisseur résiduelle de dentine de plus de 2 mm est jugée nécessaire pour prévenir les réactions pulpaires aux procédures de restaurations lorsqu'elles sont inadaptées, en particulier lors d'un fraisage hypertraumatique, d'une dessiccation dentinaire exacerbée, d'une contamination bactérienne de la cavité avant restauration ou encore d'un mordançage trop long lors d'un collage. *[244](Mjör)*

Lorsque les protocoles opératoires sont respectés, l'épaisseur minimale résiduelle de dentine jugée nécessaire afin de prévenir des lésions pulpaires est passée, avec le recul sensible des restaurations métalliques de 2 mm, à 1mm puis à 0,5 mm *[47] (Cohen).*

Il existe un consensus aujourd'hui sur cette valeur seuil de 0,5 mm *[247](Ciucchi); [248](Murray) ; [6] (Simon)*. En-deçà de ce seuil, la pulpe est considérée comme exposée. Cette distance doit être appréciée cliniquement : recherche visuelle de zones dentinaires transparentes à fond rose, mesurée à l'aide de sondes graduées et objectivées et rapportées sur les clichés radiographiques rétroalvéolaires ou de type bite-wing pré et peropératoires.

Il faut en tenir compte en appréciant *[249](Murray) :*

- La profondeur des murs et du plancher cavitaires,
- Le volume et la surface cavitaires afin d'estimer la perméabilité dentinaire engendrée par la préparation **(Fig.3-54)**

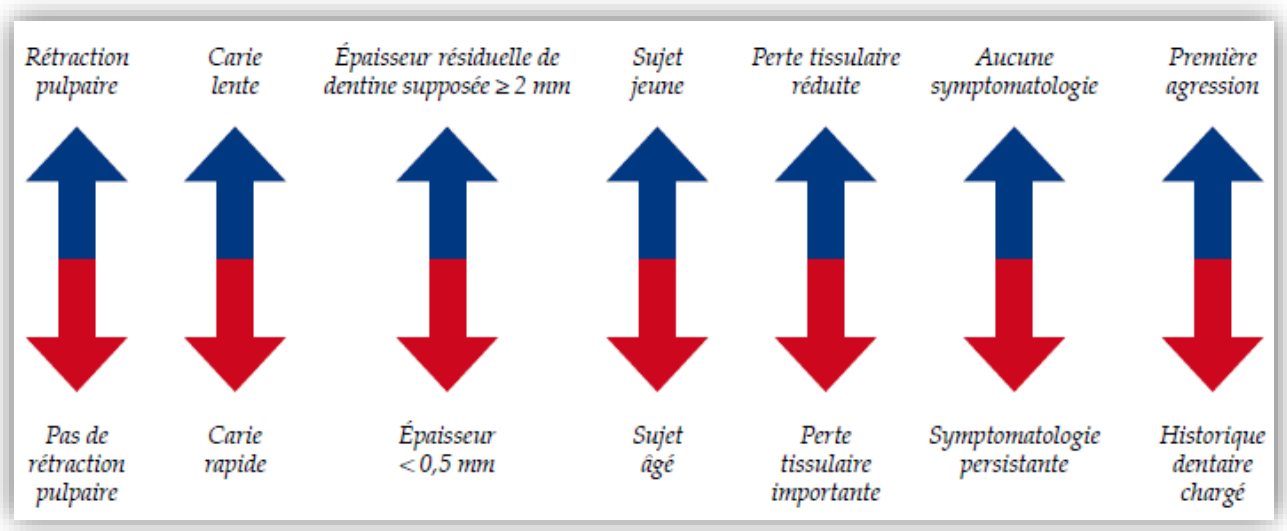


Fig.3-54 : les critères décisionnels cliniques de la conservation de la vitalité pulpaire *[224](Paladino)*

Conclusion

Les signes positifs de la conservation de la vitalité pulpaire sont : l'absence de fraisage initial qui augure d'un potentiel réparateur pulpaire intact, l'absence de symptomatologie douloureuse, la présence de dentine réactionnelle sclérotique ou péripulpaire (rétraction d'une corne pulpaire), les lésions carieuses à évolution lente, un sujet jeune.

Les signes négatifs regroupent : un historique dentaire lourd attestant un potentiel réparateur pulpaire amoindri, la présence de sensibilités provoquées, une épaisseur résiduelle de dentine inférieure à 0,5 mm, les lésions carieuses à évolution rapide, un âge avancé.

Le bilan de ces critères décisionnels va ainsi nous permettre d'appréhender l'état pulpaire de l'organe dentaire à traiter. Une majorité de signes positifs doit conduire à la conservation de la vitalité pulpaire alors qu'une majorité de signes négatifs à la dépulpation.

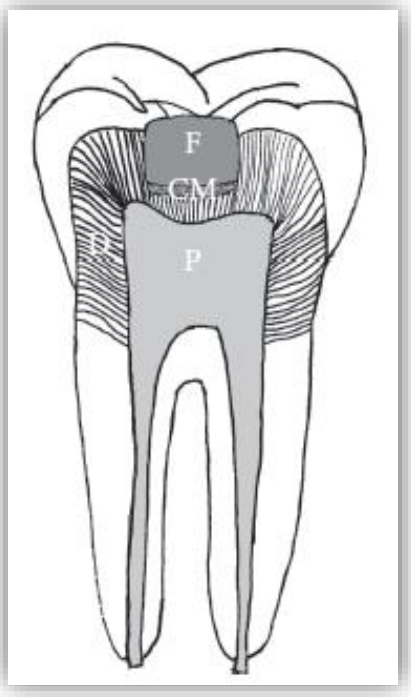
3.4.2. MISE EN ŒUVRE DES THERAPEUTIQUES BIOCONSERVATRICES DE LA VITALITE PULPAIRE

3.4.2.1. LE COIFFAGE PULPAIRE INDIRECT

3.4.2.1.1. Définitions

Le coiffage pulpaire indirect, selon ***Simon*** et al, désigne une technique qui consiste à éliminer la dentine cariée en ne laissant qu'une fine couche de dentine déminéralisée au contact de la pulpe, qui sera recouverte par un matériau de coiffage. Ce tissu sera laissé en place et cette procédure ne nécessite aucune autre forme d'intervention *[250](Simon)*

3.4.2.1.2. Mise en œuvre clinique du coiffage pulpaire indirect *[251](Hilton)*



(d) : dentine ; (p) : pulpe ; (cm) matériau de coiffage ;

Fig.3-55 : Schématisation des thérapeutiques vitales : Coiffage pulpaire indirect *[194](Zhang)*

Après vérification de la vitalité pulpaire, l'éviction totale de la dentine infectée peut être réalisée sous anesthésie. Seule la dentine saine est conservée *[252](Vianna).* Le matériau de protection pulpodentinaire est alors apposé en fond de cavité sur une épaisseur de 2 à 3mm et une obturation coronaire provisoire étanche est mise en place. **(Fig.3-55)**

Le matériau d'obturation coronaire a longtemps été un ciment à base d'Oxyde de Zinc-Eugénol, mais les Ciments Verre-Ionomère sont aujourd'hui à privilégier pour leur meilleure résistance mécanique et une insolubilité relative. *[253] (Hume) ; [254](Duncan)*

Koubi et al, préconisent plutôt une obturation à l'aide d'un ciment tricalcique « Biodentine », qui sera ensuite recouvert par une résine composite définitive. *[140] (Koubi)*
Ricketts et al, donnent pour un éventuel deuxième temps opératoire une fourchette de 3 semaines à 6 mois *[255](Ricketts)*

Tableau 3-14 : Coiffage pulpaire indirect sur dents permanentes rapporté dans la littérature					
Auteurs	**Année**	**Période d'observation**	**Taille de l'échantillon**	**% de succès**	**Matériau**
Nirschl et al *[256](Nirschi)*	1983	6 mois	38	94,1	$CaOH_2$
Bjørndal et al *[257](Bjørndal)*	1998	6 mois	94	94,6	$CaOH_2$
Orhan et al. *[258](Orhan)*	2008	3 mois	52	97,8	$CaOH_2$
Orhan et al. *[259](Orhan)*	2010	Plus 1 an	154	92-94	$CaOH_2$
Gruythuysen et al. *[260](Gruythuysen)*	2010	3 ans	66	93	$CaOH_2$
Bjørndal et al *[261](Bjørndal)*	2010	1 an	SE : = 143 EP : n = 149	74,1 62,4	$CaOH_2$
Maltz M and al. *[262](Maltz)*	2011	1 an ½ 3 ans 5 ans 10 ans	32	97 90 82 63	$CaOH_2$
Leye-Benoist et al. *[263](Leye-Benoist)*	2012	3 mois MTA 6 mois MTA 3 mois $CaOH_2$ 6 mois $CaOH_2$	60	93 89,6 73 73	MTA MTA $CaOH_2$ $CaOH_2$
Petrou and al. *[264](Petrou)*	2014	6 mois	31 29 26	86,9 90,5 94,5	$CaOH_2$ CP MTA

SE : Stepwise excavation ; EP : Eviction Partielle ; CP : Cement Portland

3.4.2.2. LE COIFFAGE PULPAIRE DIRECT

3.4.2.2.1. Définitions

Le coiffage pulpaire direct consiste à placer un matériau biocompatible au contact direct d'une petite parcelle de tissu pulpaire mis à nu, lequel est lui-même recouvert par un matériau d'obturation coronaire définitif *[265](Willershausen).*

Ce matériau aura pour rôle à la fois de protéger et d'isoler physiquement la pulpe de la cavité buccale par une bonne étanchéité de l'obturation, mais aussi d'induire sa guérison par une action anti-inflammatoire, voire par l'induction de son activité dentinogénétique. *[266](Smith)*

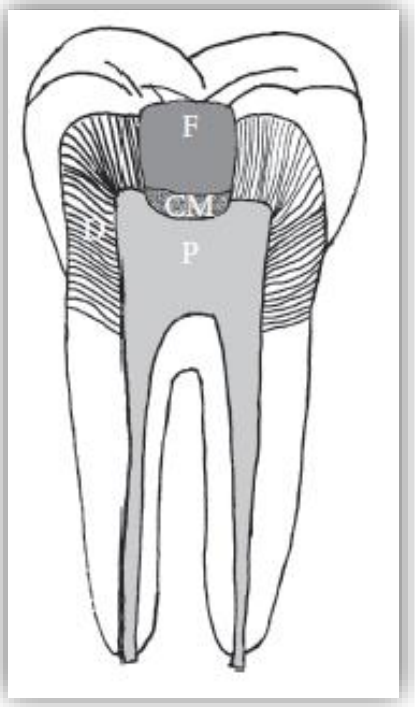
Selon ***Simon***, le coiffage pulpaire direct est une thérapeutique qui consiste à placer un matériau directement au contact de la pulpe sans éliminer de tissu au préalable. *[250](Simon)*

3.4.2.2.2. Indications thérapeutiques

Un coiffage pulpaire direct devra être réalisé lors d'une effraction pulpaire minime : inférieure à 0,5 mm pour ***Hevinga*** et al, *[267](Hevinga),* inférieure à 1mm et récente, moins de 24 heures pour ***Boukpessi*** et al. *[223](Boukpessi),* liée à un traumatisme ou une atteinte iatrogène lors de l'éviction d'une carie profonde *[268](Fransson).*

Le coiffage pulpaire direct peut donc s'envisager en présence d'une symptomatologie de catégorie I ou II de Baume *[265](Willershausen).* Il est également envisageable dans les cas d'exposition pulpaire après traumatisme puisque l'exposition est en général relativement récente et le tissu n'est ni contaminé, ni enflammé. *[250](Simon)*

3.4.2.2.3. Mise en œuvre clinique du coiffage pulpaire direct *[251](Hilton)*



(d) : dentine ; (p) : pulpe ; (cm) matériau de coiffage ; (f) : matériau de restauration

Fig.3-56 : Schématisation des thérapeutiques vitales : Coiffage Pulpaire Direct *[194](Zhang)*

Le principe de cette thérapeutique est de traiter la plaie pulpaire dans un environnement tissulaire le plus sain possible et en limitant au maximum la contamination bactérienne *[223](Boukpessi)*

Elle se traduit selon ***Bjørndal*** par l'isolation de la dent par une digue, suivie de l'excavation complète de la carie, et son nettoyage à l'aide d'une solution d'alcool contenant 5mg/L de chlorhexidine *[261](Bjørndal).*

Boukpessi préconise la désinfection de la plaie pulpaire uniquement avec du sérum physiologique stérile *[223](Boukpessi).* **(Fig.3-56)**

Après obtention de l'hémostase, un ciment à base d'Hydroxyde de Calcium est appliqué, le Dycal pour ***Willershausen*** et al. *[265](Willershausen)* et ***Boukpessi*** *[223](Boukpessi),* de l'Hydroxyde de Calcium pur pour ***Bjørndal*** *[261](Bjørndal)*

Iwamoto et al, procèdent immédiatement à l'obturation définitive à la résine composite avec système adhésif, tandis que ***Bjørndal*** préfère passer par une étape de restauration temporaire, et un mois plus tard, réaliser la restauration définitive, en laissant en place le ciment de coiffage et une fine couche de l'obturation temporaire pour être sûr que l'exposition pulpaire ne sera pas au contact du milieu buccal *[66] (Iwamato).* Un suivi régulier est à assurer à 3 mois puis une fois par an *[265](Willershausen); [254](Duncan)*

Le suivi est indispensable d'une part, pour vérifier la formation d'un pont dentinaire, objectivable sur une radiographie après 6 semaines et, d'autre part, pour intercepter les complications pulpaires, notamment parce qu'elles sont souvent non douloureuses. L'examen de contrôle comprend les différents tests de palpation, de percussion et de sensibilité (test électrique) et doit avoir lieu après 3-4 semaines, 3, 6 et 12 mois puis une fois par an pendant les 4-5 premières années. Des radiographies de contrôle doivent être régulièrement réalisées pour la détection de radioclartés apicales.

La présence et la persistance de douleurs intenses à 48 heures objectivent une inflammation pulpaire irréversible et orientent vers la pulpectomie *[223](Boukpessi)*

Tableau 3-15 : Coiffage pulpaire direct sur dents permanentes rapporté dans la littérature

Auteurs	Année	Période d'observation	Taille de l'échantillon	% de succès	Matériau
Beetke et al. *[269](Beetke)*	1990	1an	106	93,4	$CaOH_2$
Fitzgerald et al. *[270](Fitzgerald)*	1991	>6mois- 1an	18	75	$CaOH_2$
Matsuo et al. *[271](Marsuo)*	1996	>6mois- 1an >1-2ans	25	80	$CaOH_2$
Santucci *[272](Santucci)*	1999	6 mois 4-5ans	18	76 43,6	$CaOH_2$
Barthel et al. *[273](Barthel)*	2000	>5ans 10ans	123	37 13	$CaOH_2$
Al-Hiyasat et al. *[274](Al-Hiyasat)*	2006	3-5ans	204	59,3	$CaOH_2$
Farsi et al. *[275](Farsi)*	2006	>6mois- 1an >1-2ans	30 28	93,3 100	MTA
Bogen et al. *[93] (Bogen).*	2008	>6mois- 1an >1-2ans >2-3ans >3ans	49 49 12 17	100 100 100 98	MTA
Orhan et al *[258](Orhan)*	2008	3 mois	52	74,4	$CaOH_2$
Dammaschke et al. *[276](Dammaschke)*	2010	0.4-16.6 ans	248	76,3 après 13.3 ans	$CaOH_2$
Bjørndal et al. *[261](Bjørndal)*	2010	1an	22	31,8	$CaOH_2$
Orhan et al. *[259](Orhan)*	2010	>1an	154	78	$CaOH_2$
Mente et al. *[277](Mente)*	2010	6-5 ans	122	78 60	$CaOH_2$ MTA
Miles et al. *[278](Miles)*	2010	1an 2ans	51	67,7 56,2	MTA
Naito. *[279](Naito)*	2010	5ans	69 53	78,17 69,5	MTA $CaOH_2$
Willershausen B, et al *[265](Willershausen)*	2011	1an 5ans 9ans	1075	80,1 68 58,7	$CaOH_2$
Hilton and al. *[280](Hilton)*	2013	2ans	195 181	80,3 68,5	MTA $CaOH_2$
Nowicka et al. *[191](Nowicka)*	2013	6 semaines	11 11	100 100	MTA Biodentine
Mente et al. *[281](Mente)*	2014	>10ans	229	80,5 59	MTA $CaOH_2$
Asgary et al. *[282](Asgary)*	2014	13,4mois	28	96,4	CEM cement

3.4.2.3. LA PULPOTOMIE

3.4.2.3.1. Définition

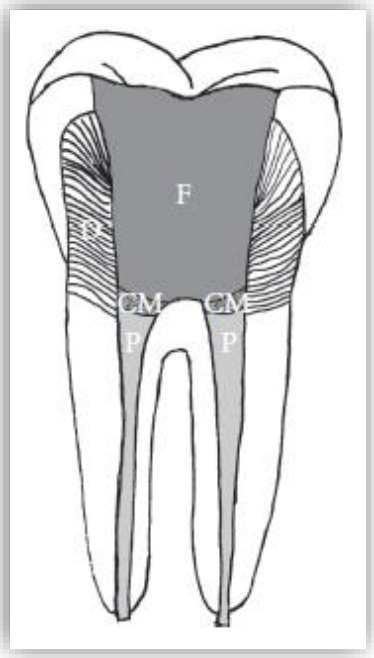
La pulpotomie est une intervention qui consiste à pratiquer, à un niveau choisi, la section de la pulpe, à éliminer la partie amputée et à placer après hémostase, au contact du moignon pulpaire radiculaire restant, une substance capable de permettre une obturation calcique dentinaire naturelle du canal. *[283](Hess).* La différence avec le coiffage pulpaire direct réside dans le fait que le matériau est maintenu sur une hauteur de 2 mm dans l'espace pulpaire. De ce fait, on dispose d'une surface et d'un volume suffisants pour mettre en place un matériau de restauration temporaire ou d'usage dans les meilleures conditions *[223](Boukpessi).*

3.4.2.3.2. Indications thérapeutiques

La pulpotomie se réalise traditionnellement sur des dents temporaires ou permanentes immatures présentant une lésion carieuse dont l'éviction va conduire à une exposition pulpaire, et dont la symptomatologie pulpaire se situera dans la catégorie I ou II de Baume, correspondant à une inflammation réversible de la pulpe. *[284](Barngkgei)*

Les indications de pulpotomie sont également les cas où le coiffage pulpaire devient impossible : une effraction pulpaire trop étendue, dans ce cas la surface de cicatrisation des filets pulpaires sectionnés sera plus faible après une pulpotomie qu'un coiffage pulpaire direct ; la pénétration accidentelle d'un instrument dans la pulpe, induisant une dilacération tissulaire et une inoculation bactérienne *[283](Hess).* L'objectif est de maintenir la vitalité pulpaire de ces dents, afin qu'elles puissent assurer leurs fonctions, tout en éliminant toute symptomatologie *[284](Barngkgei)*

3.4.2.3.3. Mise en œuvre clinique de la pulpotomie



(d) : dentine ; (p) : pulpe ; (cm) matériau de coiffage ; (f) : matériau de restauration

Fig.3-57 : Schématisation des thérapeutiques vitales : Pulpotomie *[194](Zhang)*

Après s'être assuré de la vitalité pulpaire, la dent est anesthésiée, et isolée de la salive. *[285](Subay).* La cavité est éventuellement élargie à l'aide d'une fraise boule diamantée montée sur turbine si la cavité carieuse n'est pas totalement accessible. On procède alors à l'éviction carieuse avec une irrigation abondante. Lorsque les parois sont propres, l'effraction pulpaire est bien visible, on procède à l'élimination de la pulpe camérale (totalement ou partiellement). *[284](Barngkgei).* **(Fig.3-57)**

Selon l'importance de l'inflammation pulpaire, qui sera à évaluer d'après l'importance du saignement, on va alors introduire dans les premiers millimètres des canaux une fraise boule acier de gros diamètre pourvue d'une irrigation d'eau stérile, afin de ne laisser au niveau canalaire qu'une pulpe saine et non enflammée *[285](Subay).*

Une irrigation à l'hypochlorite de Sodium à 5% permet de terminer la désinfection au contact de la pulpe *[286](Haghgoo)* **(Fig.3-58)**

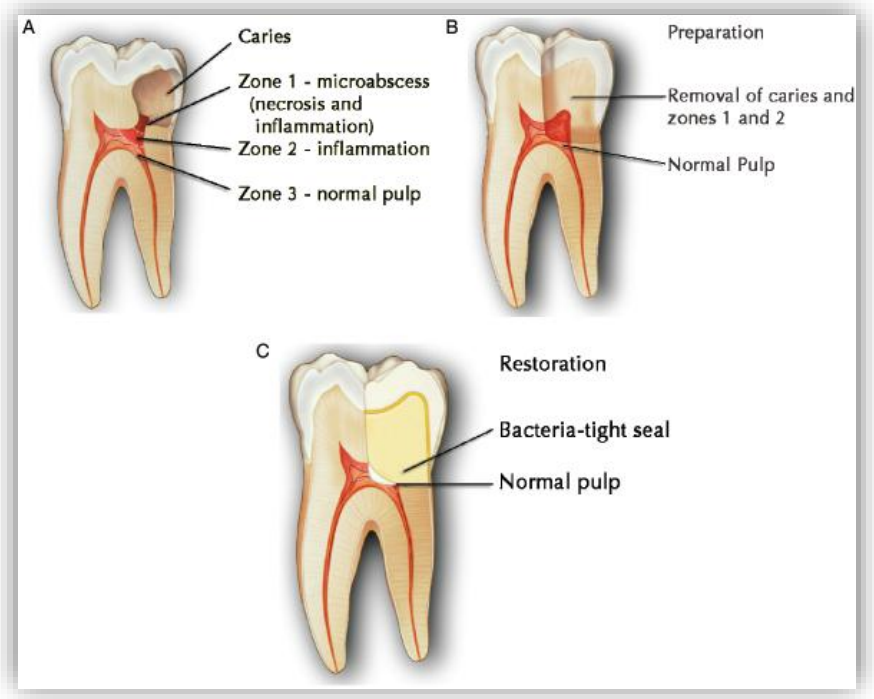


Fig.3-58 : Illustration d'une pulpotomie partielle suite à une exposition pulpaire *[35] (Swift)*

L'hémostase est ensuite assurée par des boulettes de coton stérile. Puis un ciment de protection pulpaire est mis en place pour isoler la pulpe. Puis, un CVI est placé en obturation temporaire. La restauration définitive sera réalisée en séance ultérieure.

Un suivi à long terme sera réalisé, avec des tests de vitalité et radiographiques, contrôlant la présence d'un pont dentinaire, la poursuite de l'apexogénèse pour les dents immatures, et l'absence de lésion apicale *[287](Eghbal) ; [288](Asgary)*

Tableau 3-16 : Pulpotomie partielle sur dents permanentes rapporté dans la littérature

Auteurs	Année	Période d'observation	Taille de l'échantillon	% de succès	Matériau
Ziberman et al *[289](Zilberman)*	1989	1-8 ans	15	93,3	$CaOH_2$
Mejàre et al *[290](Mejàre)*	1993	>1-2 ans >2-3 ans >3 ans	37 33 17	91 ,9 100 98,8	$CaOH_2$
Mass et al. *[291](Mass)*	1995	>6 mois -1 an >1-2 ans >2-3 ans >3 ans	35 32 21 6	97,1 96,9 95,2 100	$CaOH_2$
Nosrat et al *[292](Nosrat)*	1998	>6 mois -1 an >1-2 ans	6	100	$CaOH_2$
Barrieshi-Nusair et al *[293](Barrieshi-Nusair)*	2006	>6 mois -1 an >1-2 ans	28 21	82,1 95,2	MTA
Qudeimat *[294](Qudeimat)*	2007	>3 ans	50	91 93	$CaOH_2$ MTA
Bjørndal et al *[261](Bjørndal)*	2010	1 an	29	34,5 85	$CaOH_2$ MTA
Caprioglio et al. *[295](Caprioglio)*	2014	3 ans	27	85	MTA
Chailertvanitkul et al. *[296](Chailertvanitkul)*	2014	2 ans	84	99,8 99,8	MTA $CaOH_2$

Tableau 3-17 : Pulpotomie totale sur dents permanentes rapporté dans la littérature

Auteurs	Année	Période d'observation	Taille de l'échantillon	% de succès	Matériau
Caliskan *[297](Caliskan)*	1995	>6 mois -1 an >1-2 ans >2-3ans >3ans	24 8 6 6	91,7 100 100 100	$CaOH_2$
Waly *[298](Waly)*	1995	>6 mois -1 an >1-2 ans >2-3ans	20 20 19	100 95 94,7	$CaOH_2$
Teixeira et al. *[299](Teixeira)*	2001	>6 mois -1 an	41	82,8	$CaOH_2$
DeRosa TA. *[300](DeRosa)*	2006	>6 mois -1 an >1-2 ans >2-3ans	26 24 21	92,3 87,5 90,5	$CaOH_2$
Witherspoon *[301](Witherspoon)*	2006	>6 mois -1 an >1-2 ans	30	100 90	MTA
El-Meligy *[302](El-Meligy)*	2006	>6 mois -1 an	30	93,3 86,6	$CaOH_2$, MTA
Nosrat et al. *[303](Nosrat)*	2013	12mois	49	76,8 73,8	CEM cement MTA
Barngkge et al. *[284](Barngkgei)*	2013	24-42mois	11	100	MTA

3.5. THERAPEUTIQUES D'APEXOGENESE SUR DENT IMMATURE

Introduction

La période d'immaturité dentaire, bien que très brève au regard de la durée de vie de la dent sur arcade, apparaît comme déterminante pour sa pérennité future.

Face à la pathologie carieuse ou traumatique, l'immaturité de structure oblige à reconsidérer les thérapeutiques conservatrices en fonction du stade de formation radiculaire et apicale. Les traitements portent en effet sur des structures en évolution et doivent donc permettre aux structures dentaires et alvéolaires de parachever leur édification. Si l'immaturité des tissus constitutifs de la dent la rend plus vulnérable face à la maladie carieuse, cette même immaturité rend possible des thérapeutiques de prévention et de régénération en Dentisterie Conservatrice et en Traumatologie, thérapeutiques qui ne seront plus efficientes une fois la dent mature.

3.5.1. ASPECTS MORPHOLOGIQUES DU DEVELOPPEMENT DENTAIRE

L'odontogenèse est classiquement décrite par la succession de divers stades : lame, bourgeon, capuchon et cloche dentaires, différentiation terminale des odontoblastes et améloblastes, formation des racines (rhizagenèse) et différentiation fonctionnelle des cémentoblastes et éruption dentaire.

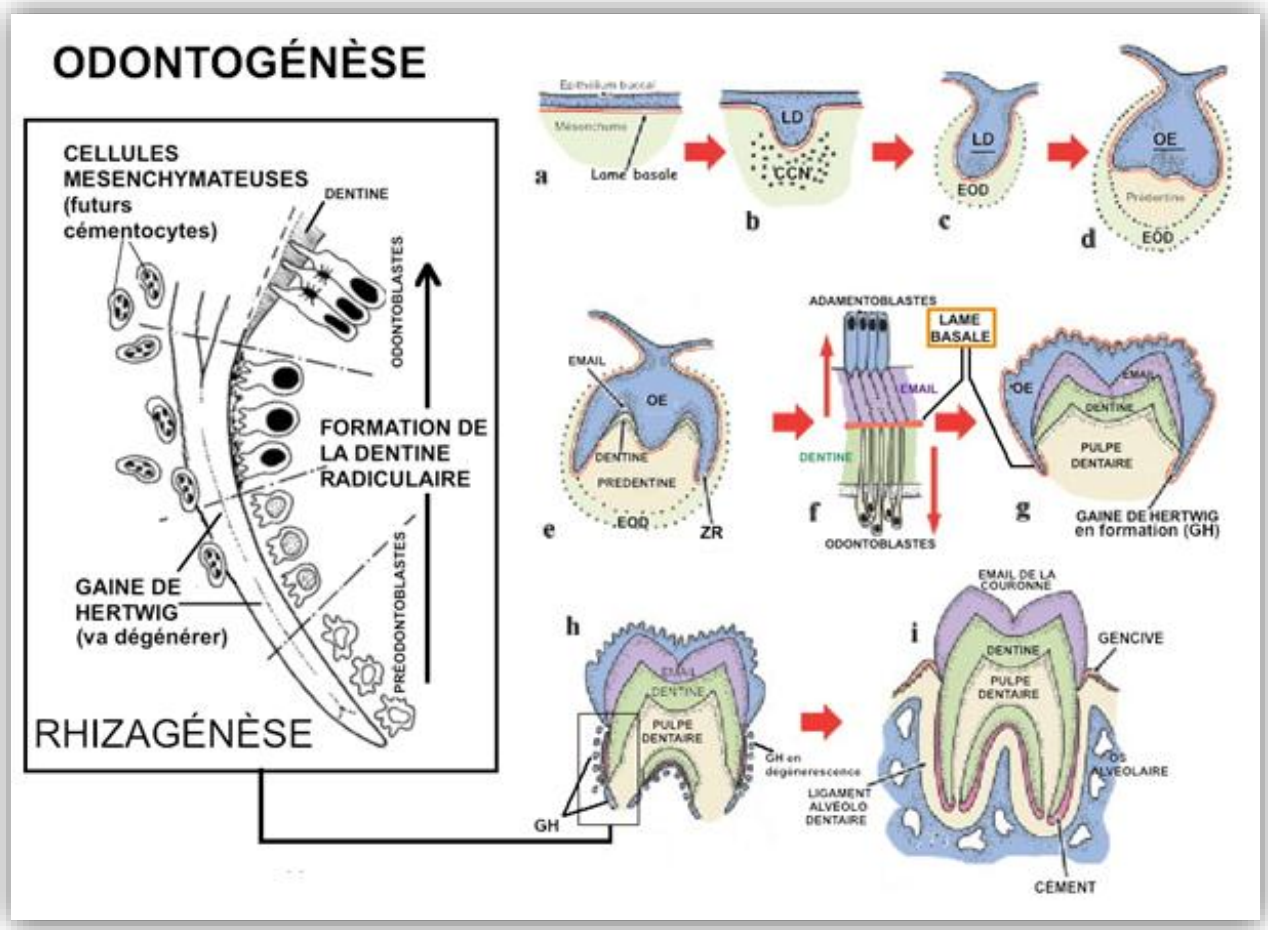


Fig.3-59 : Schéma récapitulatif de l'odontogenèse et rhizagenèse

[304](Ohshima)

3.5.2. PROBLEMATIQUE DE LA DENT IMMATURE

3.5.2.1. Immaturité amélaire

Lorsque la dent fait son éruption dans la cavité buccale, l'émail est immature. Il a bien atteint son degré final de minéralisation, soit 96 % du poids, pour 0,4 % pour la phase organique et 3,6 % pour la phase aqueuse, mais il va subir un processus de maturation postéruptive, comparable à un remaniement de subsurface *[305](Fejerskov).* L'émail est un tissu de structure complexe, qui, bien qu'il soit acellulaire, n'en est pas pour autant inerte. Tissu d'origine épithéliale, il est édifié lors de l'amélogénèse. *[306](Goldberg).*

3.5.2.2. Immaturité de la dentine

La dent permanente immature présente une immaturité également au niveau de la dentine. Ceci tient en premier lieu à la nature même de la dentinogénèse qui est continue mais différente tout au long de la vie. Pendant le développement dentaire et jusqu'à l'achèvement de la région apicale, la dentine synthétisée par les odontoblastes est considérée comme la dentine primaire. Une fois, la rhizagenèse complète, la dentine apposée tout au long de la vie dans des conditions physiologiques est la dentine secondaire. Enfin, la dentine tertiaire est formée en réponse à une agression, soit par les odontoblastes, il s'agit alors de dentine réactionnelle, soit par des cellules « odontoblastes-like » nouvellement différenciées, lorsque les odontoblastes ont été détruits, c'est la dentine de réparation *[1] (Lasfargues).*

D'un point de vue morphologique, la dent immature présente une absence de dentine secondaire, ce qui implique un volume pulpaire important, sans rétraction des parois de la chambre pulpaire et des cornes pulpaires.
De plus, chez le sujet jeune, le dépôt de dentine péricanaliculaire conduisant progressivement à l'oblitération des canalicules n'a pas encore eu lieu. La bordure hyperminéralisée de dentine péricanaliculaire est d'une part absente et, d'autre part, les zones profondes constituant le plafond pulpaire sont constituées à 80 % de canalicules ouverts. Les larges espaces péri-odontoblastiques contiennent des extrémités nerveuses et sont largement envahis par les fluides tissulaires, rendant la dentine très perméable *[1] (Lasfargues).*
Cliniquement, ceci a pour conséquence la progression rapide de la lésion carieuse dans la dentine, une fois la jonction amélodentinaire atteinte. Ainsi, la déminéralisation dentinaire, quant à elle, progresse plus rapidement à partir de micro-pertuis en général non diagnostiqués.

Une étude sur le sujet suggère que la dentine déminéralisée sous la jonction amélodentinaire libère des ions Phosphate, Calcium et Fluor, disponibles pour la reminéralisation par voie interne de l'émail sus-jacent, qui résisterait ainsi aux contraintes mécaniques externes du fait de ce renforcement en minéral *[307](Lynch); [1] (Lasfargues).*

3.5.2.3. Immaturité pulporadiculaire

Lorsque la dent arrive dans la cavité buccale, la racine est loin d'être achevée, puisque l'éruption a lieu en règle générale lorsque les deux tiers de la racine sont édifiés (Stade 8 de Nolla) **(Tableau 3-18)** et **(Fig.3-60)**

Tableau 3-18 : Stades de Nolla *[308](Opsahl)*	
Stade 0	**Absence de la crypte**
Stade 1	**Présence de la crypte**
Stade 2	**Calcification initiale**
Stade 3	**Un tiers de la couronne est minéralisé**
Stade 4	**Deux tiers de la couronne sont minéralisés**
Stade 5	**La couronne est minéralisée**
Stade 6	**Début d'édification radiculaire**
Stade 7	**Un tiers de la racine est minéralisé**
Stade 8	**Deux tiers de la racine sont minéralisés, la dent fait son éruption**
Stade 9	**La racine est édifiée, apex non fermé**
Stade 10	**L'extrémité apicale de la racine est achevée, la JCD est en place**

Selon les dents, une période d'un à quatre ans après l'éruption dans la cavité orale est nécessaire pour obtenir une édification radiculaire complète **(Tableau 3-19)**.

La dent immature se caractérise donc par une région apicale non encore formée, présentant une importante vascularisation et une intense activité cellulaire. Il est crucial pour permettre une rhizagenèse complète, de respecter cette zone et de préserver l'intégrité cellulaire de la pulpe. En effet, l'élongation radiculaire est obtenue grâce à la prolifération de la gaine d'Hertwig et de ses épithéliums, qui délimitent un mésenchyme pulpaire ou pulpe embryonnaire.

Dès que la racine a atteint sa longueur définitive, la gaine de Hertwig se désintègre, mettant ainsi la dentine à nu en contact direct avec le tissu conjonctif environnant, entraînant la formation de cémentoblastes, lesquels élaborent le cément primaire puis le cément secondaire qui prédomine au niveau du tiers apical des racines et contribue ainsi à la formation de l'apex *[306](Goldberg).*

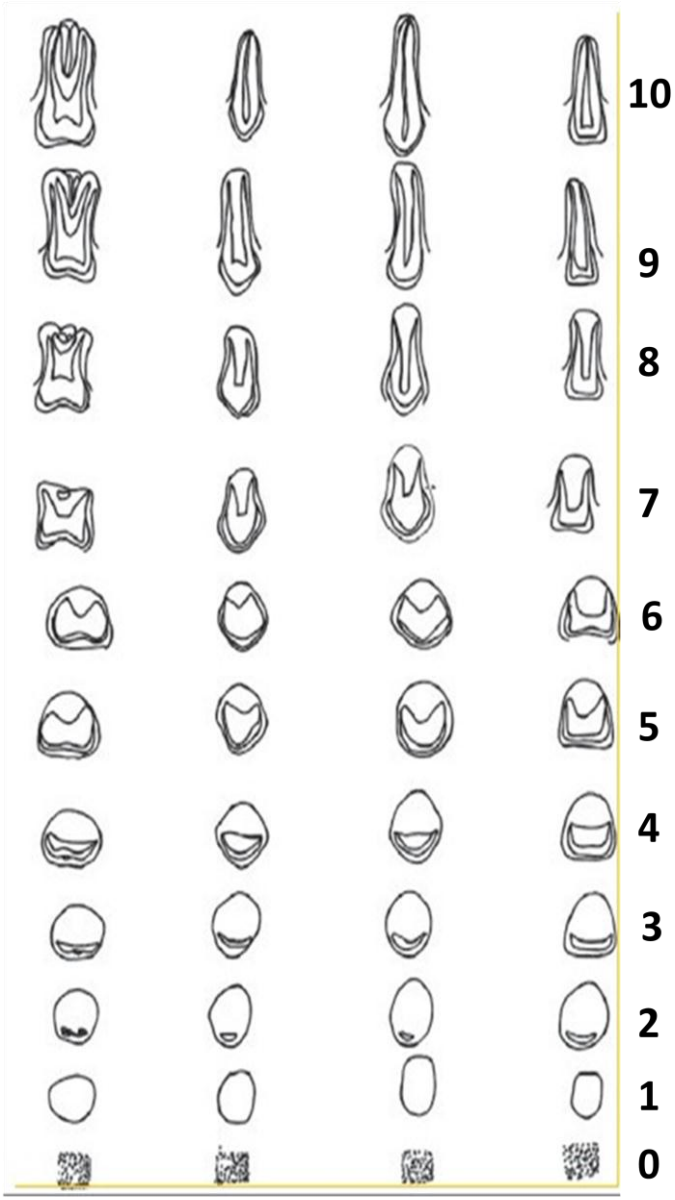


Fig.3-60 : Stades de Nolla

Tableau 3-19 : Chronologie de développement des dents permanentes [308](Opsahl)				
	Début minéralisation coronaire	**Couronne achevée**	**Eruption**	**Racine achevée**
Incisives centrales	**3-4 mois**	**4-5 ans**	**6-8 ans**	**10 ans**
Incisives latérales	**3-4 mois**	**4-5 ans**	**7-9 ans**	**11 ans**
Canines	**4-5 mois**	**6-7 ans**	**11-12 ans**	**13-15 ans**
1ères prémolaires	**1,5 – 2 ans**	**5-6 ans**	**9-10 ans**	**12-13 ans**
2èmes prémolaires	**2,2 – 5 ans**	**6-7 ans**	**10-11 ans**	**13-14 ans**
1ères molaires	**Naissance**	**2,5 -3 ans**	**6-7 ans**	**9-10 ans**
2èmes molaires	**2,5 – 3 ans**	**7-8 ans**	**11-13 ans**	**14-16 ans**
3èmes molaires	**7-10 ans**	**12-16 ans**	**17-21 ans**	**18-25 ans**

Pendant cette période d'édification radiculaire, les traitements doivent s'orienter vers une thérapeutique compatible avec la formation complète de la racine. De plus, une apposition dentinaire supplémentaire permettra une augmentation de l'épaisseur des racines, diminuant ainsi le risque de fracture. Ce postulat doit guider nos thérapeutiques conservatrices. Ainsi, dans le cas :

- De caries profondes des dents immatures, il est préconisé une élimination sélective de la dentine cariée, afin de préserver l'intégrité du plafond pulpaire et par là même le potentiel cellulaire de réparation *[261](Bjørndal); [309](Ricketts)*
- Si toutefois, une exposition pulpaire a lieu lors de l'élimination du tissu carieux ou suite à un traumatisme, la fin de la rhizagenèse sera possible grâce à des thérapeutiques d'apexogénèse - coiffage pulpaire ou pulpotomie.
  L'apexogénèse est sous-tendue par la préservation du potentiel cellulaire au moins au niveau radiculaire *[310](Aguilar)*
- Face à une nécrose de la dent immature, en raison de la destruction des cellules compétentes, il n'y aura pas d'allongement ni d'épaississement de la dentine radiculaire, un traitement d'apexification est alors préconisé. À défaut d'un recrutement odontoblastique, ce sont des précurseurs ostéoblastiques qui se différencient et le tissu formé est assimilé à un ostéocément pour permettre une fermeture apicale par un cal ostéocémentaire *[311](Lin)*

Il est clairement établi que les dents immatures présentent un potentiel de guérison considérable après un traumatisme ou une lésion carieuse, notamment lorsque le foramen apical est grand ouvert. Mais en même temps, ces mêmes dents immatures présentent à la fois le plus de risques d'erreurs de diagnostic et de mauvais traitements *[242](Camp).*
Pour éviter les erreurs, le traitement pulpaire ne doit pas être entrepris sur la seule base de réponses négatives aux tests de vitalité thermique ou électrique. En effet, ces tests sont d'une utilité limitée, car non fiables sur les dents immatures.

Il a été montré que des dents immatures parfaitement saines donnaient des réponses négatives aux tests électriques même à des valeurs élevées. La dent, comparativement à d'autres organes sensitifs, est lente à terminer sa maturation. Si les fibres nerveuses entrent très tôt dans le bourgeon dentaire, elles terminent leur maturation après la mise en fonction de la dent. En outre, des réponses non valides peuvent être obtenues, car l'enfant essaye de donner "la bonne réponse", par peur du traitement à venir ou tout simplement par incompréhension de la question posée. La détermination du diagnostic doit donc se faire sur une somme d'éléments issus de l'anamnèse, de l'évaluation des symptômes, de l'examen clinique, éventuellement des tests et de l'examen radiographique *[242](Camp)*

Les signes subjectifs relevés lors de la progression de l'atteinte carieuse sont le fait de la réponse inflammatoire de la pulpe à la progression et la sommation des agressions.

La réponse inflammatoire est un processus qui aide les tissus à survivre à une attaque et prépare la réparation. Lorsque les agents irritants sont supprimés, la pulpe coronaire peut cicatriser si l'atteinte tissulaire n'était pas trop importante, grâce aux progéniteurs capables d'entrer dans un processus de différentiation lors des mécanismes de défense dans la pulpe jeune. Au contraire, si la stimulation n'est pas supprimée, l'inflammation va progresser et la destruction tissulaire va devenir prépondérante sur les phénomènes de réparation. La pulpe s'engage sur la voie de la nécrose. La progression sur la dent immature se produit souvent sans signe d'alerte, car le tissu conjonctif pulpaire est lâche, rendant les processus biologiques de l'inflammation moins douloureux. La symptomatologie douloureuse ne se révèle le plus souvent que lorsqu'il y a déjà une atteinte parodontale *[1] (Lasfargues).*

3.5.3. DIAGNOSTIC PULPAIRE ET DENT IMMATURE

Les dents permanentes immatures présentent un potentiel de réparation probablement plus important que leurs homologues matures, notamment grâce à l'importance de la vascularisation du tissu et à l'activité physiologique spécifique à la radiculogenèse en cours. Inversement, l'immaturité du tissu et notamment de son réseau nerveux, complique considérablement les procédures de diagnostic. L'essentiel des tests cliniques à notre disposition sont basés sur l'évaluation de la sensibilité, alors qu'ils devraient permettre d'évaluer la vascularisation, le degré d'inflammation voire le potentiel réparateur du tissu lésé.

Au-delà des considérations techniques, les indications de conservation devraient être basées sur l'état physiopathologique du tissu. Les difficultés de diagnostic en endodontie inhérentes aux techniques disponibles sont accentuées dans le cas de la dent immature.

La plupart de nos traitements sont basés sur notre démarche diagnostique qui repose sur les anamnèses médicale et dentaire, complétées par l'analyse de la symptomatologie.

L'étude de la littérature traitant du diagnostic pulpaire sur la dent n'est pas fondée sur la preuve scientifique, mais s'appuie sur des rapports de cas empiriques et extrapolés des études sur les dents permanentes *[312](Flores); [313](Mejare)*

De plus, le diagnostic de l'état des pulpes exposées est compliqué par le manque de corrélation entre les symptômes cliniques et les conditions histologiques. Les tests utilisés (tests de sensibilité pulpaire, percussion, évaluation de la mobilité dentaire) n'ont qu'une valeur très limitée pour les dents permanentes immatures. *[250](Simon)*

3.5.3.1. Objectifs des traitements des dents immatures et procédures cliniques

Les principales thérapeutiques d'apexogénèse sont les coiffages pulpaires (direct ou indirect) et les pulpotomies (partielle ou totale) *[310](Aguilar).* La difficulté du choix réside dans la détermination de l'état pulpaire et notamment du potentiel de cicatrisation, physiologiquement très important à ce stade *[301](Witherspoon).* La technique sera choisie en fonction de la profondeur de la lésion pulpaire, de la taille de l'exposition du tissu et de la compliance du patient. Chez le patient jeune avec une édification radiculaire incomplète,

l'objectif de traitement est la conservation de la vitalité pulpaire. Le but ultime est de créer un pont dentinaire et d'obtenir le développement physiologique de l'extrémité apicale (apexogénèse) *[250](Simon)*
Les trois thérapeutiques préconisées dans cette situation clinique sont : le coiffage pulpaire, la pulpotomie partielle et la pulpotomie totale.

3.5.3.1.1. Le coiffage pulpaire direct

Il est indiqué pour les expositions minimes (inférieures à 1 mm) et récentes (inférieures à 24 heures). En effet, dans le cas de traumatisme, par exemple, le temps écoulé entre l'incident et la consultation ne doit pas excéder 24 heures *[314](Simon).* Ces conditions permettent d'avoir une pulpe exempte d'inflammation. La dent pourra être restaurée par collage du fragment ou par un composite stratifié après pose, ou non, d'un matériau de coiffage.
Le principe de cette thérapeutique est de traiter la plaie pulpaire dans un environnement tissulaire le plus sain possible et en limitant au maximum la contamination bactérienne.
De ce fait, après une anesthésie locale ou régionale avec un vasoconstricteur, la première mesure est la pose d'un champ opératoire étanche. La plaie pulpaire est nettoyée à l'aide de sérum physiologique stérile. L'hémostase est obtenue après compression à l'aide d'une boulette de coton désinfectée (Chlorhexidine). Dès lors, le matériau de coiffage peut être déposé sans compression sur la plaie pulpaire. *[223](Boukpessi).* Une restauration adhésive d'usage est réalisée immédiatement chaque fois que cela est possible. A défaut, le site coiffé sera protégé par une obturation temporaire étanche.
Le suivi est indispensable d'une part, pour s'assurer de la poursuite du développement radiculaire, objectivable sur une radiographie et, d'autre part, pour intercepter les éventuelles complications pulpaires. L'examen de contrôle, comme pour la dent mature, comprend les différents tests de palpation, de percussion et de sensibilité et doit avoir lieu après 3-4 semaines, 3, 6 et 12 mois puis une fois par an pendant les 4-5 premières années. Des radiographies de contrôle doivent être régulièrement réalisées pour la détection de radioclartés apicales. La présence de douleurs intenses à 48 heures objective une inflammation pulpaire irréversible. *[223](Boukpessi)*

3.5.3.1.2. La pulpotomie partielle

Elle est préférable au coiffage pulpaire direct lorsque les conditions de réalisation et de protection du matériau de coiffage sont défavorables, c'est-à-dire si l'asepsie et l'étanchéité ne sont pas garanties, exposant le site à la contamination bactérienne. *[47] (Cohen)*
Les étapes préliminaires (anesthésie, digue, désinfection) sont identiques. Le tissu pulpaire inflammatoire est amputé sur 2mm avec une fraise boule diamantée stérile, montée sur turbine, sous irrigation abondante. La plaie pulpaire est nettoyée avec du sérum physiologique. Il est important d'éviter la formation d'un caillot qui compromettrait le pronostic de cette thérapeutique. La cavité est ensuite séchée à l'aide de boulettes de coton stériles pour l'obtention de l'hémostase. Puis, le coiffage du tissu pulpaire est réalisé sans

compression. La différence avec le coiffage direct réside dans le fait que le matériau est maintenu sur une hauteur de 2mm dans l'espace pulpaire. De ce fait, on dispose d'une surface et d'un volume suffisants pour mettre en place un matériau de restauration temporaire ou d'usage dans les meilleures conditions. **(Fig.3-61)**

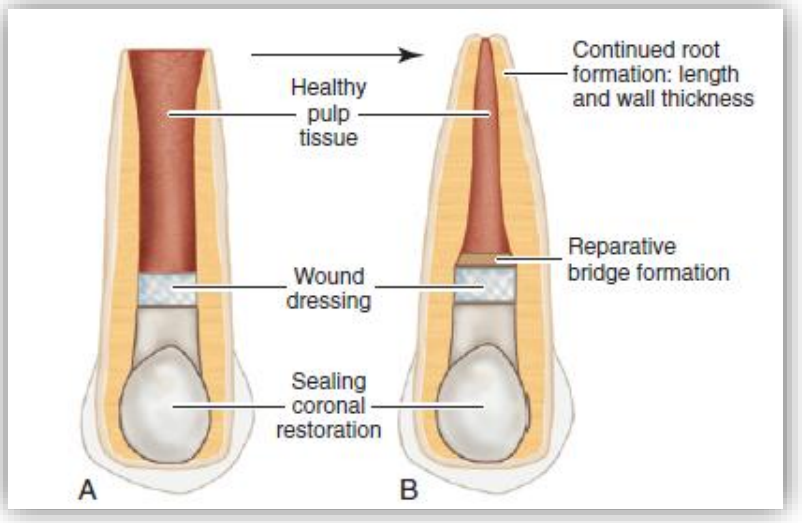


Fig.3-61 : Représentation schématique de l'apexogenèse *[47] (Cohen)*

Lorsque la pulpotomie partielle est réalisée dans le cadre du traitement d'une lésion carieuse profonde, l'élimination des tissus cariés ramollis et infectés doit se faire préalablement de façon centripète. En effet, l'aménagement de la cavité pulpaire doit être réalisé dans un environnement le moins contaminé possible. Avant de déposer le matériau de coiffage, la plaie pulpaire et la dentine sont nettoyées avec une solution de Chlorhexidine à 2 %. *[223](Boukpessi)*

Le suivi est identique à celui du coiffage direct. Si le degré d'inflammation pulpaire a été sous-évalué, la pulpe est plus hémorragique du fait de la congestion pulpaire, l'hémostase sera longue à obtenir, ce qui est préjudiciable pour le pronostic de la pulpotomie partielle. La pulpotomie totale doit alors être préférée.

3.5.3.1.3. La pulpotomie totale

Elle est à envisager lorsque le tissu pulpaire caméral est trop inflammatoire ou lorsque le temps écoulé entre le traumatisme et la consultation excède 3 jours. Son objectif est de permettre l'édification radiculaire complète. Cette procédure a longtemps été considérée comme transitoire avant d'effectuer une obturation canalaire conventionnelle.

Elle peut aujourd'hui être envisagée comme une thérapeutique à visée définitive avec maintien de la pulpe radiculaire vitale. *[314](Simon)*

La procédure clinique est similaire à la pulpotomie partielle à l'exception que la totalité de la masse pulpaire camérale est éliminée jusqu'aux orifices canalaires, ou en deçà de 2 à 3mm maximum, pour assurer l'hémostase. Le tissu pulpaire radiculaire est alors coiffé à l'aide d'un matériau de coiffage. *[223](Boukpessi).* Le délai de rappel des patients est le même que

les autres thérapeutiques de la pulpe vitale. À 6 semaines, la situation est évaluée radiographiquement en vérifiant le maintien des lumières canalaires. Si l'hémostase ne peut pas être obtenue de façon franche, les filets pulpaires radiculaires continuent de saignoter ; la pulpectomie est alors indiquée. **(Fig.3-62a et 3-62b)**

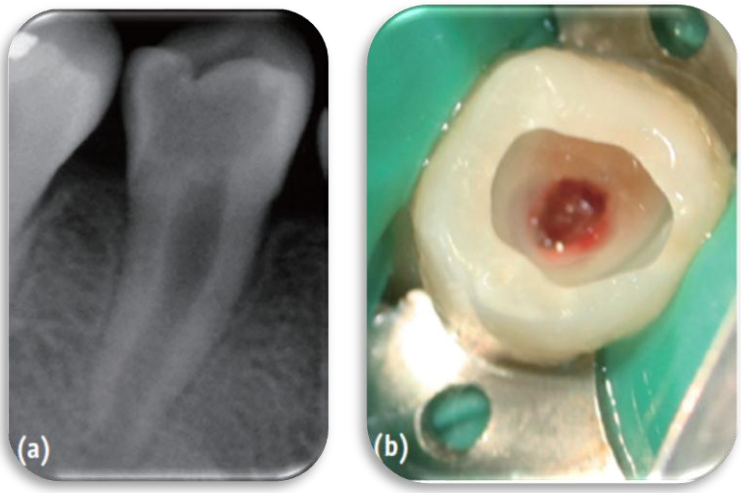


Fig.3-62a : Thérapeutique d'apexogenèse par pulpotomie sur une 45 *[188](Villat)*

(a)Radiographie préopératoire ; (b) curetage dentinaire et pulpotomie partielle

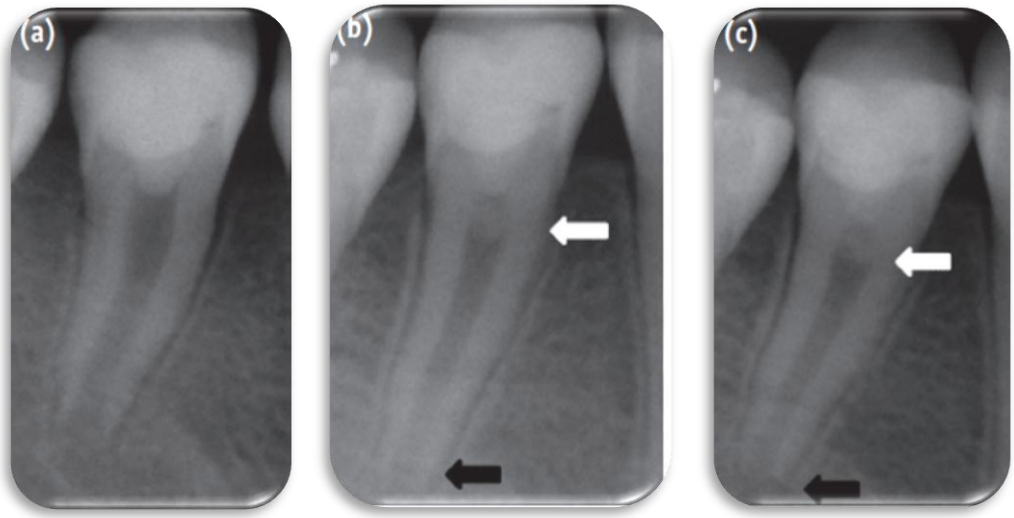


Fig.3-62b : Thérapeutique d'apexogenèse par pulpotomie *[188](Villat)*

(a) Radiographie postopératoire ; (b) 3 mois ; (c) 6 mois

Conclusion

Réservée jusqu'alors au traitement des dents déciduales, voire de certaines dents immatures, la pulpotomie totale pourrait, dans les années à venir, être considérée comme une alternative thérapeutique endodontique à la pulpectomie et au traitement endodontique. Dans cette procédure, l'ensemble de la pulpe camérale est éliminé et un coiffage pulpaire des moignons radiculaires est effectué. Une étude préliminaire a confirmé l'intérêt de cette procédure, mais doit être complétée par une étude plus formelle avant de la valider comme une procédure clinique fiable et reproductible. *[315](Simon)*

3.5. THERAPEUTIQUES D'APEXOGENESE SUR DENT IMMATURE

Introduction

La période d'immaturité dentaire, bien que très brève au regard de la durée de vie de la dent sur arcade, apparaît comme déterminante pour sa pérennité future.

Face à la pathologie carieuse ou traumatique, l'immaturité de structure oblige à reconsidérer les thérapeutiques conservatrices en fonction du stade de formation radiculaire et apicale. Les traitements portent en effet sur des structures en évolution et doivent donc permettre aux structures dentaires et alvéolaires de parachever leur édification. Si l'immaturité des tissus constitutifs de la dent la rend plus vulnérable face à la maladie carieuse, cette même immaturité rend possible des thérapeutiques de prévention et de régénération en Dentisterie Conservatrice et en Traumatologie, thérapeutiques qui ne seront plus efficientes une fois la dent mature.

3.5.1. ASPECTS MORPHOLOGIQUES DU DEVELOPPEMENT DENTAIRE

L'odontogenèse est classiquement décrite par la succession de divers stades : lame, bourgeon, capuchon et cloche dentaires, différentiation terminale des odontoblastes et améloblastes, formation des racines (rhizagenèse) et différentiation fonctionnelle des cémentoblastes et éruption dentaire.

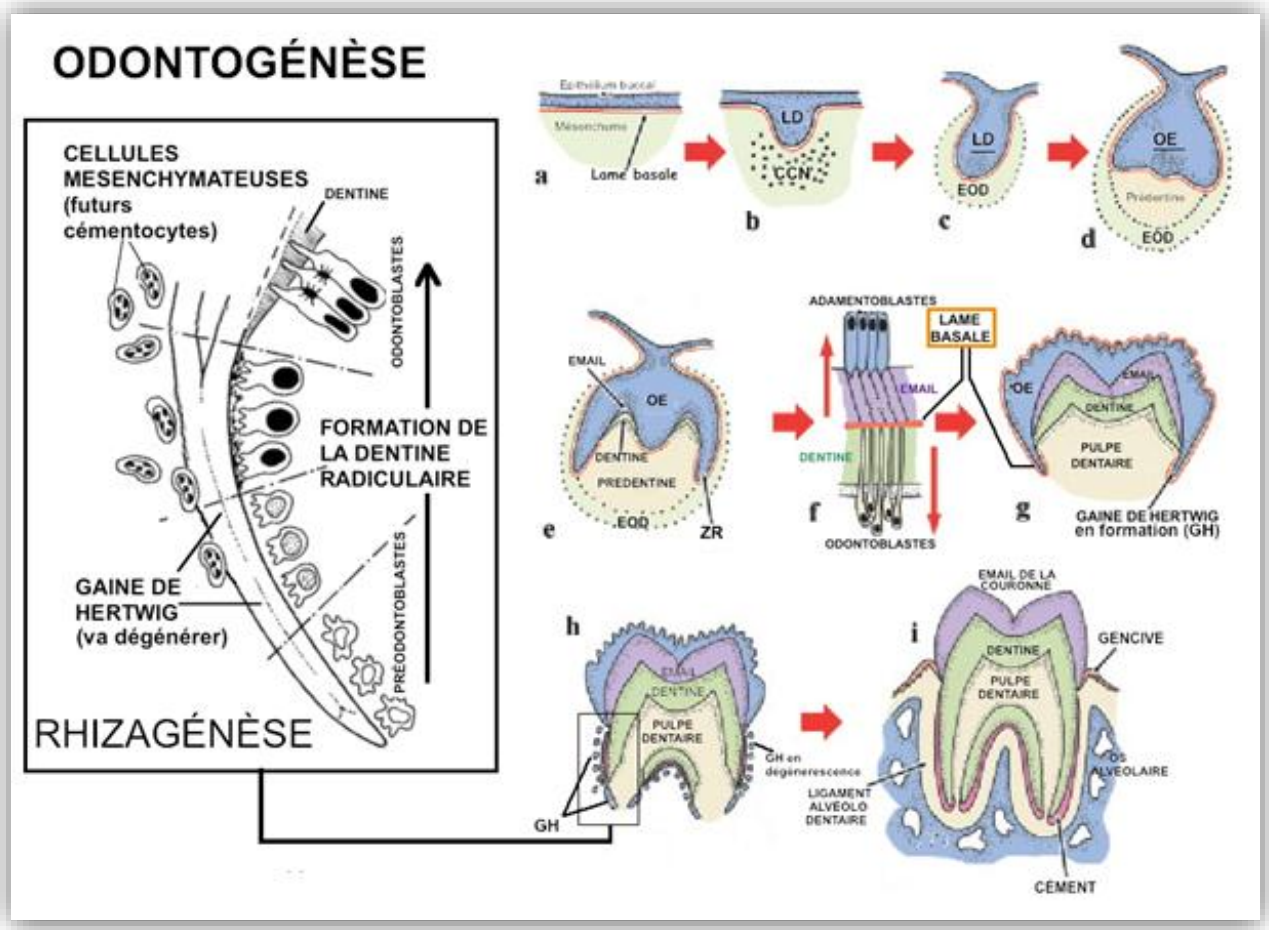


Fig.3-59 : Schéma récapitulatif de l'odontogenèse et rhizagenèse

[304](Ohshima)

3.5.2. PROBLEMATIQUE DE LA DENT IMMATURE

3.5.2.1. Immaturité amélaire

Lorsque la dent fait son éruption dans la cavité buccale, l'émail est immature. Il a bien atteint son degré final de minéralisation, soit 96 % du poids, pour 0,4 % pour la phase organique et 3,6 % pour la phase aqueuse, mais il va subir un processus de maturation postéruptive, comparable à un remaniement de subsurface *[305](Fejerskov).* L'émail est un tissu de structure complexe, qui, bien qu'il soit acellulaire, n'en est pas pour autant inerte. Tissu d'origine épithéliale, il est édifié lors de l'amélogénèse. *[306](Goldberg).*

3.5.2.2. Immaturité de la dentine

La dent permanente immature présente une immaturité également au niveau de la dentine. Ceci tient en premier lieu à la nature même de la dentinogénèse qui est continue mais différente tout au long de la vie. Pendant le développement dentaire et jusqu'à l'achèvement de la région apicale, la dentine synthétisée par les odontoblastes est considérée comme la dentine primaire. Une fois, la rhizagenèse complète, la dentine apposée tout au long de la vie dans des conditions physiologiques est la dentine secondaire. Enfin, la dentine tertiaire est formée en réponse à une agression, soit par les odontoblastes, il s'agit alors de dentine réactionnelle, soit par des cellules « odontoblastes-like » nouvellement différenciées, lorsque les odontoblastes ont été détruits, c'est la dentine de réparation *[1] (Lasfargues).*

D'un point de vue morphologique, la dent immature présente une absence de dentine secondaire, ce qui implique un volume pulpaire important, sans rétraction des parois de la chambre pulpaire et des cornes pulpaires.

De plus, chez le sujet jeune, le dépôt de dentine péricanaliculaire conduisant progressivement à l'oblitération des canalicules n'a pas encore eu lieu. La bordure hyperminéralisée de dentine péricanaliculaire est d'une part absente et, d'autre part, les zones profondes constituant le plafond pulpaire sont constituées à 80 % de canalicules ouverts. Les larges espaces péri-odontoblastiques contiennent des extrémités nerveuses et sont largement envahis par les fluides tissulaires, rendant la dentine très perméable *[1] (Lasfargues).*

Cliniquement, ceci a pour conséquence la progression rapide de la lésion carieuse dans la dentine, une fois la jonction amélodentinaire atteinte. Ainsi, la déminéralisation dentinaire, quant à elle, progresse plus rapidement à partir de micro-pertuis en général non diagnostiqués.

Une étude sur le sujet suggère que la dentine déminéralisée sous la jonction amélodentinaire libère des ions Phosphate, Calcium et Fluor, disponibles pour la reminéralisation par voie interne de l'émail sus-jacent, qui résisterait ainsi aux contraintes mécaniques externes du fait de ce renforcement en minéral *[307](Lynch); [1] (Lasfargues).*

3.5.2.3. Immaturité pulporadiculaire

Lorsque la dent arrive dans la cavité buccale, la racine est loin d'être achevée, puisque l'éruption a lieu en règle générale lorsque les deux tiers de la racine sont édifiés (Stade 8 de Nolla) **(Tableau 3-18)** et **(Fig.3-60)**

Tableau 3-18 : Stades de Nolla [308](Opsahl)	
Stade 0	**Absence de la crypte**
Stade 1	**Présence de la crypte**
Stade 2	**Calcification initiale**
Stade 3	**Un tiers de la couronne est minéralisé**
Stade 4	**Deux tiers de la couronne sont minéralisés**
Stade 5	**La couronne est minéralisée**
Stade 6	**Début d'édification radiculaire**
Stade 7	**Un tiers de la racine est minéralisé**
Stade 8	**Deux tiers de la racine sont minéralisés, la dent fait son éruption**
Stade 9	**La racine est édifiée, apex non fermé**
Stade 10	**L'extrémité apicale de la racine est achevée, la JCD est en place**

Selon les dents, une période d'un à quatre ans après l'éruption dans la cavité orale est nécessaire pour obtenir une édification radiculaire complète **(Tableau 3-19)**.

La dent immature se caractérise donc par une région apicale non encore formée, présentant une importante vascularisation et une intense activité cellulaire. Il est crucial pour permettre une rhizagenèse complète, de respecter cette zone et de préserver l'intégrité cellulaire de la pulpe. En effet, l'élongation radiculaire est obtenue grâce à la prolifération de la gaine d'Hertwig et de ses épithéliums, qui délimitent un mésenchyme pulpaire ou pulpe embryonnaire.
Dès que la racine a atteint sa longueur définitive, la gaine de Hertwig se désintègre, mettant ainsi la dentine à nu en contact direct avec le tissu conjonctif environnant, entraînant la formation de cémentoblastes, lesquels élaborent le cément primaire puis le cément secondaire qui prédomine au niveau du tiers apical des racines et contribue ainsi à la formation de l'apex *[306](Goldberg).*

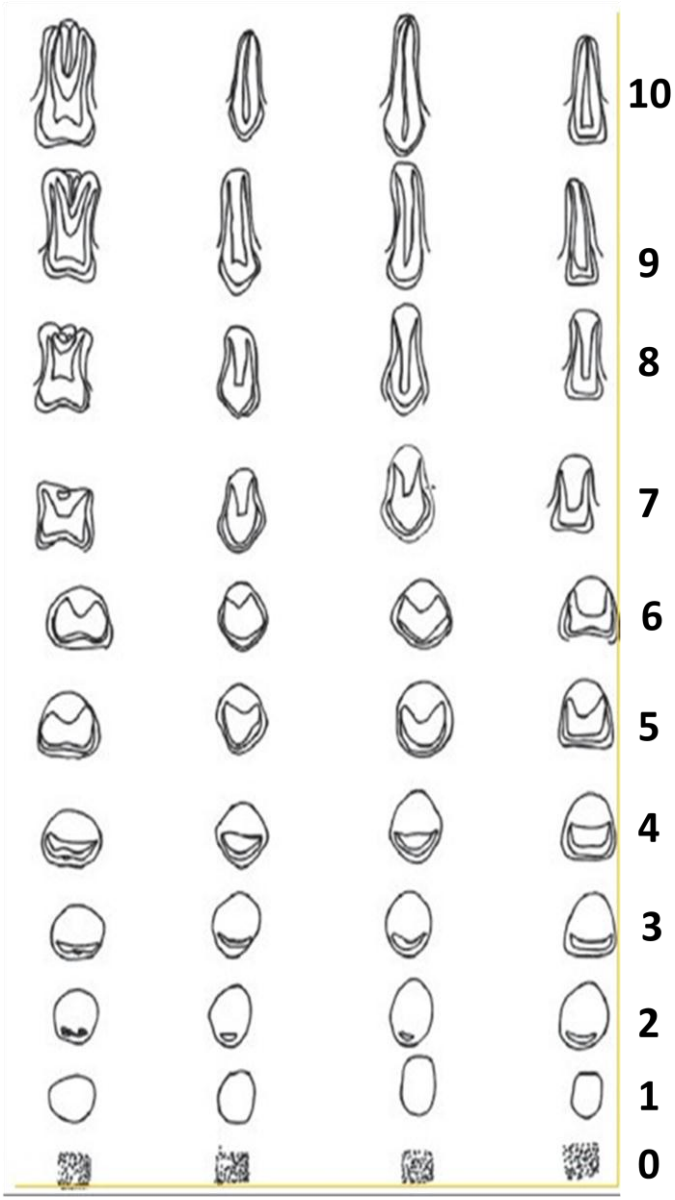


Fig.3-60 : Stades de Nolla

Tableau 3-19 : Chronologie de développement des dents permanentes [308](Opsahl)				
	Début minéralisation coronaire	**Couronne achevée**	**Eruption**	**Racine achevée**
Incisives centrales	**3-4 mois**	**4-5 ans**	**6-8 ans**	**10 ans**
Incisives latérales	**3-4 mois**	**4-5 ans**	**7-9 ans**	**11 ans**
Canines	**4-5 mois**	**6-7 ans**	**11-12 ans**	**13-15 ans**
1ères prémolaires	**1,5 – 2 ans**	**5-6 ans**	**9-10 ans**	**12-13 ans**
2èmes prémolaires	**2,2 – 5 ans**	**6-7 ans**	**10-11 ans**	**13-14 ans**
1ères molaires	**Naissance**	**2,5 -3 ans**	**6-7 ans**	**9-10 ans**
2èmes molaires	**2,5 – 3 ans**	**7-8 ans**	**11-13 ans**	**14-16 ans**
3èmes molaires	**7-10 ans**	**12-16 ans**	**17-21 ans**	**18-25 ans**

Pendant cette période d'édification radiculaire, les traitements doivent s'orienter vers une thérapeutique compatible avec la formation complète de la racine. De plus, une apposition dentinaire supplémentaire permettra une augmentation de l'épaisseur des racines, diminuant ainsi le risque de fracture. Ce postulat doit guider nos thérapeutiques conservatrices. Ainsi, dans le cas :

- De caries profondes des dents immatures, il est préconisé une élimination sélective de la dentine cariée, afin de préserver l'intégrité du plafond pulpaire et par là même le potentiel cellulaire de réparation *[261](Bjørndal); [309](Ricketts)*
- Si toutefois, une exposition pulpaire a lieu lors de l'élimination du tissu carieux ou suite à un traumatisme, la fin de la rhizagenèse sera possible grâce à des thérapeutiques d'apexogénèse - coiffage pulpaire ou pulpotomie.
  L'apexogénèse est sous-tendue par la préservation du potentiel cellulaire au moins au niveau radiculaire *[310](Aguilar)*
- Face à une nécrose de la dent immature, en raison de la destruction des cellules compétentes, il n'y aura pas d'allongement ni d'épaississement de la dentine radiculaire, un traitement d'apexification est alors préconisé. À défaut d'un recrutement odontoblastique, ce sont des précurseurs ostéoblastiques qui se différencient et le tissu formé est assimilé à un ostéocément pour permettre une fermeture apicale par un cal ostéocémentaire *[311](Lin)*

Il est clairement établi que les dents immatures présentent un potentiel de guérison considérable après un traumatisme ou une lésion carieuse, notamment lorsque le foramen apical est grand ouvert. Mais en même temps, ces mêmes dents immatures présentent à la fois le plus de risques d'erreurs de diagnostic et de mauvais traitements *[242](Camp).*
Pour éviter les erreurs, le traitement pulpaire ne doit pas être entrepris sur la seule base de réponses négatives aux tests de vitalité thermique ou électrique. En effet, ces tests sont d'une utilité limitée, car non fiables sur les dents immatures.

Il a été montré que des dents immatures parfaitement saines donnaient des réponses négatives aux tests électriques même à des valeurs élevées. La dent, comparativement à d'autres organes sensitifs, est lente à terminer sa maturation. Si les fibres nerveuses entrent très tôt dans le bourgeon dentaire, elles terminent leur maturation après la mise en fonction de la dent. En outre, des réponses non valides peuvent être obtenues, car l'enfant essaye de donner "la bonne réponse", par peur du traitement à venir ou tout simplement par incompréhension de la question posée. La détermination du diagnostic doit donc se faire sur une somme d'éléments issus de l'anamnèse, de l'évaluation des symptômes, de l'examen clinique, éventuellement des tests et de l'examen radiographique *[242](Camp)*

Les signes subjectifs relevés lors de la progression de l'atteinte carieuse sont le fait de la réponse inflammatoire de la pulpe à la progression et la sommation des agressions.

La réponse inflammatoire est un processus qui aide les tissus à survivre à une attaque et prépare la réparation. Lorsque les agents irritants sont supprimés, la pulpe coronaire peut cicatriser si l'atteinte tissulaire n'était pas trop importante, grâce aux progéniteurs capables d'entrer dans un processus de différentiation lors des mécanismes de défense dans la pulpe jeune. Au contraire, si la stimulation n'est pas supprimée, l'inflammation va progresser et la destruction tissulaire va devenir prépondérante sur les phénomènes de réparation. La pulpe s'engage sur la voie de la nécrose. La progression sur la dent immature se produit souvent sans signe d'alerte, car le tissu conjonctif pulpaire est lâche, rendant les processus biologiques de l'inflammation moins douloureux. La symptomatologie douloureuse ne se révèle le plus souvent que lorsqu'il y a déjà une atteinte parodontale *[1] (Lasfargues).*

3.5.3. DIAGNOSTIC PULPAIRE ET DENT IMMATURE

Les dents permanentes immatures présentent un potentiel de réparation probablement plus important que leurs homologues matures, notamment grâce à l'importance de la vascularisation du tissu et à l'activité physiologique spécifique à la radiculogenèse en cours. Inversement, l'immaturité du tissu et notamment de son réseau nerveux, complique considérablement les procédures de diagnostic. L'essentiel des tests cliniques à notre disposition sont basés sur l'évaluation de la sensibilité, alors qu'ils devraient permettre d'évaluer la vascularisation, le degré d'inflammation voire le potentiel réparateur du tissu lésé.

Au-delà des considérations techniques, les indications de conservation devraient être basées sur l'état physiopathologique du tissu. Les difficultés de diagnostic en endodontie inhérentes aux techniques disponibles sont accentuées dans le cas de la dent immature.

La plupart de nos traitements sont basés sur notre démarche diagnostique qui repose sur les anamnèses médicale et dentaire, complétées par l'analyse de la symptomatologie.

L'étude de la littérature traitant du diagnostic pulpaire sur la dent n'est pas fondée sur la preuve scientifique, mais s'appuie sur des rapports de cas empiriques et extrapolés des études sur les dents permanentes *[312](Flores); [313](Mejare)*

De plus, le diagnostic de l'état des pulpes exposées est compliqué par le manque de corrélation entre les symptômes cliniques et les conditions histologiques. Les tests utilisés (tests de sensibilité pulpaire, percussion, évaluation de la mobilité dentaire) n'ont qu'une valeur très limitée pour les dents permanentes immatures. *[250](Simon)*

3.5.3.1. Objectifs des traitements des dents immatures et procédures cliniques

Les principales thérapeutiques d'apexogénèse sont les coiffages pulpaires (direct ou indirect) et les pulpotomies (partielle ou totale) *[310](Aguilar).* La difficulté du choix réside dans la détermination de l'état pulpaire et notamment du potentiel de cicatrisation, physiologiquement très important à ce stade *[301](Witherspoon).* La technique sera choisie en fonction de la profondeur de la lésion pulpaire, de la taille de l'exposition du tissu et de la compliance du patient. Chez le patient jeune avec une édification radiculaire incomplète,

l'objectif de traitement est la conservation de la vitalité pulpaire. Le but ultime est de créer un pont dentinaire et d'obtenir le développement physiologique de l'extrémité apicale (apexogénèse) *[250](Simon)*
Les trois thérapeutiques préconisées dans cette situation clinique sont : le coiffage pulpaire, la pulpotomie partielle et la pulpotomie totale.

3.5.3.1.1. Le coiffage pulpaire direct

Il est indiqué pour les expositions minimes (inférieures à 1 mm) et récentes (inférieures à 24 heures). En effet, dans le cas de traumatisme, par exemple, le temps écoulé entre l'incident et la consultation ne doit pas excéder 24 heures *[314](Simon).* Ces conditions permettent d'avoir une pulpe exempte d'inflammation. La dent pourra être restaurée par collage du fragment ou par un composite stratifié après pose, ou non, d'un matériau de coiffage.
Le principe de cette thérapeutique est de traiter la plaie pulpaire dans un environnement tissulaire le plus sain possible et en limitant au maximum la contamination bactérienne.
De ce fait, après une anesthésie locale ou régionale avec un vasoconstricteur, la première mesure est la pose d'un champ opératoire étanche. La plaie pulpaire est nettoyée à l'aide de sérum physiologique stérile. L'hémostase est obtenue après compression à l'aide d'une boulette de coton désinfectée (Chlorhexidine). Dès lors, le matériau de coiffage peut être déposé sans compression sur la plaie pulpaire. *[223](Boukpessi).* Une restauration adhésive d'usage est réalisée immédiatement chaque fois que cela est possible. A défaut, le site coiffé sera protégé par une obturation temporaire étanche.
Le suivi est indispensable d'une part, pour s'assurer de la poursuite du développement radiculaire, objectivable sur une radiographie et, d'autre part, pour intercepter les éventuelles complications pulpaires. L'examen de contrôle, comme pour la dent mature, comprend les différents tests de palpation, de percussion et de sensibilité et doit avoir lieu après 3-4 semaines, 3, 6 et 12 mois puis une fois par an pendant les 4-5 premières années. Des radiographies de contrôle doivent être régulièrement réalisées pour la détection de radioclartés apicales. La présence de douleurs intenses à 48 heures objective une inflammation pulpaire irréversible. *[223](Boukpessi)*

3.5.3.1.2. La pulpotomie partielle

Elle est préférable au coiffage pulpaire direct lorsque les conditions de réalisation et de protection du matériau de coiffage sont défavorables, c'est-à-dire si l'asepsie et l'étanchéité ne sont pas garanties, exposant le site à la contamination bactérienne. *[47] (Cohen)*
Les étapes préliminaires (anesthésie, digue, désinfection) sont identiques. Le tissu pulpaire inflammatoire est amputé sur 2mm avec une fraise boule diamantée stérile, montée sur turbine, sous irrigation abondante. La plaie pulpaire est nettoyée avec du sérum physiologique. Il est important d'éviter la formation d'un caillot qui compromettrait le pronostic de cette thérapeutique. La cavité est ensuite séchée à l'aide de boulettes de coton stériles pour l'obtention de l'hémostase. Puis, le coiffage du tissu pulpaire est réalisé sans

compression. La différence avec le coiffage direct réside dans le fait que le matériau est maintenu sur une hauteur de 2mm dans l'espace pulpaire. De ce fait, on dispose d'une surface et d'un volume suffisants pour mettre en place un matériau de restauration temporaire ou d'usage dans les meilleures conditions. **(Fig.3-61)**

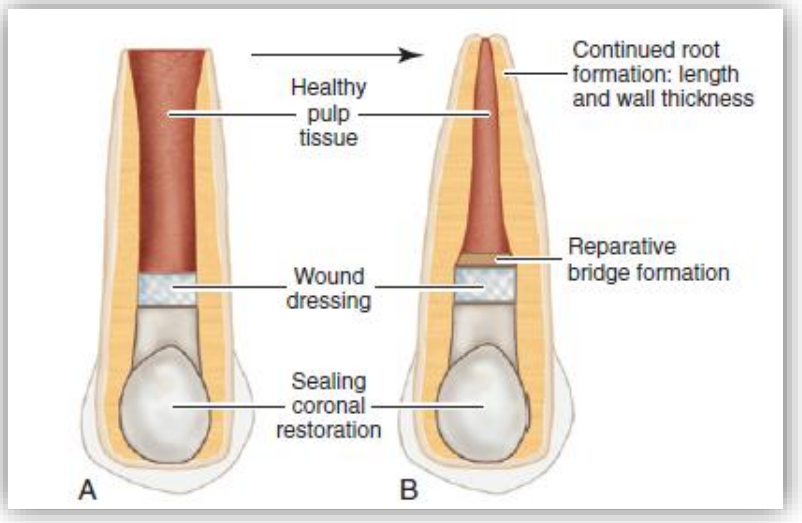


Fig.3-61 : Représentation schématique de l'apexogenèse *[47] (Cohen)*

Lorsque la pulpotomie partielle est réalisée dans le cadre du traitement d'une lésion carieuse profonde, l'élimination des tissus cariés ramollis et infectés doit se faire préalablement de façon centripète. En effet, l'aménagement de la cavité pulpaire doit être réalisé dans un environnement le moins contaminé possible. Avant de déposer le matériau de coiffage, la plaie pulpaire et la dentine sont nettoyées avec une solution de Chlorhexidine à 2 %. *[223](Boukpessi)*

Le suivi est identique à celui du coiffage direct. Si le degré d'inflammation pulpaire a été sous-évalué, la pulpe est plus hémorragique du fait de la congestion pulpaire, l'hémostase sera longue à obtenir, ce qui est préjudiciable pour le pronostic de la pulpotomie partielle. La pulpotomie totale doit alors être préférée.

3.5.3.1.3. La pulpotomie totale

Elle est à envisager lorsque le tissu pulpaire caméral est trop inflammatoire ou lorsque le temps écoulé entre le traumatisme et la consultation excède 3 jours. Son objectif est de permettre l'édification radiculaire complète. Cette procédure a longtemps été considérée comme transitoire avant d'effectuer une obturation canalaire conventionnelle.

Elle peut aujourd'hui être envisagée comme une thérapeutique à visée définitive avec maintien de la pulpe radiculaire vitale. *[314](Simon)*

La procédure clinique est similaire à la pulpotomie partielle à l'exception que la totalité de la masse pulpaire camérale est éliminée jusqu'aux orifices canalaires, ou en deçà de 2 à 3mm maximum. Le tissu pulpaire radiculaire est alors coiffé à l'aide d'un matériau de coiffage. *[223](Boukpessi).* Le délai de rappel des patients est le même que les autres thérapeutiques de

la pulpe vitale. À 6 semaines, la situation est évaluée radiographiquement en vérifiant le maintien des lumières canalaires. Si l'hémostase ne peut pas être obtenue de façon franche, les filets pulpaires radiculaires continuent de saignoter ; la pulpectomie est alors indiquée. **(Fig.3-62a et 3-62b)**

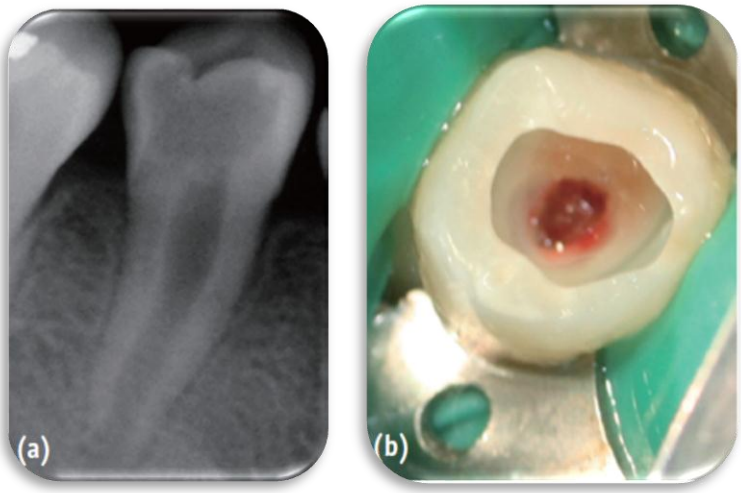


Fig.3-62a : Thérapeutique d'apexogenèse par pulpotomie sur une 45 *[188](Villat)*

(a)Radiographie préopératoire ; (b) curetage dentinaire et pulpotomie partielle

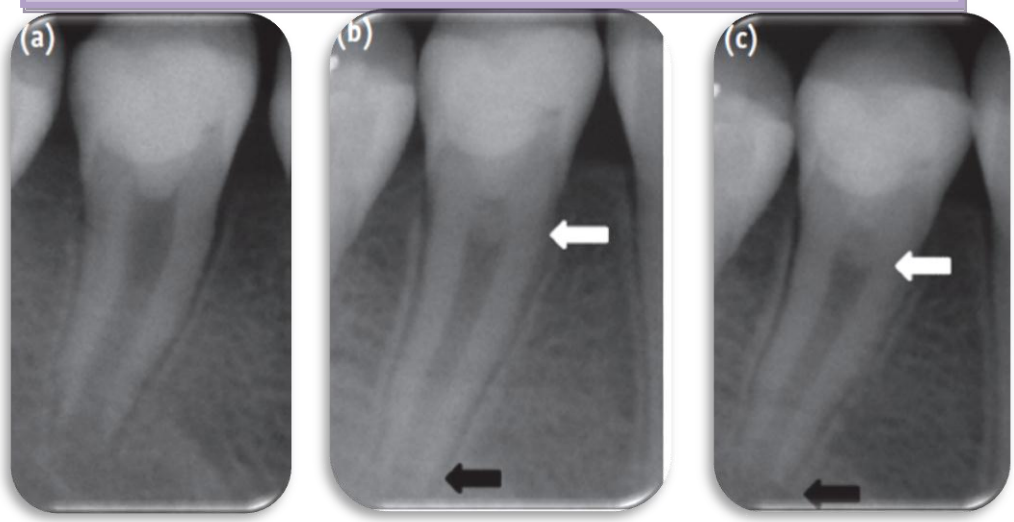


Fig.3-62b : Thérapeutique d'apexogenèse par pulpotomie *[188](Villat)*

(a) Radiographie postopératoire ; (b) 3 mois ; (c) 6 mois

Conclusion

Réservée jusqu'alors au traitement des dents déciduales, voire de certaines dents immatures, la pulpotomie totale pourrait, dans les années à venir, être considérée comme une alternative thérapeutique endodontique à la pulpectomie et au traitement endodontique. Dans cette procédure, l'ensemble de la pulpe camérale est éliminé et un coiffage pulpaire des moignons radiculaires est effectué. Une étude préliminaire a confirmé l'intérêt de cette procédure, mais doit être complétée par une étude plus formelle avant de la valider comme une procédure clinique fiable et reproductible. *[315](Simon)*

PARTIE CLINIQUE

PROTOCOLE DE L'ETUDE

CHAPITRE 4 : PROTOCOLES DE L'ETUDE

4.1. PROBLEMATIQUE

Les thérapeutiques conservatrices visent à préserver la vitalité pulpaire, étant donné que la pulpe, une fois stimulée, induit une régénération et une formation d'une apposition dentinaire et radiculaire.

Le complexe pulpodentinaire est un organe unique capable de s'adapter et de répondre à une multitude d'agressions. Le rôle primaire de la pulpe est de secréter la dentine et de continuer l'édification radiculaire de la dent lorsqu'il s'agit de dent immature. Par ailleurs, elle a également l'aptitude de réenclencher à tout moment la fabrication d'une dentine cicatricielle, afin de s'éloigner et de se protéger des agressions externes.

Ce phénomène de genèse est accéléré par des procédures thérapeutiques spécifiques et bien codifiées qui visent à préserver la vitalité pulpaire et à conserver la dent sur l'arcade. Cette cicatrisation est favorisée par l'utilisation de biomatériaux biocompatibles.

Depuis de nombreuses années, l'Hydroxyde de Calcium a été le matériau de référence pour ces thérapeutiques. Largement utilisé, et largement documenté, il a prouvé sa capacité à stimuler la formation de dentine tertiaire par la pulpe. Cependant, il présente quelques inconvénients tels que la mauvaise adhérence à la dentine, sa tendance à se dissoudre dans le temps laissant des vides sous la restauration *[33] (Aeinehchi) ; [35] (Swift),* sa résorption et la qualité du pont dentinaire qu'il induit. Pour pallier ces inconvénients, et depuis une vingtaine d'années, des ciments minéraux à base de silicate tricalcique ont été introduits en dentisterie endodontique et restauratrice.

Le Mineral Trioxide Aggregate (MTA), a été le premier représentant dentaire de ces Ciments Silicates Tricalciques. Les principales propriétés de ce matériau sont sa biocompatibilité *[102] (Torabinejad),* sa bioactivité, ainsi que la formation de dentine réparatrice qu'il favorise *[97] (Sawicki).* Il semble être plus efficace que l'Hydroxyde de Calcium *[62] (Pitt Ford)*. Cependant, il présente de faibles propriétés mécaniques et un temps de prise assez long *[109] (Liu).*

En 2009, un nouveau ciment de cette même famille « Biodentine™ », apparaît sur le marché, initialement en tant que matériau restaurateur *[114] (Bachoo); [111] (Septodont SRD).* Il possède des propriétés mécaniques augmentées proches de celles de la dentine, ainsi qu'une cinétique de prise de 12 minutes, palliant les limites du MTA. Biodentine™ est un matériau facile à manipuler et biocompatible. Ses capacités de scellement ont été évaluées comme étant équivalentes à celles des Verres Ionomères, sans nécessiter aucun conditionnement spécifique de la surface dentinaire. Au-delà des indications endodontiques classiques, Biodentine™ est aussi un substitut dentinaire définitif et amélaire provisoire.

Les propriétés biologiques étant conservées, le champ des indications de cette famille de ciments tricalciques se tourne alors vers la dentisterie restauratrice *[140](Koubi),* l'endodontie conventionnelle et chirurgicale *[58] (Camilleri), [316](Rajasekharan)*

L'étude que nous avons réalisée au Service d'Odontologie Conservatrice/Endodontie du CHU Oran est scindée en deux grandes parties :

- La première partie de l'étude est comparative des effets dentinogénétiques de ce ciment tricalcique « Biodentine » versus Hydroxyde de Calcium, considéré par la communauté scientifique comme un gold standard. Nous nous proposons de démontrer l'équivalence de ces deux biomatériaux en évaluant leurs effets sur une période de 12 mois. Cette étude a concerné 96 patients, dont 26 hommes et 70 femmes et 121 dents.

- La 2ème partie de l'étude est une étude descriptive, de suivi des effets d'apexogénèse de ce même biomatériau sur dents immatures, sur une période d'un an également. Elle a concerné 18 enfants, dont 7 garçons et 11 filles, et 27 dents

4.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE

4.2.1. OBJECTIF PRINCIPAL : Comparer les effets dentinogénétiques du ciment tricalcique « Biodentine ™ » versus Hydroxyde de Calcium au cours des thérapeutiques dentinogènes sur dents matures, et les décrire au cours des thérapeutiques d'apexogénèse sur dents immatures au service d'Odontologie Conservatrice/Endodontie du CHU Oran de 2013 à 2015.

4.2.2. OBJECTIFS SECONDAIRES

- Evaluer l'influence de l'âge et du type de thérapeutique sur les effets dentinogénétiques du ciment tricalcique « Biodentine ™ » versus Hydroxyde de Calcium.
- Evaluer le taux de succès (vitalité pulpaire et apparition des effets dentinogénétiques) du ciment tricalcique « Biodentine ™ » versus Hydroxyde de Calcium à chaque visite de contrôle.
- Evaluer les effets dentinogénétiques du ciment tricalcique « Biodentine ™ » selon l'âge et le type de thérapeutique pour les dents immatures.
- Evaluer le taux de succès (vitalité pulpaire et fermeture apicale) du ciment tricalcique « Biodentine ™ » en fonction de l'âge.
- Evaluer la tolérance biologique du ciment tricalcique « Biodentine ™ »

4.3. MATERIEL ET METHODE

4.3.1. TYPE D'ETUDE

Notre première étude est une étude comparative d'équivalence des effets dentinogénétiques du biomatériau. C'est une étude monocentrique, randomisée avec bénéfice individuel direct, contrôlée, ouverte en simple insu.

Notre deuxième étude est une étude descriptive, de suivi, monocentrique ouverte en simple insu, avec bénéfice individuel direct

4.3.2. DESCRIPTION DE LA POPULATION D'ETUDE ET TAILLE DE L'ECHANTILLON

Les sujets sélectionnés pour l'étude sont des adultes et enfants, volontaires et autorisés, recrutés à la consultation quotidienne du service d'Odontologie Conservatrice/Endodontie du CHU Oran de 2013 à 2015.

Ces patients se présentent avec une ou plusieurs dents cariées ou présentant un traumatisme et nécessitant une prise en charge. Si le même sujet présente plusieurs dents atteintes, n'ont été incluses dans la première étude que 02 dents situées dans deux quadrants différents, soignées chacune avec un matériau différent. Ce choix a été délibéré afin d'éviter toute confusion concernant les effets indésirables de l'un ou de l'autre matériau.

Les dents à soigner sont des incisives, canines, prémolaires ou molaires, maxillaires ou mandibulaires :

- Dents cariées : Le site de la carie peut être variable : occlusal, proximal, palatin, vestibulaire, occluso-proximal…..
- Dents traumatisées : le traumatisme peut être une fracture coronaire pénétrante ou non pénétrante sans complications.
- Dents immatures : cariées ou traumatisées pour la deuxième étude.
- Prise de médicaments : Les sujets sélectionnés n'étaient soumis à aucune thérapeutique médicamenteuse quelconque. Néanmoins, il est important de noter que toute prise d'un traitement médicamenteux particulier au cours de l'étude a été dument notée en précisant les indications, la posologie, la durée ainsi que le début et la fin du traitement.
- Le nombre de sujets retenus est déterminé au terme de la période d'étude.

4.3.3. LES CRITERES DE SELECTION

4.3.3.1. Pour les thérapeutiques dentinogènes

4.3.3.1.1. Les critères d'inclusion : ont été inclus dans notre étude

- Les sujets âgés de 16 à 45 ans, de sexes confondus,
- Toutes les dents permanentes matures, présentant une catégorie I ou II de Baume,
- Les dents doivent présenter une lésion carieuse ou un traumatisme dentaire, nécessitant un coiffage pulpaire direct ou indirect**.**

4.3.3.1.2. Les critères de non inclusion : n'ont pas été inclus dans notre étude

- Les sujets présentant une pathologie d'ordre général,
- Les dents présentant une atteinte parodontale importante objectivée par la présence de certains signes cliniques (fistule ou mobilité anormale) ou radiologiques (atteinte de la furcation des dents pluriradiculées),
- Les dents présentant des signes d'atteinte pulpaire irréversible telle que des douleurs spontanées,
- Les dents avec un délabrement trop important contre-indiquant la conservation de la vitalité pulpaire de la dent,
- Les dents ayant déjà subi une thérapeutique dentinogène dans le passé,
- Les dents présentant un saignement incontrôlable plus de 10 mn pour les dents nécessitant des coiffages pulpaires directs,
- Patients ne désirant pas faire partie de l'étude.

4.3.3.2. Pour les thérapeutiques d'apexogénèse

4.3.3.2.1. Les critères d'inclusion : Ont été inclus dans notre étude :

- Les sujets âgés de 08 à 14 ans, de sexes confondus,
- Toutes les dents permanentes immatures vivantes, avec ou sans exposition pulpaire.
- Les dents doivent présenter un processus carieux étendu ou un traumatisme récent, sans douleur spontanée et nécessitant une thérapeutique d'apexogénèse avec possibilité de restauration.

4.3.3.2.2. Les critères de non inclusion : N'ont pas été inclus dans notre étude :

- Les enfants présentant une pathologie d'ordre général,
- Les dents présentant une atteinte parodontale importante objectivée par la présence de certains signes cliniques (fistule ou mobilité anormale) ou radiologiques (atteinte de la furcation des dents pluriradiculées),
- Les dents présentant des signes d'atteinte pulpaire irréversible telle que des douleurs spontanées,
- Les dents avec un délabrement trop important contre-indiquant la conservation de la vitalité pulpaire de la dent,
- Les dents présentant un saignement incontrôlable de plus de 10 mn,
- Parents ne désirant pas que leur enfant fasse partie de l'étude.

4.3.3.3. Gestion des exclusions au cours de l'étude

Les sujets exclus de l'étude pour cause d'échec de traitement, retrait de consentement, effets indésirables ou autres raisons, ont été remis dans la consultation du service et repris pour poursuite du traitement en dehors de l'étude.

4.3.3.4. Gestion des événements indésirables graves

L'événement indésirable le plus grave dans notre étude, peut-être la survenue d'une pulpite irréversible « catégorie III de Baume » qui se traduit cliniquement par des crises douloureuses aigues invalidantes, d'intensités variables, diurnes ou nocturnes, continues ou non.

Dans le cas de la survenue d'une telle crise chez un sujet inclus dans l'étude, sa prise en charge relève d'un traitement d'urgence qui consiste à réaliser une thérapeutique cémentogène dans l'immédiat. **(Annexe 1)**

Par ailleurs, tous les sujets inclus dans l'étude avaient la possibilité à tout moment d'être repris en charge pour le moindre incident imprévu.

4.3.4. LE RECRUTEMENT DES PATIENTS

Le recrutement des sujets répondant à notre étude s'est fait au service d'Odontologie Conservatrice/Endodontie du CHU d'Oran durant une période de 03 ans de 2013 à 2015.

Pour chaque patient, un cahier d'observation et une fiche signalétique ont été dument remplis. Dans le cahier d'observation, figure un consentement éclairé qui a été proposé aux patients consentants. Les modalités du protocole opératoire et les objectifs du traitement ont été largement expliqués aux patients lors de la première consultation. Les sujets ou les parents qui ont accepté que de partie de l'étude, ont signé le document **« consentement éclairé du patient » (Annexe 2)**

4.3.5. RANDOMISATION

Tous les patients éligibles au jour J-8 se verront proposer de participer à l'étude. Ceux qui acceptent et qui y seront inclus seront soignés le J0. La randomisation se fera par blocs. La taille du bloc est prédéterminée et le nombre de dents assignées à chaque biomatériau est proportionnel au nombre de traitement dans l'effectif du bloc. (La randomisation a été réalisée uniquement pour la première étude)

4.3.6. DEROULEMENT DE L'ETUDE

Les patients sont reçus dans notre service volontairement ou suite à des orientations des praticiens d'autres structures sanitaires. Lors de la première consultation, nous avons procédé à un interrogatoire et un examen clinique. Pour les patients retenus, la programmation de l'acte opératoire se faisait dans un délai ne dépassant pas la semaine.

4.3.7. LE PROTOCOLE OPERATOIRE

4.3.7.1. Le matériel utilisé :

La réalisation de cette étude a nécessité, pour chaque acte, le matériel suivant :

- Le matériel de digue à savoir un cadre, des crampons, une feuille de caoutchouc, la pince porte crampons et la pince perforatrice d'Ainsworth.



Fig 4-1 : Nécessaire pour le champ opératoire

- Le matériel d'anesthésie locale avec seringue porte carpules, aiguilles jetables (Dental Needie « 0,4x21mm »), carpules d'anesthésie avec vasoconstricteur (Articaine à 2% des laboratoires *Septodont*) et anesthésique par réfrigération (Endo-Frost Roeko d'Henry Schein).



Fig 4-2 : Nécessaire pour anesthésie locale

- Une instrumentation rotative : Contre angle type LT 25 des laboratoires *Sirona,* Turbine type Woospecker.



Fig 4-3 : Instrumentation rotative : Turbine et Contre angle

- Un plateau de consultation comportant miroir, sonde et precelles.

- Un plateau de travail comportant miroir, sonde, precelles, excavateur de différentes tailles et spatule à bouche.



Fig 4-4 : Plateau technique de base

- Fraises boules pour contre angle bague verte de différents diamètres et fraises diamantées pour turbine de différentes formes et différents diamètres.



Fig 4-5 : Fraises pour turbine et contre angle

- Le nécessaire pour désinfection de la cavité : seringue d'irrigation et hypochlorite de sodium à 2,5%.

- Coton salivaire et coton sous forme de « pellets »

- Une sonde parodontale graduée pour mesurer la profondeur des cavités.



Fig 4-6 : Sonde parodontale graduée

- Le nécessaire pour la restauration au composite à savoir matrice, porte matrice, strips lisses et abrasifs et fraises et cupules pour finition et polissage de la restauration.



Fig 4-7 : Coffret pour finition



Fig 4-8 : Matrice et strips abrasifs

- Un pulp-tester type *SybronEndo,* modèle 2006, des laboratoires *Sybron Dental Specialties.*



Fig 4-9 : Pulp tester

- Ciment tricalcique « Biodentine ™ » des laboratoires *Septodont.*



Fig 4-10 : Coffret de Biodentine

- Hydroxyde de Calcium type Septocalcine Ultra des laboratoires *Septodont.*



Fig 4-11 : Coffret d'Hydroxyde de Calcium



Fig 4-12 : Spatules pour la dépose du $CaOH_2$

- Résine composite type Tetric N-collection des laboratoires *Ivoclar Vivadent*



Fig 4-13 : Coffret de composite photopolymérisable



Fig. 4-14 : Coffret de disques abrasifs

- Une lampe de photopolymérisation type Mini LED des laboratoires *Satelec*



Fig 4-15 : Lampe de photopolymérisation

- Vibreur dédié uniquement pour le mélange de Biodentine™ type Vibromix 2000 des laboratoires *Dentoria*



Fig 4-16 : Vibreur exclusif pour Biodentine

- Une RadioVisioGraphie type Visiodent Software version 1.0, Tube radiologique TOSHIBA DG-073B-AC des laboratoires *Satelec*, avec un faisceau de 70kV et de 8mA. Long cône (31mm, ∅ 60mm)



Fig 4-17 : Dispositif de la RadioVisioGraphie



Fig 4-18 : Kit d'angulateur pour radiographie



Fig 4-19 : Capteur numérique



Fig 4-20 : Générateur avec minuterie



Fig 4-21 : Long cône de radiographie

4.3.7.2. Les protocoles opératoires pour les thérapeutiques dentinogènes

La présélection étant faite à J-8, les patients retenus sont revus à Jo pour commencer le traitement après signature du consentement et randomisation. Les protocoles sont les suivants :

4.3.7.2.1. Procédure de coiffage pulpaire indirect suite à un processus carieux *:* les étapes opératoires sont les suivantes

1) Radiographie préopératoire



Fig 4-22 : Radiographie préopératoire sur écran

2) Mise en place du champ opératoire



Fig 4-23 : Vue préopératoire, digue en place

3) Ouverture de la cavité et éviction carieuse : L'ouverture se faisait avec une fraise diamantée montée sur turbine à haute vitesse avec un spray d'eau. L'éviction de la dentine cariée se réalisait avec l'excavateur d'abord ensuite avec une fraise boule en carbure de tungstène sur contre angle à faible vitesse. Le diamètre de la fraise correspond à la taille de la lésion. L'éviction carieuse se faisait de la périphérie vers le centre de la lésion. La profondeur de la cavité est alors mesurée avec une sonde parodontale graduée et est notée.



Fig 4-24 : Ouverture de la cavité

4) Désinfection et séchage de la cavité : La cavité est désinfectée à l'aide d'une boulette de coton imbibée d'Hypochlorite de Sodium à 2,5%, ensuite séchée avec des pellets de coton stérile.

5) Préparation du produit de coiffage : Le matériau de coiffage - Biodentine ou Hydroxyde de Calcium- est préparé selon les instructions du fabricant

La préparation de Biodentine se fait de la façon suivante :

- Ouvrir la capsule et la placer sur le support blanc
- Détacher une monodose de liquide et tapoter légèrement au niveau du bouchon scellé afin de faire descendre la totalité du liquide au fond de la monodose.
- L'ouvrir en tournant le bouchon scellé en prenant garde de ne pas laisser échapper de goutte.
- Verser 5 gouttes de la monodose dans la capsule.
- Refermer la capsule. Placer la capsule sur le vibreur, ayant une vitesse de l'ordre de 4000 à 4200 oscillations/mn
- Mélanger durant 30 secondes
- Ouvrir la capsule et vérifier la consistance du matériau. Si une consistance plus épaisse est souhaitée, attendre 30 secondes à une minute avant de tester à nouveau, sans dépasser le temps de travail.
- Récupérer le matériau Biodentine à l'aide de la spatule livrée dans le coffret. En fonction de l'utilisation souhaitée, il est possible de manipuler Biodentine à l'aide d'un porte amalgame.

La préparation de l'Hydroxyde de Calcium se fait de la façon suivante :

- Sur le bloc de spatulation, placer un volume égal de pâte A et B.
- Spatuler rapidement (10-15 secondes) jusqu'à obtention d'un mélange homogène (couleur uniforme)
- Introduire immédiatement, à l'aide d'un instrument à extrémité sphérique, le mélange obtenu dans la cavité sèche. Le temps de prise en bouche est de 2 minutes environ

6) Mise en place du produit de coiffage : Le matériau est mis en place en respectant les conditions exigées par le fabricant.



Fig 4-25 : Mise en place de Biodentine

7) Restauration au composite, en suivant les recommandations du fabricant



Fig 4-26 : Restauration définitive au composite

8) Sculpture initiale et mise en occlusion de la dent



Fig 4-27 : Vue postopératoire

9) Radiographie post opératoire



Fig 4-28 : Prise de radiographie postopératoire



Fig 4-29 : Vue postopératoire sur écran

4.3.7.2.2. Procédure de coiffage pulpaire direct suite à un processus carieux :
Le coiffage pulpaire direct n'a pas été indiqué d'emblée mais nous a été imposé lors de la réalisation des thérapeutiques de coiffage indirect suite à des dénudations accidentelles d'une corne pulpaire au moment de l'éviction carieuse.
Deux possibilités sont alors envisagées. Si le curetage dentinaire est terminé au moment de la dénudation, l'hémostase spontanée est obtenue délicatement sans compression avec des boulettes de coton stérile. La désinfection des parois de la cavité est entreprise immédiatement, suivie par un séchage doux et minutieux à l'aide de pellet de coton stérile. Si, par contre le curetage dentinaire n'est pas terminé, une anesthésie locale est réalisée suivie par l'éviction carieuse ensuite ablation de la partie la plus superficielle de la pulpe. Après l'obtention de l'hémostase spontanée, le site est ensuite désinfecté et séché. La profondeur de la cavité est alors mesurée avec précaution.
Les étapes suivantes concernant la préparation, la mise en place du matériau de coiffage et la restauration définitive sont les mêmes que précédemment. La radiographie postopératoire est la dernière étape avant de programmer un contrôle quinze jours plus tard.

4.3.7.2.3. Procédure de coiffage pulpaire indirect suite à un processus traumatique : les étapes opératoires sont les suivantes

- Radiographie préopératoire
- Mise en place du champ opératoire
- Nettoyage et désinfection de la surface fracturée avec une solution d'hypochlorite de sodium
- Préparation et mise en place du produit de coiffage : le matériau de coiffage, Biodentine ou Hydroxyde de Calcium- est préparé et mis en place en respectant les conditions exigées par le fabricant.
- Restauration au composite, en suivant les recommandations du fabricant
- Sculpture initiale et mise en occlusion de la dent
- Radiographie post opératoire

4.3.7.2.4. Procédure de coiffage pulpaire direct suite à un processus traumatique *:* les étapes opératoires sont les suivantes

- Radiographie préopératoire
- Mise en place du champ opératoire
- Nettoyage et désinfection de la surface fracturée avec une solution d'hypochlorite de sodium
- Ablation de la partie la plus superficielle de la pulpe à l'aide d'une fraise boule montée sur contre angle à faible vitesse avec spray de refroidissement.
- Hémostase spontanée et séchage avec des boulettes de coton stérile sur la plaie sans compression.

- Préparation et mise en place du produit de coiffage : le matériau de coiffage - Biodentine ou Hydroxyde de Calcium- est préparé selon les instructions du fabricant et mis en place en respectant les conditions exigés par le fabricant.
- Restauration au composite, en suivant les recommandations du fabricant
- Sculpture initiale et mise en occlusion de la dent
- Radiographie post opératoire

4.3.7.3. Le protocole opératoire pour les thérapeutiques d'apexogénèse

4.3.7.3.1. Procédure de pulpotomie partielle suite à un processus carieux *:* les étapes opératoires sont les suivantes

- Radiographie préopératoire
- Administration de l'anesthésie locale
- Mise en place du champ opératoire
- Ouverture de la cavité, éviction carieuse
- Amputation de la pulp*e à une profondeur de 02mm* à l'aide d'une fraise boule diamantée à haute vitesse sous refroidissement optimal ;
- L'hémostase s'obtient avec en recouvrant le site de l'amputation d'un tampon de coton imbibé d'eau saline
- Séchage de la cavité à l'aide de pellets de coton stérile :
- Préparation et mise en place du produit de coiffage : Biodentine est préparé selon les instructions du fabricant et mis en place en respectant les conditions exigés.
- Restauration au composite, en suivant les recommandations du fabricant
- Sculpture initiale et mise en occlusion de la dent
- Radiographie post opératoire

4.3.7.3.2. Procédure de pulpotomie totale suite à un processus carieux : les étapes opératoires sont les suivantes :

- Radiographie préopératoire
- Administration de l'anesthésie locale
- Mise en place du champ opératoire
- Ouverture de la cavité, éviction carieuse et réalisation de la cavité d'accès endodontique selon le type de la dent à traiter
- Amputation de la pulpe coronaire d'abord à l'aide d'un excavateur en réalisant une coupe franche afin d'éviter le déchirement du tissu pulpaire complétée ensuite par une fraise boule diamantée à haute vitesse sous refroidissement optimal ;
- L'hémostase s'obtient avec en recouvrant le site de l'amputation d'un tampon de coton imbibé d'eau saline
- Séchage de la cavité à l'aide de pellets de coton stérile :
- Préparation et mise en place du produit de coiffage : Biodentine est préparé selon les instructions du fabricant et mis en place en respectant les conditions exigés.
- Restauration au composite, en suivant les recommandations du fabricant
- Sculpture initiale et mise en occlusion de la dent

- Radiographie post opératoire

4.3.7.3.3. Procédure de pulpotomie partielle suite à un processus traumatique : les étapes opératoires sont les suivantes

- Radiographie préopératoire



Fig 4-30 : Radiographie préopératoire de la 12

- Administration de l'anesthésie locale
- Mise en place du champ opératoire



Fig 4-31 : Vue préopératoire.

- Nettoyage et désinfection de la surface fracturée avec une solution d'hypochlorite de sodium
- Amputation de la pulpe *à une profondeur de 02mm* à l'aide d'une fraise boule diamantée à haute vitesse sous refroidissement optimal ;



Fig 4-32 : Ablation partielle de la pulpe camérale

- L'hémostase s'obtient avec en recouvrant le site de l'amputation d'un tampon de coton imbibé d'eau saline
- Séchage de la cavité à l'aide de pellets de coton stérile :
- Préparation et mise en place du produit de coiffage : Biodentine est préparé selon les instructions du fabricant et mis en place en respectant les conditions exigés.



Fig 4-33 : Mise en place de Biodentine

- Restauration au composite, en suivant les recommandations du fabricant
- Sculpture initiale et mise en occlusion de la dent



Fig 4-34 : Restauration définitive au composite

- Radiographie post opératoire



Fig 4-35 : Radiographie postopératoire de la 12 à J0

4.3.7.3.4. Procédure de pulpotomie totale suite à un processus traumatique : les étapes opératoires sont les suivantes :

- *Radiographie préopératoire*
- *Administration de l'anesthésie locale*
- *Mise en place du champ opératoire*
- *Nettoyage et désinfection de la surface fracturée* avec une solution d'hypochlorite de sodium
- *Réalisation de la cavité d'accès endodontique* selon le type de la dent à traiter
- *Amputation de la pulpe coronaire* d'abord à l'aide d'un excavateur en réalisant une coupe franche afin d'éviter le déchirement du tissu pulpaire complétée ensuite par une fraise boule diamantée à haute vitesse sous refroidissement optimal ;

- *L'hémostase* s'obtient avec en recouvrant le site de l'amputation d'un tampon de coton imbibé d'eau saline
- *Séchage de la cavité* à l'aide de pellets de coton stérile :
- *Préparation et mise en place du produit de coiffage* : Biodentine est préparé selon les instructions du fabricant et mis en place en respectant les conditions exigés.
- *Restauration au composite*, en suivant les recommandations du fabricant
- *Sculpture initiale et mise en occlusion de la dent*
- *Radiographie post opératoire*

4.3.8. LES CONTROLES POSTOPERATOIRES

A J15, les patients sont revus pour un contrôle postopératoire durant lequel nous procèderons à :

- Un interrogatoire : Renseignements sur un questionnaire minutieux : l'état général du moment, la prise d'un traitement médicamenteux particulier, et la survenue d'une symptomatologie postopératoire, à savoir : Douleurs provoquées ou Douleurs spontanées
- Des tests de contrôle clinique pour contrôler et tester la vitalité pulpaire.
- Les mêmes séances de contrôle seront réalisées pour l'ensemble des dents à **J1mois, J2mois**, **J3mois**, **J6mois** et **J12mois** avec en plus un test de contrôle radiologique à chaque séance.

Procédure du test de sensibilité pulpaire au froid : à l'aide du spray de refroidissement d'Endo-Frost Roeko d' Henry Schein. La dent causale est séchée et isolée avec un rouleau de coton salivaire. Le produit est pulvérisé sur une boulette de coton, jusqu'à ce que les fibres du coton givrent. La boulette de coton est appliquée sur la face vestibulaire de la dent à tester, à proximité du collet pendant cinq (5) secondes. Le test est réalisé de la même manière sur une dent adjacente.

Procédure du test de sensibilité électrique : à l'aide du pulp-tester.

- La dent à tester est nettoyée, isolée et séchée.
- La pince labiale est fixée sur la lèvre du patient
- L'électrode principale est sur la face vestibulaire de la dent à tester à proximité du collet.
- La sonde est maintenue en contact avec la dent jusqu'à ce que le patient ressente le stimulus
- Après un délai de 2secondes, on peut commencer le test sur la dent suivante

Les plages de réponses normales sont les suivantes : Incisives : 10 à 20 ; Prémolaires : 20 à 50 ; Molaires : 30 à 70.

Procédure da la prise de radiographie : à l'aide de la RadioVisioGraphie.

La technique admise pour la prise des clichés en radiologie numérique est la technique des plans parallèles pour des raisons relatives à la conception du capteur numérique.

On place le capteur sur l'angulateur choisi et l'ensemble est introduit en bouche.

- Pour les secteurs antérieurs : le capteur est placé verticalement et le câble sera dirigé vers le bas pour le maxillaire supérieur et vers le haut pour la mandibule,
- Pour les régions postérieures, le capteur est placé horizontalement et le câble est dirigé vers l'extérieur.

Le cône est placé sur l'anneau de centrage, en étant parallèle à la tige guide de l'angulateur. Il sera dirigé selon les angulations respectives de chaque secteur, le rayon directeur est perpendiculaire au grand axe de la dent et au capteur

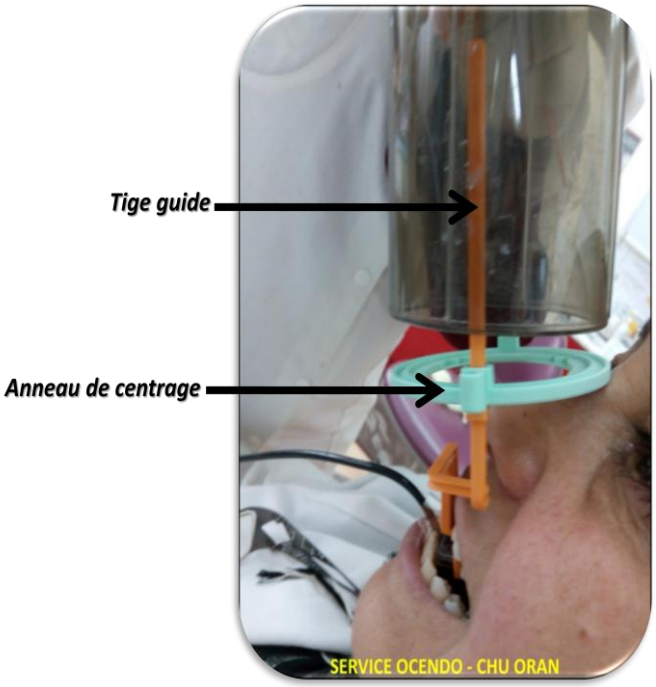


Fig.4-36 : Position du cône sur l'angulateur

4.3.9. LES CRITERES DE JUGEMENT

4.3.9.1. Les critères de jugement principaux

Les paramètres évalués sont : (1) la symptomatologie postopératoire recherchée à travers un interrogatoire minutieux, (2) la santé pulpaire par le biais de tests de sensibilité thermiques et électriques, (3) la cicatrisation radiographique : apposition dentinaire pour les dents matures et poursuite de l'édification radiculaire pour les dents immatures et ceci par des tests de contrôle radiographique.

Cette évaluation globale est détaillée en annexe **(Annexe 3)**

4.3.9.1.1. La symptomatologie postopératoire : cette symptomatologie est constituée de douleurs provoquées et/ou spontanées qui devraient en théorie disparaitre après coiffage de la pulpe qu'il soit direct ou indirect. Nous recherchons, donc, à travers un interrogatoire

- La persistance de douleurs provoquées aux différents stimuli, leurs durées dans le temps.
- La survenue de douleurs spontanées, leur localisation, intensité et durée.

Nous interrogeons, également le patient sur l'état général aux différentes séances de contrôle, sachant que la survenue ou la découverte d'une pathologie quelconque d'ordre général (y compris une grossesse) constituait pour nous un facteur d'exclusion du sujet.

4.3.9.1.2. La santé pulpaire : évaluée par deux procédés physiques différents : le test au froid (par le chlorure d'éthyle) et le test électrique pour plus de certitude.

Nous réaliserons également un examen clinique de la dent soignée en procédant à :

- La palpation de la dent et de son environnement muqueux
- La réalisation des tests de percussions axiale et transversale
- La recherche de mobilité dentaire ou de fistule

Ces différents tests cliniques seront effectués pendant toutes les séances de suivi postopératoire **(J15, J30, J2mois, J3mois, J6mois** et **J12mois**)

4.3.9.1.3. La cicatrisation radiographique : recherchée à travers des clichés radiographiques pris lors de chaque séance, après l'interrogatoire et la réalisation des tests cliniques. Tous les clichés seront pris par RadioVisioGraphie, et stockés dans les dossiers de chaque patient afin de pouvoir comparer avec les radiographies préopératoires. Nous recherchons, dans cet examen radiographique : l'état de la Lamina dura, la présence ou l'absence de réaction périapicale, la présence ou l'absence de résorptions externe et interne, l'état de l'espace desmodontal et la formation ou non d'un tissu dur sous le matériau de coiffage pour les dents matures et la poursuite de l'édification radiculaire pour les dents immatures.

L'apposition dentinaire

En se basant sur des données bibliographiques, l'apposition dentinaire a été quantifiée de la façon suivante :

- *Degré 1 : début d'apposition de tissu calcifié sous le matériau de coiffage*
- *Degré 2 : couche partielle de tissu calcifié sous le matériau de coiffage*
- *Degré 3 : couche complète de tissu calcifié sous le matériau de coiffage.* ***[317](Parolia), [318](Monea), [319](Accorinte)***

L'édification radiculaire

En se basant sur des données bibliographiques, l'édification radiculaire a été quantifiée de la façon suivante :

- *Degré 1 : début d'apposition radiculaire.*
- *Degré 2 : poursuite de l'édification radiculaire.*
- *Degré 3 : édification radiculaire complète, apex fermé.* ***[317](Parolia),***

Définition d'un succès thérapeutique sur une dent mature

Toute thérapeutique de conservation de la vitalité pulpaire sur dent mature est couronnée de succès lorsque :

- *Cliniquement, la dent est asymptomatique, répond aux tests de sensibilité pulpaire, absence de mobilité, de fistule et une réponse négative aux percussions.*
- *Radiologiquement, lorsque la lamina dura est intacte, absence d'élargissement desmodontal, absence de résorption interne ou externe, absence de réaction périapicale et présence d'un tissu radio-opaque sous le matériau de coiffage.* ***[277](Mente) ;[320](Taha) ;[293](Barrieshi-Nusair) ;[321](Vimi);[322](Çalışkan) ;[323](Linsuwanont) [324](Katge) ; [274](Al-Hiyasat) ; [325](Kunert)***

Définition d'un succès thérapeutique sur une dent immature

Toute thérapeutique de conservation de la vitalité pulpaire sur dent immature est couronnée de succès lorsque :

- *Cliniquement, la dent est asymptomatique, répond aux tests de sensibilité pulpaire, absence de mobilité, de fistule et une réponse négative aux percussions.*
- *Radiologiquement, lorsque la lamina dura est intacte, absence d'élargissement desmodontal, absence de résorption interne ou externe, absence de réaction périapicale et une poursuite de l'édification radiculaire* ***[326](AAPD); [302](El-Meligy); [293](Barrieshi-Nusair) ; [327](Chailertvanitkul) ; [275](Farsi)***

4.3.9.2. Les critères de jugement secondaires

- Le pourcentage de dents matures ayant été traitées par un coiffage pulpaire direct et le pourcentage de dents ayant été traitées par un coiffage pulpaire indirect de même que les pourcentages des dents immatures ayant été traitées par pulpotomie partielle et pulpotomie totale
- Le pourcentage de dents matures et immatures ayant montré une cicatrisation radiographique à 03 mois
- Le pourcentage des patients ayant présenté un événement indésirable (douleurs postopératoires transitoires) et le pourcentage des patients ayant présenté un événement indésirable grave (une pulpite irréversible)

4.3.10. LE RECUEIL DES DONNEES

Le recueil de toutes les données en pré, per et postopératoire des patients ont été consignées dans le cahier d'observation individuel pour chaque patient.

4.3.11. LE CADRE JURIDIQUE

Le Comité d'éthique du Centre Hospitalo-Universitaire d'Oran a émis un avis favorable pour l'étude en date du 30 octobre 2013

La direction du Centre Hospitalo-Universitaire d'Oran a également émis un avis favorable pour la réalisation de notre étude en date du 15 novembre 2013.

4.3.12. PLAN D'ANALYSE

L'analyse a été effectuée à l'aide du logiciel Statical Package for the Social Sciences (IBM SPSS Statistics 20)**.**

4.3.12.1. Pour les thérapeutiques dentinogènes

- ❖ Les variables utilisées sont :
  - Quantitatives : regroupant l'âge, réparti en classe d'âge de 10ans
  - Qualitatives : regroupant le sexe, le type de la dent, le type de la cavité, la profondeur de la cavité, le diagnostic positif de la dent et la thérapeutique indiquée.
- ❖ Traitement des données
- ❖ L'analyse statistique :

- Les données quantitatives ont été exprimées par les paramètres de dispersion : la moyenne ± l'écart type, la médiane et les extrêmes (maximum et minimum)
- Les données qualitatives sont exprimées en pourcentage (%). La relation entre les variables étudiées a été recherchée en utilisant le test de khi-deux de Pearsan. Le test de l'écart réduit a été utilisé pour comparer les pourcentages

Tous les résultats ont été donnés avec un seuil de significativité à 5% (risque d'erreur de première espèce = 5%), ceci confère aux résultats une fiabilité de 95%

Les perdus de vues ont été analysés par intention de traiter en tenant compte des échecs.

4.3.12.2. Pour les thérapeutiques d'apexogénèse

- ❖ Les variables utilisées :
  - Quantitatives : regroupant l'âge, réparti en 2 tranches d'âge : moins de 10ans et plus de 10ans
  - Qualitatives : regroupant le sexe, le type de la dent, le diagnostic positif de la dent et la thérapeutique indiquée.
- ❖ Traitement des données
- ❖ L'analyse statistique :

- Les données quantitatives ont été exprimées par les paramètres de dispersion : la moyenne ± l'écart type, la médiane et les extrêmes (maximum et minimum)
- Les données qualitatives sont exprimées en pourcentage (%).
- Le test de Fischer a été utilisé pour comparer les résultats.

RESULTATS DE L'ETUDE

La première étude concerne les dents permanentes matures vivantes, cariées ou présentant un traumatisme, non traitées auparavant et nécessitant une thérapeutique dentinogène. Cette étude est *Comparative* des effets dentinogénétiques de deux biomatériaux afin d'évaluer le degré d'équivalence entre eux. Elle a concerné 96 patients, dont 26 hommes et 70 femmes et 121 dents.

- *Groupe Biodentine* : Nous avons 61 patients, dont 17 hommes et 44 femmes, et 61 dents.

- *Groupe Hydroxyde de Calcium :* Nous avons 60 patients, dont 16 hommes et 44 femmes, et 60 dents.

5.1. POPULATION GLOBALE

5.1.1. CARACTERISTIQUES DEMOGRAPHIQUES

5.1.1.1. Distribution des patients selon les tranches d'âge

Le nombre de patients, dans cette partie de l'étude, est de 96. L'âge moyen des patients est de 23,4±6,3 ans, avec une médiane de 21 ans et des extrêmes de 16 et 45 ans.

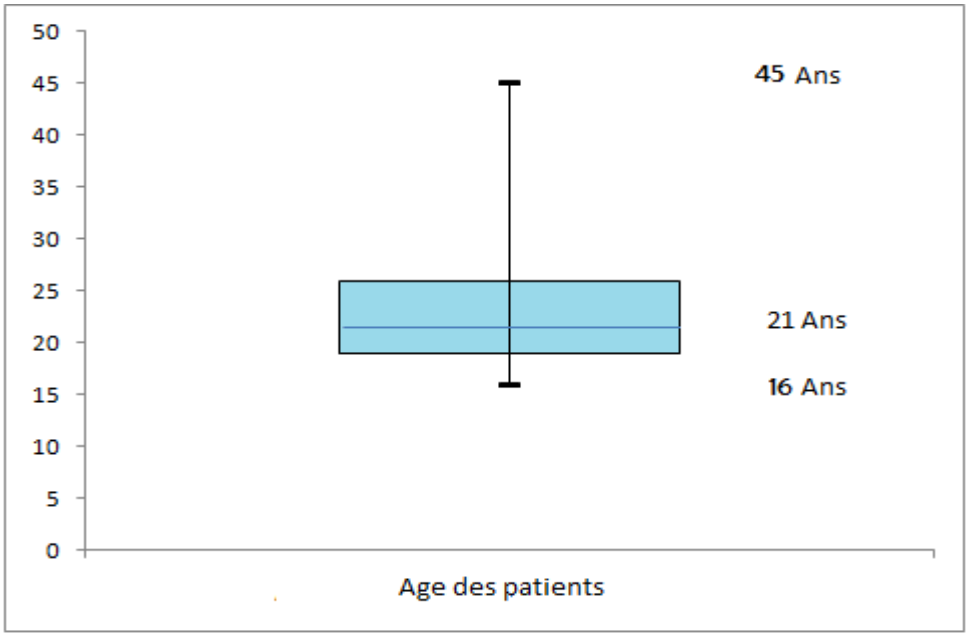


Fig.5-1 Distribution des patients selon l'âge (n=96)

L'âge des patients a été divisé en trois tranches d'âge de 10 ans : 16-26 ans, 26-36 ans et 36-46ans. Nous avons totalisé ***77,1% (74)*** patients dans la première tranche, ***18,8% (18)*** de patients dans la deuxième et ***4,2% (4)*** dans la troisième tranche. **(Tableau 5-1 en Annexe 4)**

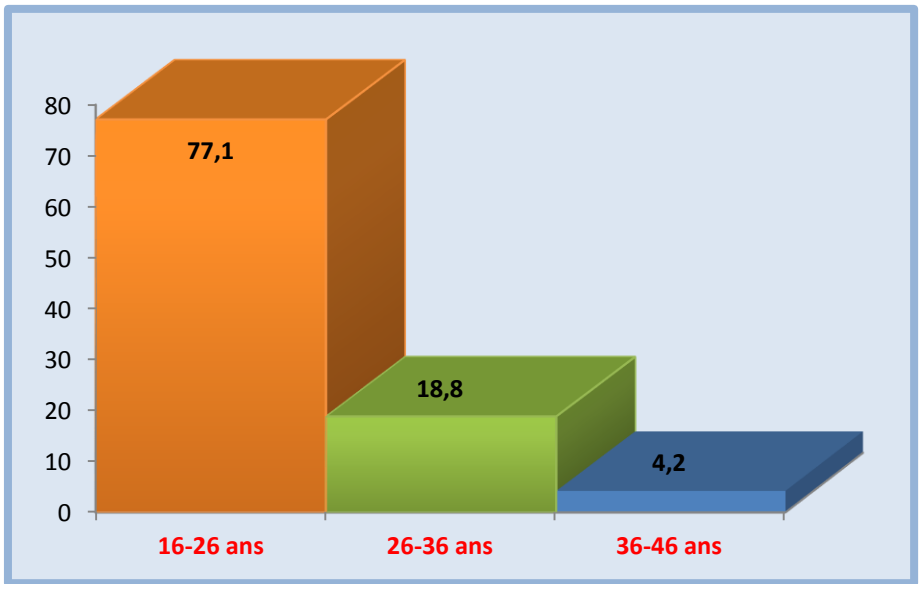


Fig.5-2 : Distribution des patients selon les tranches d'âge (n=96)

5.1.1.2. Distribution des patients selon le sexe

Au cours de la période de notre étude, nous avons pu colliger **96** patients répondant à nos critères, dont ***27,1% (26)*** d'hommes et ***72,9% (70)*** de femmes. **(Tableau 5-2 en Annexe 4)**

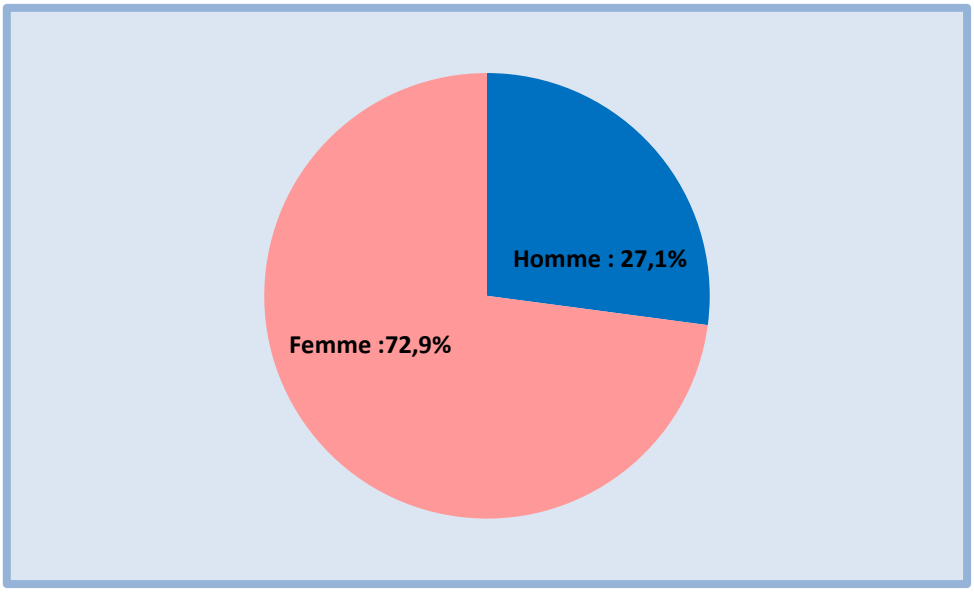


Fig.5-3 : Distribution des patients selon le sexe (n=96)

5.1.1.3. Distribution des patients selon l'état général

Les **96** patients que nous avons recrutés ne présentaient aucune pathologie d'ordre général, répondant ainsi aux critères d'inclusion.

5.1.2. CARACTERISTIQUES CLINIQUES PREOPERATOIRES

5.1.2.1. Distribution des dents selon le type de dents

Les dents que nous avons répertoriées correspondent à ***71,9%(87)*** de molaires, ***21,5%(26)*** de prémolaires ainsi que ***5,8%(7)*** d'incisives et ***2,8% (1)*** de canine**. (Tableau 5-3, Annexe 4)**

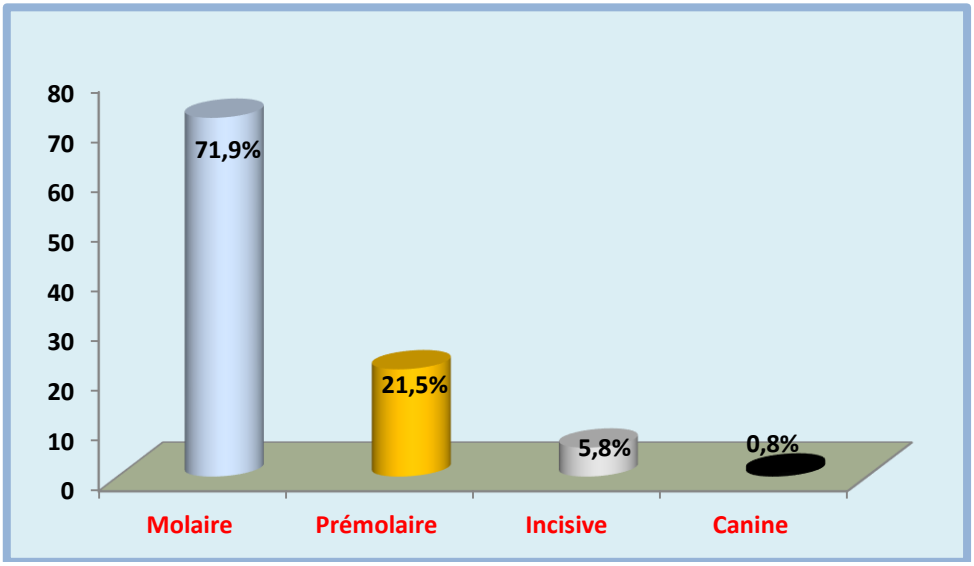


Fig.5-4 : Distribution des dents selon le type de dents (n= 121)



Fig 5-5 : Vue préopératoire d'une 37 (BA)

5.1.2.2. Distribution des dents selon le type de cavité

Nous avons relevé différentes topographies carieuses, la plus fréquente étant la cavité occluso-proximale avec une proportion de ***43%(52)*** suivie par la cavité occlusale ***24%(29)***, ensuite la cavité vestibulo-occlusale avec un taux de ***14%(17).*** Les cavités vestibulo-proximales et proximales sont présentes avec la même proportion à savoir ***5,8% (7).*** Nous n'avons pas éliminé intentionnellement des dents présentant des traumatismes dentaires. **(Tableau 5-4, Annexe 4)**

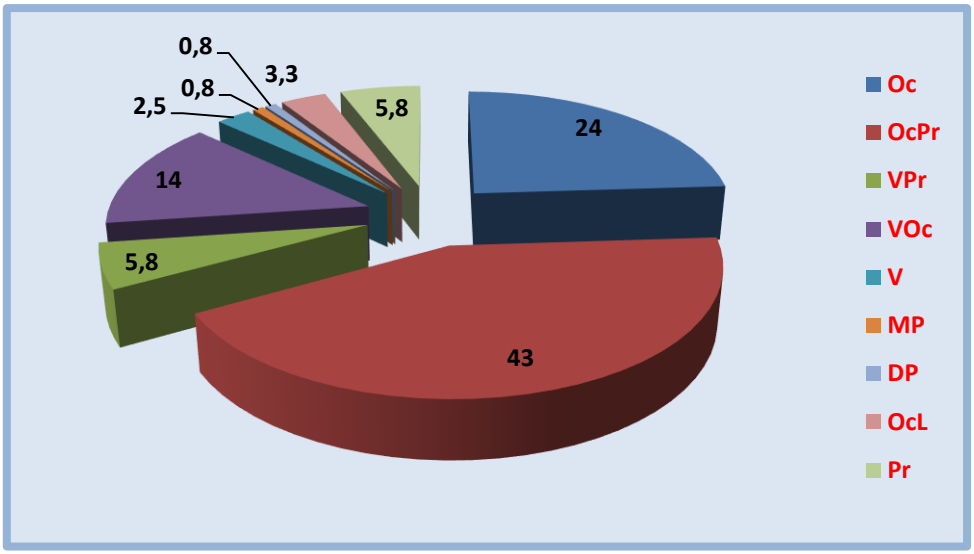


Fig.5-6 : Distribution des dents selon le type de cavités (n=121)



Fig 5-7 : Vue préopératoire d'une 37 (BA)

5.1.2.3. Distribution des dents selon la profondeur de la cavité

Nous avons divisé les cavités, après curetage dentinaire en cavités profondes et moins profondes. Le niveau de profondeur estimé est de 2mm. Nous avons, comptabilisé ***65,3% (79)*** de cavités dont la profondeur dépasse les 2 mm et ***34,7% (42)*** de cavités dont la profondeur est moins de 2mm. **(Tableau 5-5, Annexe 4)**

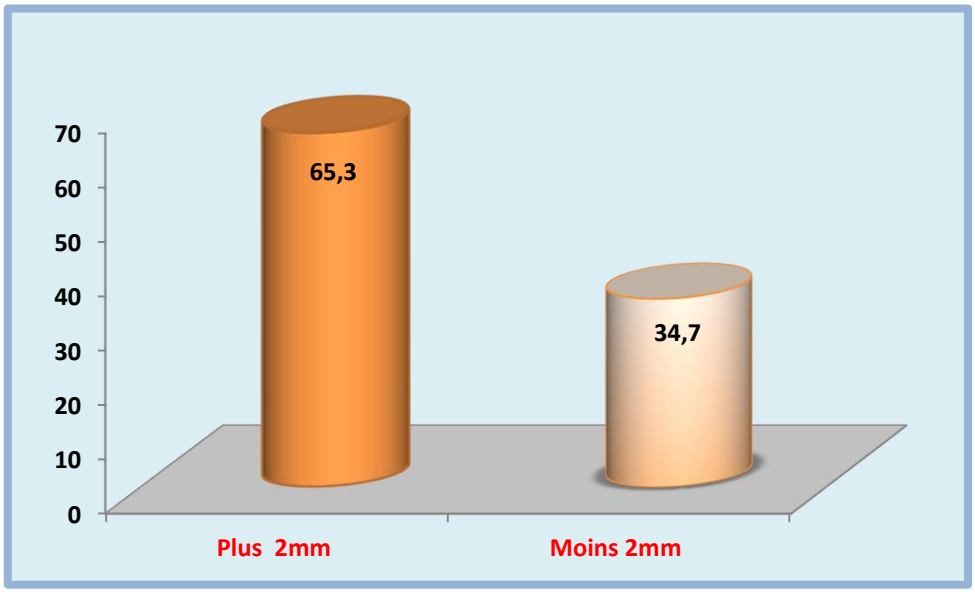


Fig.5-8 : Distribution des dents selon la profondeur de la cavité (n=121)



Fig 5-9 : Vue préopératoire d'une 17 (BK)

5.1.2.4. Distribution des dents selon le diagnostic positif

80,2% (97) des dents de l'échantillon présentaient un diagnostic positif de catégorie II de Baume et ***19,8%(24)*** présentaient un diagnostic de catégorie I de Baume. **(Tableau 5-6, Annexe 4)**

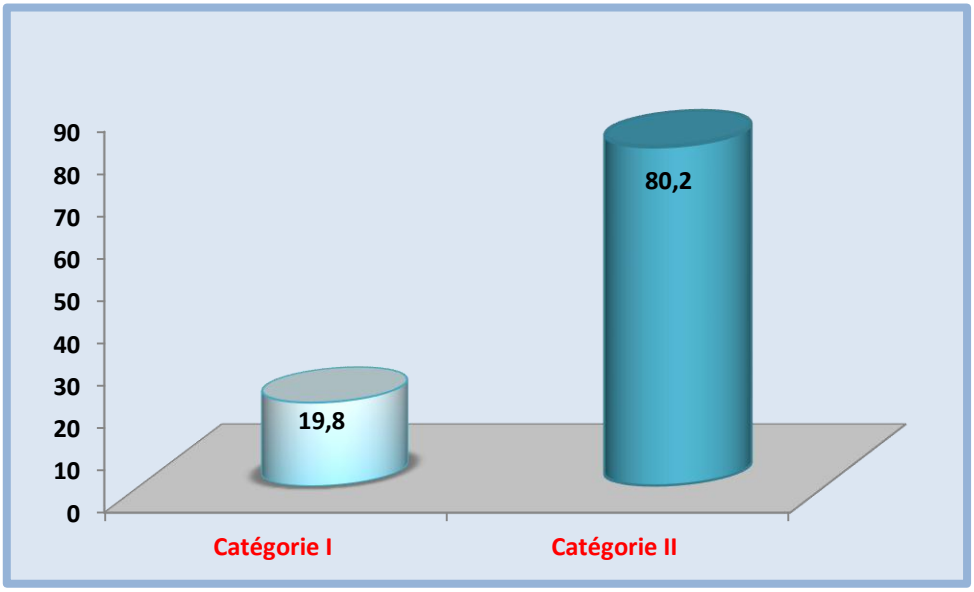


Fig.5-10 : Distribution des dents selon le diagnostic positif (n=121)



Fig 5-11 : Vue préopératoire d'une 25 (HS)

5.1.2.5. Distribution des dents selon la thérapeutique indiquée

Les thérapeutiques que nous avons réalisées se répartissent en ***86% (104)*** de coiffage pulpaire indirect et ***14% (17)*** de coiffage pulpaire direct. **(Tableau 5-7, Annexe 4)**

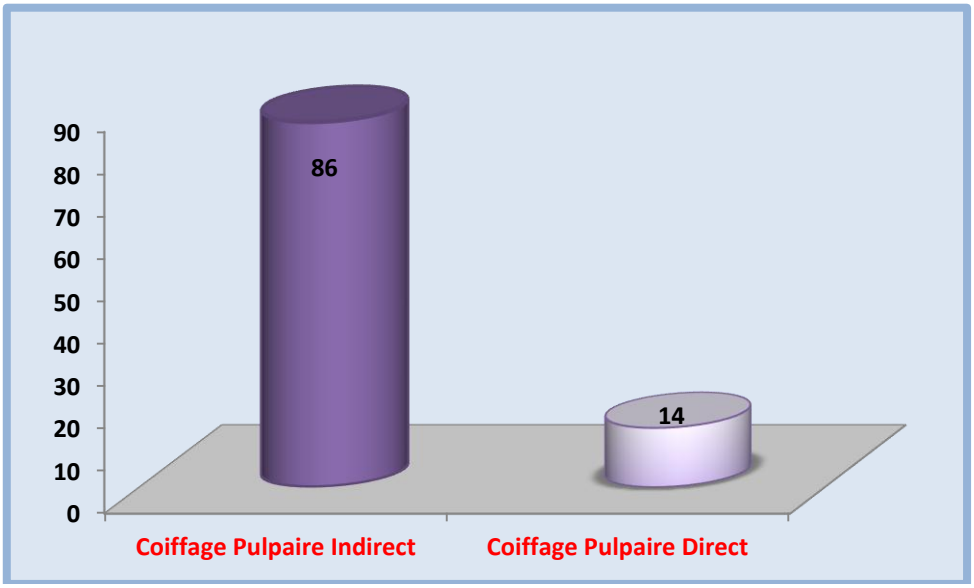


Fig.5-12 : Distribution des dents selon la thérapeutique indiquée (n=121)



Fig 5-13 : Vue préopératoire d'une 17 (AN)

5.1.2.6. Distribution des dents selon le biomatériau utilisé

Après randomisation, nous avons pu comptabiliser ***49,6% (60)*** de thérapeutiques réalisées avec de l'Hydroxyde de Calcium comme matériau de coiffage et ***50,4% (61)*** de thérapeutiques réalisées avec Biodentine. **(Tableau 5-8, Annexe 4)**

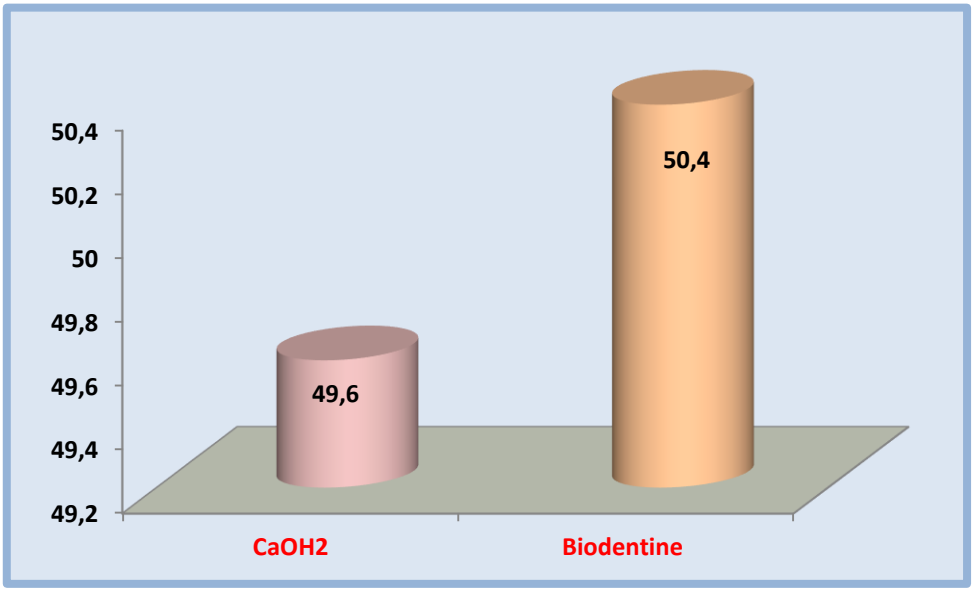


Fig.5-14 : Distribution des dents selon le biomatériau utilisé (n=121)



Fig 5-15 : Vue préopératoire d'une 37 (ABF)

5.2. Résultats de l'étude comparative au Biodentine et à l'Hydroxyde de Calcium

5.2.1. CARACTERISTIQUES DEMOGRAPHIQUES

5.2.1.1. Distribution des patients selon l'âge

Le nombre de patients, dans l'étude exclusive Biodentine est de 61. L'âge moyen des patients est de 23,4±6,3 ans, avec des extrêmes de 16 et 45 ans. La distribution selon des tranches d'âge de 10 ans nous donne : ***78,7% (48)*** patients dans la première tranche, ***16,4% (10)*** de patients dans la deuxième et ***4,9% (3)*** dans la troisième tranche. **(Tableau 5-9, Annexe 4)**

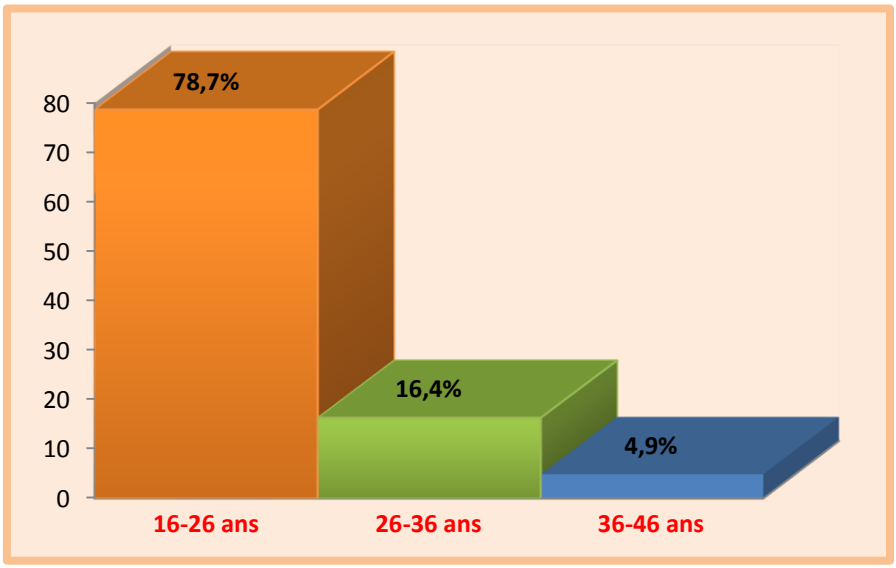


Fig.5-16 : Distribution des patients selon les tranches d'âge (n= 61)

Le nombre de patients dans l'étude exclusive Hydroxyde de Calcium est de 60. Leur distribution selon les tranches d'âge donne ***78,3% (47)*** patients dans la première tranche, ***20% (12)*** de patients dans la deuxième et ***1,7% (1)*** dans la troisième tranche. L'âge moyen des patients est de 22,1±5,1ans, avec des extrêmes de 16 et 39 ans. **(Tableau 5-10, Annexe 4)**

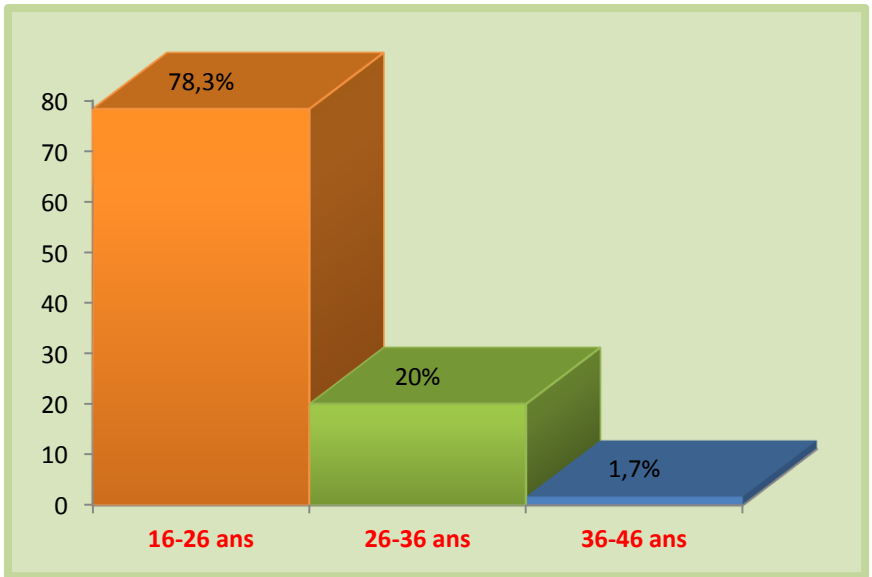


Fig.5-17 : Distribution des patients selon les tranches d'âge (n= 60)

5.2.1.2. Distribution des patients selon le sexe

Les 61 patients que nous avons pu colliger sont répartis en ***27,9% (17)*** d'hommes et ***72,1% (44)*** de femmes. **(Tableau 5-11, Annexe 4)**

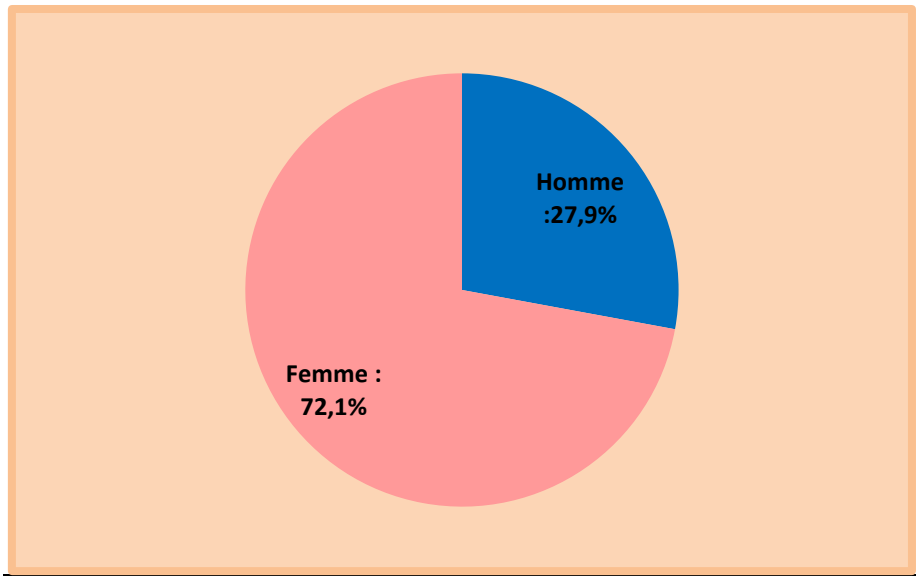


Fig.5-18 : Distribution des patients selon sexe (n= 61)

Les 60 patients sont répartis en ***26,6% (16)*** d'hommes et ***73,3% (44)*** de femmes. **(Tableau 5-12, Annexe 4)**

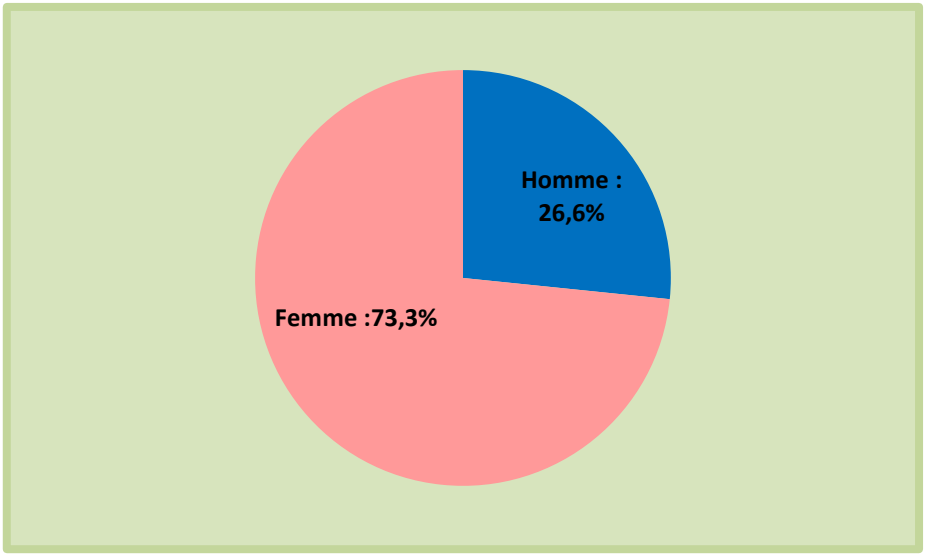


Fig.5-19 : Distribution des patients selon sexe (n= 60)

5.2.1.3. Distribution des patients selon l'état général

Tous les patients que nous avons recrutés ne présentaient aucune pathologie d'ordre général, répondant ainsi aux critères d'inclusion.

5.2.2. CARACTERISTIQUES CLINIQUES PREOPERATOIRES

5.2.2.1. Distribution des dents selon le type de dents

Les dents que nous avons répertoriées correspondent à ***77%(47)*** de molaires et ***23%(14)*** de prémolaires. Nous n'avons pas exclu intentionnellement les incisives et les canines. **(Tableau 5-13, Annexe 4)**

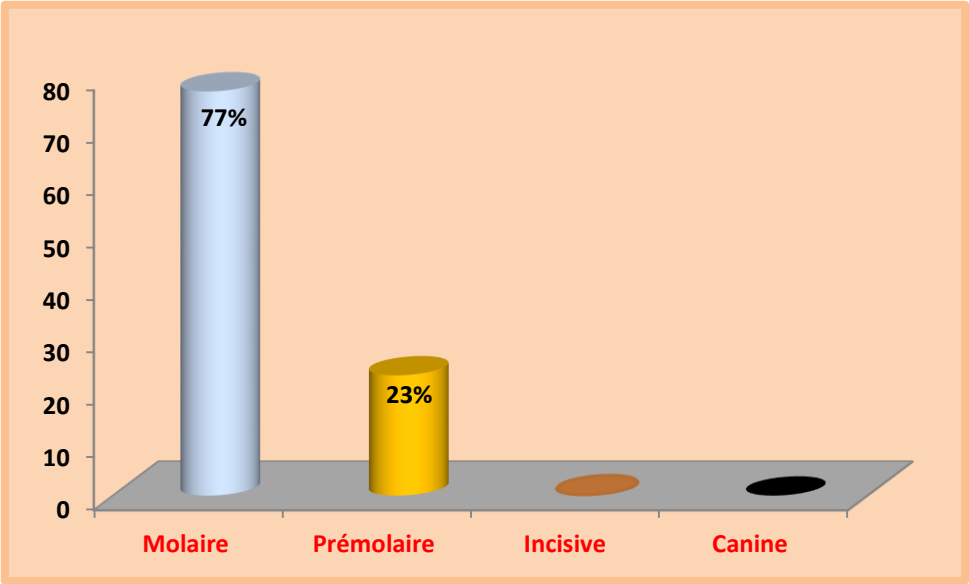


Fig.5-20 : Distribution des dents selon le type de dents (n= 61)

Les dents que nous avons répertoriées correspondent à ***66,7%(40)*** de molaires, ***20%(12)*** de prémolaires ainsi que ***11,7%(7)*** d'incisives et ***1,7% (1)*** de canine**. (Tableau 5-14, Annexe 4)**

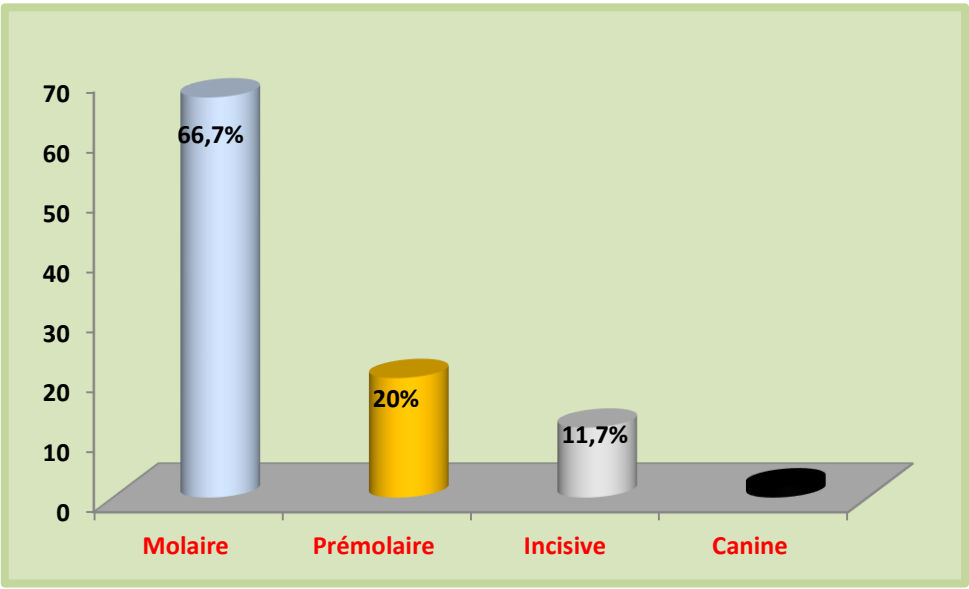


Fig.5-21 : Distribution des dents selon le type de dents (n= 60)

Patient : BN,
Dent : 36
Diagnostic : Catégorie I de Baume.
Traitement : ***COIFFAGE PULPAIRE INDIRECT « HYDROXYDE DE CALCIUM »***

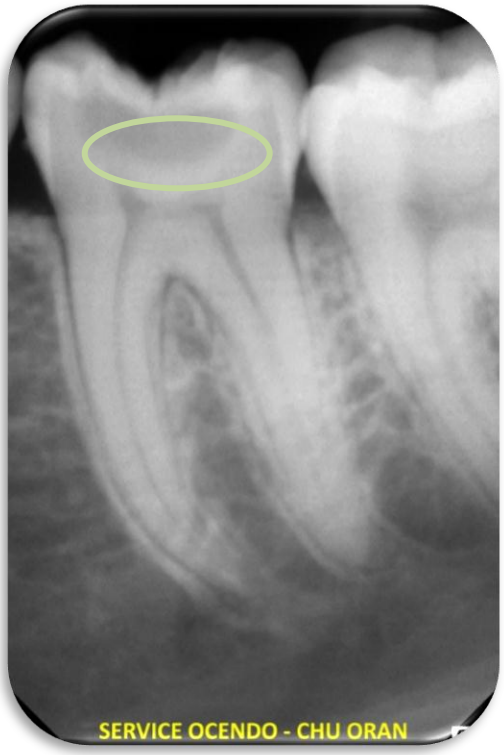


Fig 5-22a : Radiographie préopératoire

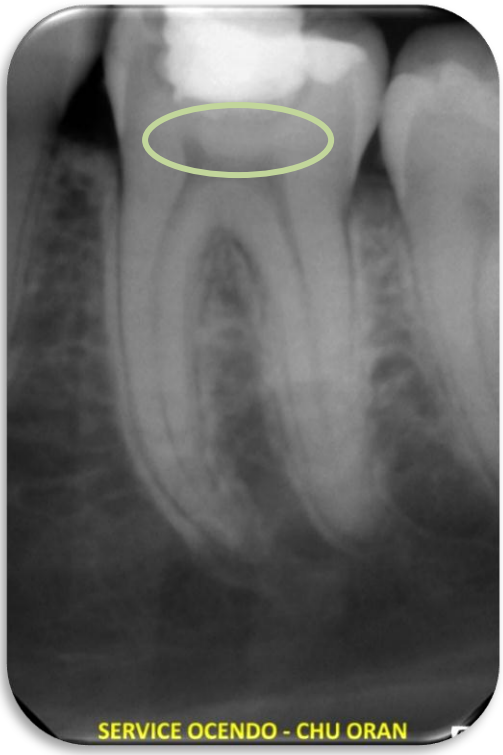


Fig 5-22b : Radiographie postopératoire 6 mois

5.2.2.2. Distribution des dents selon le type de cavité

Nous avons relevé différentes topographies carieuses, la plus fréquente étant la cavité occluso-proximale avec une proportion de ***45,9%(28)*** suivie par la cavité occlusale ***23%(14),*** ensuite la cavité vestibulo-occlusale avec un taux de ***16,4%(10).*** Les cavités vestibulo-proximales sont présentes avec un taux de ***8,2% (5).*** Nous n'avons pas éliminé intentionnellement des dents présentant des traumatismes dentaires. **(Tableau 5-15, Annexe 4)**.

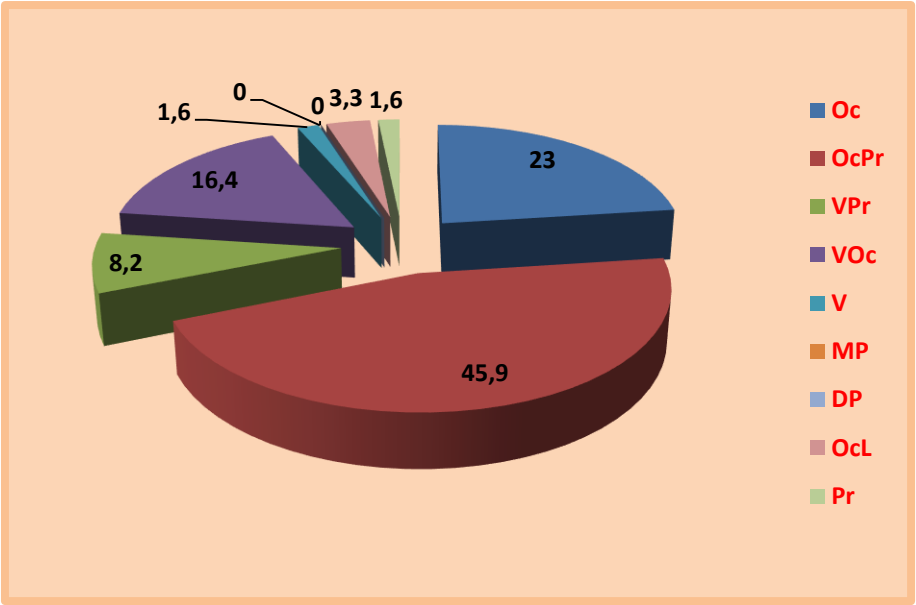


Fig.5-23 : Distribution des dents selon le type de cavité (n=61)

Nous avons relevé des cavités occluso-proximales avec une proportion de ***40%(24)*** suivie par la cavité occlusale ***25%(15),*** ensuite la cavité vestibulo-occlusale avec un taux de ***11,7%(7).*** Les cavités proximales sont présentes avec un taux de ***10% (6).*** **(Tableau 5-16, Annexe 4)**

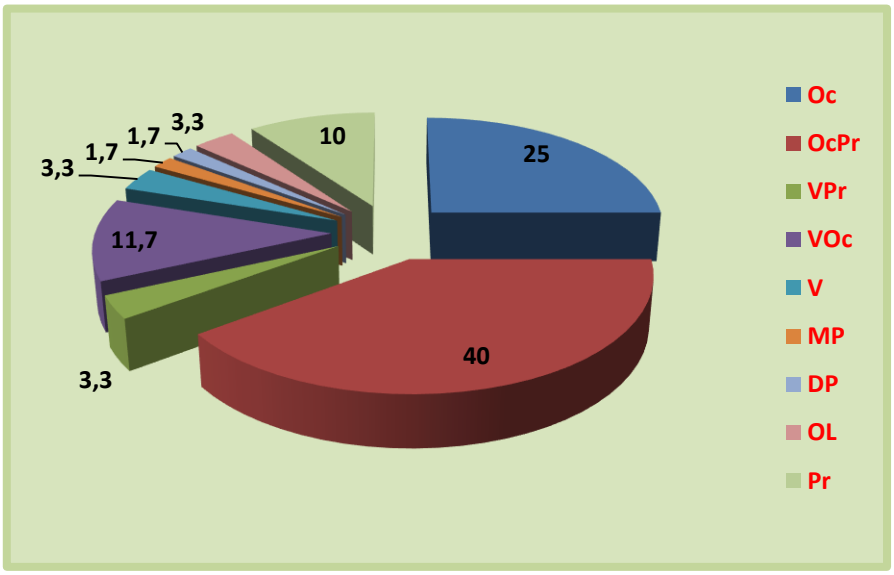


Fig.5-24 : Distribution des dents selon le type de cavités (n=60)

5.2.2.3. Distribution des dents selon la profondeur de la cavité

Nous avons divisé les cavités, après curetage dentinaire en cavités profondes et moins profondes. Le niveau de profondeur estimé est de 2mm. Nous avons, comptabilisé ***80,3% (49)*** de cavités dont la profondeur dépassait les 2 mm et ***19,7% (12)*** de cavités dont la profondeur était moins de 2mm. **(Tableau 5-17, Annexe 4)**

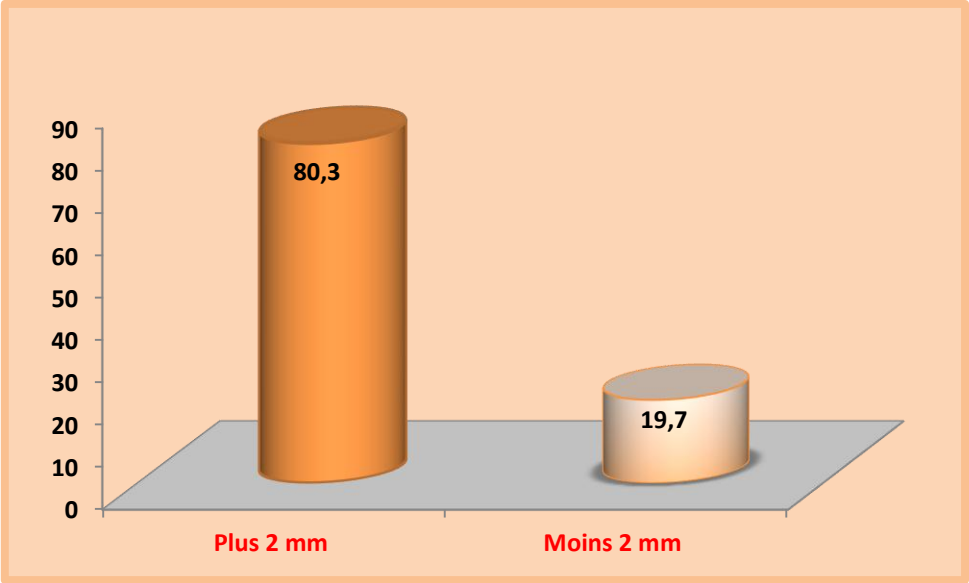


Fig.5-25 : Distribution des dents selon la profondeur de la cavité (n=61)

Nous avons totalisé le même taux ***50% (30)*** pour les cavités dont la profondeur dépassait les 2mm et les cavités dont la profondeur était moins de 2mm. **(Tableau 5-18, Annexe 4)**

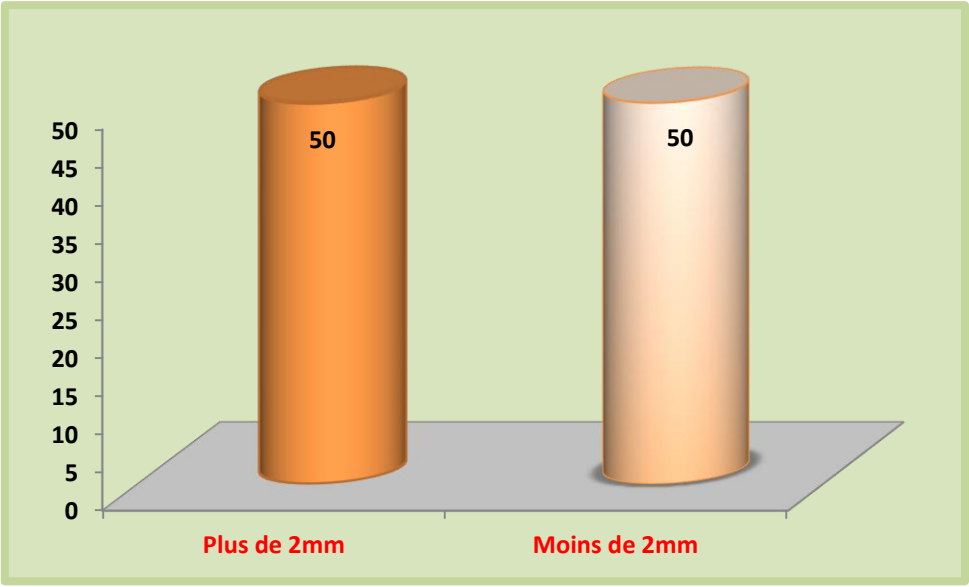


Fig.5-26 : Distribution des dents selon la profondeur de la cavité (n=60)

Patient : MB
Dent : 36
Diagnostic : Catégorie II de Baume.
Traitement : ***COIFFAGE PULPAIRE DIRECT « BIODENTINE »***



Fig 5-27a : Radiographie préopératoire



Fig 5-27b : Radiographie postopératoire à 6 mois



Fig 5-27c : Radiographie postopératoire à 12 mois

5.2.2.4. Distribution des dents selon le diagnostic positif des dents

90,2% (55) des dents de l'échantillon du groupe « Biodentine » présentaient un diagnostic positif de catégorie II de Baume et ***9,8% (6)*** présentaient un diagnostic de catégorie I de Baume. **(Tableau 5-19, Annexe 4)**

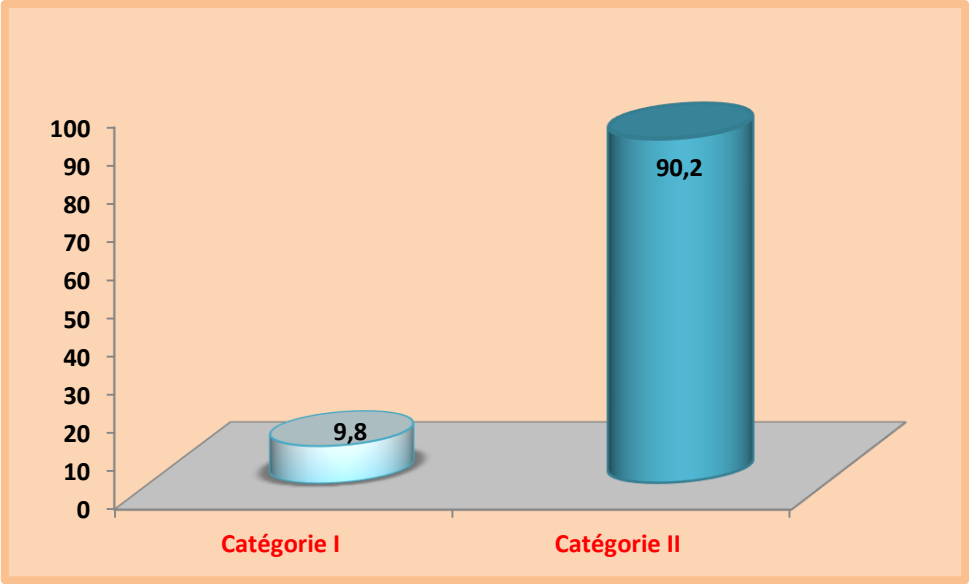


Fig.5-28 : Distribution des dents selon le diagnostic positif des dents (n=61)

70% (42) des dents présentaient un diagnostic positif de catégorie II de Baume et ***30% (18)*** présentaient un diagnostic de catégorie I de Baume. **(Tableau 5-20, Annexe 4)**

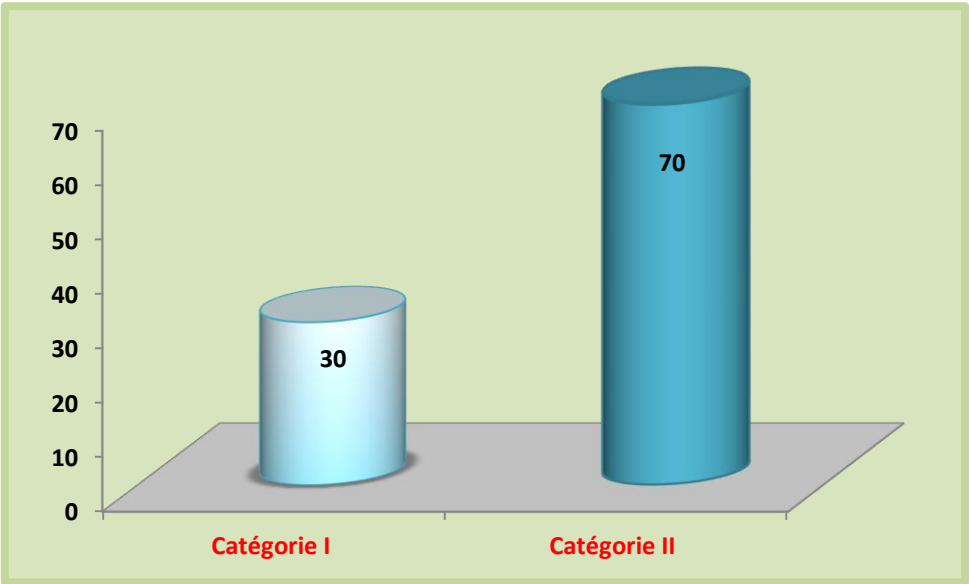


Fig.5-29 : Distribution des dents selon le diagnostic positif des dents (n=60)

Patient : ABF,
Dent : 37
Diagnostic : Catégorie II de Baume.
Traitement : ***COIFFAGE PULPAIRE DIRECT « HYDROXYDE DE CALCIUM »***



Fig 5-30a : Radiographie préopératoire



Fig 5-30b : Radiographie postopératoire à 12 mois

5.2.2.5. Distribution des dents selon la thérapeutique indiquée

Les thérapeutiques que nous avons réalisées se répartissent en ***80,3% (49)*** de coiffage pulpaire indirect et ***19,7% (12)*** de coiffage pulpaire direct. **(Tableau 5-21, Annexe 4)**

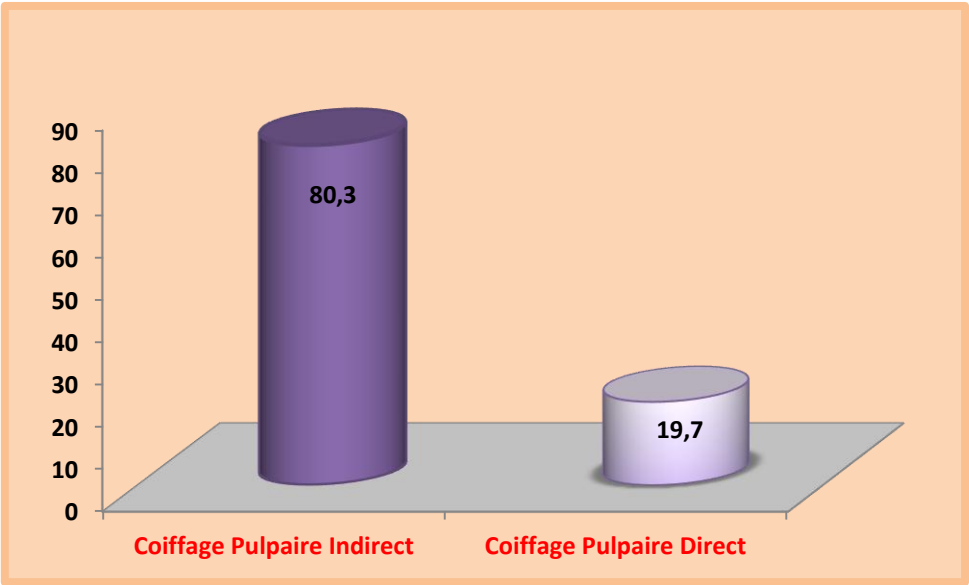


Fig.5-31 : Distribution des dents selon la thérapeutique indiquée (n=61)

Nous avons réalisées ***91,7% (55)*** de coiffage pulpaire indirect et ***8,3% (5)*** de coiffage pulpaire direct. **(Tableau 5-22, Annexe 4)**

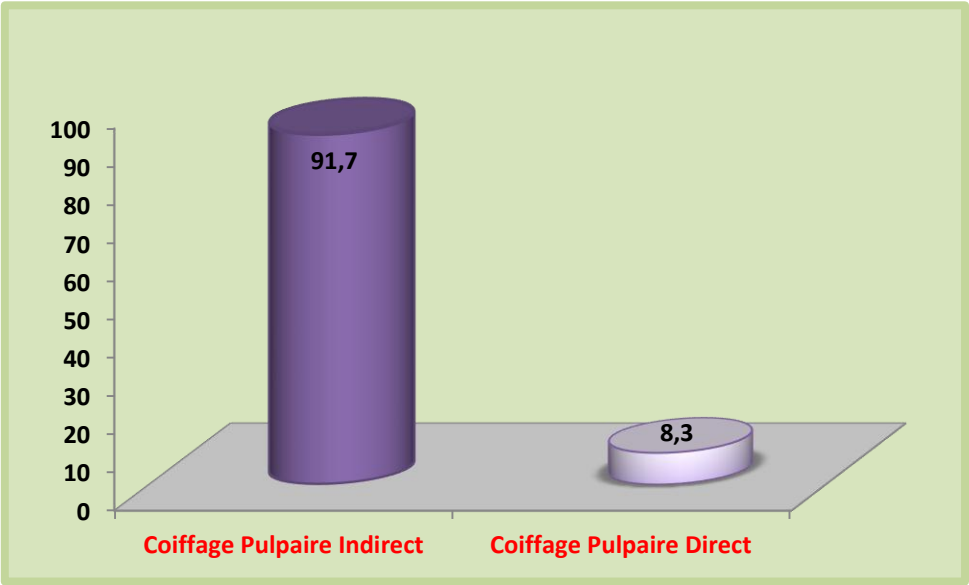


Fig.5-32 : Distribution des dents selon la thérapeutique indiquée (n=60)

5.2.2.6. Types de dents et diagnostic positif

Nous avons comptabilisé ***78,2% (43)*** de molaires et ***21,8% (12)*** de prémolaires présentant un diagnostic positif de catégorie II de Baume, et ***66,7% (4)*** de molaires et ***33,3%(2)*** de prémolaires présentant un diagnostic positif de catégorie I de Baume. **(Tableau 5-23, Annexe 4)**

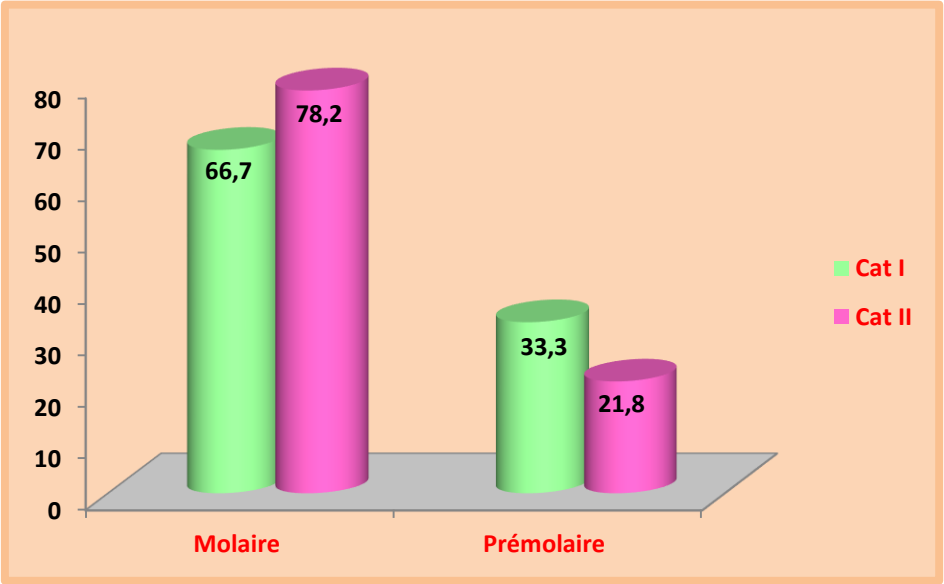


Fig.5-33 : Types de dents et diagnostic positif (n=61)

Nous avons comptabilisé ***76,2% (32)*** de molaires, ***19%(8)*** de prémolaires et ***4,8% (2)*** d'incisives présentant un diagnostic positif de catégorie II de Baume, et ***44,5% (8)*** de molaires, 22,2***%(4)*** de prémolaires, ***27,8% (5)*** d'incisives et ***5,5% (1)*** de canines présentant un diagnostic positif de catégorie I de Baume. **(Tableau 5-24, Annexe 4)**

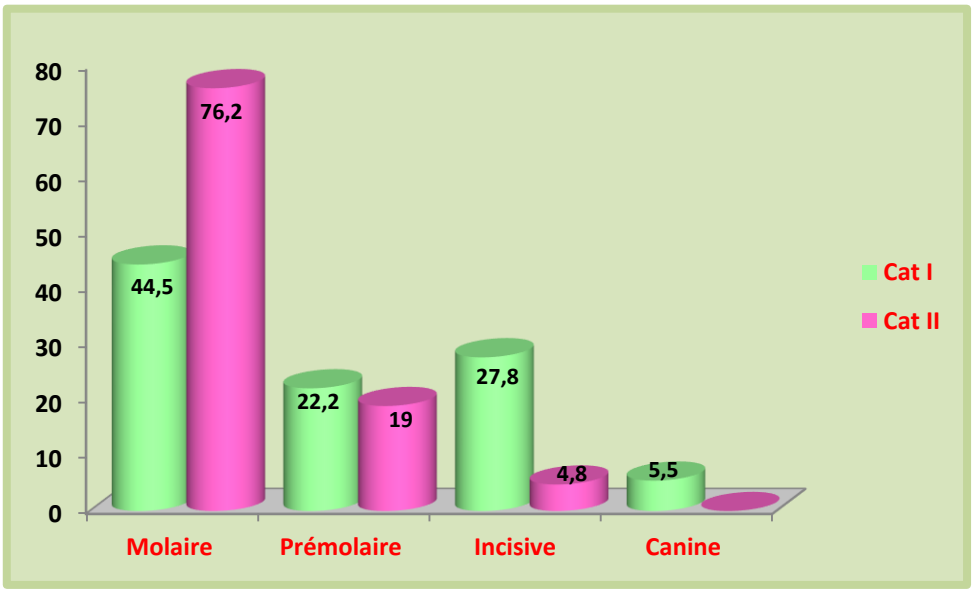


Fig.5-34 : Types de dents et diagnostic positif (n=60)

Patient : NY
Dent : 15
Diagnostic : Catégorie II de Baume.
Traitement : ***COIFFAGE PULPAIRE DIRECT « BIODENTINE »***



Fig 5-35a : Radiographie préopératoire

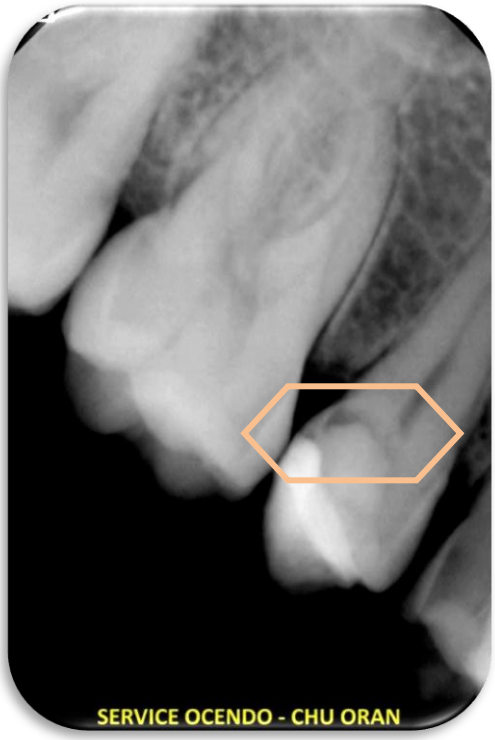


Fig 5-35b : Radiographie postopératoire à 3 mois



Fig 5-35c : Radiographie postopératoire à 6 mois

5.2.2.7. Types de cavité et diagnostic positif

Nous avons relevé pour la « catégorie II de Baume », ***45,5% (25)*** de cavités occluso-proximales, ***23,6% (13)*** de cavités occlusales et ***16,4% (9)*** de cavités vestibulo-occlusales, alors que pour le diagnostic « catégorie I de Baume », nous avons totalisé ***50% (3)*** de cavités occluso-proximales et le même taux ***16,7% (1)*** de cavités occlusales, vestibulo-proximales et vestibulo-occlusales. **(Tableau 5-25, Annexe 4)**

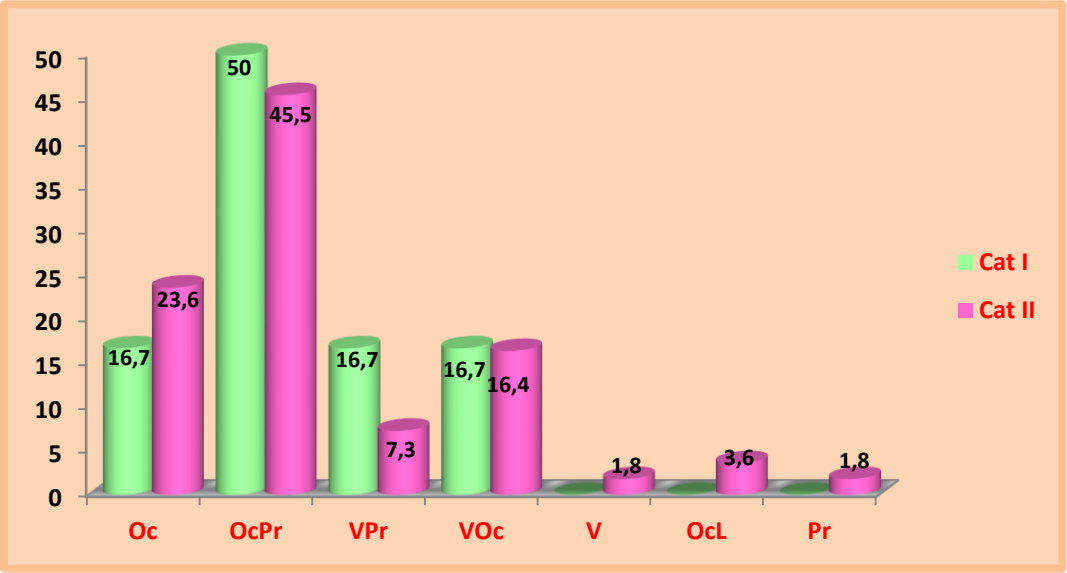


Fig.5-36 : Types de cavité et diagnostic positif (n=61)

Pour la « catégorie II de Baume », nous avons totalisé ***50% (21)*** de cavités occluso-proximales, ***26,3% (11)*** de cavités occlusales et ***14,2% (6)*** de cavités vestibulo-occlusales, alors que pour la « catégorie I de Baume », nous avons ***16,7% (3)*** de cavités occluso-proximales, ***33,3% (6)*** de cavités proximales et ***22,2% (4)*** de cavités occlusales. **(Tableau 5-26, Annexe 4)**

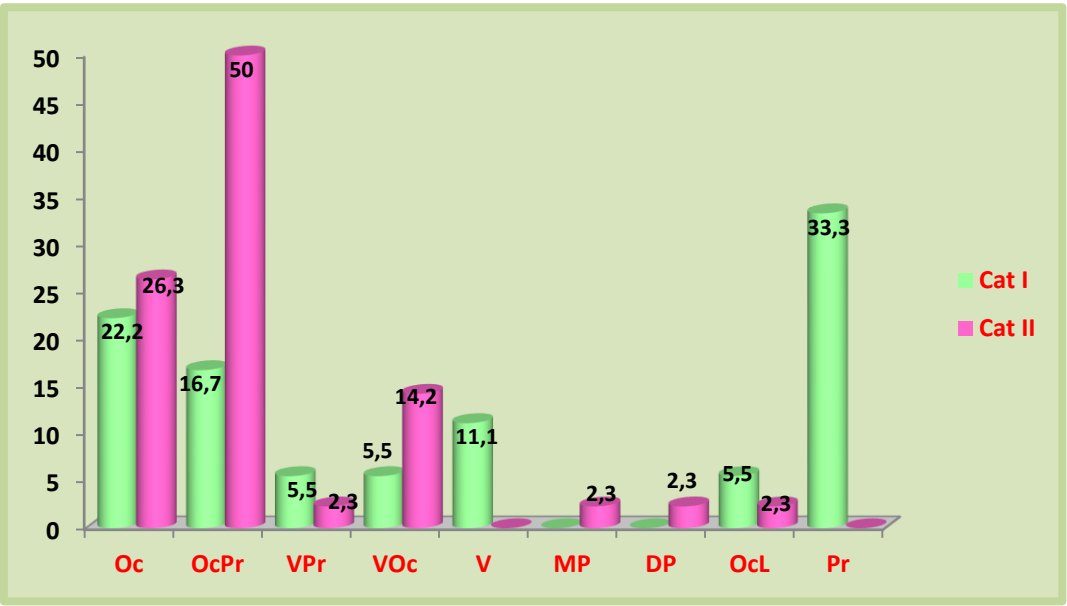


Fig.5-37 : Types de cavités et diagnostic positif (n=60)

Patient : ABF
Dent : 47
Diagnostic : Catégorie I de Baume.
Traitement : ***COIFFAGE PULPAIRE INDIRECT « BIODENTINE »***



Fig 5-38a : Vue préopératoire



Fig 5-38b : Vue postopératoire

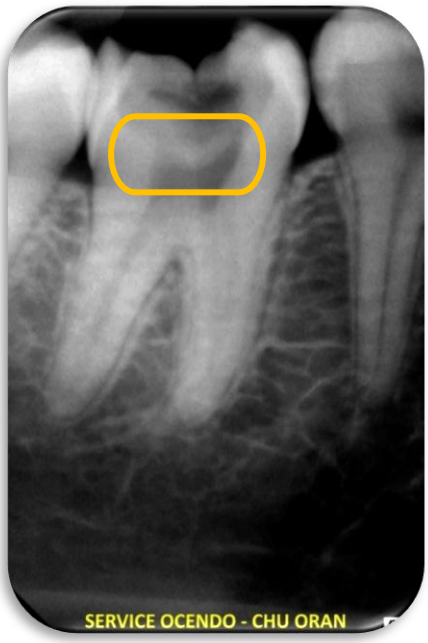


Fig 5-38c : Radiographie préopératoire



Fig 5-38d : Radiographie postopératoire à 12 mois

5.2.2.8. Profondeur des cavités et diagnostic positif

Nous avons relevé dans le diagnostic « catégorie II de Baume », ***83,6% (46)*** de cavités dont la profondeur dépassait les 2mm et ***16,4%(9)*** de cavités dont la profondeur était moins de 2mm, alors que pour «la catégorie I de Baume », nous avons totalisé le même nombre de cavités ***50% (30)*** profondes et peu profondes. **(Tableau 5-27, Annexe 4)**

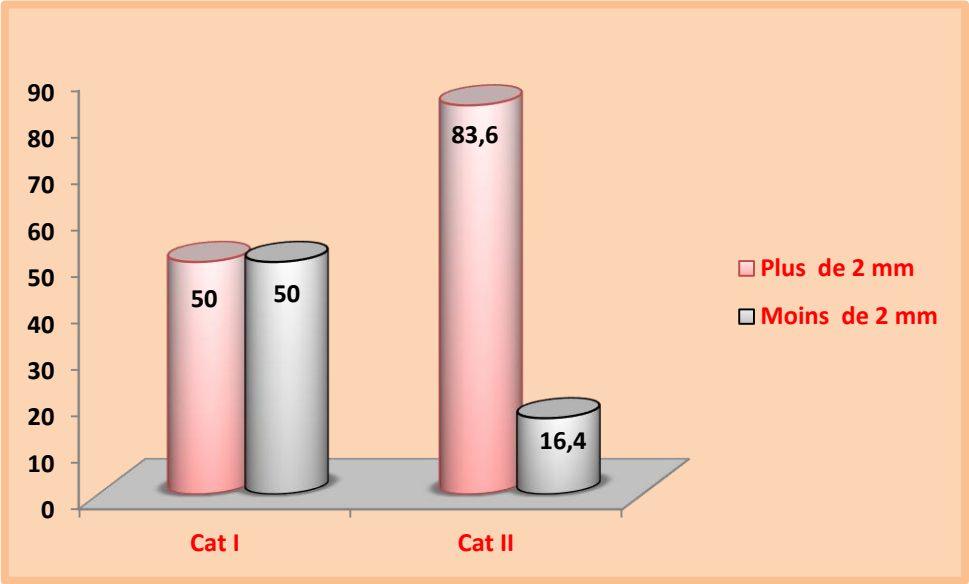


Fig.5-39 : Profondeur des cavités et diagnostic positif (n=61)

Pour la catégorie II de Baume, ***66,7% (28)*** de cavités avaient une profondeur qui dépassait les 2mm et ***33,3% (14)*** de cavités une profondeur moins de 2mm, alors que pour le diagnostic « catégorie I de Baume », nous avons totalisé ***11,1% (2)*** de cavités dont la profondeur dépassait les 2mm et ***88,9% (16)*** de cavités dont la profondeur était moins de 2mm. **(Tableau 5-28, Annexe 4)**

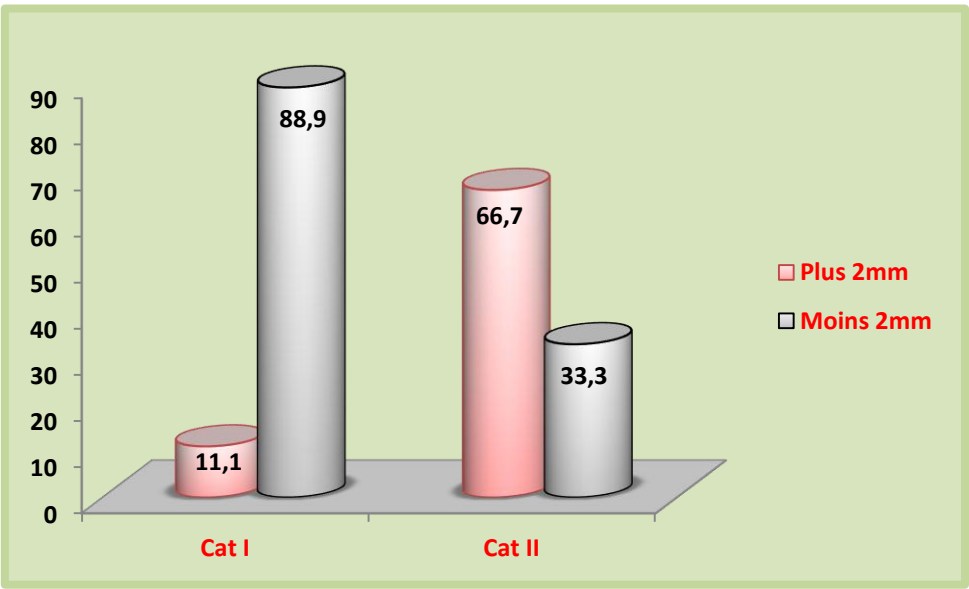


Fig.5-40 : Profondeur des cavités et diagnostic positif (n=60)

5.2.2.9. Types de cavité et thérapeutiques réalisées

Nous avons répertorié dans la thérapeutique « coiffage pulpaire indirect», ***42,9% (21)*** de cavités occluso-proximales, ***24,5% (12)*** de cavités occlusales et ***16,3% (8)*** de cavités vestibulo-occlusales, alors que pour la thérapeutique « coiffage pulpaire direct », nous avons totalisé ***58,3% (7)*** de cavités occluso-proximales et le même taux ***16,7% (2)*** de cavités occlusales et vestibulo-occlusales. **(Tableau 5-29, Annexe 4)**

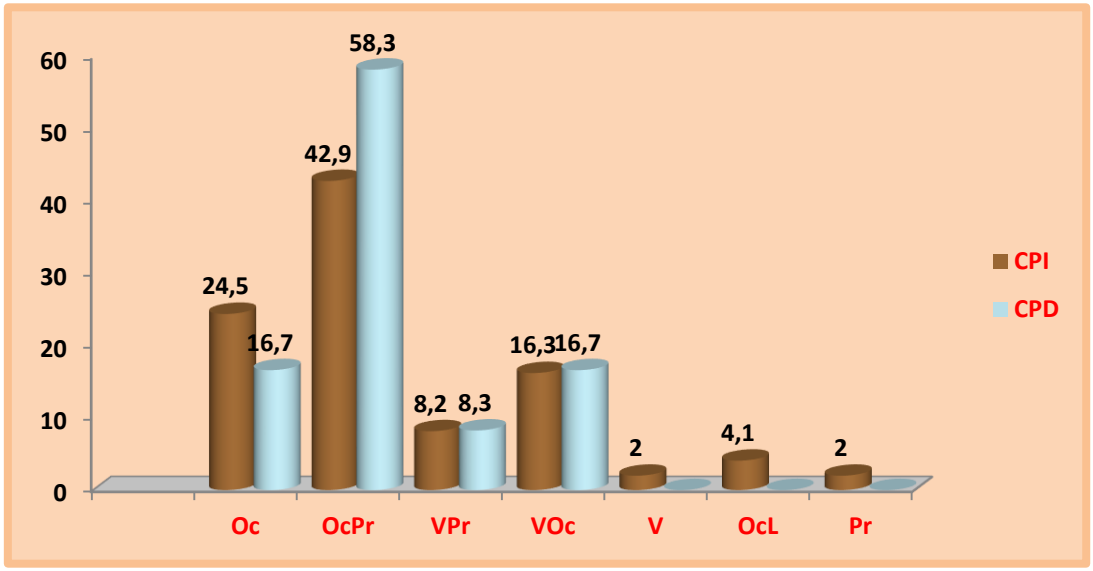


Fig.5-41 : Types de cavité et thérapeutiques réalisées (n=61)

Nous avons relevé pour le coiffage pulpaire indirect, ***38,2% (21)*** de cavités occluso-proximales, ***25,5% (14)*** de cavités occlusales et le même taux ***10,9% (6)*** de cavités vestibulo-occlusales et proximales, alors que pour le coiffage pulpaire direct, nous avons totalisé ***60% (3)*** de cavités occluso-proximales et le même taux ***20% (1)*** de cavités occlusales et vestibulo-occlusales **(Tableau 5-30, Annexe 4)**

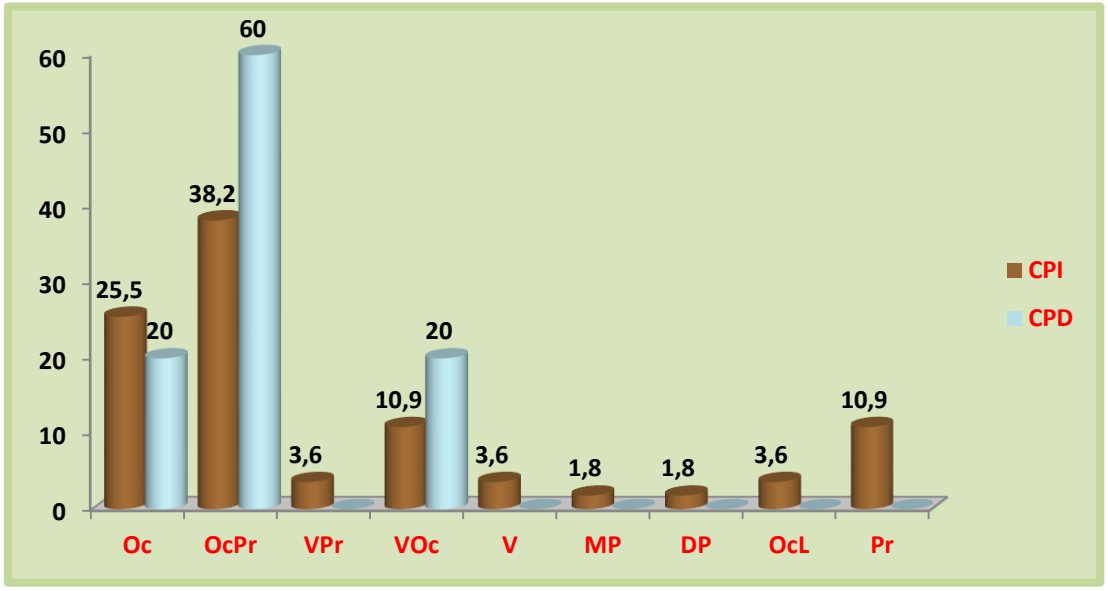


Fig.5-42 : Types de cavité et thérapeutiques réalisées (n=60)

Patient : BA
Dent : 16
Diagnostic : Catégorie II de Baume.
Traitement : ***COIFFAGE PULPAIRE DIRECT « HYDROXYDE DE CALCIUM »***



Fig 5-43a : Radiographie préopératoire



Fig 5-43b : Radiographie postopératoire à 6 mois

5.2.2.10. Thérapeutiques réalisées et diagnostic positif

Nous avons réalisé dans le diagnostic « catégorie II de Baume », ***80% (44)*** de coiffages pulpaires indirects et ***20% (11)*** de coiffages pulpaires directs, alors que pour le diagnostic « catégorie I de Baume », nous avons réalisé ***83,3% (5)*** de coiffages pulpaires indirects et ***16,7% (1)*** de coiffages pulpaires directs **(Tableau 5-31 Annexe 4)**

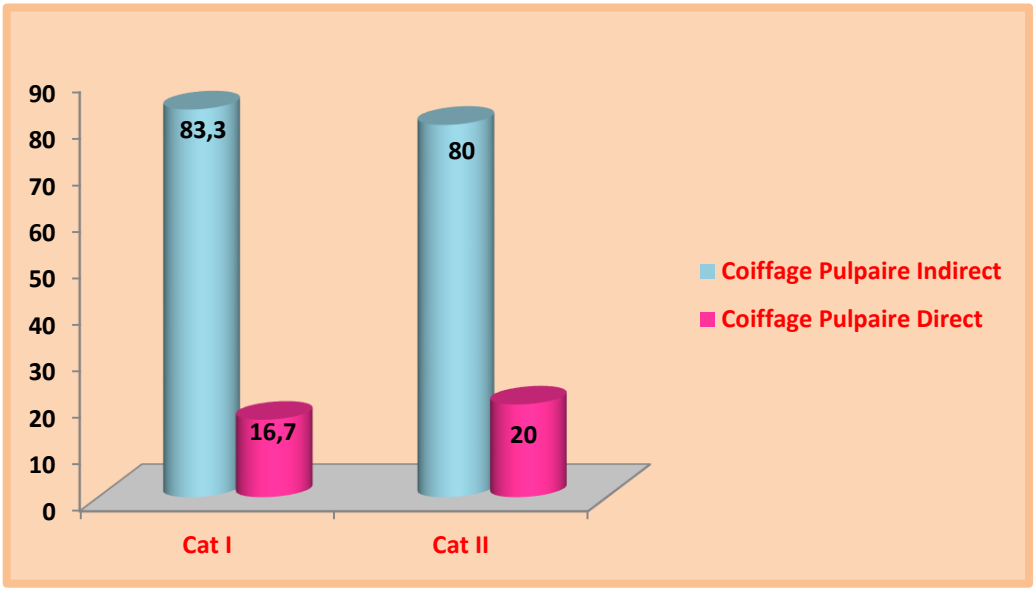


Fig.5-44 : Thérapeutiques réalisées et diagnostic positif (n=61)

Nous avons réalisé dans le diagnostic « catégorie II de Baume », ***88,1% (37)*** de coiffages pulpaires indirects et ***11,9% (5)*** de coiffages pulpaires directs, alors que pour le diagnostic « catégorie I de Baume », nous avons réalisé uniquement des coiffages pulpaires indirects avec un taux de ***100% (18).*** **(Tableau 5-32, Annexe 4)**

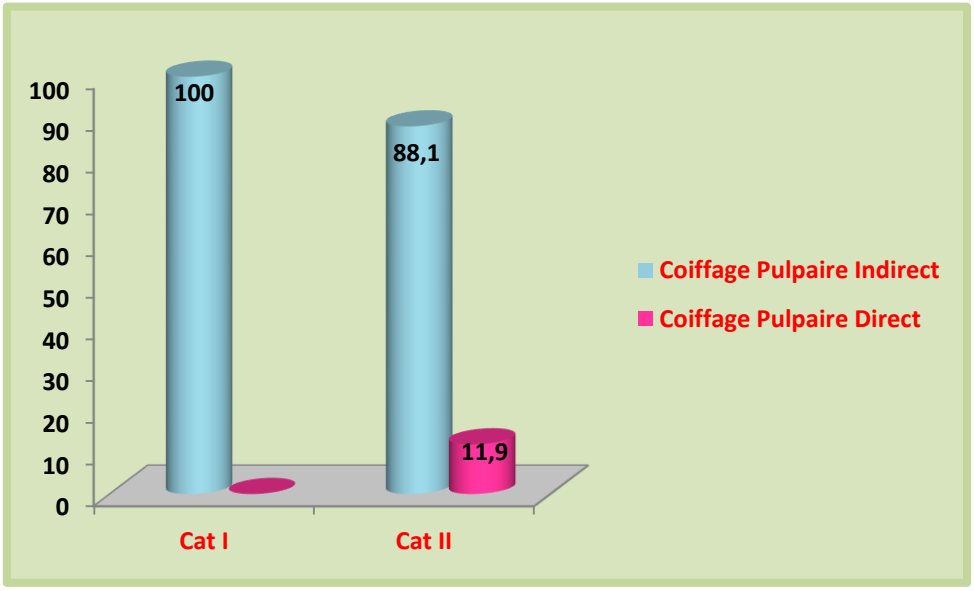


Fig.5-45 : Thérapeutiques réalisées et diagnostic positif (n=60)

5.2.2.11. Profondeur des cavités et thérapeutiques réalisées

Le coiffage pulpaire indirect a concerné ***75,5%(37)*** des cavités dont la profondeur dépassait les 2mm, et ***24,5%(12)*** des cavités dont la profondeur était moins de 2mm, alors que le coiffage pulpaire direct a concerné toutes les dents dont la profondeur dépassait les 2 mm ***100% (12).*** **(Tableau 5-33, Annexe 4)**

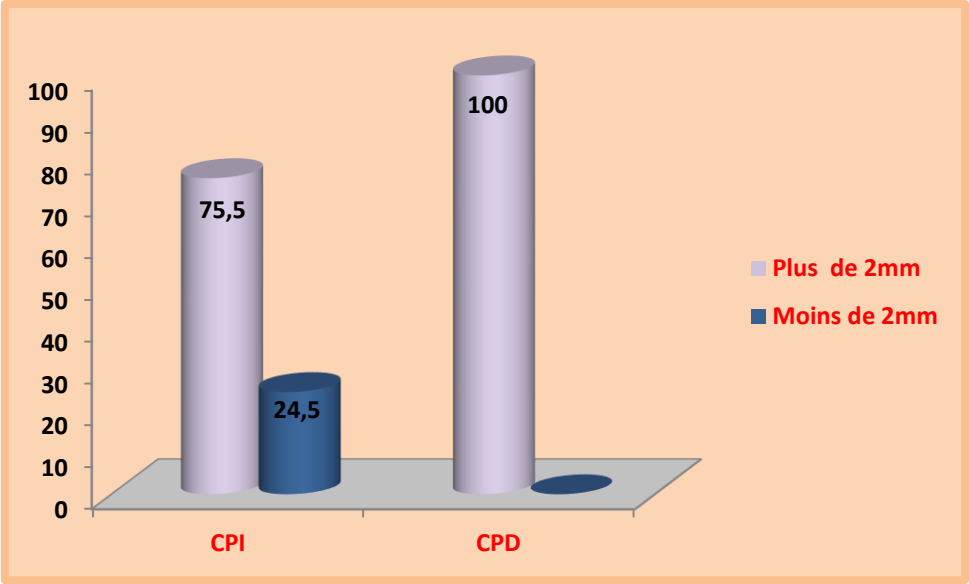


Fig.5-46 : Profondeur des cavités et thérapeutiques réalisées (n=61)

Le coiffage pulpaire indirect a concerné ***45,5%(25)*** des cavités dont la profondeur dépassait les 2mm, et ***54,5%(30)*** des cavités dont la profondeur était moins de 2mm, alors que le coiffage pulpaire direct a concerné toutes les cavités dont la profondeur dépassait les 2 mm ***100% (5).*** **(Tableau 5-34, Annexe 4)**

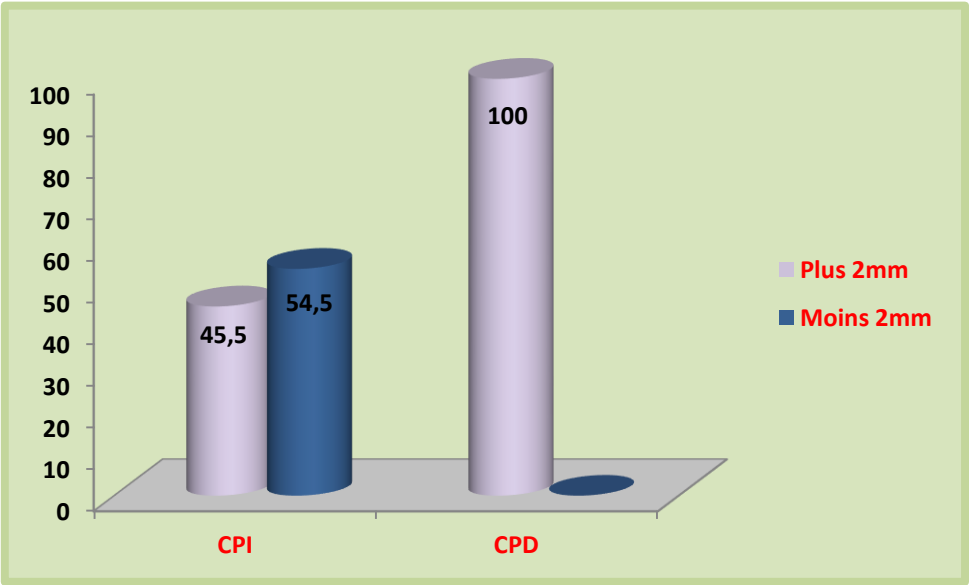


Fig.5-47 : Profondeur des cavités et thérapeutiques réalisées (n=60)

5.2.3. CARACTERISTIQUES CLINIQUES POSTOPERATOIRES

Nous avons réalisé les thérapeutiques indiquées sur les 121 dents selon le protocole opératoire établi et procédé à des contrôles postopératoires cliniques et radiographiques à 15J, 1mois , 2, 3, 6 et 12 mois.

n=61				***n=60***
n=61	0 Absent, 0 Exclu	***15 jours***	0 Absent, 0 Exclu	n=60
n=61	0 Absent, 0 Exclu	***1 mois***	2 Absents, 0 Exclu	n=58
n=38	23 Absents, 0 Exclu	***2 mois***	28 Absents, 1 Exclu	n=31
n=47	14 Absents, 0 Exclu	***3 mois***	20 Absents, 1 Exclu	n=39
n=42	18 Absents, 1 Exclu	***6 mois***	26 Absents, 2 Exclus	n=32
n=38	20 Absents, 3 Exclus	***12 mois***	29 Absents, 5 Exclus, 1échec	n=25

Figure : 5-48 : Organigramme du nombre de patients consultés selon les périodes de suivi postopératoire

Patient : HS
Dent : 25
Diagnostic : Catégorie II de Baume.
Traitement : ***COIFFAGE PULPAIRE DIRECT « BIODENTINE »***

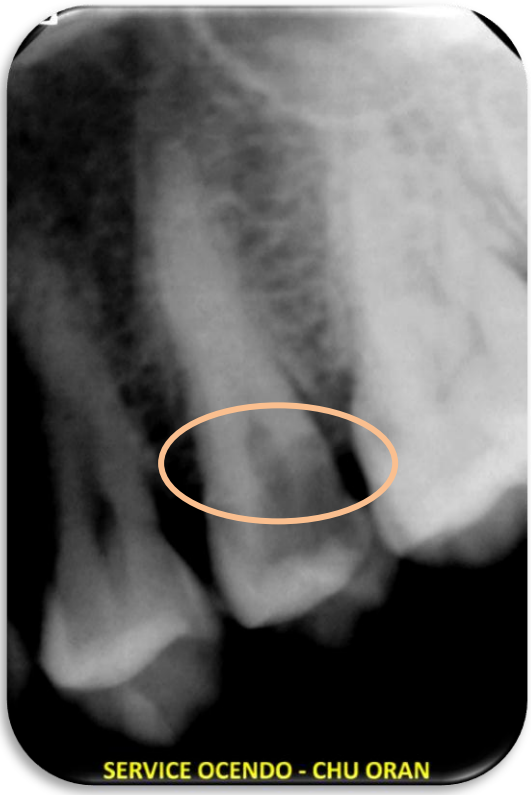


Fig 5-49a : Radiographie préopératoire



Fig 5-49b : Radiographie postopératoire à J30



Fig 5-49c : Radiographie postopératoire à 12mois

5.2.3.1. La sensibilité transitoire

19,7% (12) de dents traitées, ont présenté une sensibilité transitoire dans les 24 heures qui ont suivi l'intervention, alors que ***80,3% (49)*** ne l'ont pas signalé. **(Tableau 5-35, Annexe 4)**

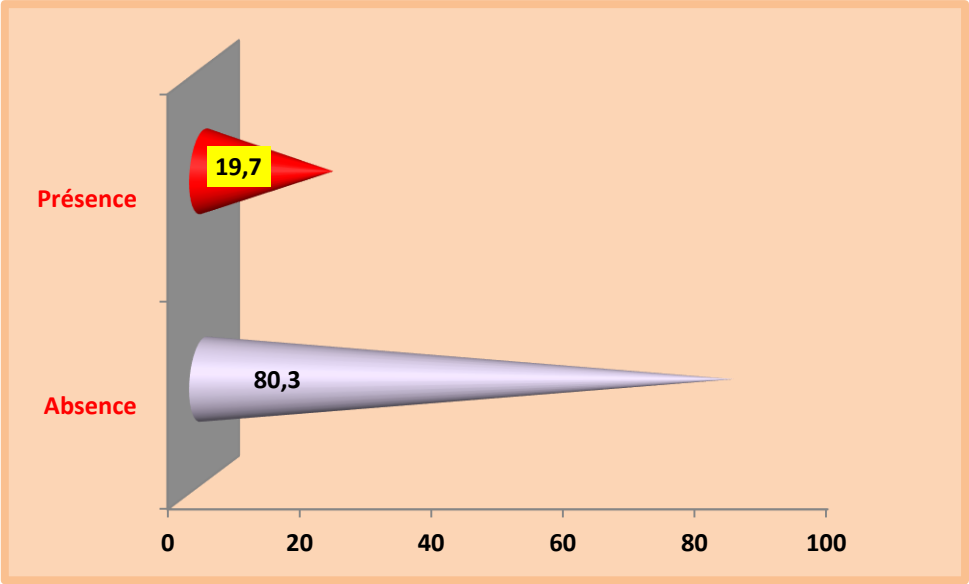


Fig.5-50 : La sensibilité transitoire (n=61)

13,3% (8) de dents traitées, ont présenté une sensibilité transitoire dans les 24 heures qui ont suivi l'intervention, alors que **86,7% (52)** ne l'ont pas rapporté. **(Tableau 5-36, Annexe 4)**

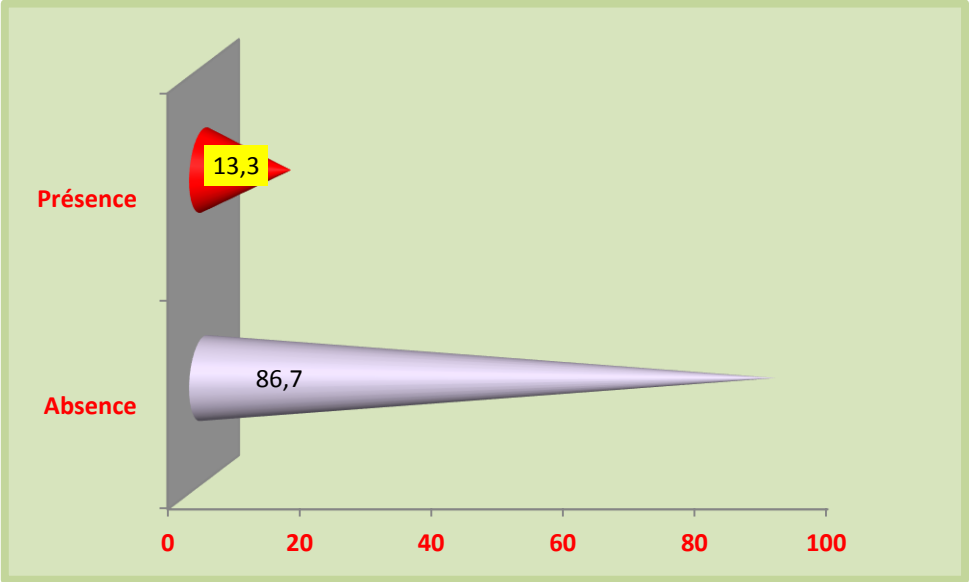


Fig.5-51 : La sensibilité transitoire (n=60)

5.2.3.2. Sensibilité transitoire et profondeur des cavités

Les dents dont les cavités avaient une profondeur de moins de 2mm n'ont pas présenté de sensibilité transitoire. Par contre la totalité des dents dont la profondeur dépassait les 2mm ont présenté une sensibilité transitoire avec un taux de ***24,5%(12)***. La recherche de lien entre la sensibilité transitoire survenue dans les 24h postopératoire et la profondeur de la cavité ne retrouve aucun lien statistiquement significatif.

Tableau 5-37 : Sensibilité transitoire et profondeur des cavités (Biodentine)

Sensibilité	Plus 2mm(49)	Moins 2mm(12)	*P*
Absence	37(75,5)	12(100)	
Présence	**12(24,5)**	-	*NS*
Total	49(100)	12(100)	

(-) : Aucune cavité

La sensibilité transitoire a été rapportée dans ***16,7%(5)*** de cavités dont la profondeur dépassait les 2mm et ***10% (3)*** de cavités dont la profondeur était moins de 2mm. Le test statistique montre qu'il existe un lien entre la profondeur de la cavité et la survenue de sensibilité transitoire avec un ***p=0,04***

Tableau 5-38 : Sensibilité transitoire et profondeur des cavités ($CaOH_2$)

Sensibilité	Plus 2mm(30)	Moins 2mm(30)	*P*
Absence	25(83,3)	27(90)	***0,04***
Présence	**5(16,7)**	**3(10)**	
Total	30(100)	30(100)	

La sensibilité transitoire a été rapportée dans ***21,5%(17)*** de cavités dont la profondeur dépassait les 2mm et ***7,1% (3)*** de cavités dont la profondeur était moins de 2mm. Le test montre qu'il existe un lien statistique entre la profondeur de la cavité et la survenue de sensibilité transitoire avec un ***p=0,04***

Tableau 5-39 : Sensibilité transitoire et profondeur des cavités (Biodentine+$CaOH_2$)

Sensibilité	Plus 2mm(79)	Moins 2mm(42)	*P*
Absence	62(78,5)	39(92,9)	***0,04***
Présence	17(21 ,5)	3(7,1)	
Total	79(100)	42(100)	

Patient : CN,
Dent : 37
Diagnostic : Catégorie II de Baume.
Traitement : ***COIFFAGE PULPAIRE INDIRECT « HYDROXYDE DE CALCIUM »***



Fig 5-52a : Vue préopératoire



Fig 5-52b : Vue postopératoire



Fig 5-52c : Radiographie préopératoire



Fig 5-52d: Radiographie postopératoire à 12 mois

5.2.3.3. Sensibilité transitoire et diagnostic positif

Parmi les 12 dents qui ont manifesté une sensibilité transitoire, ***33,3% (2)*** avaient un diagnostic positif de catégorie I de Baume, et 18,2***% (10)*** avaient un diagnostic positif de catégorie II de Baume. La recherche de lien entre la sensibilité transitoire survenue dans les 24h postopératoires et le diagnostic positif de la dent ne retrouve aucun lien statistiquement significatif.

Tableau 5-40 : Sensibilité transitoire et diagnostic positif (Biodentine)			
Sensibilité	**Cat I(6)**	**Cat II(55)**	***P***
Absence	4(66,7)	45(81,8)	
Présence	**2(33,3)**	**10(18,2)**	*NS*
Total	6(100)	55(100)	

Parmi les 8 dents qui ont manifesté une sensibilité transitoire, ***16,7% (3)*** avaient un diagnostic positif de catégorie I de Baume, et 11,9***% (5)*** avaient un diagnostic positif de catégorie II de Baume. La recherche de lien statistique entre la sensibilité transitoire survenue dans les 24h postopératoires et le diagnostic positif de la dent ne retrouve aucun lien statistiquement significatif

Tableau 5-41 : Sensibilité transitoire et diagnostic positif ($CaOH_2$)			
Sensibilité	**Cat I(18)**	**Cat II(42)**	***P***
Absence	15(83,3)	37(88,1)	
Présence	**3(16,7)**	**5(11,9)**	*NS*
Total	18(100)	42(100)	

5.2.3.4. Sensibilité transitoire et thérapeutiques réalisées

La sensibilité transitoire a été rapportée dans ***14,3% (7)*** de dents traitées par coiffages pulpaires indirects et ***41,7% (5)*** de dents traitées par coiffages pulpaires directs. Il n'a pas été retrouvé une relation statistiquement significative entre la thérapeutique réalisée et la survenue de sensibilité transitoire

Tableau 5-42 : Sensibilité transitoire et thérapeutiques réalisées (Biodentine)			
Sensibilité	**CPI(49)**	**CPD(12)**	***P***
Absence	42(85,7)	7(58,3)	
Présence	**7(14,3)**	**5(41,7)**	*NS*
Total	49(100)	12(100)	

(CPI) : coiffage pulpaire indirect ; (CPD) : coiffage pulpaire direct

La sensibilité transitoire a été rapportée dans ***12,7% (7)*** de dents traitées par des coiffages pulpaires indirects et ***20% (1)*** de dents traitées par des coiffages pulpaires directs. Le test statistique montre qu'il existe un lien entre la thérapeutique réalisée et la survenue de sensibilité transitoire avec un ***p=0,05***

Tableau 5-43 : Sensibilité transitoire et thérapeutiques réalisées ($CaOH_2$)			
Sensibilité	**CPI(55)**	**CPD(5)**	***P***
Absence	48(87,3)	4(80)	***0,05***
Présence	**7(12,7)**	**1(20)**	
Total	55(100)	5(100)	

(CPI) : coiffage pulpaire indirect ; (CPD) : coiffage pulpaire direct

La sensibilité transitoire a été rapportée dans ***13,5% (14)*** de dents traitées par coiffages pulpaires indirects et ***35,3% (6)*** de dents traitées par coiffages pulpaires directs. Le test statistique montre qu'il existe un lien entre la thérapeutique réalisée et la survenue de sensibilité transitoire avec un ***p=0,05***

Tableau 5-44 : Sensibilité transitoire et thérapeutiques réalisées (Biodentine+ $CaOH_2$)			
Sensibilité	**CPI(104)**	**CPD(17)**	**P**
Absence	90(86,5)	11(64,7)	
Présence	14(13,5)	6(35,3)	***0,05***
Total	104(100)	17(100)	

(CPI) : coiffage pulpaire indirect ; (CPD) : coiffage pulpaire direct

5.2.3.5. Douleurs provoquées selon les périodes de contrôle postopératoire

Tous les patients présents aux différents contrôles n'ont pas signalé de douleur provoquée postopératoire

Tableau 5-45 : Douleurs provoquées selon les périodes de contrôle postopératoire (Biodentine)

Suivis	Testés- n (%)	Testés+ n (%)	Non testés n (%)
15 jours	61 (100)	0	0
01 mois	61 (100)	0	0
02 mois	38 (62,3)	0	23(37,7)
03 mois	47 (77)	0	14 (23)
06 mois	42 (68,9)	0	19(31,1)
12 mois	38 (62,3)	0	23 (37,7)

(Testé-) : absence de douleur provoquée **; (Testé+)** : présence de douleur provoquée ; **(Non testé)** : patient absent

Tous les patients présents aux différents contrôles n'ont pas signalé de douleur provoquée postopératoire

Tableau 5-46 : Douleurs provoquées selon les périodes de contrôle postopératoire ($CaOH_2$)

Suivis	Testés- n (%)	Testés+ n (%)	Non testés n (%)
15 jours	60 (100)	0	0
01 mois	58 (96,7)	0	2(3,3)
02 mois	31 (51,7)	0	29(48,2)
03 mois	39(65)	0	21(35)
06 mois	32 (53,3)	0	28(46,7)
12 mois	26 (43,3)	0	34 (56,7)

(Testé-) : absence de douleur provoquée **; (Testé+)** : présence de douleur provoquée ; **(Non testé)** : patient absent

Patient : AO
Dent : 46
Diagnostic : Catégorie II de Baume.
Traitement : ***COIFFAGE PULPAIRE DIRECT « BIODENTINE »***



Fig 5-53a : Vue préopératoire



Fig 5-53b : Vue postopératoire

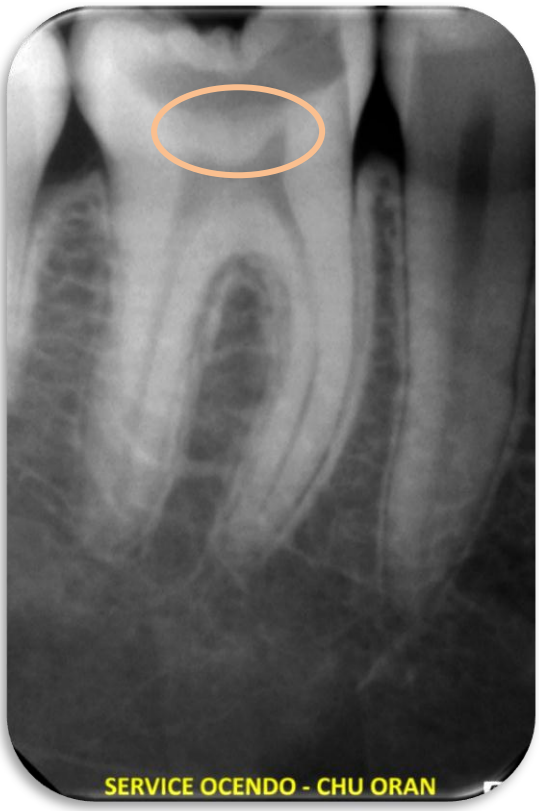


Fig 5-53c : Radiographie préopératoire

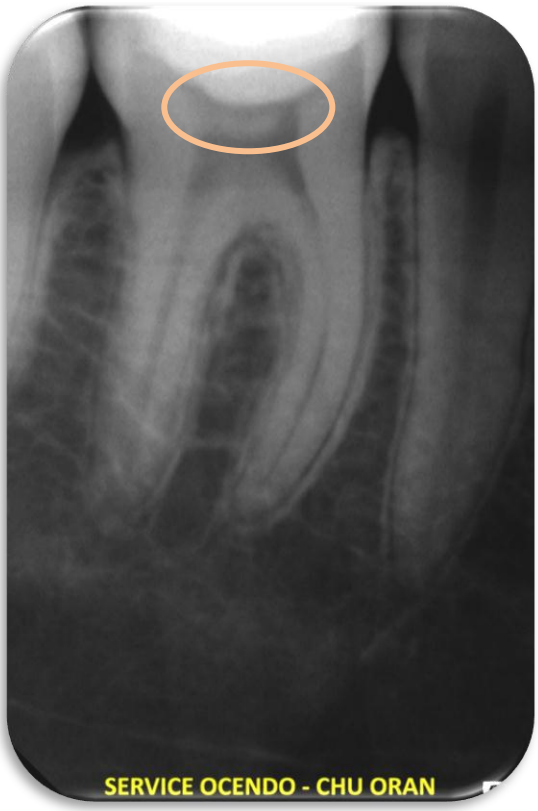


Fig 5-53d : Radiographie postopératoire à 12 mois

5.2.3.6. Douleurs spontanées selon les périodes de contrôle postopératoire

Tous les patients présents aux différents contrôles n'ont pas signalé de douleur spontanée postopératoire

Tableau 5-47 : Douleurs spontanées selon les périodes de contrôle postopératoire (Biodentine)

Suivis	Testés- n (%)	Testés+ n (%)	Non testés n (%)
15 jours	61 (100)	0	0
01 mois	61 (100)	0	0
02 mois	38 (62,3)	0	23(37,7)
03 mois	47 (77)	0	14 (23)
06 mois	42 (68,9)	0	19(31,1)
12 mois	38 (62,3)	0	23 (37,7)

(Testé-) : absence de douleur spontanée **; (Testé+)** : présence de douleur spontanée ; (**Non testé)** : patient absent

Tous les patients présents aux différents contrôles n'ont pas signalé de douleur spontanée postopératoire

Tableau 5-48 : Douleurs spontanées selon les périodes de contrôle postopératoire ($CaOH_2$)

Suivis	Testés- n (%)	Testés+ n (%)	Non testés n (%)
15 jours	60 (100)	0	0
01 mois	58 (96,7)	0	2(3,3)
02 mois	31 (51,7)	0	29(48,2)
03 mois	39(65)	0	21(35)
06 mois	32 (53,3)	0	28(46,7)
12 mois	26 (43,3)	0	34 (56,7)

(Testé-) : absence de douleur spontanée **; (Testé+)** : présence de douleur spontanée ; (**Non testé)** : patient absent

5.2.3.7. Sensibilité pulpaire selon les périodes de contrôle postopératoire

Afin d'estimer l'état pulpaire, nous avons jugé utile de réaliser deux tests de sensibilité différents à savoir : le test thermique au froid et le test électrique.

Toutes les dents testées aux différents contrôles ont réagi positivement aux deux tests

Tableau 5-49 : Sensibilité pulpaire selon les périodes de contrôle postopératoire (Biodentine)

Suivis	Testés+ n (%)	Testés- n (%)	Non testés n (%)
15 jours	61 (100)	0	0
01 mois	61 (100)	0	0
02 mois	38 (62,3)	0	23(37,7)
03 mois	47 (77)	0	14 (23)
06 mois	42 (68,9)	0	19(31,1)
12 mois	38 (62,3)	0	23 (37,7)

(Testé+) : Présence de sensibilité pulpaire **; (Testé-)** : Absence de sensibilité pulpaire ; (**Non testé)** : patient absent

Sur les 26 dents contrôlées à 12 mois, nous avons retrouvé une molaire traitée par coiffage pulpaire indirect avec une fistule, une palpation vestibulaire sensible, des percussions axiale et transversale positives et une perte de sensibilité pulpaire. Nous l'avons déclaré comme un échec au traitement.

Toutes les autres dents testées aux différents contrôles ont réagi positivement aux deux tests de sensibilité pulpaire

Tableau 5-50 : Sensibilité pulpaire selon les périodes de contrôle postopératoire ($CaOH_2$)

Suivis	Testés+ n (%)	Testés- n (%)	Non testés n (%)
15 jours	60 (100)	0	0
01 mois	58 (96,7)	0	2(3,3)
02 mois	31 (51,7)	0	29(48,2)
03 mois	39(65)	0	21(35)
06 mois	32 (53,3)	0	28(46,7)
12 mois	25(41,7)	***1(1,6)***	34(56,7)

(Testé+) : Présence de sensibilité pulpaire **; (Testé-)** : Absence de sensibilité pulpaire ; (**Non testé)** : patient absent

5.2.3.8. Examens et résultats radiologiques selon les périodes de contrôle postopératoire

A l'interprétation des images radiographiques prises aux différents contrôles, nous avons cherché une cicatrisation qui se manifeste sous forme d'un tissu calcifié sous le matériau de coiffage. En se basant sur des données bibliographiques, nous avons quantifié cette cicatrisation en 03 degrés :

- Degré 1 : début d'apposition de tissu calcifié sous le matériau de coiffage.
- Degré 2 : couche partielle de tissu calcifié sous le matériau de coiffage.
- Degré 3 : couche complète de tissu calcifié sous le matériau de coiffage.

L'examen radiologique de toutes les dents à partir de 02 mois a donné les résultats suivants :

Au 2ème mois : ***78,9%(30)*** des dents ont montré radiologiquement une couche partielle de tissu calcifié sous le matériau de coiffage, alors que ***21%(8)*** des dents ont manifesté un début de formation de tissu calcifié.

Au 3ème mois : ***6,4%(3)*** des dents ont montré radiologiquement un début de formation de tissu calcifié sous le matériau de coiffage, alors que ***93,6%(44)*** des dents ont manifesté une couche partielle sous le matériau de coiffage.

Au 6ème mois : ***42,9%(18)*** des dents ont montré l'apposition d'une couche complète de tissu calcifié, et ***57,1%(24)*** des dents montraient une couche partielle de tissu sous le matériau de coiffage.

Au 12ème mois : ***100%(38)*** des dents ont montré une apposition d'une couche complète de tissu calcifié, signe d'une cicatrisation complète.

Tableau 5-51 : Degrés d'apposition de tissu calcifié sous le matériau de coiffage (Biodentine)

Suivis	Degré 1 n(%)	Degré 2 n(%)	Degré 3 n(%)	Total n(%)
2 Mois	8(21)	30(78,9)	-	38(100)
3 Mois	3(6,4)	44(93,6)	-	47(100)
6 Mois	-	24(57,1)	18(42,9)	42(100)
12 Mois	-	-	38(100)	38(100)

(-) : aucune image

L'examen radiologique de toutes les dents à partir de 02 mois a donné les résultats suivants :
Au 2ème mois : ***36,7% (22)*** dents ont montré radiologiquement une couche partielle de tissu calcifié sous le matériau de coiffage, alors que ***15% (9)*** dents ont manifesté un début de formation de tissu calcifié.

Au 3ème mois : ***11,7% (7)*** de dents ont montré radiologiquement un début de formation de tissu calcifié sous le matériau de coiffage, alors que ***54,1% (32)*** dents ont manifesté une couche partielle sous le matériau de coiffage.

Au 6ème mois : ***15% (9)*** dents ont montré l'apposition d'une couche complète de tissu calcifié, et 38,3***% (23)*** dents montraient une couche partielle de tissu sous le matériau de coiffage.

Au 12ème mois : ***100%(25)*** des dents ont montré une apposition d'une couche complète de tissu calcifié, signe d'une cicatrisation complète.

Tableau 5-52 : Degrés d'apposition de tissu calcifié sous le matériau de coiffage (CaOH$_2$)

Suivis	Degré 1 n(%)	Degré 2 n(%)	Degré 3 n(%)	Total n(%)
2 Mois	9(15)	22(36,7)	-	31(100)
3 Mois	7(11,7)	32(54,1)	-	39(100)
6 Mois	-	23(38,3)	9(15)	32(100)
12 Mois	-	-	25(100)	25(100)

(-) : aucune image

Patient : RN, Dent : 46, Diagnostic : Catégorie I de Baume.
Traitement : ***COIFFAGE PULPAIRE INDIRECT « HYDROXYDE DE CALCIUM »***

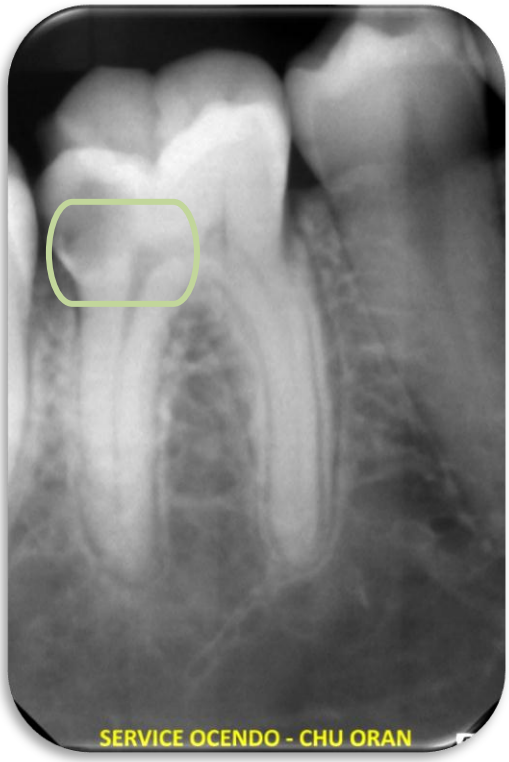


Fig 5-54a : Radiographie préopératoire

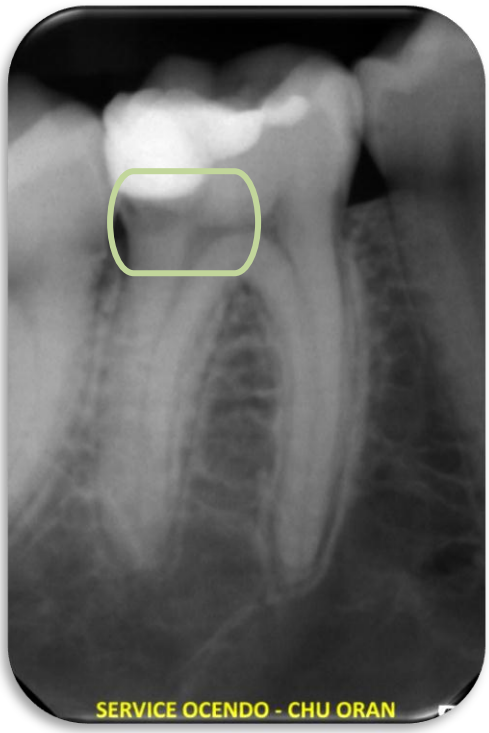


Fig 5-54b : Radiographie postopératoire à 06 mois

5.2.3.9. Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon les périodes de contrôle post opératoire

En superposant nos résultats cliniques et radiologiques obtenus aux différentes séances de contrôle, et selon la définition d'un succès thérapeutique sur dent mature, nous pouvons avancer alors, que sur les 61 thérapeutiques dentinogènes réalisées au Biodentine, nos taux de succès en fonction de chaque période de contrôle sont les suivants :

- *A 02 mois, le taux enregistré est de **62,3% (38),***
- *À 03 mois, il est de **77% (47),***
- *À 06 mois, il est de **68,9% (42)***
- *À 12 mois, il est de **62,3% (38)***

Tableau 5-53 : Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon les périodes de contrôle postopératoire (Biodentine)

Suivis	Sensibilités pulpaires+	Cicatrisation radiographique+	TAUX DE SUCCES
	n (%)	n (%)	
02 mois	38 (62,3)	38 (62,3)	38(62,3)
03 mois	47 (77)	47(77)	47(77)
06 mois	42 (68,9)	42(68,9)	42(68,9)
12 mois	38 (62,3)	38 (62,3)	38(62,3)

Sur un total de 60 thérapeutiques dentinogènes réalisées à l'Hydroxyde de Calcium, nos taux de succès en fonction de chaque période de contrôle sont les suivants :

- *A 02 mois, le taux enregistré est de **57,1% (31),***
- *À 03 mois, il est de **65% (39),***
- *À 06 mois, il est de **53,3% (32)***
- *À 12 mois, il est de **41,7% (25)***

Tableau 5-54 : Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon les périodes de contrôle postopératoire ($CaOH_2$)

Suivis	Sensibilités pulpaires+	Cicatrisation radiographique+	TAUX DE SUCCES
	n (%)	n (%)	
02 mois	31 (51,7)	31 (51,7)	31 (51,7)
03 mois	39(65)	39(65)	39(65)
06 mois	32 (53,3)	32 (53,3)	32 (53,3)
12 mois	25(41,7)	25(41,7)	25(41,7)

5.2.3.10. Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon le sexe et les périodes de suivi postopératoire

Durant toutes les périodes de contrôle, le taux de succès des thérapeutiques réalisées est prédominant chez les femmes.

La recherche de lien entre le sexe (masculin et féminin) et le succès thérapeutique ne retrouve aucune relation statistiquement significative.

Tableau 5-55 : Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon le sexe et les périodes de suivi (Biodentine)			
Suivis	**Masculin(17)**	**Féminin(44)**	**p**
02 mois	12(70,58)	26(59,09)	*NS*
03 mois	12(70,58)	35(79,54)	
06 mois	11(64,70)	31(70,45)	
12 mois	9(52,94)	29(65,90)	

Durant toutes les périodes de contrôle, le taux de succès des thérapeutiques réalisées est prédominant chez les femmes.

La recherche de lien entre les sexes masculin et féminin et le succès thérapeutique ne retrouve aucune relation statistiquement significative.

Tableau 5-56 : Taux de succès des thérapeutiques dentinaires succès selon le sexe et les périodes de suivi ($CaOH_2$)			
Suivis	**Masculin(16)**	**Féminin(44)**	**p**
02 mois	7(43,75)	24(54,54)	*NS*
03 mois	10(62,5)	29(65,9)	
06 mois	8(50)	24(54,54)	
12 mois	6(37,5)	19(43,18)	

5.2.3.11. Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon l'âge et les périodes de suivi postopératoire

La tranche d'âge 16-26 ans est la plus présente à toutes les séances de suivi avec des taux de succès importants par rapport aux autres.

Il n'a pas été retrouvé un lien statistiquement significatif entre les différentes tranches d'âge et le succès thérapeutique.

Tableau 5-57 : Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon les tranches d'âge et les périodes de suivi (Biodentine)				
Suivis	**16-26 ans**	**26-36 ans**	**36-46 ans**	***p***
02 mois(38)	28(73,7)	7(18,4)	3(7,9)	*NS*
03 mois(47)	35(74,5)	9(19,1)	3(6,4)	
06 mois(42)	32(76,2)	7(16,7)	3(7,1)	
12 mois(38)	28(73,7)	7(18,4)	3(7,9)	

La tranche d'âge 16-26 ans est la plus présente à toutes les séances de suivi avec des taux de succès compris entre ***48,93%*** et ***70,21%.***

Cependant, la recherche d'un lien statistiquement significatif entre les différentes tranches d'âge et les taux de succès des thérapeutique a été retrouvé uniquement dans la séance de contrôle de 12mois avec un ***p=0,04*** *en faveur des patients âgés de 16-26ans.*

Tableau 5-58 : Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon l'âge et les périodes de suivi ($CaOH_2$)			
Suivis	**16-26 ans(47)**	**26-36 ans(12)**	***p***
02 mois	25(53,19)	6(50)	*NS*
03 mois	33(70,21)	6(50)	*NS*
06 mois	28(59,57)	4(33,33)	*NS*
12 mois	23(48,93)	2(16,66)	***0,04***

Patient : BY
Dent : 47
Diagnostic : Catégorie II de Baume.
Traitement : ***COIFFAGE PULPAIRE INDIRECT « BIODENTINE »***



Fig 5-55a : Vue préopératoire



Fig 5-55b : Vue postopératoire

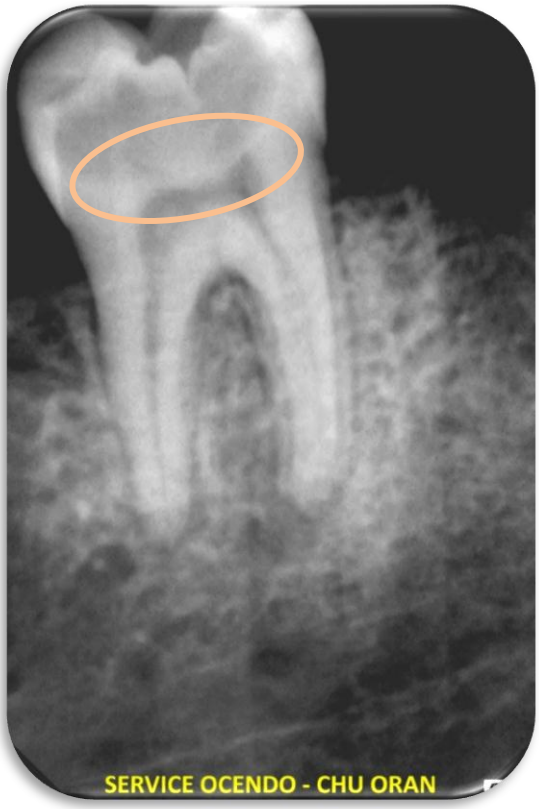


Fig 5-55c : Radiographie préopératoire

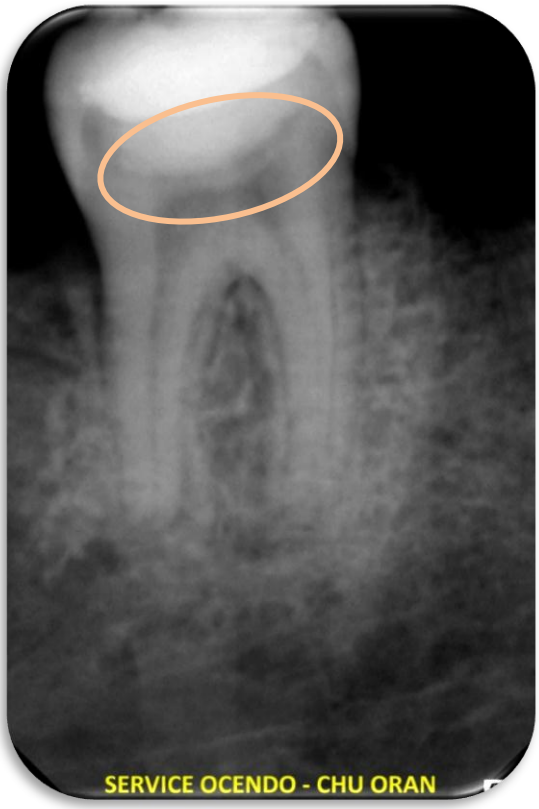


Fig 5-55d : Radiographie postopératoire à 12 mois

5.2.3.12. Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon le type de dent et les périodes de suivi postopératoire

Nous avons enregistré des taux de succès plus importants pour les molaires à toutes les périodes de suivi par rapport aux prémolaires.

La recherche de lien entre le type de dents et les taux de succès par période de suivi ne retrouve pas de relation statistiquement significative.

Tableau 5-59 : Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon le type de dent et les périodes de suivi (Biodentine)

Suivis	Molaire(47)	Prémolaire(14)	*p*
02 mois	29(61,70)	9(64,28)	*NS*
03 mois	35(74,46)	12(85,71)	
06 mois	31(65,95)	11(78,57)	
12 mois	27(57,44)	11(78,57)	

Nous avons enregistré des taux de succès plus importants pour les molaires à toutes les périodes de suivi par rapport aux prémolaires et aux incisives.

La recherche de lien entre le type de dents et les taux de succès par période de suivi ne retrouve pas de lien statistiquement significatif.

Tableau 5-60 : Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon le type de dents et les périodes de suivi ($CaOH_2$)

Suivis	Molaire	Prémolaire	Incisive	*p*
02 mois(31)	19(61,3)	7(22,6)	5(16,1)	*NS*
03 mois(39)	26(66,7)	7(17,9)	6(15,4)	
06 mois(32)	21(65,5)	5(15,6)	6(18,8)	
12 mois(25)	18(72)	3(12)	4(16)	

5.2.3.13. Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon le type de cavité et les périodes de suivi postopératoire

La cavité occluso-proximale est la cavité qui a enregistré le taux de succès le plus élevé parmi toutes les autres cavités à toutes les périodes de suivi.

Tableau 5-61 : Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon les types de cavité et les périodes de suivi

Suivis	Oc	OcPr	VPr	VO	V	MP	DP	OcL	Pr	Total
2mois(38)	10(26,3)	16(42,1)	2(5,3)	7(18,4)	1(2,6)	-	-	1(2,6)	1(2,6)	38(100)
3mois(47)	10(21,3)	24(51,1)	2(4,3)	7(14,9)	1(2,1)	-	-	2(4,3)	1(2,1)	47(100)
6mois(42)	10(23,8)	19(45,2)	3(7,1)	6(14,3)	1(2,4)	-	-	2(4,8)	1(2,4)	42(100)
12mois(38)	8(21,1)	18(47,4)	2(5,3)	6(15,8)	1(2,6)	-	-	2(5,3)	1(2,6)	38(100)

(Oc) : Occlusale ; (**OcPr)** : Occluso-proximale ; (**VPr)** : Vestibulo-proximale ; (**VO)**: Vestibulo-Occlusale; (**V)**: Vestibulaire ; **(MP)**: Mésio-palatine ; (**DP)**: Disto-palatine **; (OcL)**: Occluso-linguale ; (**Pr)**: Proximale ; (-) : aucune cavité

La cavité occluso-proximale est la cavité qui a enregistré le taux de succès le plus élevé parmi toutes les autres cavités avec un taux maximum de 35,9%(14) au contrôle de 03 mois. Alors que séparées, les taux de succès des cavités occlusales et proximales sont nettement différents.

Tableau 5-62 : Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon les types de cavités et les périodes de suivi

Suivis	Oc	OcPr	VPr	VO	V	MP	DP	OcL	Pr	Total
2mois(31)	6(19,4)	10(32,3)	2(6,5)	5(16,1)	2(6,5)	1(3,2)	1(3,2)	-	4(12,9)	31 (100)
3mois(39)	9(23,1)	14(35,9)	2(5,1)	6(15,4)	2(5,1)	1(2,6)	1(2,6)	1(2,6)	3(7,7)	39(100)
6mois(32)	7(21,9)	11(34,4)	2(6,2)	5(15,6)	2(6,2)	1(3,1)	1(3,1)	1(3,1)	2(6,2)	32 (100)
12mois(25)	7(28)	8(32)	1(4)	5(20)	2(8)	1(4)	-	-	1(4)	25(100)

(Oc) : Occlusale ; (**OcPr)** : Occluso-proximale ; (**VPr)** : Vestibulo-proximale ; (**VO)**: Vestibulo-Occlusale; (**V)**: Vestibulaire ; **(MP)**: Mésio-palatine ; (**DP)**: Disto-palatine **; (OcL)**: Occluso-linguale ; (**Pr)**: Proximale ; (-) : aucune cavité

Patient : BY,
Dent : 16
Diagnostic : Catégorie II de Baume.
Traitement : ***COIFFAGE PULPAIRE DIRECT « HYDROXYDE DE CALCIUM »***



Fig 5-56a : Vue préopératoire



Fig 5-56b : Vue postopératoire

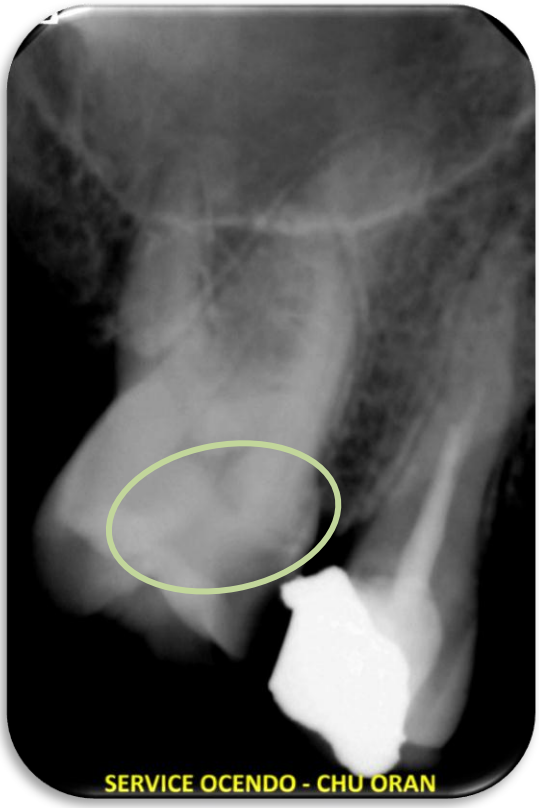


Fig 5-56c : Radiographie préopératoire



Fig 5-56d : Radiographie postopératoire à 12 mois

5.2.3.14. Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon la profondeur des cavités et les périodes de suivi postopératoire

Les dents avec des cavités dont la profondeur dépassait les 2mm ont répondu favorablement à toutes les périodes de suivi.

Le test statistique a montré qu'il existe un lien statistique entre la profondeur de la cavité et le succès de la thérapeutique au contrôle de 02 mois avec un ***p=0,04****, en faveur des cavités profondes.*

Tableau 5-63 : Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon la profondeur des cavités et les périodes de suivi (Biodentine)			
Suivi	**Plus de 2mm(49)**	**Moins de 2mm(12)**	***p***
02 mois	34(69 ,38)	4(33,33)	***0,04***
03 mois	40(81,36)	7(58,33)	*NS*
06 mois	37(75,51)	5(41,66)	*NS*
12 mois	33(67,34)	5(41,66)	*NS*

La recherche d'un lien n'a pas retrouvé une relation statistiquement significative entre la profondeur de la cavité et les succès thérapeutiques.

Tableau 5-64 : Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon la profondeur des cavités et les périodes de suivi ($CaOH_2$)			
Suivis	**Plus de 2mm(30)**	**Moins de 2mm(30)**	***p***
02 mois	19(63,33)	12(40)	*NS*
03 mois	21(70)	18(60)	
06 mois	18(60)	14(46,66)	
12 mois	14(46,66)	11(36,66)	

Nous avons relevé des taux de succès importants pour les cavités dont la profondeur dépassait 2mm avec une proportion de ***59,49% (47)*** pour le contrôle de 12 mois et ***77,21% (61)*** pour celui de 03 mois. Les cavités dont la profondeur était moins de 2mm ont été moyennement présentes avec des taux de ***38,09% (16)*** pour le contrôle de 02 et 12 mois et ***59,52% (25)*** pour celui de 03 mois.

Les tests statistiques montrent qu'il existe des relations statistiquement significatives entre la profondeur des cavités et les taux de succès à toutes les périodes de suivi.

Tableau 5-65 : Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon la profondeur des cavités et les périodes de suivi (Biodentine+$CaOH_2$)

Suivis	**Plus de 2mm(79)**	**Moins de 2mm(42)**	***p***
02 mois	53(67,08)	16(38,09)	***0,002***
03 mois	61(77,21)	25(59,52)	***0,041***
06 mois	55(69,62)	19(45,23)	***0,008***
12 mois	47(59,49)	16(38,09)	***0,02***

5.2.3.15. Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon la sensibilité transitoire postopératoire et les périodes de suivi postopératoire.

La thérapeutique des 12 dents qui ont manifesté une sensibilité transitoire a été couronnée de succès à 100% au contrôle de 03 mois. Aux autres séances de contrôle, les taux de succès variaient entre 75 et 83,33%.

La recherche de relation statistique entre la survenue de cette sensibilité transitoire et les taux de succès n'a, cependant, pas retrouvé de lien statistiquement significatif

Tableau 5-66 : Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon la sensibilité transitoire et les périodes de suivi (Biodentine)

Suivis	Présence(12)	Absence(49)	*P*
2 mois	9(75)	29(59,18)	*NS*
3 mois	12(100)	35(71,42)	
6 mois	10(83,33)	32(65,3)	
12 mois	10(83,33)	28(57,14)	

7 dents parmi les 8 qui ont manifesté une sensibilité transitoire ont vu leurs thérapeutiques couronnées de succès à 87,5% au contrôle de 2 et 3 mois.

Cependant, il n'a pas été retrouvé un lien statistiquement significatif entre la survenue de sensibilité transitoire et les taux de succès thérapeutiques.

Tableau 5-67 : Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon la sensibilité transitoire et les périodes de suivi ($CaOH_2$)

Suivis	Présence(8)	Absence (52)	*P*
2 mois	7(87,5)	24(46,15)	*NS*
3 mois	7(87,5)	32(61,53)	
6 mois	5(62,5)	27(51,92)	
12 mois	4(50)	21(40,38)	

Les thérapeutiques réalisées ont été couronnées de succès sur des dents ayant manifesté des sensibilités transitoires avec des taux variables allant de ***70% (14)*** au contrôle de 12 mois à ***95% (19)*** au contrôle de 03 mois. Ont été, également, couronnées de succès des thérapeutiques sur des dents n'ayant pas manifesté de sensibilité transitoire avec des taux de ***48,51% (49)*** au contrôle de 12 mois et de ***66,33% (67)*** au contrôle de 03 mois.

Il a été retrouvé des relations statistiquement significatives entre la présence de sensibilité transitoire et les succès thérapeutiques aux contrôles de 02 et 03 mois avec des valeurs p de ***0,02*** *et* ***0,009.***

Tableau 5-68 : Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon la sensibilité transitoire et les périodes de suivi (Biodentine+$CaOH_2$)

Suivis	Présence(20)	Absence (101)	*P*
2 mois	16(80)	53(52,47)	***0,02***
3 mois	19(95)	67(66,33)	***0,009***
6 mois	15(75)	59(58,41)	*NS*
12 mois	14(70)	49(48,51)	*NS*

Patient : MF, Dent : 35, Diagnostic : Catégorie II de Baume.
Traitement : ***COIFFAGE PULPAIRE DIRECT « BIODENTINE »***

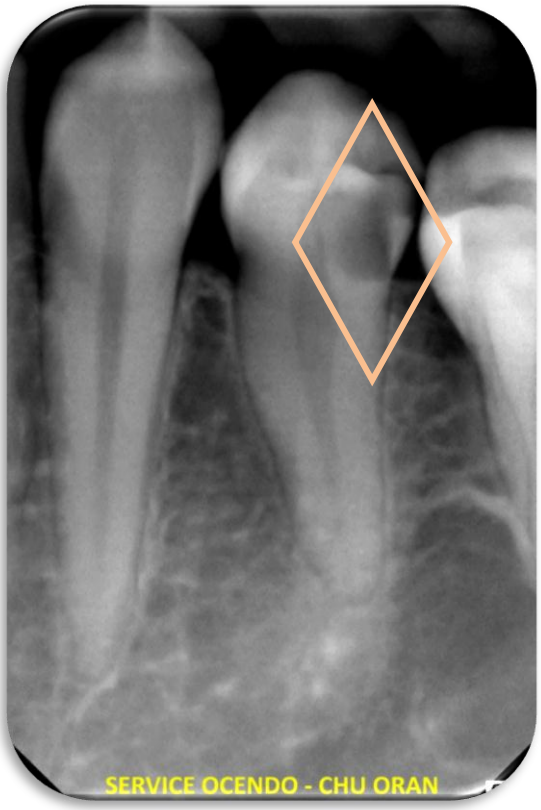


Fig 5-57a : Radiographie préopératoire



Fig 5-57b : Radiographie postopératoire à 12 mois

5.2.3.16. Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon le diagnostic positif des dents et les périodes de suivi postopératoire.

A toutes les séances de suivi, la catégorie II de Baume est celle qui a enregistré le plus de succès.

La recherche de relation statistique entre les deux diagnostics et les taux de succès n'a pas retrouvé un lien statistiquement significatif.

Tableau 5-69 : Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon le diagnostic positif des dents et les périodes de suivi (Biodentine)

Suivis	Cat I(6)	Cat II(55)	*p*
02 mois	3(50)	35(63,63)	*NS*
03 mois	3(50)	44(80)	
06 mois	4(66,66)	38(69,09)	
12 mois	2(33,33)	36(65,45)	

(Cat I) : Catégorie I de Baume **; (Cat II)** : Catégorie II de Baume

A toutes les séances de suivi, la catégorie II de Baume est celle qui a enregistré le plus de succès.

La recherche de relation statistique entre les deux diagnostics et les taux de succès n'a pas retrouvé un lien statistiquement significatif.

Tableau 5-70 : Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon le diagnostic positif des dents et les périodes de suivi ($CaOH_2$)

Suivis	Cat I(18)	Cat II(42)	*p*
02 mois	10(55,55)	21(50)	*NS*
03 mois	14(77,77)	25(59,52)	
06 mois	9(50)	23(54,76)	
12 mois	7(38,88)	18(42,85)	

(Cat I) : Catégorie I de Baume **; (Cat II)** : Catégorie II de Baume

Patient : BN,
Dent : 26
Diagnostic : Catégorie II de Baume.
Traitement : ***COIFFAGE PULPAIRE INDIRECT « HYDROXYDE DE CALCIUM »***



Fig 5-58a : Vue préopératoire



Fig 5-58b : Vue postopératoire



Fig 5-58c : Radiographie préopératoire



Fig 5-58d : Radiographie postopératoire à 12 mois

5.2.3.17. Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon les thérapeutiques indiquées et les périodes de suivi postopératoire.

A toutes les séances de suivi, le coiffage pulpaire indirect a été la thérapeutique qui a enregistré le plus de succès.

La recherche de lien entre les deux thérapeutiques réalisées et les taux de succès à toutes les périodes de suivi n'a pas montré de relation statistiquement significative.

Tableau 5-71 : Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon les thérapeutiques indiquées et les périodes de suivi (Biodentine)

Suivis	CPI(49)	CPD(12)	*p*
02 mois	30(61,22)	8(66,66)	*NS*
03 mois	38(77,55)	9(75)	
06 mois	31(63,26)	11(91,66)	
12 mois	28(57,14)	10(83,33)	

(CPI) : Coiffage Pulpaire Indirect ; (**CPD)** : Coiffage Pulpaire Direct

La recherche de relation statistique entre les deux thérapeutiques et les taux de succès n'a pas retrouvé un lien statistiquement significatif.

Tableau 5-72 : Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon les thérapeutiques réalisées et les périodes de suivi ($CaOH_2$)

Suivis	CPI(55)	CPD(5)	*P*
02 mois	28(50,90)	3(60)	*NS*
03 mois	36(65,45)	3(60)	
06 mois	28(50,90)	4(80)	
12 mois	21(38,18)	4(80)	

(CPI) : Coiffage Pulpaire Indirect ; (**CPD)** : Coiffage Pulpaire Direct

Les thérapeutiques de coiffages pulpaires indirects que nous avons réalisés, ont été couronnées de succès avec des taux variables compris entre ***71,15% (74)*** pour le contrôle de 03 mois et de ***47,11% (49)*** pour le contrôle de 12 mois

Les thérapeutiques de coiffages pulpaires directs ont été, également, couronnées de succès avec des taux allant de ***64,70% (11)*** pour le contrôle de 02 mois à ***88,23% (15)*** pour le contrôle de 06 mois.

La recherche de lien entre les thérapeutiques et les taux de succès a montré qu'il existe une relation statistiquement significative entre les deux thérapeutiques dans les périodes de suivi de 06 et 12 mois avec respectivement des valeurs p de ***0,013*** *et* ***0,07***

Tableau 5-73 : Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon les thérapeutiques indiquées et les périodes de suivi (Biodentine+$CaOH_2$)

Suivis	CPI(104)	CPD(17)	p
02 mois	58(55,76)	11(64,70)	*NS*
03 mois	74(71,15)	12(70,58)	*NS*
06 mois	59(56,73)	15(88,23)	***0,013***
12 mois	49(47,11)	14(82,35)	***0,007***

(CPI) : Coiffage Pulpaire Indirect ; **(CPD)** : Coiffage Pulpaire Direct

Patient : FSA
Dent : 46
Diagnostic : Catégorie II de Baume.
Traitement : ***COIFFAGE PULPAIRE INDIRECT « BIODENTINE »***

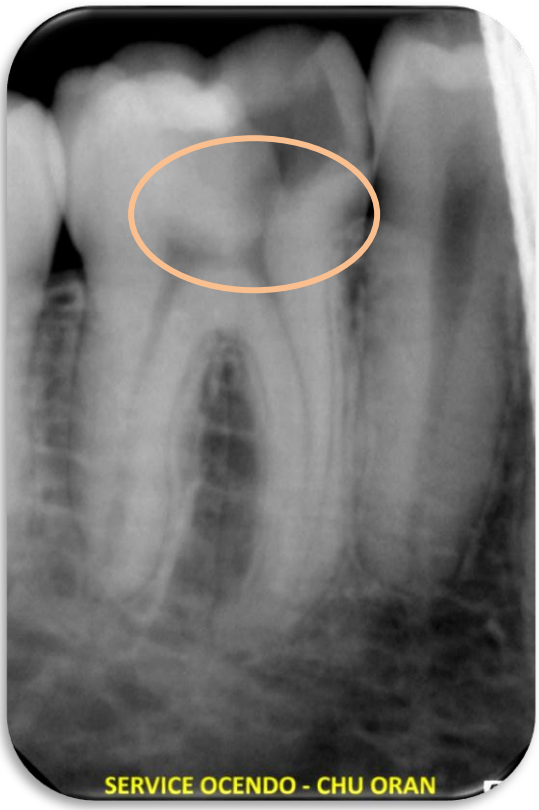


Fig 5-59a : Radiographie préopératoire

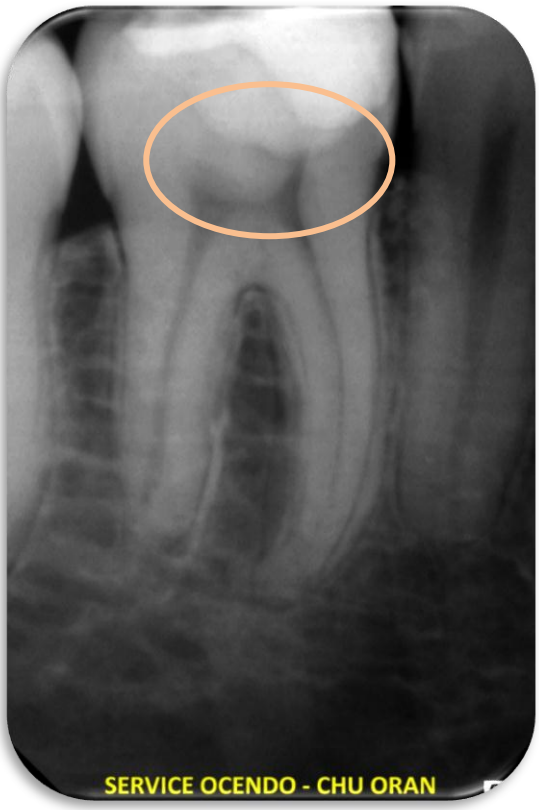


Fig 5-59b : Radiographie postopératoire à 12 mois



Fig 5-59c : Vue préopératoire



Fig 5-59d : Vue postopératoire

5.2.3.18. Taux de succès global des thérapeutiques dentinaires selon le biomatériau utilisé

Dans le groupe Biodentine, nous avons totalisé des taux de succès de ***62,29% (38)*** au contrôle de 02 et 12 mois, de ***77,04% (47)*** au contrôle de 03 mois et de ***68,85% (42)*** au contrôle de 06 mois. Alors que dans le groupe Hydroxyde de Calcium, nous avons totalisé des taux de succès de ***51,66% (31)*** au contrôle de 02 mois, de ***65% (39)*** au contrôle de 03 mois, de ***53,33% (32)*** au contrôle de 06 mois et de ***41,66% (25)*** au dernier contrôle.
La recherche de lien statistique a retrouvé une relation significative au contrôle de 12 mois entre le biomatériau utilisé et le succès thérapeutique avec une valeur *p=0,03*, alors qu'au cours des autres contrôles, il n'existe aucune différence significative.

Tableau 5-74 : Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon les matériaux et les périodes de suivi (Biodentine+$CaOH_2$)

Suivis	Biodentine(61)	Hydroxyde(60)	p
02 mois	38(62,29)	31(51,66)	*NS*
03 mois	47(77,04)	39(65)	*NS*
06 mois	42(68,85)	32(53,33)	*NS*
12 mois	38(62,28)	25(41,66)	***0,03***

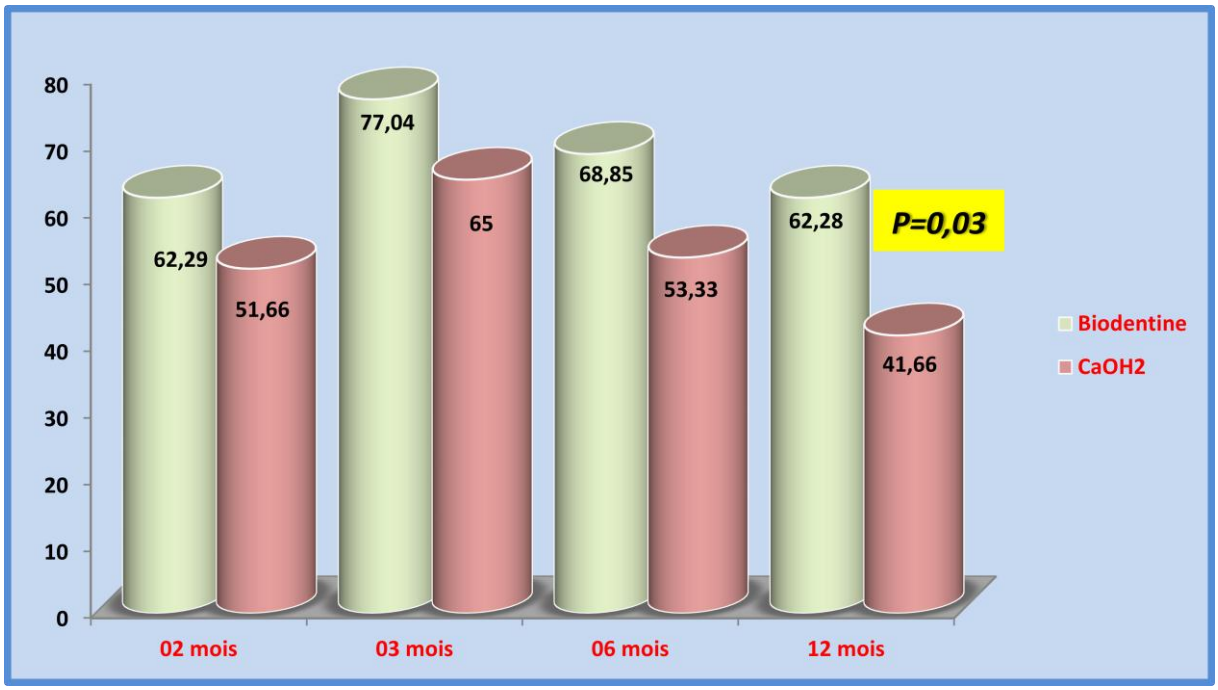


Fig.5-60 : Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon le biomatériau utilisé (n=121)

Au terme de cette étude comparative entre les thérapeutiques dentinogènes sur dents matures au Biodentine et à l'Hydroxyde de Calcium, et pour plus de significativité, nous avons procédé à une analyse en sous-groupes.

Les analyses en sous-groupes sont fréquemment réalisées en complément du résultat principal d'un essai thérapeutique. Elles consistent à subdiviser la population globale en deux ou plusieurs sous-groupes (en l'occurrence deux pour notre étude), et à étudier l'efficacité du traitement (biomatériau) dans chacun de ces sous-groupes.

Le but serait de rechercher le sous-groupe dans lequel le traitement serait le plus efficace. Par ailleurs, les résultats des analyses en sous-groupe ne permettent que de générer de nouvelles hypothèses qui devront être confirmées par de nouvelles études. Ils sont de nature exploratoire.

Patient : AO,
Dent : 36
Diagnostic : Catégorie I de Baume.
Traitement : ***COIFFAGE PULPAIRE INDIRECT « HYDROXYDE DE CALCIUM »***



Fig 5-61a : Vue préopératoire



Fig 5-61b : Vue postopératoire

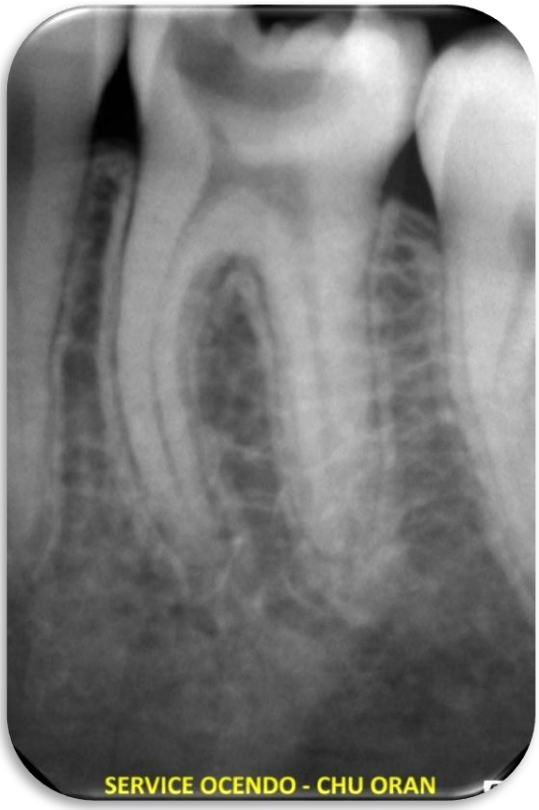


Fig 5-61c : Radiographie préopératoire

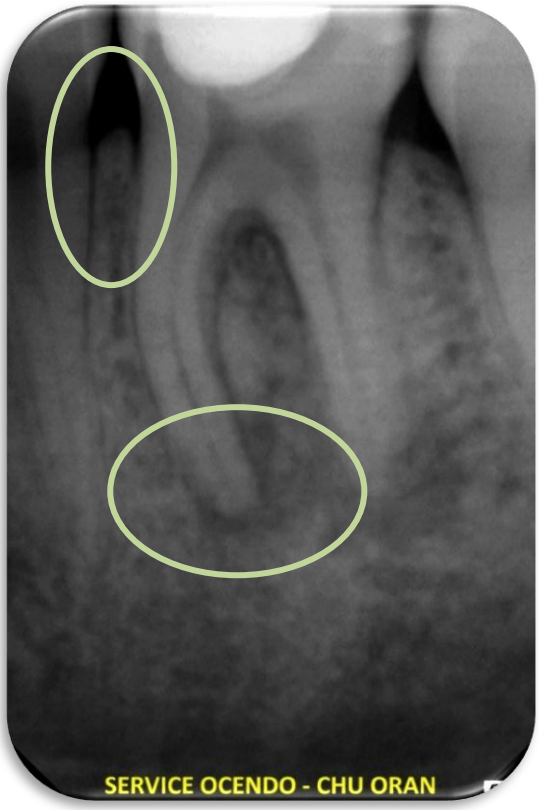


Fig 5-61d : Radiographie postopératoire à 12 mois



Fig 5-61e : Radiographie préopératoire à 12 mois

Il s'agit d'une molaire (36), traitée par coiffage pulpaire indirect à l'Hydroxyde de Calcium qui, au contrôle de 12 mois, a présenté une fistule, une palpation vestibulaire sensible, des percussions axiale et transversale positives et une perte de sensibilité pulpaire. Nous l'avons déclaré comme un échec au traitement.

5.2.4. Résultats de la comparaison de sous-groupes « Biodentine » et « Hydroxyde de Calcium »

5.2.4.1. Comparaison en sous-groupes selon le sexe et le biomatériau utilisé

La comparaison en sous-groupes en fonction du sexe n'a retrouvé aucune différence statistiquement significative tout au long des différentes périodes de contrôle postopératoire. **(Tableau 5-75, Annexe 4)**

5.2.4.2. Comparaison en sous-groupes selon les tranches d'âge et le biomatériau utilisé

La comparaison en sous-groupes selon les tranches d'âge et particulièrement les 16-26ans et 26-36ans n'a pas retrouvé de différence significative tout au long des trois premières périodes de contrôle postopératoire, à savoir 02, 03 et 06 mois.
Par contre au contrôle de 12 mois, nous avons retrouvé une différence statistiquement significative pour la tranche d'âge 16-26ans avec un ***p=0,023.***

Tableau 5-76 : Comparaison en sous-groupes selon les tranches d'âge et le biomatériau utilisé

Période de suivi	Tranches d'âge	Biodentine	$CaOH_2$	P
02 mois	**16-26 ans**	28(73,7)	25(53,19)	*NS*
	26-36 ans	7(18,4)	6(50)	
	36-46 ans	3(7,9)	-	
03 mois	**16-26 ans**	35(74,5)	33(70,21)	*NS*
	26-36 ans	9(19,1)	6(50)	
	36-46 ans	3(6,4)	-	
06 mois	**16-26 ans**	32(76,2)	28(59,57)	*NS*
	26-36 ans	7(16,7)	4(33,33)	
	36-46 ans	3(7,1)	-	
12 mois	**16-26 ans**	28(73,7)	23(48,93)	***0,023***
	26-36 ans	7(18,4)	2(16,66)	*NS*
	36-46 ans	3(7,9)	-	

5.2.4.3. Comparaison en sous-groupes selon le type de dents et le biomatériau utilisé

La comparaison en sous-groupes selon le type de dents et particulièrement les molaires et les prémolaires n'a pas retrouvé de différence statistiquement significative au contrôle postopératoire de 02 mois.
Par contre aux contrôles de 03, 06 et 12 mois, nous avons retrouvé des différences statistiquement significatives avec respectivement des valeurs de ***0,002*** ; ***0,005*** et ***0,002*** pour les prémolaires en faveur de Biodentine

Tableau 5-77 : Comparaison en sous-groupes selon le type de dents et le biomatériau utilisé				
Période de suivi	**Type de dents**	**Biodentine**	**$CaOH_2$**	**P**
02 mois	**Molaire**	29(61,70)	19(61,3)	*NS*
	Prémolaire	9(64,28)	7(22,6)	
	Incisive	-	5(16,1)	
03 mois	**Molaire**	35(74,46)	26(66,7)	*NS*
	Prémolaire	12(85,71)	7(17,9)	***0,002***
	Incisive	-	6(15,4)	
06 mois	**Molaire**	31(65,95)	21(65,5)	*NS*
	Prémolaire	11(78,57)	5(15,6)	***0,005***
	Incisive	-	6(18,8)	
12 mois	**Molaire**	27(57,44)	18(72)	*NS*
	Prémolaire	11(78,57)	3(12)	***0,002***
	Incisive	-	4(16)	

5.2.4.4. Comparaison en sous-groupes selon la profondeur des cavités et le biomatériau utilisé

La comparaison en sous-groupes selon la profondeur des cavités n'a retrouvé aucune différence statistiquement significative tout au long des différentes périodes de contrôle postopératoire. **(Tableau 5-78, Annexe 4)**

5.2.4.5. Comparaison en sous-groupes selon la survenue de sensibilité transitoire et le biomatériau utilisé

La comparaison en sous-groupes selon la survenue de sensibilité transitoire dans les 24heures postopératoires n'a retrouvé aucune différence statistiquement significative tout au long des différentes périodes de contrôle postopératoire. **(Tableau 5-79, Annexe 4)**

5.2.4.6. Comparaison en sous-groupes selon le diagnostic positif des dents et le biomatériau utilisé

La comparaison en sous-groupes selon le diagnostic positif des dents n'a pas retrouvé de différence statistiquement significative aux contrôles postopératoires de 02 et 06 mois.
Par contre aux contrôles de 03 et 12 mois, nous avons retrouvé des différences statistiquement significatives avec un ***p=0,04*** *pour* le diagnostic de catégorie II de Baume en faveur de Biodentine.

Tableau 5-80 : Comparaison en sous-groupes selon le diagnostic positif et le biomatériau utilisé				
Période de suivi	**Diagnostic**	**Biodentine**	**$CaOH_2$**	**P**
02 mois	**Catégorie I**	3(50)	10(55,55)	*NS*
	Catégorie II	35(63,63)	21(50)	
03 mois	**Catégorie I**	3(50)	14(77,77)	*NS*
	Catégorie II	44(80)	25(59,52)	***0,04***
06 mois	**Catégorie I**	4(66,66)	9(50)	*NS*
	Catégorie II	38(69,09)	23(54,76)	
12 mois	**Catégorie I**	2(33,33)	7(38,88)	*NS*
	Catégorie II	36(65,45)	18(42,85)	***0,04***

5.2.4.7. Comparaison en sous-groupes selon la thérapeutique indiquée et le biomatériau utilisé

La comparaison en sous-groupes selon la thérapeutique réalisée (Coiffage pulpaire direct et indirect) n'a retrouvé aucune différence statistiquement significative tout au long des différentes périodes de contrôle postopératoire. **(Tableau 5-81, Annexe 4)**

Tableau 5-82 : Récapitulatif et évolution des paramètres utilisés initiaux et selon les périodes de suivi (n=121)					
Variables	**Valeurs initiales**	**Valeurs selon les périodes de suivi**			
	n(%)	n(%) 2 Mois	n(%) 3 Mois	n(%) 6 Mois	n(%) 12 Mois
Sexe					
Masculin	26(27,1)	19(73,07)	22(84,61)	19(73,07)	15(57,69)
Féminin	70(72,9)	***50(71,42)***	***64(91,42)***	***55(78,57)***	***48(68,57)***
Total	**96(100)**	**69(100)**	**86(100)**	**74(100)**	**63(100)**
Age					
16-26 ans	74(77,1)	***38(74,5)***	***48(72,2)***	***42(77,8)***	***36(78,3)***
26-36 ans	18(18,8)	10(19,6)	12(19)	9(16,6)	7(15,2)
36-46 ans	4(4,2)	3(5,9)	3(4,8)	3(5,6)	3(6,5)
Total	**96(100)**	**51(100)**	**63(100)**	**54(100)**	**46(100**
Type de dent					
Molaire	87(71,9)	***48(55,17)***	***61(70,11)***	***52(59,77)***	***45(51,72)***
Prémolaire	26(21,5)	16(61,53)	19(73,07)	16(61,53)	14(53,84)
Incisive	7(5,8)	5(71,42)	6(85,71)	6(85,71)	4(57,14)
Canine	1(0,8)	-	-	-	-
Total	**121(100)**	**69(100)**	**86(100)**	**74(100)**	**63(100)**
Type de cavité					
Occlusale	29(24)	16(23,2)	19(22,1)	17(23)	15(23,8)
Occluso-Proximale	52(43)	***26(37,7)***	***38(44,2)***	***30(40,5)***	***26(41,3)***
Vestibulo-Proximale	7(5,8)	4(5,8)	4(4,7)	5(6,8)	3(4,8)
Vestibulo-Occlusale	17(14)	12(17,4)	13(15,1)	11(14,9)	11(17,5)
Vestibulaire	3(2,5)	3(4,3)	3(3,5)	3(4,1)	3(4,8)
Mésio-Palatine	1(0,8)	1(1,4)	1(1,2)	1(1,4)	1(1,6)
Disto-Palatine	1(0,8)	1(1,4)	1(1,2)	1(1,4)	-
Occluso-Linguale	4(3,3)	1(1,4)	3(3,5)	3(4,1)	2(3,2)
Proximale	7(5,8)	5(7,2)	4(4,7)	3(4,1)	2(3,2)
Total	**121(100)**	**69(100)**	**86(100)**	**74(100)**	**63(100)**
Profondeur de la cavité					
Plus de 2mm	79(65,3)	***53(67,08)***	***61(77,21)***	***55(69,62)***	***47(59,49)***
Moins de 2mm	42(34,7)	16(38,09)	25(59,52)	19(45,23)	16(38,09)
Total	**121(100)**	**69(100)**	**86(100)**	**74(100)**	**63(100)**
Diagnostic de la dent					
Catégorie I	24(19,8)	13(54,16)	17(70,83)	13(54,16)	9(37,5)
Catégorie II	97(80,2)	***56(57,73)***	***69(71,13)***	***61(62,88)***	***54(55,67)***
Total	**121(100)**	**69(100)**	**86(100)**	**74(100)**	**63(100)**
Type de traitement					
Coiffage Pulpaire Indirect	104(86)	***58(55,76)***	***74(71,15)***	***59(56,73)***	***49(47,11)***
Coiffage Pulpaire Direct	17(14)	11(64,70)	12(70,58)	15(88,23)	14(82,35)
Total	**121(100)**	**69(100)**	**86(100)**	**74(100)**	**63(100)**

« *Apexogénèse après application d'un biomatériau à base de silicate tricalcique* »

Cette deuxième étude est une étude descriptive, de suivi. Elle a concerné des dents permanentes immatures vivantes et nécessitant une thérapeutique d'apexogénèse. Cette thérapeutique peut-être une pulpotomie partielle ou totale. L'objectif étant d'observer les effets dentinogénétiques d'un biomatériau à base de silicate tricalcique : Biodentine

Elle a concerné 18 enfants, dont 7 garçons et 11 filles, et 27 dents.

5.3. Résultats de l'étude de suivi de l'apexogénèse

5.3.1. CARACTERISTIQUES DEMOGRAPHIQUES

5.3.1.1. Répartition des dents selon les tranches d'âge

L'âge moyen des patients est de 8,6 ± 1,1an, avec des extrêmes de 7 et 11ans

Nous avons divisé l'âge en deux tranches : Celle de moins de 10 ans avec 94,4% (17) et celle plus de 10 ans 5,6% (1). **(Tableau 5-83, Annexe 4)**

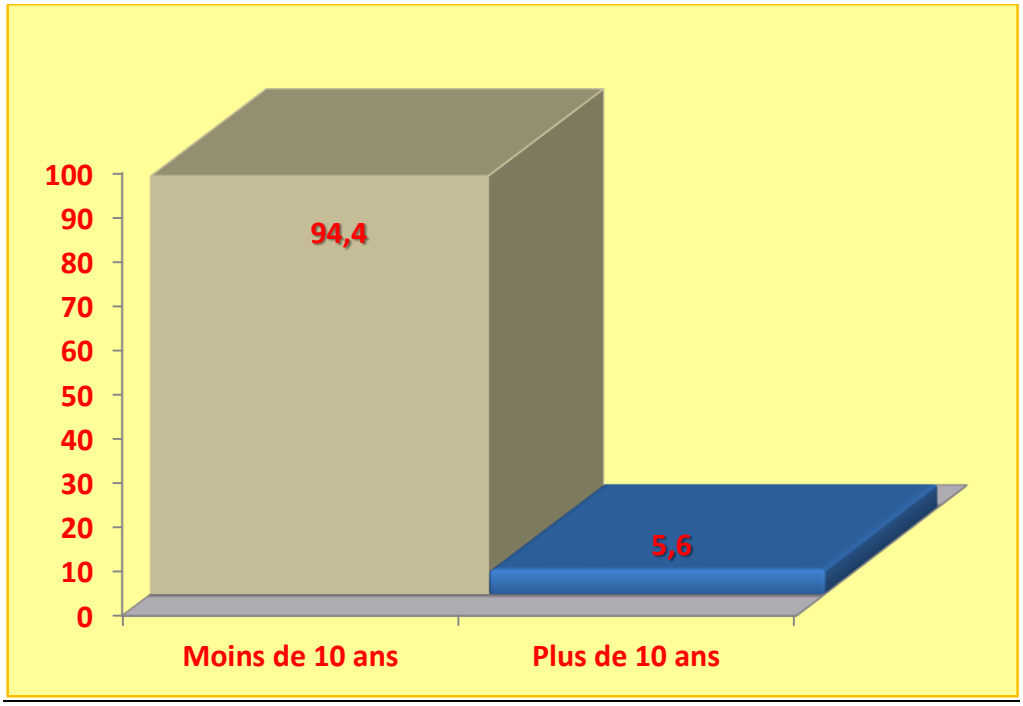


Fig.5-62 : Répartition des dents selon les tranches d'âge (n=18)

5.3.1.2. Répartition des dents selon le sexe

Au cours de la période de notre étude, nous avons pu colliger 18 patients répondant à nos critères, dont 7 garçons (**38,9%)** et 11 fillettes (**61,1%).** **(Tableau 5-84, Annexe 4)**

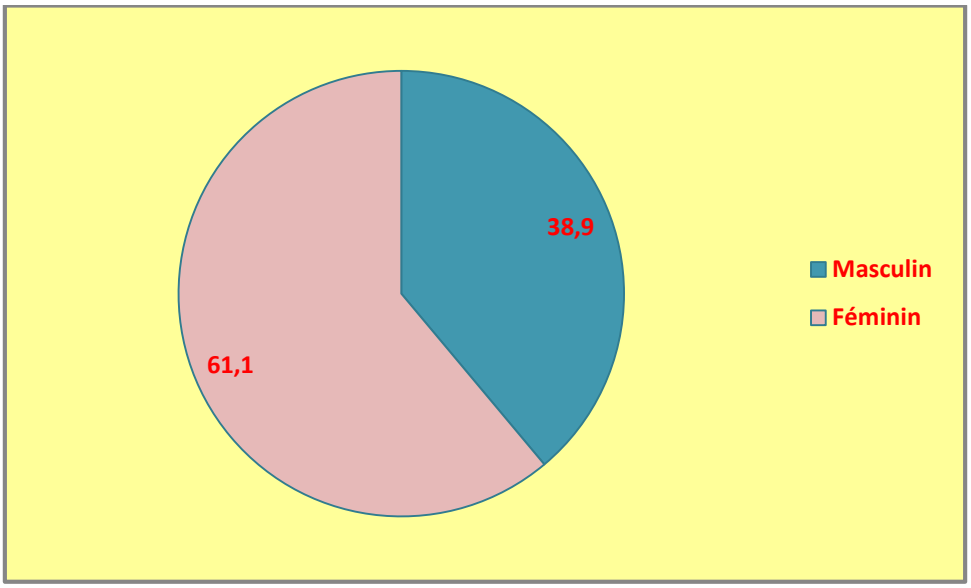


Fig.5-63 : Répartition des dents selon le sexe (n= 18)

5.3.1.3. Répartition des patients selon l'état général

Les ***18*** patients que nous avons dénombrés ne présentaient aucune pathologie d'ordre général, répondant ainsi aux critères d'inclusion.

5.3.2. CARACTERISTIQUES CLINIQUES PREOPERATOIRES

5.3.2.1. Répartition des dents selon le type de dents

Nous avons dénombré un total de **66,7%** d'incisive et **33,3%** des molaires. Nous n'avons pas exclu intentionnellement les canines et les prémolaires. **(Tableau 5-85, Annexe 4)**

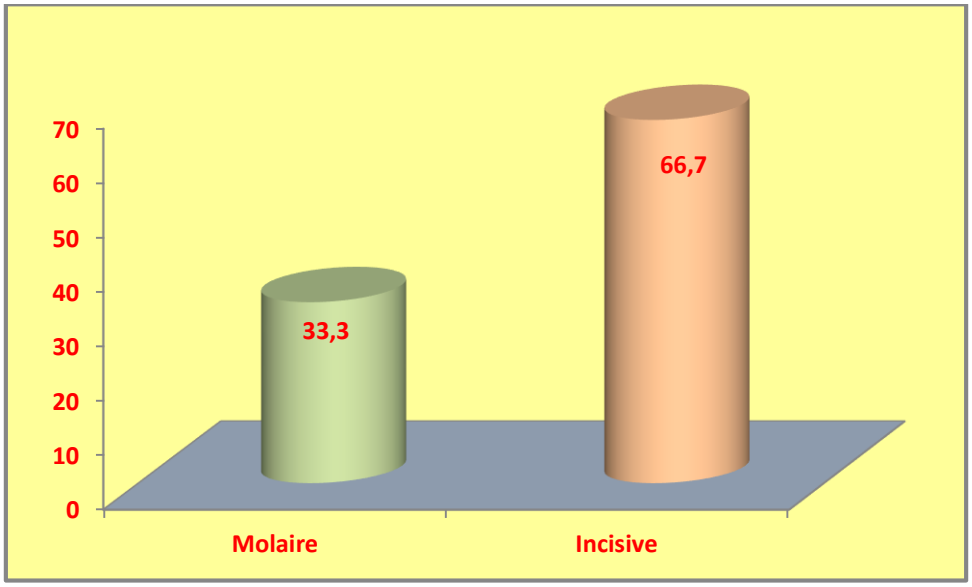


Fig.5-64 : Répartition des dents selon le type de dents (n=27)



Fig 5-65 : Radiographie préopératoire (AI)

5.3.2.2. Répartition des dents selon le diagnostic positif

Nous avons choisi, volontairement d'exprimer les diagnostics positifs en catégorie II de Baume, fracture coronaire non pénétrante et fracture coronaire pénétrante. Ceci sous-entend une étiologie carieuse ou traumatique.

Nous avons dénombré **40,7%** de fracture coronaire non pénétrante, **33,3%** de catégorie II, et **25,9%** de fracture coronaire pénétrante. **(Tableau 5-86, Annexe 4)**

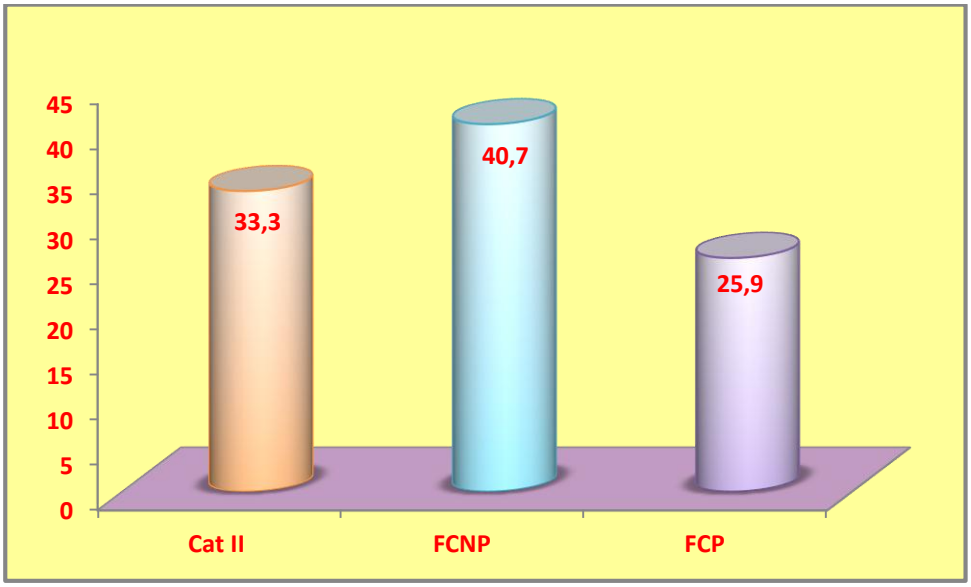


Fig.5-66 : Répartition des dents selon le diagnostic positif (n=27)



Fig 5-67 : Radiographie préopératoire **(MK)**

5.3.2.3. Répartition des dents selon la thérapeutique réalisée

Nous avons procédé à ***81,5%*** de pulpotomies partielles et ***18,5%*** de pulpotomie totales.
(Tableau 5-87, Annexe 4)

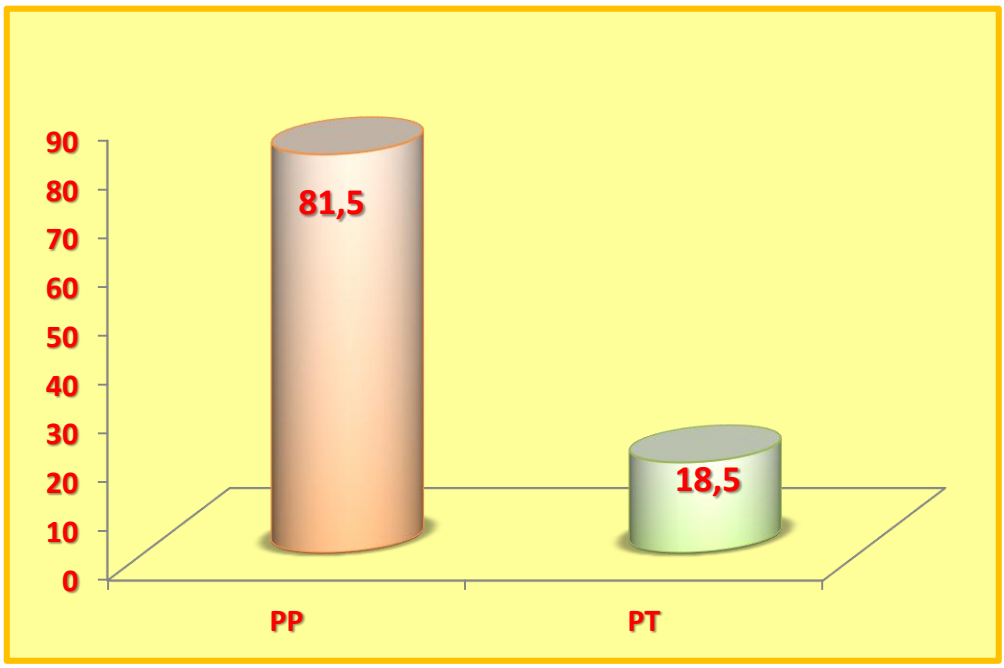


Fig.5-68 : Répartition des dents selon la thérapeutique réalisée (n=27)



Fig 5-69 : Radiographie préopératoire (BNH)

5.3.2.4. Diagnostic positif et type de dents

61,1% des incisives présentaient une fracture coronaire non pénétrante, alors que toutes les molaires de l'échantillon présentaient une catégorie II de Baume. **(Tableau 5-88, Annexe 4)**

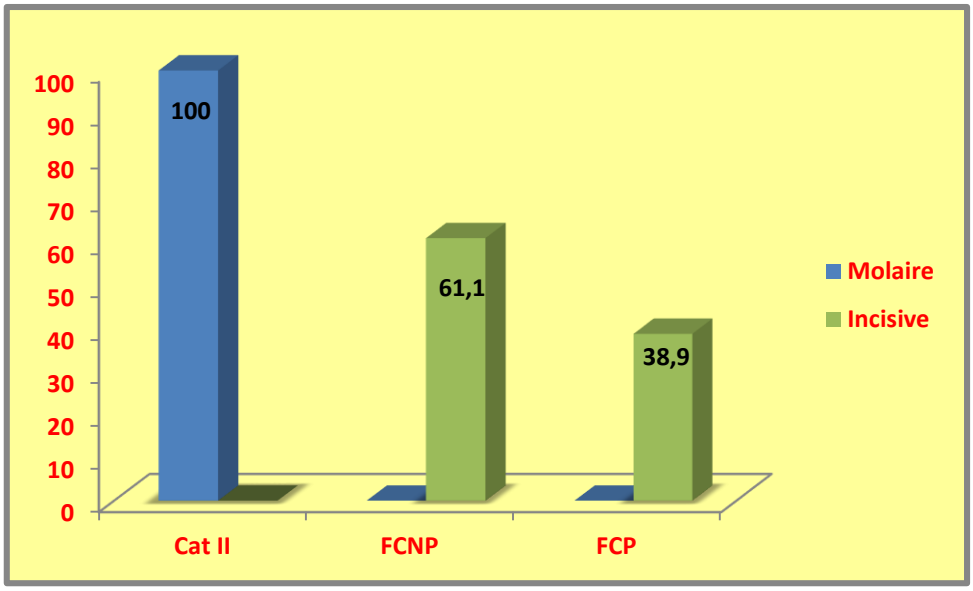


Fig.5-70 : Diagnostic positif et type de dents (n=27)

5.3.2.5. Thérapeutiques réalisées et diagnostic positif

Nous avons réalisé **90,9%** de pulpotomie partielle sur des dents présentant des fractures coronaires non pénétrantes et **44,4%** de pulpotomie totale sur des dents présentant des catégories II de Baume. **(Tableau 5-89, Annexe 4)**

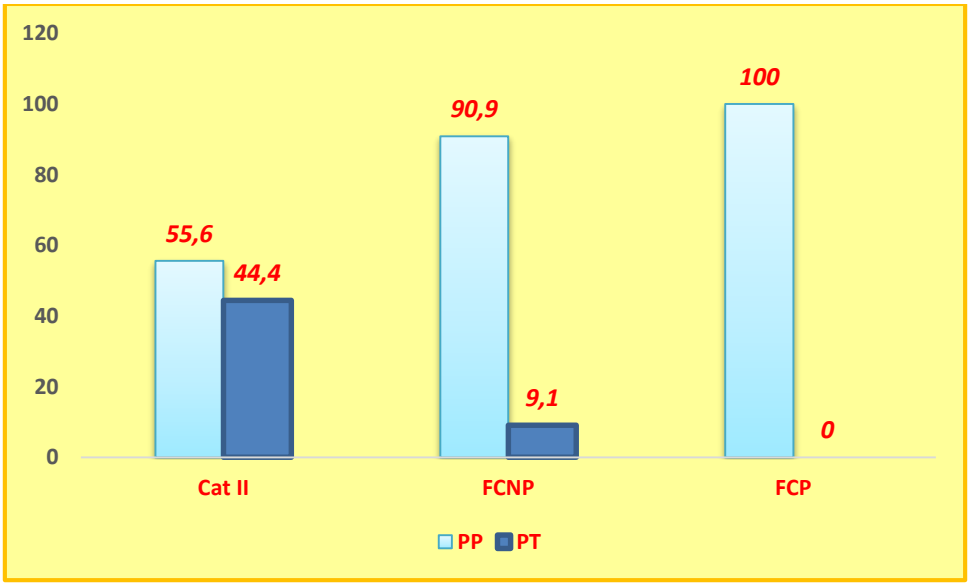


Fig.5-71 : Thérapeutiques réalisées et diagnostic positif (n=27)



Fig 5-72 : Radiographie préopératoire (GR)

5.3.3. CARACTERISTIQUES CLINIQUES POSTOPERATOIRES

Nous avons réalisé les thérapeutiques indiquées sur les 27 dents selon le protocole opératoire établi et procédé à des contrôles postopératoires cliniques et radiographiques à 15J, 1mois, 2, 3, 6 et 12 mois.

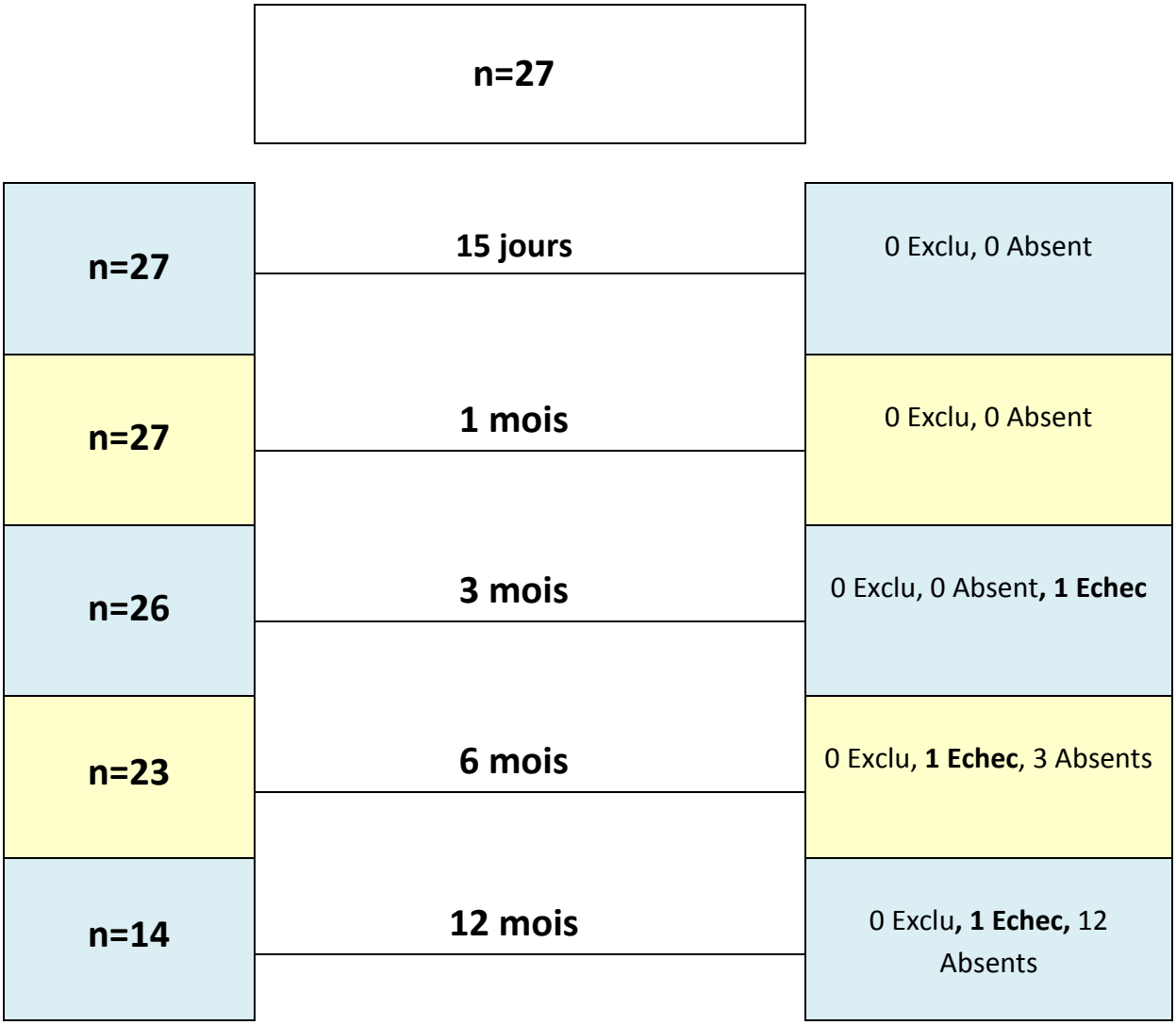


Fig.5-73 : Organigramme du nombre de patients consultés selon les périodes de suivi postopératoire

Patient : BNH, Dent : 11, Diagnostic : Fracture coronaire non pénétrante.
Traitement : **PULPOTOMIE PARTIELLE**

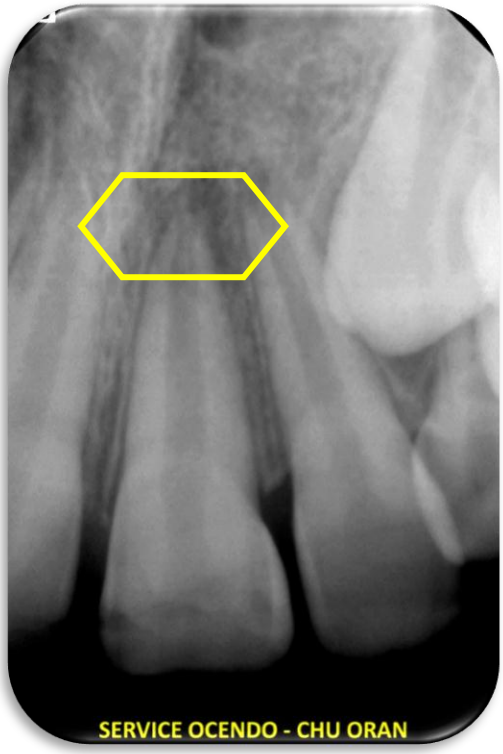


Fig 5-74a : Radiographie préopératoire

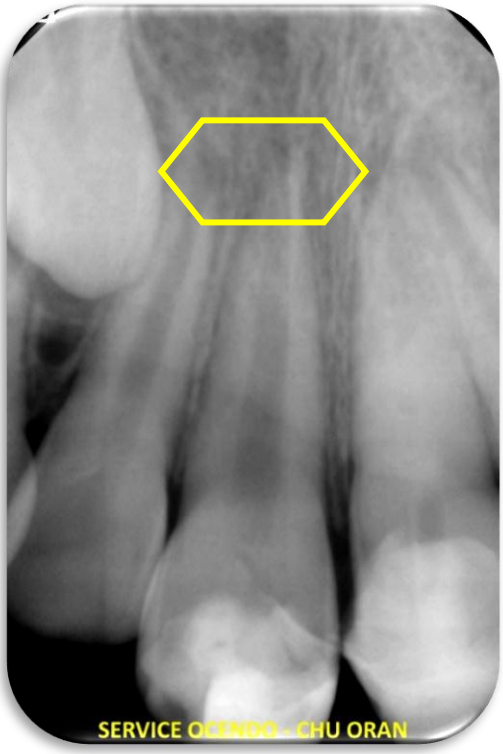


Fig 5-74b : Radiographie postopératoire à 3 mois

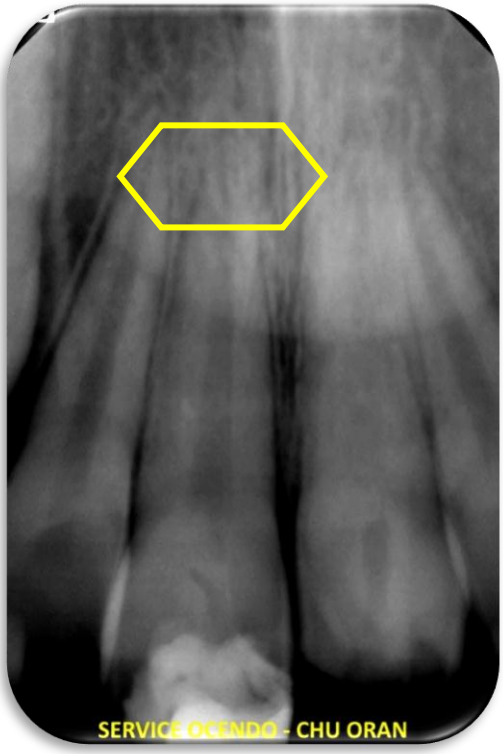


Fig 5-74c : Radiographie postopératoire à 12 mois

5.3.3.1. Douleurs provoquées selon les périodes de contrôle postopératoire

Tous les patients présents aux différents contrôles n'ont pas signalé de douleur provoquée postopératoire

Tableau 5-90 : Douleurs provoquées selon les périodes de contrôle postopératoire

Suivi	Testés - n (%)	Testés+ n (%)	Non testés n (%)
15 jours	27 (100)	0	0
01 mois	27 (100)	0	0
02 mois	27 (100)	0	0
03 mois	26 (96,3)	0	1 (3,7)
06 mois	23 (85,3)	0	4 (14,8)
12 mois	14 (51,9)	0	13 (48,1)

Testé- : absence de douleur provoquée **; Testé+** : présence de douleur provoquée ; **Non testé** : patient absent

5.3.3.2. Douleurs spontanées selon les périodes de contrôle postopératoire

Tous les patients présents aux différents contrôles n'ont pas signalé de douleur spontanée postopératoire

Tableau 5-91 : Douleurs spontanées selon les périodes de contrôle postopératoire

Suivi	Testés - n (%)	Testés+ n (%)	Non testés n (%)
15 jours	27 (100)	0	0
01 mois	27 (100)	0	0
02 mois	27 (100)	0	0
03 mois	26 (96,3)	0	1 (3,7)
06 mois	23 (85,3)	0	4 (14,8)
12 mois	14 (51,9)	0	13 (48,1)

(Testé-) : absence de douleur spontanée **; (Testé+)** : présence de douleur spontanée ; (**Non testé)** : patient absent

Patient : Al, Dent : 11, Diagnostic : Fractures coronaires non pénétrantes
Traitement : **PULPOTOMIE PARTIELLE**

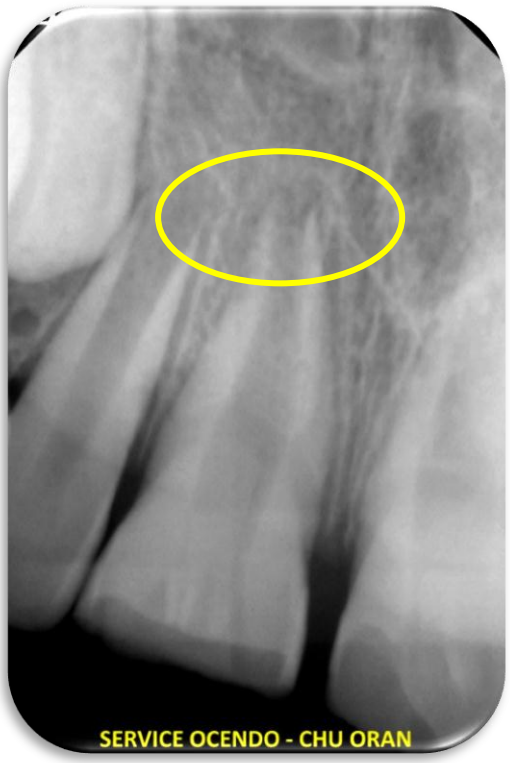


Fig 5-75a : Radiographie préopératoire

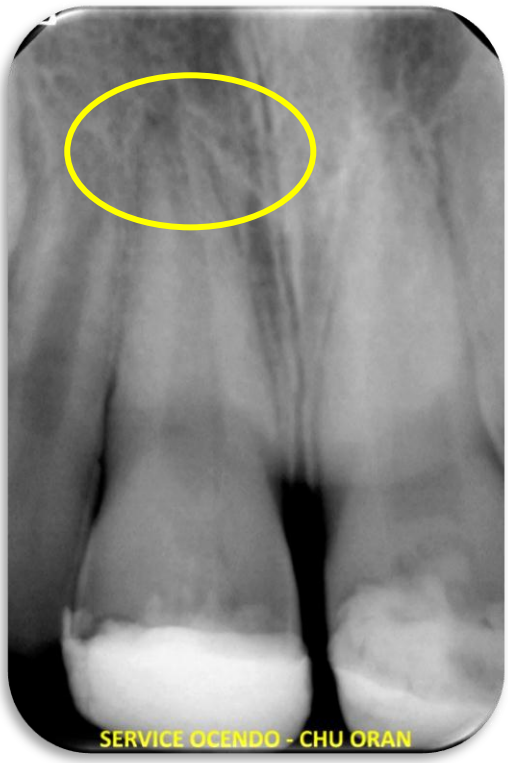


Fig 5-75b : Radiographie postopératoire à 3 mois



Fig 5-75c : Radiographie préopératoire 6 mois

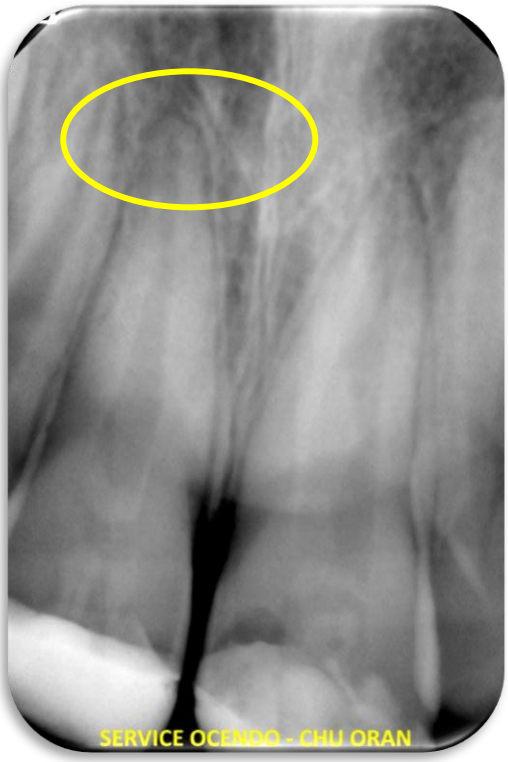


Fig 5-75d : Radiographie postopératoire à 12mois

5.3.3.3. Sensibilité pulpaire selon les périodes de contrôle postopératoire

Afin d'estimer l'état pulpaire, nous avons jugé utile de réaliser deux tests de sensibilité différents, à savoir : le test thermique au froid et le test électrique.

Sur les 27 dents contrôlées à 02 mois, nous avons retrouvé une molaire traitée par pulpotomie totale qui a présenté une fistule avec palpation vestibulaire sensible, des percussions axiale et transversale positives et une perte de sensibilité pulpaire. Cette dent avait également perdu la paroi distale de la restauration d'où la survenue de complications. Nous l'avons déclaré comme un échec au traitement.

Toutes les autres dents testées aux différents contrôles ont réagi positivement aux deux tests de sensibilité pulpaire

Tableau 5-92 : Sensibilité pulpaire selon les périodes de contrôle postopératoire

Suivi	**Testés+** n (%)	**Testés –** n (%)	**Non testés** n (%)
15 jours	27 (100)	0	0
01 mois	27 (100)	0	0
02 mois	26 (96,3)	***1 (3,7)***	0
03 mois	26 (96,3)	0	1 (3,7)
06 mois	23 (85,3)	0	4 (14,8)
12 mois	14 (51,9)	0	13 (48,1)

(Testé+) : Présence de sensibilité pulpaire **; (Testé-)** : Absence de sensibilité pulpaire ; **(Non testé)** : patient absent

5.3.3.4. Examens et résultats radiologiques selon les périodes de contrôle postopératoire

A l'interprétation des images radiographiques prises aux différents contrôles, nous avons recherché un début ou une poursuite d'édification radiculaire. En se basant sur des données bibliographiques nous avons quantifié ce processus en 03 degrés :

Nous avons quantifié la maturation radiologique en 03 degrés :

Degré 1 : Début d'apposition radiculaire
Degré 2 : Poursuite de l'édification radiculaire
Degré 3 : Edification radiculaire complète, apex fermé. *[317](Parolia),*

Au 2ème mois : les 26 dents ***(100%)*** ont montré radiologiquement un aspect légèrement différent de leur état initial, suggérant un début d'édification radiculaire.

Au 3ème mois : nous avons relevé ***73%(19)*** de dents qui ont poursuivi leur édification apicale et que nous avons estimé au stade 9 de Nolla, alors que ***26,9%(7)*** des dents n'ont pas montré de différence radiologique par rapport à l'examen de 2 mois.

Au 6ème mois : nous avons relevé ***52,1%(12)*** des dents qui ont pratiquement atteint le stade 10 de Nolla, et ***47,9%(11)*** des dents ont montré un début d'édification radiculaire nettement plus avancé que lors de l'examen de 3 mois.

Au 12ème mois : ***92,9%(13)*** des dents ont montré une édification radiculaire totale et un apex fermé.

Tableau 5-93 : Degrés d'édification radiculaire

Suivi	Degré 1 n(%)	Degré 2 n(%)	Degré 3 n(%)	Total n(%)
2 Mois	26(100%)	-	-	26(100)
3 Mois	7(26,9%)	19(73%)	-	26(100)
6 Mois	-	11(47,9%)	12(52,1%)	23(100)
12 Mois	-	1(7,1%)	13(92,9%)	14(100)

Patient : GR, Dent : 21 : Diagnostic : Fracture coronaire non pénétrante.
Traitement : ***PULPOTOMIE PARTIELLE***

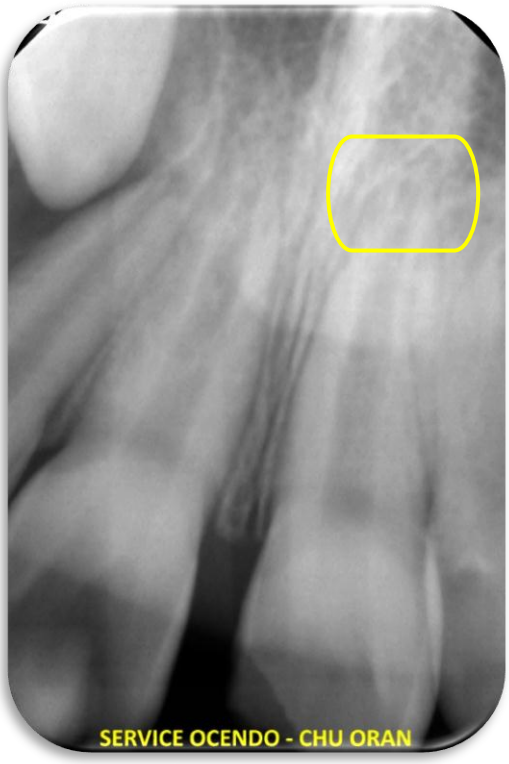


Fig 5-76a : Radiographie préopératoire

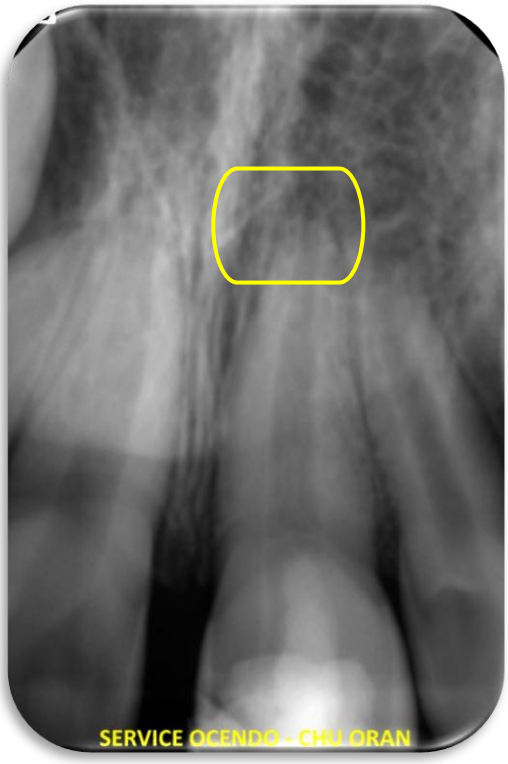


Fig 5-76b : Radiographie postopératoire à 6 mois

Patient : AB
Dent : 11
Diagnostic : Fracture coronaire pénétrante.
Traitement : ***PULPOTOMIE TOTALE***



Fig 5-77a : Radiographie préopératoire



Fig 5-77b : Radiographie postopératoire à 6 mois

5.3.3.5. Taux de succès des thérapeutiques d'apexogénèse selon les périodes de contrôle postopératoire

Nous avons associé nos résultats radiologiques aux résultats cliniques obtenus aux différentes séances de contrôle. Nous pouvons avancer alors, que *sur un total de 27 thérapeutiques d'apexogénèse réalisées, nos taux de succès en fonction de chaque période de contrôle sont les suivants :*

- *A 02 mois, le taux enregistré est de **96,3% (26),***
- *À 03 mois, il est de **96,3% (26)**,*
- *À 06 mois, il est de **85,3% (23)***
- *À 12 mois, il est de **51,9% (14)***

Tableau 5-94 : Taux de succès selon les périodes de contrôle postopératoire

Suivi	**Tests de sensibilité pulpaire**	**Cicatrisation Radiographique**	**TAUX DE SUCCES**
	n(%)	n(%)	
02 mois	26 (96,3)	26 (96,3)	26 (96,3)
03 mois	26 (96,3)	26 (96,3)	26 (96,3)
06 mois	23 (85,3)	23 (85,3)	23 (85,3)
12 mois	14 (51,9)	14 (51,9)	14 (51,9)

Patient : Al, Dent : 21, Diagnostic : Fracture coronaire non pénétrante
Traitement : ***PULPOTOMIE PARTIELLE***

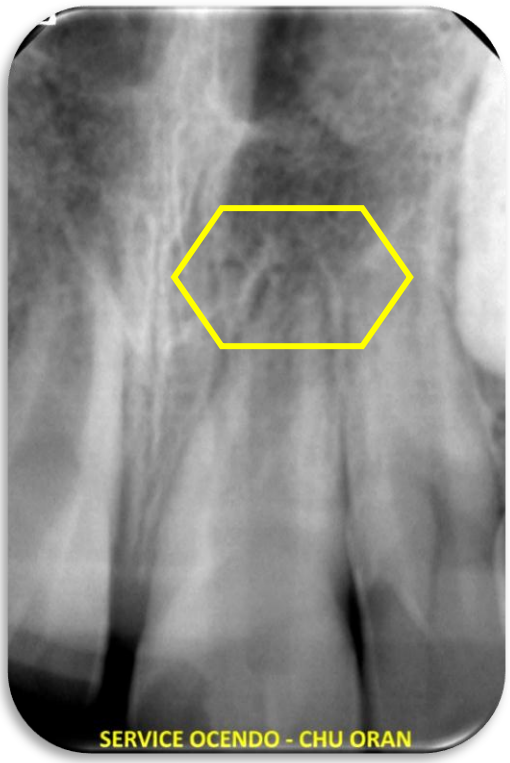


Fig 5-78a : Radiographie préopératoire

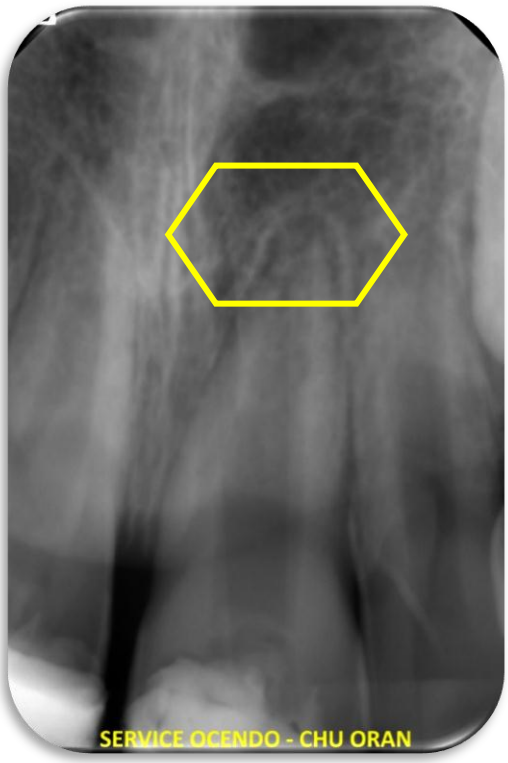


Fig 5-78b : Radiographie postopératoire à 3mois

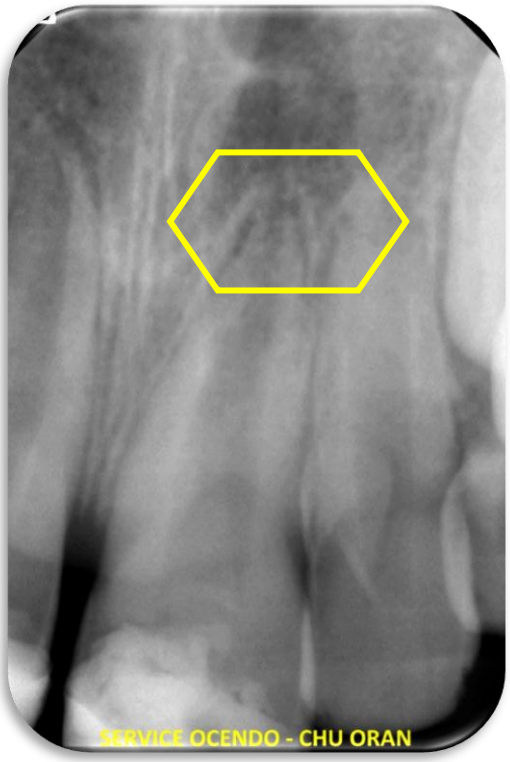


Fig 5-78c : Radiographie préopératoire 6 mois



Fig 5-78d : Radiographie postopératoire à 12mois

5.3.3.6. Taux de succès des thérapeutiques d'apexogénèse selon le sexe et les périodes de suivi postopératoire

Durant les trois premières périodes de contrôle, à savoir, 02,03 et 06 mois, le taux de succès des thérapeutiques réalisées est prédominant chez les fillettes et est compris entre 71,42% et 87,7%. Au contrôle de 12 mois, nous avons retrouvé plus de garçons que de fillettes avec un pourcentage de 71,42%.

La recherche de lien entre les sexes masculin et féminin et le succès thérapeutique ne retrouve aucun lien statistiquement significatif

Tableau 5-95 : Taux de succès des thérapeutiques d'apexogénèse selon le sexe et les périodes de suivi

Suivi	Masculin(7)	Féminin(11)	*p*
02 mois	6(85,7)	11(100)	*NS*
03 mois	6(85,7)	11(100)	
06 mois	5(71,42)	10(90,9)	
12 mois	5(71,42)	4(36,36)	

Patient : MK, Dents : 11 et 21, Diagnostic : Fractures coronaires non pénétrantes.
Traitement : ***PULPOTOMIES PARTIELLES***

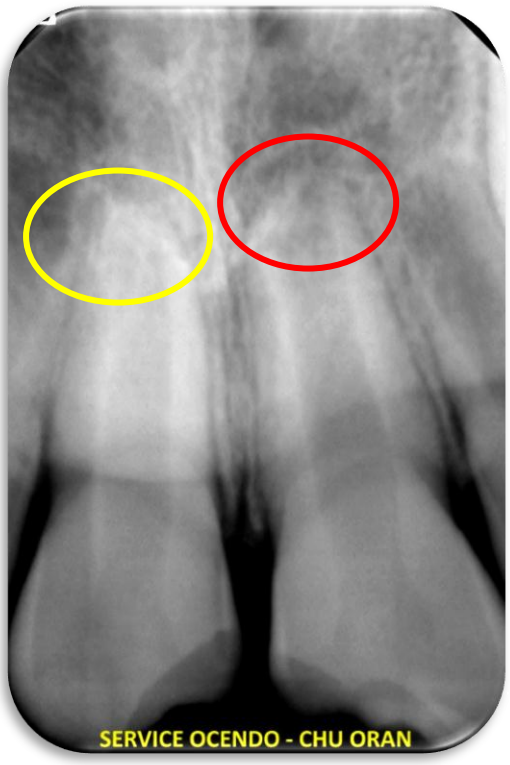


Fig 5-79a : Radiographie préopératoire



Fig 5-79b : Radiographie postop à 3mois (11)

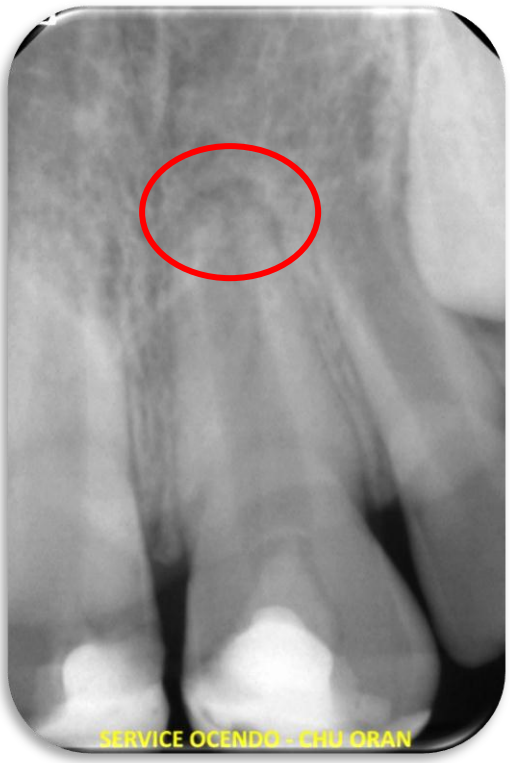


Fig 5-79c : Radiographie postop à 3 mois 21



Fig 5-79d : Radiographie postop à 12mois

5.3.3.7. Taux de succès des thérapeutiques d'apexogénèse selon l'âge et les périodes de suivi postopératoire.

Les succès thérapeutiques chez les enfants de moins de 10 ans sont de 52,94% au contrôle de 12 mois, de 94,11% aux contrôles de 02 et 03 mois et de 82,35% à celui de 06 mois.

La thérapeutique du seul enfant âgé de plus de 10 ans a été couronnée de succès aux 03 contrôles de 02, 03 et 06 mois.

La comparaison des succès thérapeutiques en fonction des tranches d'âge ne retrouve pas de relation statistiquement significative.

Tableau 5-96 : Taux de succès des thérapeutiques d'apexogénèse selon l'âge et les périodes de suivi

Suivi	moins 10 ans(17)	Plus 10 ans(1)	*p*
02 mois	16(94,11)	1(100)	*NS*
03 mois	16(94,11)	1(100)	
06 mois	14(82,35)	1(100)	
12 mois	9(52,94)	-	

(-) : aucun enfant

Patient : AI, Dent : 11 et 21, Diagnostic : Fractures coronaires non pénétrantes
Traitement : ***PULPOTOMIES PARTIELLES***



Fig 5-80a : Radiographie préopératoire

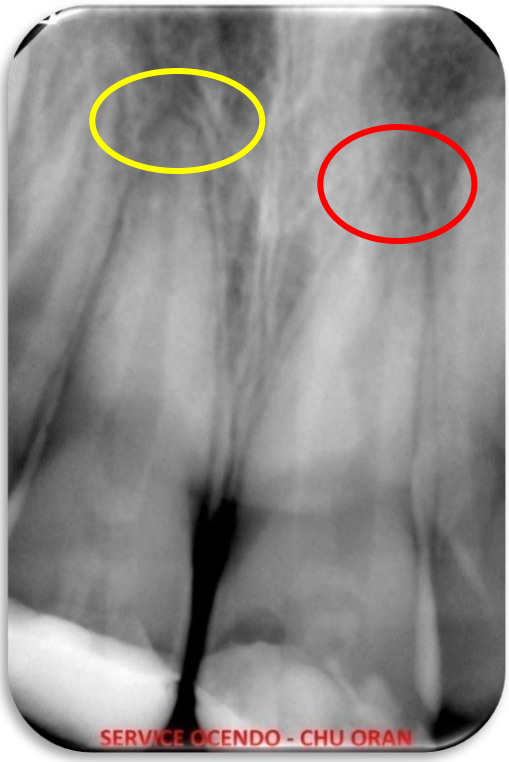


Fig 5-80b : Radiographie postopératoire à 12 mois

5.3.3.8. Taux de succès des thérapeutiques d'apexogénèse selon le type de dents et les périodes de suivi postopératoire

Nous avons noté 100% de succès thérapeutiques pour les incisives aux contrôles de 02,03 et 06 mois, 88,88% pour les molaires aux contrôles de 02 et 03 mois et 55,55% à celui de 06 mois. Pour le contrôle de 12mois, par contre, nous avons retrouvé des taux de succès des thérapeutiques de 50% d'incisives et 55,55% de molaires.

La recherche de relation statistique (p) entre les taux de succès et les molaires et les incisives a été non significative pour les contrôles de 02 ,03 et 12 mois. Alors qu'au contrôle de 06 mois, le test statistique a montré qu'il existe un lien significatif entre les taux de succès des thérapeutiques et le type de dents, avec un ***p=0,022.***

Tableau 5-97 : Taux de succès des thérapeutiques d'apexogénèse selon le type de dents et les périodes de suivi

Suivi	Molaire(9)	Incisive(18)	*p*
02 mois	8(88,88)	18(100)	*NS*
03 mois	8(88,88)	18(100)	*NS*
06 mois	5(55,55)	18(100)	***0,022***
12 mois	5(55,55)	9(50)	*NS*

5.3.3.9. Taux de succès des thérapeutiques d'apexogénèse selon le diagnostic positif des dents et les périodes de suivi postopératoire

Les dents présentant des fractures coronaires non pénétrantes ont montré des taux de succès de 100% aux contrôles de 02,03 et 06 mois et de 27,27% au contrôle de 12 mois.
Les dents présentant des fractures coronaires pénétrantes ont également montré des taux de succès de 100% aux mêmes périodes de contrôles et un taux de 85,71% à celui de 12 mois.
Les dents présentant des Catégorie II de Baume ont montré des taux de succès de 88,88% aux contrôles de 02 et 03 mois, et des taux de 55,55% aux contrôles de 06 et 12 mois.

Tableau 5-98 : Taux de succès des thérapeutiques d'apexogénèse selon les diagnostics positifs et les périodes de suivi

Suivi	Cat II(9)	FCNP(11)	FCP(7)
02 mois	8(88,88)	11(100)	7(100)
03 mois	8(88,88)	11(100)	7(100)
06 mois	5(55,55)	11(100)	7(100)
12 mois	5(55,55)	3(27,27)	6(85,71)

(Cat II) : Catégorie II de Baume ; (**FCNP)** : fracture coronaire non pénétrante **; (FCP)** : fracture coronaire pénétrante

Patient : BY, Dent : 21, Diagnostic : Fracture coronaire pénétrante
Traitement : ***PULPOTOMIE TOTALE***



Fig 5-81a : Radiographie préopératoire

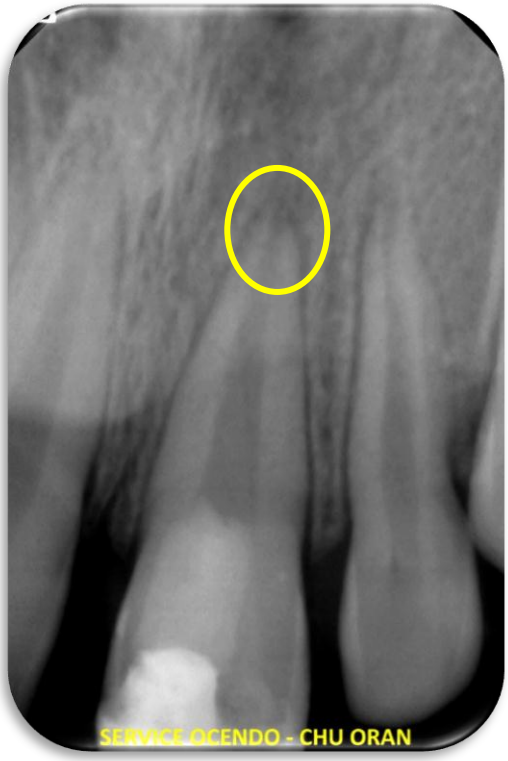


Fig 5-81b : Radiographie postopératoire J0



Fig 5-81c : Radiographie postopératoire à 6mois

5.3.3.10. Taux de succès des thérapeutiques d'apexogénèse selon l'étiologie (carieuse ou traumatique) des dents et les périodes de suivi postopératoire

Nous avons étudié les taux de succès des thérapeutiques d'apexogénèse selon les étiologies des dents traitées et pour cela, et pour des raisons d'analyses, nous avons regroupé les dents présentant une catégorie II de Baume en étiologie carieuse et les dents présentant des fractures coronaires pénétrantes ou non en étiologie traumatique.

La comparaison des taux de succès en fonction de l'étiologie des dents a retrouvé une relation statistiquement significative au contrôle de 06 mois avec un *p=0,007* en faveur des dents dont l'étiologie est traumatique

Tableau 5-99 : Taux de succès des thérapeutiques d'apexogénèse selon l'étiologie (carieuse ou traumatique) des dents et les périodes de suivi

Suivi	Etiologie carieuse(9)	Etiologie traumatique(18)	*p*
02 mois	8(88,88)	18(100)	*NS*
03 mois	8(88,88)	18(100)	*NS*
06 mois	5(55,55)	18(100)	***0,007***
12 mois	5(55,55)	9(50)	*NS*

5.3.3.11. Taux de succès des thérapeutiques d'apexogénèse selon les thérapeutiques indiquées et les périodes de suivi postopératoire

La pulpotomie partielle a montré des taux de succès des thérapeutiques de 100% aux contrôles de 02 et 03 mois, de 90,90% à celui de 06 mois et de 54,54% à celui de 12 mois. Alors que la pulpotomie totale, les taux de succès sont compris entre 40% à 12 mois et 80% à 02 et 03 mois.

La recherche de relation statistique entre les deux thérapeutiques et les taux de succès n'a pas retrouvé un lien statistiquement significatif.

Tableau 5-100 : Taux de succès des thérapeutiques d'apexogénèse selon les thérapeutiques indiquées et les périodes de suivi

Suivi	PP (22)	PT(5)	*p*
02 mois	22(100)	4(80)	*NS*
03 mois	22(100)	4(80)	
06 mois	20(90,90)	3(60)	
12 mois	12(54,54)	2(40)	

(PP) : Pulpotomie Partielle ; **(PT)**: Pulpotomie totale

Patient : NE, Dent : 36, Diagnostic : Catégorie II de Baume
Traitement : ***PULPOTOMIE TOTALE***



Fig 5-82a : Radiographie préopératoire



Fig 5-82b : Radiographie postopératoire à 1 mois

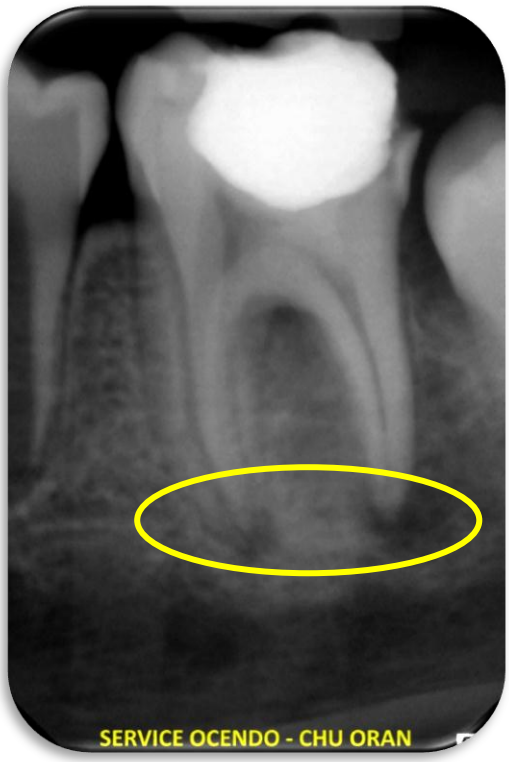


Fig 5-82c : Radiographie postopératoire à 12 mois

Il s'agit d'une molaire (36) traitée par pulpotomie totale qui, au contrôle de 02 mois, a présenté une fistule avec palpation vestibulaire sensible, des percussions axiale et transversale positives et une perte de sensibilité pulpaire. Cette dent avait également perdu la paroi distale de la restauration d'où la survenue de complications. Nous l'avons déclaré comme un échec au traitement

Tableau 5-101 : Récapitulatif et évolution des paramètres utilisés initiaux selon les périodes de suivi					
Variables	**Valeurs initiales**	**Valeurs selon les périodes de suivi**			
	n(%)	n(%) 2 Mois	n(%) 3 Mois	n(%) 6 Mois	n(%) 12 Mois
Sexe					
Masculin	7(61,1)	6(87,7)	6(87,7)	5(71,42)	***5(71,42)***
Féminin	11(38,9)	***11(100)***	***11(100)***	***10(100)***	4(36,36)
Total	**18(100)**	**18(100)**	**17(100)**	**15(100)**	**9(100)**
Age					
Moins de 10 ans	17(94,4)	***16(94,11)***	***16(94,11)***	***14(82,35)***	***9(52,94)***
Plus de 10 ans	1(5,6)	1(100)	1(100)	1(100)	-
Total	**18(100)**	**17(100)**	**17(100)**	**15(100)**	**9(100)**
Type de dent					
Molaire	9(33,3)	8(88,88)	8(88,88)	5(55,55)	5(55,55)
Incisive	18(66,7)	***18(100)***	***18(100)***	***18(100)***	5(55,55)
Total	**27(100)**	**26(100)**	**26(100)**	**23(100)**	**14(100)**
Diagnostic de la dent					
Catégorie II de Baume	9(33 ,3)	8(88,88)	8(88,88)	5(55,55)	5(55,55)
Fracture Coronaire Non Pénétrante	11(40,7)	***11(100)***	***11(100)***	***11(100)***	3(27,27)
Fracture Coronaire Pénétrante	7(25,9)	7(100)	7(100)	7(100)	***6(85,71)***
Total	**27(100)**	**26(100)**	**26(100)**	**23(100)**	**14(100)**
Type de traitement					
Pulpotomie partielle	22(81,5)	***22(100)***	***22(100)***	***20(90,90)***	***12(54,54)***
Pulpotomie totale	5(18,5)	4(80)	4(80)	3(60)	2(40)
Total	**27(100)**	**26(100)**	**26(100)**	**23(100)**	**14(100)**

Nous avons réuni dans le tableau 5-100 l'ensemble des paramètres que nous avons utilisés au cours de notre étude avec leur taux de succès à travers toutes les périodes de suivi, et nous constatons que ces taux de succès ont été présents chez :

- Les fillettes
- Âgées de moins de 10 ans,
- Les incisives
- Fractures coronaires non pénétrantes
- Pulpotomie partielle.

ANALYSE ET DISCUSSION

Avant d'analyser l'étude comparative des effets dentinogénétiques des deux matériaux, nous allons d'abord discuter les résultats obtenus séparément pour chaque groupe ensuite nous analyserons les résultats comparatifs.

6.1. Analyse de l'étude descriptive au Biodentine (n=61)

6.1.1. CARACTERISTIQUES DEMOGRAPHIQUES

L'étude a porté sur 61 patients, répartis en ***72,1%(44)*** de femmes et ***27,9%(17)*** d'hommes.
L'âge moyen est de 23,4 ±6,3 ans, avec des extrêmes de 16 et 45 ans. Cette prédominance s'explique, à notre avis, par le fait que les femmes sont plus motivées, plus disponibles et plus soucieuses de leur santé et esthétique.
La distribution selon les tranches d'âge de 10ans nous donne une concentration de ***78,7%(48)*** pour la première tranche (16-26ans), ***16,4% (10)*** de patients pour la deuxième (26-36ans) et ***4,9% (3)*** pour la troisième tranche (36-46ans).
Les 61 patients recrutés pour notre étude ne présentaient aucune pathologie d'ordre général, répondant ainsi aux critères d'inclusion.

6.1.2. CARACTERISTIQUES CLINIQUES PREOPERATOIRES

La distribution des dents traitées, dans notre étude, met en évidence un taux élevé de molaires ***77%,(47)*** par rapport aux prémolaires ***23%,(14)***. Nous n'avons pas exclu intentionnellement les incisives et les canines.
La topographie carieuse la plus fréquente dans notre échantillon est occluso-proximale ***45,9% (28)***. Alors que, séparément la cavité occlusale était présente dans une proportion de ***23%(14)*** et la cavité proximale dans une proportion de ***1,6%(1)***. Les cavités vestibulo-occlusales sont aussi présentes avec un taux de ***16,4%, (10).***
Nous avons, à l'aide d'une sonde graduée, mesuré la profondeur des cavités après les avoir curetées afin de nous fixer un niveau de profondeur qui constituera un repère. Nous avons estimé ce niveau à 2mm.
Nous avons relevé ***80,3%(49)*** de dents présentant une cavité profonde de plus de 2mm, et ***19,7%(12)*** avec une profondeur de moins de 2mm.

Certaines publications utilisent, pour poser le diagnostic positif, une classification plus générale en termes de pathologies pulpaires réversibles et irréversibles *[288](Eghbal); [328](Ricucci); [293](Barrieshi-Nusair) ; [95] (Witherspoon).* Quant à nous, nous avons choisi d'utiliser la classification de Baume, étant donné que c'est la classification que nous utilisons au service de manière courante d'une part, et d'autre part afin de mettre en évidence la symptomatologie préopératoire.

Pour notre échantillon Biodentine, nous avons une prédominance de la catégorie II de Baume avec un taux de ***90,2% (55)*** et seulement ***9,8%(6) pour*** la catégorie I de Baume.
Nous avons procédé à ***80,3%(49)*** de thérapeutiques de coiffages pulpaires indirects et ***19,7%(12)*** de thérapeutiques de coiffages pulpaires directs.

6.1.3. CARACTERISTIQUES CLINIQUES POSTOPERATOIRES

Nous avons réalisé les thérapeutiques indiquées selon le protocole établi et procédé à des contrôles postopératoires à J15 ; 1mois, 2, 3, 6 et 12 mois.

6.1.3.1. Contrôle postopératoire à 15 jours

Tous les patients pris en charge dans le cadre de cette étude ont répondu présents à ce contrôle. Nous avons procédé à un interrogatoire et réalisé des examens cliniques.
Certains de nos patients nous ont rapporté une très légère douleur dans les 24h qui ont suivi l'intervention. Elle était de courte durée, d'intensité très légère, ne nécessitant pas la prise d'antalgique. Nous l'avons appelé « ***sensibilité transitoire*** » et avons cherché à savoir si elle était en rapport avec :

- La profondeur des cavités,
- Le diagnostic positif de la dent,
- La thérapeutique réalisée.

Pour les 61 patients de l'étude, ***19,7%(12)***, ont rapporté une sensibilité transitoire. Elle a concerné en totalité les cavités dont la profondeur dépassait les 2mm. ***83,3%(10)*** d'entres elles présentaient une catégorie II de Baume, et ***16,7%(2)*** avaient une catégorie I de Baume. ***58,3%(7)*** parmi elles, avaient bénéficié d'un coiffage pulpaire indirect et ***41,7%(5)*** d'un coiffage pulpaire direct.

Nous avons constaté que cette sensibilité transitoire n'a pas de rapport direct avec la profondeur des cavités, ni avec les diagnostics positifs posés, ni même avec les thérapeutiques réalisées étant donné que la recherche de liens statistiquement significatifs entre ces différents paramètres n'a pas été retrouvé.
« Nous n'avons pas retrouvé dans la littérature, cette notion de sensibilité transitoire. »

6.1.3.2. Contrôle postopératoire à un mois

Les 61 patients de l'étude ont été revus à ce contrôle. L'examen clinique n'a pas rapporté de symptomatologie, les tests aux percussions ne révélaient aucune sensibilité. Les tests de sensibilité pulpaire réalisés sur les dents causales et adjacentes ont confirmé des pulpes vivantes.
Nous avons jugé utile de procéder à un examen radiologique à 1 mois, non pour la recherche d'une cicatrisation, mais plus pour vérifier et contrôler l'étanchéité de la restauration.
Cet examen n'a révélé aucune particularité.

6.1.3.3. Contrôles postopératoires de deux à douze mois

Les séances de consultation se sont déroulées de la même manière que pour celle d'un mois. Nous avons toutefois constaté des absents qui n'ont pas répondu à nos rappels incessants et avons exclu des patientes qui ont déclaré des grossesses durant l'étude. (Précaution prise et citée dans le protocole).

Ont été comptabilisés au contrôle de :

- 2 mois : 23 absents,
- 3 mois : 14 absents,
- 6 mois : 18 absents et 1 exclu
- 12 mois : 20 absents et 3 exclus

« *Nous devons préciser, dans le cadre des suivis postopératoires, que ce ne sont pas toujours les mêmes patients qui se sont absentés à toutes les séances*. »
L'examen clinique n'a pas rapporté de symptomatologie, les tests aux percussions ne révélaient aucune sensibilité. Les tests de sensibilité pulpaire réalisés sur les dents causales et adjacentes ont confirmé des pulpes vivantes.

6.1.3.4. Examen radiologique et Apposition dentinaire

Farsi, dans son étude clinique utilisant le MTA sur 30 dents matures et immatures, contrôlées jusqu'à 2 ans, a estimé que « le critère succès radiologique » pour les dents matures est l'absence de lésion périapicale, et pas forcément la formation d'un pont dentinaire, alors que pour les dents immatures, le critère radiologique essentiel est l'édification apicale. Ce critère, selon l'auteur, doit être associé à d'autres paramètres cliniques notamment la sensibilité pulpaire, l'absence de mobilité et de fistule, la réponse négative aux percussions et l'absence de toute symptomatologie. *[275](Farsi)*

A l'interprétation des images radiographiques prises aux différents contrôles de notre échantillon, nous avons recherché une cicatrisation qui se manifeste sous forme d'un tissu calcifié sous le matériau de coiffage. En nous basant sur des données bibliographiques, nous avons quantifié cette cicatrisation en 03 degrés :

- Degré 1 : début d'apposition de tissu calcifié sous le matériau de coiffage
- Degré 2 : couche partielle de tissu calcifié sous le matériau de coiffage
- Degré 3 : couche complète de tissu calcifié sous le matériau de coiffage. *[317](Parolia), [318](Monea), [319](Accorinte)*

L'examen radiologique de toutes les dents à partir du contrôle de 02 mois a donné les résultats suivants : **(Tableau 5-51, page 192)**

Au 2ème mois : ***78,9% (30)*** des dents ont montré radiologiquement une couche partielle de tissu calcifié sous le matériau de coiffage, alors que ***21% (8)*** des dents ont manifesté un début de formation de tissu calcifié.
Au 3ème mois : ***6,4% (3)*** des dents ont montré radiologiquement un début de formation de tissu calcifié sous le matériau de coiffage, alors que ***93,6% (44)*** des dents ont manifesté une couche partielle sous le matériau de coiffage.

Au 6ème mois : ***42,9% (18)*** des dents ont montré l'apposition d'une couche complète de tissu calcifié, alors que ***57,1% (24)*** des dents ont montré une couche partielle de tissu sous le matériau de coiffage.
Au 12ème mois : ***100%(38)*** des dents ont montré une apposition d'une couche complète de tissu calcifié, signe d'une cicatrisation complète.

Nos résultats corroborent ceux de la littérature quant à la formation du pont dentinaire après coiffages pulpaires. En effet, ***Aeinehchi*** dans une étude histologique et comparative concernant les effets du MTA après coiffage pulpaire rapporte qu'à l'examen histologique d'une semaine, il ne relève pas de tissu dur, par contre à 02 mois, il retrouve une épaisseur de 0,28µm ; à 03 mois, elle est de 0,25µm et à 6 mois, elle est de 0,43µm *[33] (Aeinehchi)*

Nous n'avons pas pu, quant à nous, quantifier cette épaisseur.

Accorinte, dans une évaluation histologique comparative des coiffages pulpaires au MTA sur des prémolaires extraites à 30 et 60 jours rapporte que :
Le groupe MTA-30 (dont les dents ont été extraites après 30 jours) présentait un pont de tissu dur complet dans 30 % des cas et un pont partiel dans 70 % des cas.
Dans le groupe MTA-60, un pont dentinaire complet était présent dans 50 % des cas et un pont partiel dans 40 %. Les 10 % des dents restants de ce groupe ne présentaient pas de pont dentinaire. *[69] (Accorinte)*

Modena et al, en comparant des coupes histologiques de la jonction entre le MTA et la pulpe après des coiffages pulpaires directs, rapportent que le pont dentinaire formé est bien régulier, les tubules sont fins et parallèles, et ils observent une nouvelle ligne de cellules pseudo-odontoblastiques. *[46] (Modena)*

Une autre étude histologique concernant la réponse pulpaire à différents matériaux sur des dents permanentes mécaniquement exposées et extraites à 15j et 45j, rapporte qu'à 15j : 67% des dents montrent la formation d'un tissu calcifié, et à 45j, 100% des dents présentent un tissu cicatriciel sous le MTA *[317](Parolia)*

Monea et al rapportent dans, une évaluation histologique comparative au MTA sur 30 dents de sagesse qu'à 4 et 6 semaines : Le pont dentinaire est complet dans respectivement 60 et 70% des dents. Pour sa morphologie, ils retrouvent une architecture similaire à la dentine secondaire physiologique avec présence de tubuli dentinaires dans les mêmes proportions (60 et 70%) *[318](Monea)*

Briso**,** dans une étude histologique similaire *in vivo*, réalise les extractions à 2mois. Il rapporte qu'un pont dentinaire est observé dans 12dents/18. Pour la moitié d'entre elles, le pont dentinaire est complet, et pour l'autre moitié, il présente quelques défauts de structure. Son épaisseur est de 16 à 800 µm. *[329](Briso)*

De Rossi et al réalisent une évaluation radiologique, histopathologique et histo-microbiologique comparative *in vivo* de la réponse pulpaire et périapicale au coiffage pulpaire et à la pulpotomie avec Biodentine (n=36) et MTA (n=24). A 04 mois, ils rapportent : Radiologiquement : La présence d'un pont dentinaire minéralisé à 96,8% avec Biodentine et 72,2% avec le MTA, l'intégrité de la lamina dura, l'absence de lésion périapicale et de résorptions interne et externe.
Histo-pathologiquement et histo-microbiologiquement : Présence d'un tissu minéralisé avec une sensibilité pulpaire conservée, une intégrité des odontoblastes, un ligament alvéolodentaire conservé et une absence de résorption et de micro-organismes dans les canaux. La morphologie du tissu formé est similaire pour les 02 matériaux. ***[330](De Rossi)***

Dans une évaluation histologique et immunohistochimique de la formation de dentine réparatrice après MTA, Biodentine et Bioaggregate *in vivo* (dents de rat), des cavités de classe I sur des molaires ont été coiffées avec les 03 matériaux. Les résultats suggèrent que Biodentine et Bioaggregate favorisent un environnement optimal pour la pulpe et leurs effets sont comparables à ceux induits par le MTA. Cependant, il existe des différences dans l'épaisseur et la morphologie du tissu de réparation induit en faveur de Biodentine et MTA. Le Biodentine et le Bioaggregate sont donc des matériaux favorables pour les thérapeutiques vitales et peuvent être considérés comme des alternatives au MTA ***[331](Kim)***

Dans une très récente publication (mai 2017), ***Itri*** après pulpotomie partielle et coiffage au Biodentine sur une 21, a procédé à la désobturation totale du matériau au contrôle d'une année (en accord avec la patiente), et a pu observer le pont dentinaire *in situ.* ***[332](Itri)***

6.1.4. TAUX DE SUCCES DES THERAPEUTIQUES DENTINAIRES SELON LES PERIODES DE CONTROLE POSTOPERATOIRE

Rappelons que toute thérapeutique de conservation de la vitalité pulpaire sur dent mature est couronnée de succès lorsque *:*

- *Cliniquement,* la dent est asymptomatique, répond aux tests de sensibilité pulpaire, absence de mobilité et de fistule et une réponse négative aux percussions.
- *Radiologiquement,* lorsque la lamina dura est intacte, absence d'élargissement desmodontal, absence de résorptions interne ou externe, absence de réaction périapicale et présence d'un tissu radio-opaque sous le matériau de coiffage. ***[277](Mente) ;[320](Taha) ;[293](Barrieshi-Nusair) ;[321](Vimi);[322](Çalışkan) ;[323](Linsuwanont) [324](Katge) ; [274](Al-Hiyasat) ; [325](Kunert)***

Nous avons associé nos résultats radiologiques aux résultats cliniques obtenus aux différentes séances de contrôle pour avancer les taux de succès suivants : ***(Tableau 5-53, page 194)***

- *A 02 mois, le taux enregistré est de* ***62,3% (38),***
- *À 03 mois, il est de* ***77% (47),***

- *À 06 mois, il est de* ***68,9% (42)***
- *À 12 mois, il est de* ***62,3% (38)***

L'évaluation et l'analyse de ces taux de succès selon les paramètres que nous avons étudiés nous donnent pour :

LE SEXE

Nous avons relevé, dans notre étude, selon le sexe, les taux de succès suivants :

- *A 02 mois* : ***59,09%(26)*** pour les femmes et ***70,58%(12)*** pour les hommes.
- *A 03 mois* : ***79,54%(35)*** pour les femmes et ***70,58%(12)*** pour les hommes.
- *A 06 mois* : ***70,45% (31)*** pour les femmes et ***64,70% (11)*** pour les hommes.
- *A 12 mois* : ***65,90%(29)*** pour les femmes et ***52,94%(9)*** pour les hommes.

De manière générale, les femmes ont enregistré plus de succès à toutes les périodes de contrôles sans doute, parce qu'elles ont été plus présentes aux différentes séances de contrôle. La recherche de lien entre les sexes masculin et féminin et le succès thérapeutique, ne retrouve aucune relation statistiquement significative. Autrement dit, les succès thérapeutiques ne sont pas liés au sexe du patient.

L'AGE

Nous avons relevé, dans notre étude, selon l'âge, les taux de succès suivants :

- *A 02 mois* : ***73,7%(28)*** pour les 16-26ans, ***18,4%(7)*** pour les 26-36ans et ***7,9%(3)*** âgés entre 36 et 46 ans.
- *A 03 mois* : ***74,5%(35)*** pour les 16-26ans***, 19,1%(9)*** pour les 26-36ans et ***6,4% (3)*** pour les 36-46ans,
- *A 06 mois* : ***76,2%(32)*** pour les 16-26ans***, 16,7% (7***) pour les 26-36ans et ***7,1% (3***) âgés entre 36 et 46 ans.
- *A 12 mois* : ***73,7% (28)*** pour les 16-26ans, ***18,4% (7***) pour les 26-36ans et ***7,9%(3)*** âgés entre 36 et 46 ans.

Les succès thérapeutiques chez les patients âgés entre 16 et 26 ans ont été dominants.
Nous n'avons pas retrouvé un lien statistiquement significatif entre l'âge de nos patients et les succès thérapeutiques. Ceci rejoint les résultats de nombreuses études qui ne retrouvent pas de différence statistiquement significative quant à l'âge des patients ***[333](Asgary); [277](Mente); [334](Auschill) [278](Miles) ; [335](Bansal)***
D'autres études, par contre, trouvent ce lien et le confirment par des différences significatives ***[310](Aguilar) ; [261](Bjørndal) ; [276](Dammaschke) ; [86] (Nair)***. Pour leurs auteurs, l'âge des patients est un facteur de succès.

LE TYPE DE DENTS ET DE CAVITES

A la base, dans notre échantillon, les molaires étaient plus nombreuses que les prémolaires, de même que pour les cavités occluso-proximales et dont la profondeur dépassait les 02 mm. Donc même en succès, nous retrouvons la même tendance, à savoir

- *A 02 mois* : ***76,3%(29)*** de molaires, ***42,1%(16)*** cavités occluso-proximales et ***89,5%(34)*** de cavités dont la profondeur dépassait les 2 mm.
- *A 03mois* : ***74,46%(35)*** de molaires, ***51,1%(24)*** cavités occluso-proximales et ***81,36%(40)*** de cavités dont la profondeur dépassait les 2 mm.
- *A 06 mois* : ***65,9%(31)*** de molaires, ***45,2%(19)*** cavités occluso-proximales et ***75,5%(37)*** de cavités dont la profondeur dépassait les 2 mm.
- *A 12 mois* : ***57,4%(27)*** de molaires, ***47,4%(18)*** cavités occluso-proximales et ***67,3%(33)*** de cavités dont la profondeur dépassait les 2 mm.

Des résultats similaires aux nôtres sont retrouvés dans la littérature *[277](Mente); [281](Mente).* Quant au type de dents, nous avons constaté qu'il n'existe aucune relation entre les dents et les succès thérapeutiques. Par contre, nous avons retrouvé une relation statistiquement significative (avec un *p=0,04)* entre la profondeur de la cavité et le succès de la thérapeutique au contrôle de 02 mois. Autrement dit, après 02 mois, les cavités dont la profondeur dépassait les 2mm et coiffées par Biodentine sont couronnées de succès plus que les cavités dont la profondeur était moins de 2mm.

La précision du type de dent a été, dans certaines études publiées, indiquée comme critère d'inclusion. Les molaires et particulièrement les mandibulaires ont été les plus concernées, sans doute pour des raisons de volume pulpaire et d'accessibilité. *[336](Bokhari) ; [324](Katge) [335](Bansal) ; [320](Taha),* alors que dans les études prospectives sur plusieurs années, et essais cliniques, l'échantillonnage est le plus souvent ouvert à tous types de dents *[181](Hashem); [93] (Bogen); [278](Miles).* Lorsque l'étiologie des dents traitées est traumatique, les dents sélectionnées sont des dents antérieures. Dans une étude de cas rapportés, ***Borkar*** fait état de quatre incisives traitées par pulpotomie au Biodentine *[183](Borkar)*

Miles, a comparé des sites occlusaux et des sites cervicaux de carie traités par coiffage pulpaire et n'a pas trouvé de différence statistiquement significative entre les deux. *[278](Miles)*

Cho, dans son étude sur les facteurs pronostiques des coiffages pulpaires, a retrouvé plus d'échecs thérapeutiques dans les cavités proximales qu'occlusales. Pour lui, « la dentine au niveau des parois axiales est plus perméable que celle du plancher pulpaire. Il est plus laborieux d'isoler la pulpe dans une cavité proximale de la contamination salivaire par rapport à la cavité occlusale. De même que cureter la cavité, appliquer un matériau de

coiffage et réussir une restauration étanche. Ce qui rend un site proximal moins favorable au succès qu'un site occlusal et peut affecter le pronostic de la pulpe » *[337](Cho)*

Al-Hiyasat a retrouvé dans son étude plus de succès pour les cavités occlusales. *[274](Al-Hiyasat).*

LA SENSIBILITE TRANSITOIRE

La sensibilité transitoire que nous avons constatée 24heures après la réalisation de nos thérapeutiques sur 12 dents, n'a pas d'influence sur leurs succès thérapeutiques, étant donné que nous n'avons pas retrouvé de relation statistiquement significative entre ces deux paramètres.

LES COIFFAGES PULPAIRES INDIRECTS

- *A 02 mois* : nous avons totalisé ***61,2%(30)*** de coiffages pulpaires indirects réussis.
- *A 03 mois* : nous avons totalisé ***77,5%(38)*** de coiffages pulpaires indirects réussis.
- *A 06 mois* : nous avons totalisé ***63,3%(31)*** de coiffages pulpaires indirects réussis.
- *A 12 mois* : nous avons totalisé ***57,1%(28)*** de coiffages pulpaires indirects réussis.

Le coiffage pulpaire indirect est la thérapeutique qui a montré le plus de succès à toutes les périodes de contrôle. Nous avons étudié la relation (Valeur *p*) entre les thérapeutiques de coiffages pulpaires directs et les thérapeutiques de coiffages pulpaires indirects à toutes les périodes de contrôle, et nous n'avons pas retrouvé de lien statistiquement significatif entre ces thérapeutiques et les succès constatés. Nos résultats sont corroborés par la plupart des auteurs qui ne retrouvent pas, comme nous, de lien entre les thérapeutiques de coiffages pulpaires directs et indirects.
Nous avons relevé dans la littérature quelques études concernant le coiffage pulpaire indirect au MTA et au Biodentine et leur taux de succès

Vimi et al évaluent le coiffage pulpaire indirect sur dents temporaires, pendant 6 mois sur 20 dents et constatent un seul échec *[321](Vimi)*

Petrou et al, dans une étude clinique et microbiologique sur 26 dents, avec un contrôle à 06 mois, montrent un taux de succès de 94,5% *[264](Petrou)*

Leye-Benoist, dans une étude comparative de coiffage pulpaire indirect, sur 30 dents coiffées au MTA, montre un taux de succès de 93% à 06 mois. *[263](Leye-Benoist)*

Bakopoulou et al réalisent des coiffages pulpaires indirects sur des molaires et des prémolaires permanentes matures, avec Biodentine en tant que substitut dentinaire sous des restaurations en résine composite (02 cas), sous des inlays en résine composite (02 cas) et sous des couronnes céramo-métalliques (02 cas), contrôlées à 6 mois et à un an. Les auteurs ne rapportent pas de complications. *[178](Bakopoulou)*

Spirollari, a rapporté deux cas de coiffages pulpaires indirects, réussis avec Biodentine sur des dents permanentes matures en tant que substitut dentinaire, contrôlées à 1an et 16 mois *[173](Spirollari)*

Levin, a réalisé des coiffages pulpaires indirects sur 9 dents permanentes matures, contrôlées cliniquement et radiologiquement à 03 mois, ne signale pas de complications. *[175](Levin)*

Denga, a procédé à une évaluation des coiffages pulpaires indirects chez des patients avec d'importants antécédents allergiques, sur une série de 21 dents et contrôlées à 12mois, révèle un suivi favorable. Les restaurations définitives, dans son étude, n'étaient pas immédiates *[177](Denga)*

Hashem et al, ont comparé l'efficacité de Biodentine avec un Ciment Verre Ionomère, dans une série de 33 dents, suivi jusqu'à 1an. Ils rapportent un taux de succès de 83,3% avec 06 échecs *[181](Hashem)*

L'étude clinique randomisé, qui a englobé le nombre le plus important de dents est celle de ***Koubi*** et al. Elle a évalué Biodentine™ en tant que substitut dentinaire sur 96 dents avec un suivi de 03 ans. 80 dents ont dû être réobturées avec une résine composite au bout de plusieurs mois et une dent a manifesté une carie secondaire.

L'utilisation de Biodentine en tant que matériau de coiffage pulpaire indirect n'était pas l'objectif principal de cette étude, donc la vitalité pulpaire n'était pas contrôlée. *[140](Koubi)*

Gruythuysen et al, dans une étude rétrospective, ont évalué le taux de survie des dents traitées par coiffages pulpaires indirect sur dents temporaires et permanentes et rapportent que le taux de survie est de 96% pour les dents temporaires et 93% pour les dents permanentes et concluent que le coiffage pulpaire indirect est une thérapeutique de choix pour la conservation de la vitalité pulpaire. *[260](Gruythuysen)*

Patel et al ont rapporté un cas de coiffage pulpaire indirect réussi en une seule séance avec Biodentine sur une dent de sagesse et suivi pendant une année. *[346](Patel)*

Les études cliniques concernant les coiffages pulpaires indirects, dans notre revue bibliographique, ([260](Gruythuysen); [140](Koubi); [263](Leye-Benoist); [321](Vimi) ; [264](Petrou) sont relativement peu nombreuses par rapport aux coiffages pulpaires directs ou pulpotomies ([86] (Nair) ; [338](Sajid) ; [339](Eskandarizadeh) ; [340](Tuna) ; [280](Hilton) ; [341](Kundzina) ; [342](Zhu), [343](Jang) ; [276](Dammaschke) ; [335](Bansal) ;[93] (Bogen); [278](Miles) [322](Caliskan) ; [191](Nowicka) ; [336](Bokhari) ;[324](Katge) ; [175](Levin) ; [277](Mente)), aussi bien pour le MTA que pour Biodentine.

Pour le MTA, nous avons retrouvé quelques-unes avec des séries de dents ne dépassant pas les trente et dans lesquelles le taux de succès est toujours plus que 93%.

*Pour le Biodentine, en dehors de l'étude de **Koubi** et al, qui a concerné une série de 96 dents sur une période de 03 ans, toutes les autres publications sont en rapport avec des échantillonnages réduits. Néanmoins, leur évaluation est également favorable.*

Par ailleurs, les résultats de notre étude vont dans le même sens que l'ensemble de ces publications. Nous avons eu 100% de succès dans tous les coiffages pulpaires indirects que nous avons réalisés avec Biodentine aux différents contrôles.

LES COIFFAGES PULPAIRES DIRECTS

Pour rappel, nous avons réalisé ***19,7% (12)*** de coiffages pulpaires directs. Les taux de succès sont les suivants :

- *A 02 mois* : nous avons totalisé ***66 ,6%(8)*** de coiffages pulpaires directs réussis.
- *A 03 mois* : nous avons totalisé ***75%(6)*** de coiffages pulpaires directs réussis.
- *A 06 mois* : nous avons totalisé ***91,6%(11)*** de coiffages pulpaires directs réussis.
- *A 12 mois* : nous avons totalisé ***83,3%(10)*** de coiffages pulpaires directs réussis

L'indication du coiffage pulpaire direct nous a été imposée au cours de la réalisation des coiffages pulpaires indirects, en raison de la trépanation accidentelle, jamais volontaire.
Au moment de cette trépanation accidentelle, nous nous sommes assuré que le saignement n'était pas très important, que les cavités étaient parfaitement isolées du milieu buccal et que la mise en place du matériau désigné s'est faite sans tarder.

Dans un essai clinique randomisé concernant les effets des coiffages pulpaires directs aux MTA, ***Jang*** rapporte un taux de succès de 86,9%. Le nombre de dents analysées était de 20/23. Il constate, par ailleurs, plus d'échec sur les cavités de classe V par rapport aux autres cavités *[343](Jang).*

Dans une évaluation clinique et radiologique à long terme des effets des coiffages pulpaires directs au MTA sur des molaires temporaires et permanentes immatures, ***Tuna*** rapporte 100% de succès à 24 mois. Le nombre de dents analysées était de 22/25 *[340](Tuna).*

Bansal et al ont réalisé une étude clinique sur les effets du coiffage pulpaire direct au MTA sur des dents permanentes, contrôlées à 24 mois. Le nombre de dents analysées était de 25/32. Ils rapportent un taux de succès de 83,3%. Cependant, aucune dent n'a manifesté de formation de pont dentinaire pendant toute la période de suivi. Les auteurs avancent, tout comme ***Farsi*** et ***Tuna*** que le succès radiologique n'est pas forcément la formation de pont dentinaire mais plutôt l'absence de lésions périapicales et de résorptions *[335](Bansal)*

Dans un essai clinique randomisé relatant l'efficacité des coiffages pulpaires directs au MTA sur des molaires permanentes, ***Kundzina*** rapporte un taux de succès de 85% à 3ans. Le nombre de dents analysées était de 33/33*. [341](Kundzina)*

Bogen et al, dans une étude clinique à long terme dans laquelle ils relatent un suivi de 9 ans de coiffages pulpaires directs au MTA en deux temps portant sur 53 dents matures et immatures, ont constaté un taux de succès de 100% à 6mois et à 1an. Le nombre de dents analysées était de 49/53 *[93] (Bogen)*

Dans une analyse rétrospective des effets des coiffages pulpaires directs au MTA, sur des dents matures, traitées par des étudiants en post-graduation au Département d'Endodontie de San Francisco, pendant 20 mois, ***Miles*** publie un taux de succès de 67,7% à 1an et 56,2% à 2ans. Le nombre de dents analysées était de 51 *[278](Miles)*

Sajid publie une étude clinique comparative de l'efficacité du MTA avec un Gold Standard en coiffage pulpaire direct sur des molaires permanentes dans laquelle il rapporte un taux de succès de 100% à 6 mois. Le nombre de dents analysées était de 30/30 *[338](Sajid)*

Dans une étude rétrospective (6ans), comparant les effets des coiffages pulpaires directs au MTA à un Gold Standard, sur des molaires, ***Çalışkan*** et al ont étudié les facteurs pronostiques après les coiffages pulpaires, et ont évalué le taux de succès à 85,9%. Le nombre de dents analysées était de 85/97 *[322](Çalışkan)*

Hilton et al ont réalisé un essai clinique randomisé comparant les effets des coiffages pulpaires directs au MTA à un Gold Standard sur des dents permanentes pendant 02 ans. Ils rapportent un taux de succès de 80,2%. Le nombre de dents analysées était de 195. *[280](Hilton)*

Nowika et al ont réalisé une étude clinique et histologique comparant les effets des coiffages pulpaires directs avec Biodentine et MTA sur des troisièmes molaires destinées à l'extraction dans un but orthodontique. L'évaluation clinique s'est faite à 06 semaines avant les extractions. Ils constatent que Biodentine a un taux de succès de 100%. Le nombre de dents analysées était de 11/11 *[191](Nowicka)*

Bokhari**,** dans une étude clinique comparative évaluant la douleur postopératoire (provoquée ou spontanée) suite à des coiffages pulpaires directs au MTA et au Biodentine à 1, 3 et 6 mois, rapporte que la majorité des patients n'ont pas présenté de douleurs postopératoires et qu'il n'existe pas de différence statistiquement significative entre les deux groupes étudiés. Biodentine, selon l'auteur, peut être recommandé comme matériau de coiffage au même titre que le MTA. *[336](Bokhari)*

Dans une évaluation clinique et radiologique comparant les effets des coiffages pulpaires directs au MTA et Biodentine sur des molaires permanentes chez des enfants âgés entre 7 et 9ans, ***Katge*** rapporte 100% de succès pour les deux biomatériaux à 6 et 12 mois. Le nombre de dents analysées était de 21/29 *[324](Katge)*

Levin, a réalisé des coiffages pulpaires directs au Biodentine, sur 37 dents permanentes matures, contrôlées cliniquement et radiologiquement à 03 mois, rapporte 04 échecs. *[175](Levin)*

Cutts, a rapporté deux cas de coiffages pulpaires directs réussis avec Biodentine, l'un sur une molaire permanente mature, l'autre sur une incisive immature, contrôlées à 03 et 06 mois. La dent immature a montré radiologiquement un début d'édification apicale *[192](Cutts)*

Différents cliniciens ont rapporté des cas de coiffages pulpaires directs avec Biodentine, sur des dents matures, contrôlées à 3, et 6 mois et dont le suivi a été favorable.
[188](Villat) : 1 dent ; *[178](Bakopoulou)*: 1 dent ; *[189](Groupy);* 1dent ; *[187](Firla)* : 1 dent; *[193](Ree)* **:** 2 dents **;** *[186](Cauwels)* : 2 dents ; *[176](Boutsiouki):* 1 dent; *[344](Petter)* : 1 dent ; *[345](Kaur):* 1 dent ; *[346](Patel) :* 1 dent

Borkar a rapporté 4 cas de pulpotomies avec Biodentine, sur des molaires permanentes matures, contrôlées jusqu'à 18mois, et dont le suivi était favorable. *[183](Borkar)*

Le coiffage pulpaire direct a été largement étudié avec de nombreux matériaux aussi bien *in vivo* qu'*in vitro*. Les études utilisant le MTA sont relativement récentes, nombreuses, avec des échantillonnages variables et des taux de succès importants validant ainsi la biocompatibilité du matériau ainsi que sa bonne tolérance biologique.

Pour ce qui est de Biodentine, les quelques études publiées montrent également des taux de succès intéressants et similaires à ceux du MTA.

Les coiffages pulpaires directs que nous avons réalisés, bien que peu nombreux, ont été couronnés de succès à 100%.

Au terme de cette étude descriptive des effets dentinogénétiques de Biodentine sur des dents permanentes matures, nous pouvons conclure que les succès liés à l'utilisation de ce biomatériau n'ont été influencé par aucun des paramètres que nous avons étudiés, étant donné que nous n'avons pas retrouvé de différence statistiquement significative entre les taux de succès et ces paramètres.
Nous pouvons avancer que les résultats obtenus sont comparables à ceux de la littérature largement consacrée au MTA.
En comparaison avec les quelques études réalisées sur Biodentine [177](Denga); [173](Spirollari) [140](Koubi); [175](Levin); [183](Borkar), nous constatons que nos résultats sont similaires.

6.2. Analyse de l'étude descriptive à l'Hydroxyde de Calcium (n=60)

6.2.1. CARACTERISTIQUES DEMOGRAPHIQUES

L'étude a porté sur 60 patients, répartis en ***73 ,3%(44)*** de femmes et ***26,6%(16)*** d'hommes.
L'âge moyen est de 22,1±5,1 ans, avec des extrêmes de 16 et 39 ans.
La répartition selon les tranches d'âge de 10ans nous donne un taux de ***78,3%(47)*** pour la première tranche (16-26ans), ***20%(12)*** pour la deuxième tranche (26-36ans) et à peine ***1,7% (1)*** pour les 36-46ans
Les 61 patients recrutés pour notre étude ne présentaient aucune pathologie d'ordre général, répondant ainsi aux critères d'inclusion.

6.2.2. CARACTERISTIQUES CLINIQUES PREOPERATOIRES

La répartition des dents traitées met en évidence un pourcentage élevé de molaire ***66,7% (40)*** par rapport à celui des prémolaires ***20%(12)***, celui des incisives ***11,7%(7)*** et des canines ***1,7% (1)***
La distribution de notre échantillon selon le type de cavités nous donne ***25%(15)*** de cavités occlusales, ***40% (24)*** de cavités occluso-proximales, ***11,7%(7)*** de cavités vestibulo-occlusales, ainsi que ***10%(6)*** de cavités proximales.
Le hasard a fait que les cavités dont la profondeur dépassait les 2mm étaient au même nombre que celles dont la profondeur était inférieure à 2mm ***50%(30)***
Nous avons relevé dans notre échantillon ***30% (18)*** de dents qui ont présenté une catégorie I de Baume, et ***70% (42)*** de dents qui ont présenté une catégorie II de Baume
Nous avons procédé à ***91,7%(55)*** de coiffages pulpaires indirects et ***8,3%(5)*** de coiffages pulpaires directs.

6.2.3. CARACTERISTIQUES CLINIQUES POSTOPERATOIRES

Nous avons réalisé les thérapeutiques indiquées selon le protocole établi et procédé à des contrôles postopératoires à J15 ; 1mois, 2, 3, 6 et 12 mois.

6.2.3.1. Contrôle postopératoire à 15 jours

Tous les patients pris en charge dans le cadre de cette étude ont répondu présents à ce contrôle. Nous avons procédé à un interrogatoire et réalisé des examens cliniques.
Pour les 60 patients de l'étude, ***13,3% (8)***, ont rapporté une sensibilité transitoire. Elle était présente dans ***16,7% (5)*** de cavités dont la profondeur dépassait les 2mm et ***10% (3)*** de cavités dont la profondeur était inférieure à 2mm. Le test statistique (*p*) a montré qu'il existe un lien entre la profondeur de la cavité et la survenue de sensibilité transitoire autrement dit la sensibilité transitoire se manifeste après traitement des cavités dont la profondeur dépassait les 2mm.

11,9%(5) des dents ayant manifesté une sensibilité transitoire présentaient un diagnostic positif de catégorie II de Baume, et ***16,7% (3)*** un diagnostic de catégorie I de Baume.

La recherche de lien entre la sensibilité transitoire et le diagnostic positif de la dent ne retrouve aucun lien statistiquement significatif.

12,7% (7) des dents ayant manifesté une sensibilité transitoire ont bénéficié d'un coiffage pulpaire indirect et ***20% (1)*** d'un coiffage pulpaire direct. Le test statistique montre qu'il existe un lien statistiquement significatif entre la thérapeutique réalisée en l'occurrence le coiffage pulpaire indirect et la survenue de sensibilité transitoire.

En résumé, la sensibilité transitoire se manifeste sur les dents dont *les cavités sont profondes et qui sont traitées par coiffage pulpaire indirect,*
« Nous devons rappeler que nous n'avons pas retrouvé dans la littérature, cette notion de sensibilité transitoire. »

6.2.3.2. Contrôle postopératoire à un mois

Les 60 patients de l'étude ont été revus à ce contrôle. L'examen clinique n'a pas rapporté de symptomatologie, les tests aux percussions ne révélaient aucune sensibilité. Les tests de sensibilité pulpaire réalisés sur les dents causales et adjacentes ont confirmé des pulpes vivantes. L'examen radiologique n'a révélé aucune particularité.

6.2.3.3. Contrôle postopératoires de deux à six mois

Les séances de consultation se sont déroulées de la même manière que pour celle d'un mois. Nous avons également et malheureusement constaté des absents qui n'ont pas répondu à nos rappels incessants et avons exclu des patientes qui ont déclaré des grossesses durant l'étude. (Précaution prise et citée dans le protocole). Ont été comptabilisés au contrôle de :

- 2 mois : 28 absents et 1 exclu,
- 3 mois : 20 absents et 1 exclu,
- 6 mois : 26 absents et 2 exclus,

L'examen clinique n'a pas rapporté de symptomatologie, les tests aux percussions ne révélaient aucune sensibilité. Les tests de sensibilité pulpaire réalisés sur les dents causales et adjacentes ont confirmé des pulpes vivantes.

6.2.3.4. Contrôle postopératoires de douze mois

Nous avons comptabilisé à cette séance de contrôle 29 absents et 5 exclues.
La séance s'est déroulée de la même manière que pour celle des autres mois. Cependant sur les 26 dents contrôlées à cette séance, nous avons retrouvé une molaire traitée par coiffage pulpaire indirect avec une fistule, une palpation vestibulaire sensible, des percussions axiale et transversale positives et une perte de sensibilité pulpaire. Nous l'avons déclaré comme un échec au traitement.

L'examen clinique des 25 dents restantes n'a pas rapporté de symptomatologie, les tests aux percussions ne révélaient aucune sensibilité. Les tests de sensibilité pulpaire réalisés sur les dents causales et adjacentes ont confirmé des pulpes vivantes.

« Nous devons rappeler que ce ne sont pas toujours les mêmes patients qui sont se sont absenté à toutes les séances. »

6.2.3.5. Examen radiologique et Apposition dentinaire

L'examen radiologique de toutes les dents à partir de 02 mois a donné les résultats suivants : **(Tableau 5-52, page 193)**

Au 2ème mois : ***36,7% (22)*** dents ont montré radiologiquement une couche partielle de tissu calcifié sous le matériau de coiffage, alors que ***15% (9)*** dents ont manifesté un début de formation de tissu calcifié.

Au 3ème mois : ***11,7% (7)*** de dents ont montré radiologiquement un début de formation de tissu calcifié sous le matériau de coiffage, alors que ***54,1% (32)*** dents ont manifesté une couche partielle sous le matériau de coiffage.

Au 6ème mois : ***15% (9)*** dents ont montré l'apposition d'une couche complète de tissu calcifié, alors qu'ils restaient ***38,3% (23)*** dents avec une couche partielle de tissu sous le matériau de coiffage.

Au 12ème mois : ***100%(25)*** des dents ont montré une apposition d'une couche complète de tissu calcifié, signe d'une cicatrisation complète.

Nos résultats corroborent ceux de la littérature quant à la formation du pont dentinaire après coiffages pulpaires à l'Hydroxyde de Calcium, en effet, il a la capacité d'induire la formation de dentine réparatrice *[36] (Cochet-Barril) ; [42] (Tziafas).* 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 *[29] (Mohammadi)*

Aeinehchi dans son étude histologique et comparative note à l'examen d'une semaine, et de 02 mois l'absence de tissu dur, par contre à 03 mois, il retrouve une épaisseur de 0,02µm ; à 06 mois, elle est de 0,15µm avec présence de calcifications *[33] (Aeinehchi)*

Accorinte, dans une évaluation histologique comparative des coiffages pulpaires à l'Hydroxyde de Calcium sur des prémolaires extraites à 30 et 60 jours rapporte que :
Le groupe CH-30 (dont les dents ont été extraites après 30 jours) présentait un pont de tissu dur complet dans 20 % des cas et un pont partiel dans 40 % des cas. Les 40 % des dents restantes de ce groupe ne présentaient pas de pont dentinaire
Le groupe CH-60, présentait un pont dentinaire dur complet dans 60 % des cas et un pont partiel dans 30 %. Les 10 % des dents restantes de ce groupe ne présentaient pas de pont dentinaire. *[69] (Accorinte)*

Modena et al, en comparant des coupes histologiques de la jonction entre l'Hydroxyde de Calcium et la pulpe, observent la formation d'un pont dentinaire complet, mais présentant des tubuli défectueux et des inclusions cellulaires. Ils rapportent, également, que les

« tunnels » observés 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 *[46] (Modena)*

L'étude histologique de ***Parolia*** rapporte qu'à 15j, 33% des dents montrent la formation d'un tissu calcifié, et à 45j, 83% des dents présentent un tissu cicatriciel sous l'Hydroxyde de Calcium, *[317](Parolia)*

Monea et al rapportent dans, leur évaluation histologique et comparative qu'à 4 et 6 semaines : Le pont dentinaire est complet dans respectivement 30 et 50% des dents. Pour sa morphologie, ils retrouvent une architecture similaire à la dentine secondaire physiologique avec présence de tubuli dentinaires dans respectivement 20 et 30% *[318](Monea)*

Briso, rapporte qu'un pont dentinaire complet est observé dans 7dents/19 avec une épaisseur de 16 à 800 µm, et 6 dents nécrosées *[329](Briso)*

Dans une étude comparative *in vivo* portant sur une série de dents de chien coiffées au MTA et à L'Hydroxyde de Calcium et extraites après 03 mois, ***Queiroz*** et al retrouvent, dans les deux groupes de dents, des ponts dentinaires d'excellentes qualités en regard de l'exposition pulpaire, avec présence d'une couche d'odontoblastes intactes, des fibroblastes et une quantité modérée de collagène, et ne retrouvent pas de cellules inflammatoires. *[347](Queiroz)*

Dans une étude Clinique et histologique comparative de la réponse pulpaire aux coiffages pulpaires directs avec l'Hydroxyde de Calcium, le WMTA et le GMTA sur dents humaines extraites après 30j, 60 et 90 jours, les résultats montrent que les trois matériaux secrètent de la dentine calcifiée avec des épaisseurs plus ou moins différentes à tous les temps de contrôle. *[339](Eskandarizadeh)*

Lors d'une analyse histologique, ***Sawicki*** et al ont étudié la réponse après coiffage pulpaire sur 44 prémolaires indemnes de carie chez des patients âgés de 10 à 18ans. Trente (30) dents ont été coiffées avec du MTA et quatorze (14) avec de l'Hydroxyde de Calcium. La durée moyenne de l'étude était de 138 jours (3mois ½). L'analyse a donné les résultats suivants :

- 22 dents coiffées par le WMTA ne présentaient pas ou peu d'inflammation dans la partie superficielle (73,33%) contre 7 (50%) coiffées à l'Hydroxyde de Calcium, et 29 (96,67%) dans la portion profonde pour le WMTA contre 12 (85,71%) pour l'Hydroxyde de Calcium.
- 28 dents coiffées par le WMTA ont obtenu un pont dentinaire complet (93,33%). 11 des 14 dents coiffées à l'Hydroxyde de Calcium ont développé un pont dentinaire (78,57%). La qualité des ponts dentinaires était comparable.

Les auteurs n'ont pas retrouvé de différence significative pour les deux matériaux, si ce n'est du point de vue de l'inflammation. Cette étude montre que le MTA génère des résultats légèrement plus favorables que ceux de l'Hydroxyde de Calcium. *[97] (Sawicki)*

6.2.4. TAUX DE SUCCES DES THERAPEUTIQUES DENTINAIRES SELON LES PERIODES DE CONTROLE POSTOPERATOIRE

Nous avons associé ces mêmes résultats radiologiques aux résultats cliniques obtenus aux différentes séances de contrôle pour avancer les taux de succès suivants : (**Tableau 5-54, page 194)**

- *A 02 mois, le taux enregistré est de **57,1% (31),***
- *À 03 mois, il est de **65% (39),***
- *À 06 mois, il est de **53,3% (32)***
- *À 12 mois, il est de **41,7% (25)***

L'évaluation et l'analyse de ces taux de succès selon les paramètres que nous avons étudié nous donnent pour :

LE SEXE

Nous avons relevé, dans notre étude, selon le sexe, les taux de succès suivants :

- *A 02 mois* : ***54,54%(24)*** pour les femmes et ***43,75%(7)*** pour les hommes.
- *A 03 mois* : ***65,90%(29)*** pour les femmes et ***62,50%(10)*** pour les hommes.
- *A 06 mois* : ***54,54% (24)*** pour les femmes et ***50% (8)*** pour les hommes.
- *A 12 mois* : ***43,18%(19)*** pour les femmes et ***37,50%(6)*** pour les hommes.

Les femmes ont enregistré plus de succès à toutes les périodes de contrôles. La recherche de lien entre les sexes masculin et féminin et le succès thérapeutique ne retrouve aucun lien statistiquement significatif.

L'AGE

Nous avons relevé, dans notre étude, selon l'âge, les taux de succès suivants :

- *A 02 mois* : ***53,19%(25)*** pour les 16-26ans et ***50%(6)*** pour les 26-36ans.
- *A 03 mois* : ***70,21%(33)*** pour les 16-26ans et ***50%(6)*** pour les 26-36ans.
- *A 06 mois* : ***59,57%(28)*** pour les 16-26ans et ***33,33% (4***) pour les 26-36ans.
- *A 12 mois* : ***48,93% (23)*** pour les 16-26ans et ***16,66% (2***) pour les 26-36ans. ***P=0,04***

Ce sont les patients dont l'âge est compris entre 16 et 26 ans qui ont marqué le plus de succès dans les thérapeutiques réalisées. Cependant, la recherche d'un lien entre les différentes tranches d'âge et les taux de succès des thérapeutiques a retrouvé une relation

statistiquement significative uniquement pour le contrôle de 12mois en faveur des patients âgés de 16-26ans.

les résultats de la littérature ne retrouvent pas de différence statistiquement significative et ceci quel que soit l'âge des patients *[273](Barthel); [277](Mente); [278](Miles); [335](Bansal) [248](Murray)*

LE TYPE DE DENTS ET DE CAVITES

Dans cet échantillon consacré à l'hydroxyde de Calcium, les molaires étaient également plus nombreuses que les prémolaires, de même que pour les cavités occluso-proximales. Par contre pour la profondeur des cavités, les taux étaient égaux entre celles qui dépassaient les 02 mm et celles dont la profondeur était plus de 2mm.

- *A 02 mois* : ***61,3%(19)*** de molaires, ***32,3%(10)*** cavités occluso-proximales et ***63,33%(19)*** de cavités dont la profondeur dépassait les 2 mm.
- *A 03mois* : ***66,7%(26)*** de molaires, ***35,9%(14)*** cavités occluso-proximales et ***70%(21)*** de cavités dont la profondeur dépassait les 2 mm.
- *A 06 mois* : ***65,5%(21)*** de molaires, ***34,4%(11)*** cavités occluso-proximales et ***60%(18)*** de cavités dont la profondeur dépassait les 2 mm.
- *A 12 mois* : ***72%(18)*** de molaires, ***32%(8)*** cavités occluso-proximales et ***46,66%(14)*** de cavités dont la profondeur dépassait les 2 mm

Les molaires, particulièrement les cavités occluso-proximales et avec des profondeurs qui dépassaient les 2 mm ont vu leur thérapeutiques de conservation de la vitalité pulpaire couronnées de succès sans aucune différence statistiquement significative. Nos résultats vont dans le même sens que ceux de la littérature *[265](Willershausen) ; [274](Al-Hiyasat), [273](Barthel); [277](Mente); [276](Dammaschke)*

Willershausen, dans une étude rétrospective des coiffages pulpaires directs à l'Hydroxyde de Calcium pendant 09 ans, portant sur une série de 1075 dents, a comparé les taux de succès entre les molaires, prémolaires et incisives et n'a pas trouvé de différence statistiquement significative. Par contre il rapporte que le taux de succès dépend de l'anatomie de la dent, autrement dit, plus la dent présente des parois manquantes, moins elle a de chance de conserver vivante la pulpe *[265](Willershausen)*

Dans une autre évaluation clinique des procédures de coiffages pulpaires directs sur une période de 05 ans portant sur 204 dents (193patients), ***Al-Hiyasat*** et al ont comparé les taux de succès selon différents sites : occlusal, proximal, occulso-proximal et mésio-occluso-distal et ont rapporté que plus le nombre de parois dentaires manquantes est important, plus le taux d'échec est important. Ils ont retrouvé plus d'échecs dans les cavités mésio-occluso-proximales que les cavités occlusales. *[274](Al-Hiyasat)*

Dans une troisième étude rétrospective évaluant les mêmes paramètres, portant sur une série de 123 dents, et une période de 10ans, ***Barthel*** et al ont rapporté qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les sites occlusaux et cervicaux. *[273](Barthel)*

Dammaschke et al, dans une étude portant évaluation à long terme des coiffages pulpaires directs à l'Hydroxyde de Calcium, sur dents humaines après exposition pulpaire iatrogénique, sur une période de 06 ans rapportent qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les types de dents, antérieures ou postérieures, maxillaires ou mandibulaires. *[276](Dammaschke)*

LES COIFFAGES PULPAIRES INDIRECTS

- *A 02 mois* : nous avons totalisé ***50,90%(28)*** de coiffages pulpaires indirects réussis.
- *A 03 mois* : nous avons totalisé ***65,45%(36)*** de coiffages pulpaires indirects réussis.
- *A 06 mois* : nous avons totalisé ***50,90%(28)*** de coiffages pulpaires indirects réussis.
- *A 12 mois* : nous avons totalisé ***38,18%(21)*** de coiffages pulpaires indirects réussis.

Pour notre étude, Le coiffage pulpaire indirect est la thérapeutique qui a montré le plus de succès à toutes les périodes de contrôles. Nous avons comparé les taux de succès des coiffages pulpaires directs et indirects à toutes les périodes de suivi et n'avons pas retrouvé de différence statistiquement significative entre les deux thérapeutiques. Bien menées, les deux thérapeutiques peuvent enregistrer des taux de succès aussi importants l'une que l'autre.
Par ailleurs, nous avons relevé dans la littérature quelques études concernant le coiffage pulpaire indirect à l'Hydroxyde de Calcium avec leur taux de succès.

Petrou et al, ont rapporté un taux de succès de 86,9% à 6 mois *[264](Petrou)*

Leye-Benoist, un taux de succès de 73% à 3 et à 06 mois. *[263](Leye-Benoist)*

Maltz**,** sur une période de 1-5ans, rapporte un taux de 97% de succès. Le nombre de dents analysées était de 32 dents *[348](Maltz)*

Dans une étude rétrospective**,** ***Barthel*** et al ont évalué cliniquement 123 dents, réparties en deux groupes, l'un avec des thérapeutiques datant de 5ans, l'autre datant de 10ans. Dans le premier groupe, ils ont relevé un taux de succès de 37% et un taux d'échec de 44,5% ; dans le second, un taux de succès de 13% et un taux d'échec de 79,7%. Pour les auteurs, ces résultats ne sont pas dus au matériau utilisé qui est l'Hydroxyde de Calcium, mais plutôt aux manques de suivis réguliers et aux vieillissements des restaurations qui perdent leur étanchéité au fil des années. *[273](Barthel)*

LES COIFFAGES PULPAIRES DIRECTS

Pour rappel, nous avons réalisé ***8,3% (5)*** de coiffages pulpaires directs. Les taux de succès sont les suivants :

- *A 02 mois* : nous avons totalisé ***60%(3)*** de coiffages pulpaires directs réussis.

- *A 03 mois* : nous avons totalisé ***60%(3)*** de coiffages pulpaires directs réussis.
- *A 06 mois* : nous avons totalisé ***80%(4)*** de coiffages pulpaires directs réussis.
- *A 12 mois* : nous avons totalisé ***80%(4)*** de coiffages pulpaires directs réussis

Al-Hiyasat en évaluant 204 dents rapporte un taux de succès de 59,3% entre 3 et 5ans. *[274](Al-Hiyasat)*

Sajid, à 6mois enregistre un taux de succès de 79,4%. Le nombre de dents analysées était de 30/30 *[338](Sajid)*

L'essai clinique randomisé de ***Kundzina*** relève un taux de succès de 52% à 3ans. Le nombre de dents analysées était de 37/37. *[341](Kundzina)*

Dammaschke et al rapportent, également sur une période de 06 ans rapportent un taux de succès de 80,2%. Le nombre de dents analysées était de 199/248. Cependant, Ils ne parlent pas d'échec mais de traitement non favorable *[276](Dammaschke)*

Sur les 1075 dents contrôlées entre 3 mois et 9ans, ***Willershausen*** rapporte un taux de succès de 80,1% à 1an, 75,2% à 2ans et 58,7% à 9ans. Il établit un lien entre la restauration définitive et les taux de succès. Il a ainsi constaté, que les restaurations à l'Amalgame d'Argent ont présentées plus de succès que les restaurations aux résines composites et aux CVI. C'est ce qui explique, selon lui, cette baisse de taux de succès au fil des 09 années *[265](Willershausen)*

Tuna a rapporté, dans son étude sur dents temporaires et permanentes, un taux de succès de 100% à 24 mois. Le nombre de dents analysées était de 20/25. L'auteur recommande le MTA pour les coiffages pulpaires directs sur dents temporaires. *[340](Tuna)*

De nombreuses autres études cliniques, récentes et moins récentes, concernant les réactions des coiffages pulpaires à l'Hydroxyde de Calcium existent dans la littérature avec des taux de succès variables. Il est impossible de comparer ces taux de succès étant donné que d'un côté la taille de l'échantillonnage n'est pas la même, et d'un autre côté les périodes de suivis ne sont pas équivalentes.

Cependant, la biocompatibilité et la tolérance biologique de l'Hydroxyde de Calcium sont reconnues et validées par la communauté scientifique aussi bien cliniquement, radiologiquement qu'histologiquement.

Au terme de cette étude descriptive à l'Hydroxyde de Calcium sur des dents permanentes matures, nous pouvons avancer que nos résultats rejoignent ceux de la littérature quant aux succès liés à l'utilisation de ce biomatériau. En effet, les taux de succès générés ne sont influencés par aucun des paramètres que nous avons étudié étant donné que nous n'avons pas retrouvé de différence statistiquement significative entre les taux de succès et ces paramètres.

6.3. Analyse et discussion de l'étude comparative au Biodentine et à l'Hydroxyde de Calcium (n=121)

LE GROUPE BIODENTINE

Nous y avons relevé ***50,4% (61)*** de dents, pour lesquelles nous avons réalisé ***80,3%(49)*** de coiffages pulpaires indirects et ***19,7% (12)*** de coiffages pulpaires directs.

LE GROUPE HYDROXYDE DE CALCIUM

Nous avons répertorié ***49,5% (60)*** de dents, pour lesquelles nous avons réalisé ***91,7%(55)*** de coiffages pulpaires indirects ainsi que ***8,3%(5)*** de coiffages pulpaires directs.

6.3.1. CARACTERISTIQUES CLINIQUES POSTOPERATOIRES

Nous avons réalisé les thérapeutiques indiquées selon le protocole établi et procédé à des contrôles postopératoires à J15 ; 1mois, 2, 3, 6 et 12 mois.

6.3.1.1. Contrôle postopératoire à quinze jours (n=121)

Tous les patients pris en charge dans le cadre de notre étude ont répondu présents à ce contrôle. Nous avons procédé à un interrogatoire et réalisé des examens cliniques.

Pour les 96 patients de l'étude (121 dents), ***16,53% (20)***, ont rapporté une sensibilité transitoire. Elle était présente dans ***21,5% (17)*** de cavités dont la profondeur dépassait les 2mm et ***7,1% (3)*** de cavités dont la profondeur était inférieure à 2mm. Le test statistique a montré qu'il existe un lien entre la profondeur de la cavité et la survenue de sensibilité transitoire.

15,5%(15) des dents ayant manifesté une sensibilité transitoire présentaient un diagnostic positif de catégorie II de Baume, et ***20,8% (5)*** un diagnostic de catégorie I de Baume. La recherche de lien entre la sensibilité transitoire et le diagnostic positif de la dent ne retrouve aucun lien statistiquement significatif.

13,5% (14) des dents ayant manifesté une sensibilité transitoire ont bénéficié d'un coiffage pulpaire indirect et ***35,3% (6)*** d'un coiffage pulpaire direct. Le test statistique montre qu'il existe un lien entre la thérapeutique réalisée et la survenue de sensibilité transitoire.

En résumé, lorsqu'il s'agissait de cavités dont la profondeur dépassait les 2mm et traitées par coiffage pulpaire indirect, le patient ressentait une légère sensibilité transitoire dans les 24 heures qui ont suivi l'intervention.

6.3.1.2. Contrôle postopératoire à un mois

Les 121 patients de l'étude ont été revus à ce contrôle. L'examen clinique n'a pas rapporté de symptomatologie, les tests aux percussions ne révélaient aucune sensibilité. Les tests de sensibilité pulpaires réalisés sur les dents causales et adjacentes ont confirmé des pulpes vivantes. L'examen radiologique n'a révélé aucune particularité.

6.3.1.3. Contrôle postopératoires de deux à six mois

Les séances de consultation se sont déroulées de la même manière que pour celle d'un mois. Nous avons malheureusement constaté des absents qui n'ont pas répondus à nos rappels incessants et avons exclu des patientes qui ont déclaré des grossesses durant l'étude. (Précaution prise et citée dans le protocole).

Ont été comptabilisés au contrôle de :

- 2 mois : 51 absents et 1 exclu,
- 3 mois : 34 absents et 1 exclu,
- 6 mois : 44 absents et 3 exclus,

L'examen clinique n'a pas rapporté de symptomatologie, les tests aux percussions ne révélaient aucune sensibilité. Les tests de sensibilité pulpaire réalisés sur les dents causales et adjacentes ont confirmé des pulpes vivantes.

6.3.1.4. Contrôle postopératoires de douze mois

Nous avons comptabilisé à cette séance de contrôle 48 absents et 8 patientes exclues.

La séance s'est déroulée de la même manière que pour celle des autres mois. Cependant sur les 64 dents contrôlées à cette séance, nous avons noté qu'une molaire traitée par coiffage pulpaire indirect à l'Hydroxyde de Calcium a présenté une fistule, une palpation vestibulaire sensible, des percussions axiale et transversale positives et une perte de sensibilité pulpaire. Nous l'avons déclaré comme un échec au traitement.

L'examen clinique des 63 dents restantes n'a pas rapporté de symptomatologie, les tests aux percussions ne révélaient aucune sensibilité. Les tests de sensibilité pulpaires réalisés sur les dents causales et adjacentes ont confirmés des pulpes vivantes

***« Nous devons préciser, dans le cadre des suivis postopératoires, que ce ne sont pas toujours les mêmes patients qui étaient absents à toutes les séances*. »**

6.3.1.5. Examen radiologique et Apposition dentinaire (n=121)

L'examen radiologique de toutes les dents à partir de 02 mois a donné les résultats suivants :

Au 2ème mois : ***43%(52)*** dents ont montré radiologiquement une couche partielle de tissu calcifié sous le matériau de coiffage, alors que ***14%(17)*** dents ont manifesté un début de formation de tissu calcifié.

Au 3ème mois : ***8,3%(10)*** de dents ont montré radiologiquement un début de formation de tissu calcifié sous le matériau de coiffage, alors que ***63,6%(76)*** dents ont manifesté une couche partielle sous le matériau de coiffage.

Au 6ème mois : ***22,3%(27)*** dents ont montré l'apposition d'une couche complète de tissu calcifié, alors qu'ils restaient ***38,8%(47)*** dents avec une couche partielle de tissu sous le matériau de coiffage.

Au 12ème mois : ***100%(63)*** des dents ont montré une apposition d'une couche complète de tissu calcifié, signe d'une cicatrisation complète.

Tableau 6-1 : Degrés d'apposition de tissu calcifié sous le matériau de coiffage (n=121)

Suivis	**Degré 1** n(%)	**Degré 2** n(%)	**Degré 3** n(%)	**Total n(%)**
2 Mois	17(14)	52(43)	-	69(100)
3 Mois	10(8,3)	76(63,6)	-	86(100)
6 Mois	-	47(38,8)	27(22,3)	74(100)
12 Mois	-	-	63(100)	63(100)

(-) : aucune image

Nos résultats vont dans le même sens que de nombreuses études histologiques comparatives du MTA, Biodentine et l'Hydroxyde de Calcium

En effet, dans un essai clinique relatif à l'évaluation qualitative et quantitative de la réponse pulpaire au MTA et à l'Hydroxyde de Calcium suite à des pulpotomies, ***Nair*** et al rapportent les résultats suivants :

- Groupe MTA : à 1 mois, sur 6 dents analysées, 3 présentent un pont dentinaire complet le long de l'exposition pulpaire et les 3 autres un pont partiel. À 3 mois, 5 dents montrent un pont dentinaire complet et 1, un pont partiel
- Groupe $CaOH_2$: à 1mois, une dent montre un pont dentinaire complet et 5 montrent un pont partiel. A 3mois, 4 dents montrent la présence de cellules inflammatoires, et les 6 dents montrent un pont dentinaire partiel.

Par ailleurs, cette étude met en évidence une différence dans la qualité du pont dentinaire formé. Sous le MTA, il est dense, épais et avec des tubuli dentinaires réguliers, tandis que sous l'Hydroxyde de Calcium le pont dentinaire est plus fin, plus irrégulier et parcouru de tubuli défectueux le fragilisant. Le MTA procure donc selon l'auteur un résultat plus reproductible permettant une inflammation pulpaire significativement moindre, et est donc à privilégier *[86] (Nair)*

Tran et al, constatent les mêmes différences dans la qualité des ponts dentinaires formés après application de l'Hydroxyde de Calcium et du MTA, mais également de Biodentine. Les deux ciments aux silicates tricalciques n'ont d'après leurs résultats pas de différence significative dans leur induction d'un pont dentinaire homogène et structuré.

- Après 7 jours, pour les échantillons coiffés avec du MTA et du Biodentine™, les fibres de collagène s'organisent en paquets au niveau du site d'exposition pulpaire. Après 2 semaines sur ces mêmes échantillons, une dentine réparatrice homogène est observée sous les matériaux en continuité avec la dentine adjacente. Pour les

échantillons coiffés à l'Hydroxyde de Calcium, la dentine réparatrice est de structure poreuse, avec des inclusions.

- A 1 mois, pour les échantillons coiffés avec du MTA et du Biodentine™, ils observent un pont dentinaire continu et des tubuli bien distincts, alors qu'avec les échantillons coiffés à l'Hydroxyde de Calcium, le pont dentinaire est de structure hétérogène *[146](Tran)*

***Shayegan** et al*, dans une étude *in vivo* ont analysé les réactions pulpaires de dents temporaires de cochons après pulpotomie. Les dents ont été obturées par du formocrésol, du MTA, et du Biodentine™ ensuite extraites à une semaine, un mois, et 3 mois. Un début de calcification est observé au niveau de la pulpe radiculaire au bout d'une semaine pour les dents obturées avec le Biodentine™ et le MTA. Au bout de trois mois, le pont dentinaire est complètement formé. *[195](Shayegan)*

Au vu de ces études histologiques, nous pouvons avancer que nos résultats sont superposables à ceux de la littérature même si nous n'avons pas pu quantifier l'épaisseur de cette apposition dentinaire.

6.3.2. TAUX DE SUCCES DES THERAPEUTIQUES DENTINAIRES SELON LES PERIODES DE CONTROLE POSTOPERATOIRE

Nous avons associé nos résultats radiologiques aux résultats cliniques obtenus aux différentes séances de contrôle pour avancer les taux de succès suivants :

- *A 02 mois, le taux enregistré est de **57,1% (69),***
- *À 03 mois, il est de **71,1% (86)**,*
- *À 06 mois, il est de **61,1% (74)***
- *À 12 mois, il est de **52,9% (64)***

De nombreux biomatériaux ont été utilisés dans les thérapeutiques de conservation de la vitalité pulpaire. Selon la littérature, les plus favorables sont le MTA et l'Hydroxyde de Calcium compte tenu de leur capacité d'induire la formation de pont dentinaire et de dentine réparatrice.

De nombreuses études ont montré, histologiquement que le MTA peut induire la formation d'un pont dentinaire plus épais que celui induit par l'Hydroxyde de Calcium considéré comme le Gold Standard *[276](Dammaschke) ; [97] (Sawicki).* **C**ependant, d'autres études ont montré qu'il n y a pas de différence statistiquement significative entre les 02 matériaux sur les dents humaines *[66] (Iwamato); [263](Leye-Benoist)*

Certaines autres études ont conclu que le MTA est meilleur que l'Hydroxyde de Calcium dans les coiffages pulpaires directs. Cependant, la plupart d'entre elles ne sont pas des essais cliniques randomisés et contrôlés et dans lesquelles certains facteurs analysés sont des

facteurs de confusion tels que la taille de l'exposition et le statut pulpaire. Ces études demeurent non convaincantes. D'ailleurs certaines ont montré la performance de l'Hydroxyde de Calcium par rapport au MTA *[66] (Iwamato); [340](Tuna)*

Zhu met en avant le coût de l'Hydroxyde de Calcium qui est nettement inférieur à celui du MTA *[342](Zhu)*

Dans une étude rétrospective sur 06 ans comparant les résultats des coiffages pulpaires directs au MTA et à l'Hydroxyde de Calcium, les auteurs rapportent des taux de succès variables. Pour le groupe MTA : le taux de succès est de 78%, le nombre de dents analysées était de 54/69. Pour le groupe CaOH2, le taux de succès est de 60%. Le nombre de dents analysées était de 32/53. Les auteurs recommandent de réaliser les restaurations définitives immédiatement afin d'augmenter les chances de succès *[277](Mente).*

Une étude comparative, évaluant la cytotoxicité *in vitro* de différents matériaux de coiffage à savoir quatre (4) à base d'Hydroxyde de Calcium, deux (2) MTA et Biodentine, prouve que Biodentine et MTA montrent peu de cytotoxicité par rapport aux matériaux à base d'Hydroxyde de Calcium d'une part et que d'autre part, Biodentine montre un haut pourcentage de cellules biocompatibles *[157](Poggio)*

Une récente évaluation clinique et radiologique des coiffages pulpaires directs comparant MTA et Biodentine sur une période de 06 mois a concerné 24 dents (12 dans chaque groupe). Quatorze (14) avaient des sites occlusaux et dix (10) des sites proximaux. A trois (03) mois, les auteurs ont rapporté 02 échecs pour le groupe Biodentine et un (1) pour le groupe MTA (douleurs spontanées). Au bout de 06 mois, les taux de succès ont été de 91,7% pour le groupe MTA et 83,3% pour le groupe Biodentine avec formation d'un pont dentinaire sur quatre (04) dents, deux (02) de chaque groupe. Les auteurs ont conclu que les deux matériaux sont favorables au maintien de la vitalité pulpaire. *[349](Hegde)*

De nombreux résultats de la littérature au sujet de la comparaison clinique et radiologique du MTA et de l'Hydroxyde de Calcium sur dents permanentes matures et immatures et dents temporaires sont en faveur du MTA, même si les taux de succès sont parfois équivalents *[341](Kundzina) [340](Tuna) ;[339](Eskandarizadeh) [277](Mente) ; [338](Sajid) ;[322](Çalışkan)*

Pour notre étude

LE SEXE

Nous avons relevé, dans notre étude, selon le sexe, les taux de succès suivants :

- *A 02 mois* : ***71,42%(50)*** pour les femmes et ***73,07%(19)*** pour les hommes.
- *A 03 mois* : ***91,42%(64)*** pour les femmes et ***84,61%(22)*** pour les hommes.
- *A 06 mois* : ***78,57% (55)*** pour les femmes et ***73,07% (19)*** pour les hommes.
- *A 12 mois* : ***68,57%(48)*** pour les femmes et ***57,69%(15)*** pour les hommes.

La présence féminine est dominante dans toutes les séances de contrôles postopératoires par rapport à la présence masculine qui est un peu moins importante.
Par ailleurs, la comparaison des taux de succès entre les femmes et les hommes ne retrouve pas de relation statistique significative.

L'AGE

Nous avons relevé, dans notre étude, selon l'âge, les taux de succès suivants :

- *A 02 mois* : ***74,5%(38)*** pour les 16-26ans, ***19,6%(10)*** pour les 26-36ans et ***5,9%(3)*** âgés entre 36 et 46 ans.
- *A 03 mois* : ***72,2%(48)*** pour les 16-26ans***, 19%(12)*** pour les 26-36ans et ***4,8% (3)*** pour les 36-46ans,
- *A 06 mois* : ***77,8%(42)*** pour les 16-26ans***, 16,6% (9***) pour les 26-36ans et ***5,6% (3***) âgés entre 36 et 46 ans.
- *A 12 mois* : ***78,3% (36)*** pour les 16-26ans, ***15,2% (7***) pour les 26-36ans et ***6,5%(3)*** âgés entre 36 et 46 ans.

Nous avons également étudié la relation entre l'âge et les succès thérapeutiques et avons constaté que nos résultats vont dans le même sens que ceux cités dans la littérature, à savoir l'absence de lien statistique significatif entre ces deux paramètres.

TYPE DE DENTS ET DE CAVITES

- *A 02 mois* : ***55,17%(48)*** de molaires, ***37,7%(26)*** cavités occluso-proximales et ***67,08%(53)*** de cavités dont la profondeur dépassait les 2mm.
- *A 03mois* : ***70,11%(61)*** de molaires, ***44,2%(38)*** cavités occluso-proximales et ***77,21%(55)*** de cavités dont la profondeur dépassait les 2mm.
- *A 06 mois* : ***59,77%(52)*** de molaires, ***40,5%(30)*** cavités occluso-proximales et ***69,62%(55)*** de cavités dont la profondeur dépassait les 2mm.
- *A 12 mois* : ***51,72%(45)*** de molaires, ***41,3%(26)*** cavités occluso-proximales et ***59 ,49%(47)*** de cavités dont la profondeur dépassait les 2mm.

De même que pour le type de dent et le type de cavités, il n'existe aucun lien entre eux et les succès thérapeutiques.

PROFONDEUR DE LA CAVITE

La profondeur des cavités présente une influence sur les succès thérapeutiques à toutes les périodes de suivi étant donné que la comparaison des succès thérapeutiques entre les cavités dont la profondeur dépassait les 2 mm et les cavités moins profondes a retrouvé une relation statistiquement significative à toutes les séances de contrôles postopératoires.

Autrement dit, que les succès sont plus évidents quand la cavité est profonde, sans doute parce que le matériau est à proximité de la pulpe.

FACTEUR : DIAGNOSTIC POSITIF

Nous avons également comparé les taux de succès entre les dents présentant une catégorie I de Baume ou une catégorie II de Baume à toutes les périodes de suivis et nous n'avons pas trouvé de relation statistiquement significative entre les deux diagnostics.

COIFFAGE PULPAIRE DIRECT ET INDIRECT

Par ailleurs, la comparaison des taux de succès entre les coiffages pulpaires directs et indirects à toutes les périodes de contrôles montre que jusqu'à 03 mois, il n'existe pas de lien direct entre eux. Par contre, à partir de 06 mois et plus, nous retrouvons une relation statistiquement significative en comparant les deux thérapeutiques, autrement dit que les coiffages pulpaires directs réussissent un peu moins que les coiffages pulpaires indirects à partir de 06 mois.

SENSIBILITE TRANSITOIRE

Nous avons constaté que la sensibilité transitoire que certains de nos patients ont rapportée dans les 24 heures qui ont suivi nos thérapeutiques présente une influence sur les succès thérapeutiques au cours des 03 premiers mois postopératoires étant donné le lien statistique significatif que nous avons retrouvé.

6.3.3. TAUX DE SUCCES GLOBAL DES THERAPEUTIQUES DENTINAIRES SELON LE BIOMATERIAU UTILISE

Au terme de cette étude comparative, nous avons enregistré les taux de succès suivants :

- *A 02 mois,* ***62,29%(38)*** *avec Biodentine et* ***51,66%(31)*** avec $CaOH_2$
- *À 03 mois,* ***77,04%(47)*** *avec Biodentine et* ***65%(39)*** avec $CaOH_2$
- *À 06 mois,* ***68,85%(42)*** *avec Biodentine et* ***53,33%(32)*** avec $CaOH_2$
- *À 12 mois,* ***62,28%(38)*** *avec Biodentine et* ***41,66%(25)*** avec $CaOH_2$, ***(p=0,03)***,

De ce fait, nous pouvons avancer que par rapport :

Aux matériaux :

- Pendant les six premiers mois, le choix du biomatériau de coiffage pulpaire ne présente aucune influence sur les taux de succès des thérapeutiques.
- Par contre, à partir de 12 mois, Biodentine est significativement associé au succès des thérapeutiques dentinogènes.

Aux paramètres étudiés : les succès sont également plus manifestes au cours

- Des coiffages pulpaires indirects : En effet, *à partir de 06 mois où nous avons une certitude de succès pour les coiffages pulpaires indirects. Nous n'avons pas retrouvé dans la littérature de comparaison entre coiffages pulpaires directs et indirects, par contre nous en avons retrouvé entre les coiffages pulpaires (directs et indirects) et les pulpotomies (partielle et totale) avec le MTA et l'Hydroxyde de Calcium.*

Dans cette revue de la littérature, de 1978 à 2014, ***Akhlaghi*** *et al concluent que les taux de succès des thérapeutiques de coiffages pulpaires directs et indirects sont plus importants avec le MTA qu'avec l'Hydroxyde de Calcium alors que pour les thérapeutiques de pulpotomie partielle et totale, les taux de succès avec les deux matériaux sont similaires.* ***[350](Akhlaghi)***

- Des cavités avec une profondeur dépassant les 2mm : la profondeur de la cavité est largement impliquée dans les succès thérapeutiques. Plus la cavité est profonde, plus les succès thérapeutiques sont réels. Ceci s'explique par le fait que plus le matériau est proche de la pulpe, plus elle manifeste une réponse positive et rapide.

- La survenue de sensibilité transitoire dans les 24h qui suivent la thérapeutique peut mettre en jeu le succès du traitement : Au cours des 03 premiers mois postopératoires. Autrement dit, les thérapeutiques des dents n'ayant pas présenté de sensibilité transitoire ont plus de chance d'être couronnées de succès.

Comme précédemment expliqué, l'analyse en sous-groupe, en complément à notre résultat principal, a émis les hypothèses suivantes :

6.3.4. COMPARAISON DE SOUS-GROUPE BIODENTINE ET HYDROXYDE DE CALCIUM

La comparaison de sous-groupe a abouti à des résultats suggestifs par rapport à certains paramètres.

Il se trouve que pour les facteurs : *sexe, profondeur de la cavité, survenue de sensibilité transitoire et thérapeutique réalisée*, il n'existe aucune relation directe entre les succès thérapeutiques obtenus avec Biodentine ou avec l'Hydroxyde de Calcium.

Nous pouvons supposer que les succès thérapeutiques générés par Biodentine sont certains

- Pour *la tranche d'âge 16-26ans* et après un an de suivi, ***(p=0,023)***
- *Pour les prémolaires* après 3, 6 et 12 mois ***(p=0,002 et 0,05)***
- De même que pour les dents présentant un diagnostic positif de *catégorie II de Baume*, aux contrôles de 03 et 12 mois, ***(p=0,04)***

« Apexogénèse après application d'un biomatériau à base de silicate tricalcique »

La deuxième étude, ***« Apexogénèse après utilisation d'un Biomatériau à base de silicate tricalcique »*** que nous avons réalisée au service d'Odontologie Conservatrice/Endodontie d'Oran a également duré 03 ans de 2013 à 2015 et a porté sur 27 actes réalisés chez 18 enfants âgés entre 7 et 11 ans. Les actes réalisés étaient des thérapeutiques d'apexogénèse sur dents permanentes immatures vivantes. Le matériau utilisé est le Biodentine.

6.4. ANALYSE DE L'ETUDE DE SUIVI DE L'APEXOGENESE (n=27)

6.4.1. CARACTERISTIQUES DEMOGRAPHIQUES

Au cours de la période de notre étude, nous avons pu recruter 18 enfants. *L'âge moyen de ces enfants est de 8,6 ± 1an, avec des extrêmes de 7 et 11ans.* Leur répartition selon les tranches d'âge [moins de 10 ans] et [10 ans et plus] nous donne ***94,4%(17)*** pour la première tranche d'âge et ***5,6% (1)*** pour la deuxième. Cette prédominance pour les moins de 10ans est certainement due au fait que l'enfant à cet âge est turbulent, et plus à même de subir des traumatismes, notamment à l'école d'un côté, et d'un autre côté, il maîtrise mal son hygiène bucco-dentaire, d'où la fréquence de caries dentaires sur les dents permanentes immatures, particulièrement les dents de 06 ans.

La distribution selon le sexe nous donne ***38,9% (7)*** de garçons et ***61,1% (11)*** de fillettes.

Les 18 enfants que nous avons colligés ne présentaient aucune pathologie d'ordre général, répondant ainsi aux critères d'inclusion.

6.4.2. CARACTERISTIQUES CLINIQUES PREOPERATOIRES (N=27)

Nous avons relevé, dans notre étude ***66,7%(18)*** d'incisives et ***33 ,3%(9)*** de molaires. Cette inégalité semble aller de pair avec la fréquence de dents atteintes en fonction de l'âge. Nous n'avons pas exclu intentionnellement les canines et les prémolaires.

Nous avons choisi, volontairement d'exprimer les diagnostics positifs en catégorie II de Baume, en fracture coronaire non pénétrante et en fracture coronaire pénétrante. Ceci sous-entend une étiologie carieuse ou traumatique. Il y a dans tous les cas, une mise à nu des tubuli dentinaires à des degrés différents et qu'il faut protéger.

Les données de la littérature parlent plutôt de pathologies pulpaires irréversibles d'origine traumatique ou carieuse.

Pour notre étude, nous avons ***40,7% (11)*** de dents présentant des fractures coronaires non pénétrantes, ***25,9% (7)*** de dents présentant des fractures coronaires pénétrantes et ***33,3% (9)*** de dents atteintes de catégorie II de Baume.

La répartition des types de dents selon les diagnostics positifs va dans le même sens, et nous donne ***61,1%*** d'incisives avec un diagnostic positif de fracture coronaire non pénétrante, et ***38,9%*** d'incisives avec un diagnostic de fracture coronaire pénétrante, et ***100% (9)*** des molaires présentaient une catégorie II de Baume.

Ceci nous permet d'avancer que pour les dents antérieures, l'étiologie est traumatique, alors que pour les molaires, l'étiologie est carieuse.

Selon l'International Association of Dental Traumatology (IADT), Le traitement d'une exposition pulpaire sur dent immature peut-être soit un coiffage pulpaire direct soit une

pulpotomie (partielle ou totale). Le choix entre ces différentes thérapeutiques est fonction de :

- La taille de l'exposition
- L'intervalle de temps entre le traumatisme et la prise en charge du jeune patient.
- Le degré de maturité de la dent.

Une pulpotomie (partielle ou totale) est indiquée dans le cas d'une exposition pulpaire pouvant aller jusqu'à 168 heures (7jours) et d'étendue supérieure à 1,5mm *[351](IADT)*

Au cours de notre étude, nous avons réalisé ***81,5%(22)*** de pulpotomie partielle et ***18,5%(5)*** de pulpotomie totale. Nous n'avons pas réalisé de coiffages pulpaires directs étant donné que tous les enfants ont consulté en moyenne 03 à 04 jours après le traumatisme.

La répartition des thérapeutiques que nous avons réalisée selon le diagnostic positif posé montre que la pulpotomie partielle a été réalisé sur des dents appartenant aux trois catégories de diagnostic positif, mais à des pourcentages différents : 55,6% (5) pour le diagnostic de la Catégorie II de Baume, 90,9% (10) pour le diagnostic de fracture coronaire non pénétrante et 100% (7) pour le diagnostic de fracture coronaire pénétrante.

La pulpotomie totale, quant à elle, a été réalisé sur 44,4% (4) de dents présentant une catégorie II de Baume, et 9,1% (1) de dent avec fracture coronaire non pénétrante.

6.4.3. CARACTERISTIQUES CLINIQUES POSTOPERATOIRES

Nous avons réalisé les thérapeutiques indiquées sur les 27 dents selon le protocole opératoire établi et procédé à des contrôles postopératoires clinique et radiographique à 15J, 1mois, 2, 3, 6 et 12 mois.

6.4.3.1. Contrôle postopératoire à quinze jours

Les enfants pris en charge dans le cadre de cette étude, ont tous été revus à 15 jours. Nous avons procédé à un interrogatoire et réalisé des examens cliniques de contrôle. Aucune particularité n'a été relevée.

6.4.3.2. Contrôle postopératoire à un mois

Les 18 enfants de l'étude ont été revus à ce contrôle. L'examen clinique n'a pas rapporté de symptomatologie, les tests aux percussions ne révélaient aucune sensibilité. Les tests de sensibilité pulpaire réalisés sur les dents causales et adjacentes ont confirmé des pulpes vivantes.
L'examen radiologique n'a révélé aucune particularité.

6.4.3.3. Contrôle postopératoire à deux mois

Les consultations se sont déroulées de la même manière que pour le contrôle de 30 jours.
Sur les 27 dents contrôlées, nous avons retrouvé une molaire qui avait été traitée par pulpotomie totale avec une fistule, une palpation vestibulaire sensible, des percussions

axiale et transversale douloureuses et une perte de sensibilité pulpaire. Cette dent avait perdu la paroi distale de sa restauration d'où la survenue de complications. Nous l'avons déclaré comme un échec au traitement.

Toutes les autres dents testées aux différents tests ont réagi favorablement.

6.4.3.4. Contrôle postopératoire de trois à douze mois

Les examens clinique et radiographique se sont déroulés de la même façon que pour le mois précédent. Sur les 26 dents examinées, nous avons, cependant déploré l'absence de 03 enfants au cours du contrôle de 06 mois et de 12 au cours de celui de 12 mois et ce malgré nos rappels incessants aux parents.
L'examen clinique n'a pas rapporté de symptomatologie, les tests aux percussions ne révélaient aucune sensibilité. Les tests de sensibilité pulpaire réalisés sur les dents causales et adjacentes ont confirmé des pulpes vivantes.

6.4.3.5. Examen radiologique et Edification apicale :

L'examen radiologique de toutes les dents à partir de 02 mois a donné les résultats portés sur **le tableau 5-92, page 230**

Au 2ème mois : les 26 dents ***(100%)*** ont manifesté radiologiquement un début d'apposition de tissu calcifié sous le matériau de coiffage.

Au 3ème mois : nous avons relevé ***73%(19)*** de dents qui ont poursuivi leur édification apicale que nous avons estimé au stade 9 de Nolla, alors que ***26,9%(7)*** des dents n'ont pas montré de différence radiologique par rapport à l'examen de 2 mois.

Au 6ème mois : nous avons relevé ***52,1%(12)*** des dents qui ont pratiquement atteint le stade 10 de Nolla, et ***47,9%(11)*** des dents ont montré un début d'édification radiculaire nettement plus avancé que lors de l'examen de 3 mois.

Au 12ème mois : ***92,9%(13)*** des dents ont montré une édification radiculaire totale et un apex fermé.

Nos résultats corroborent ceux de la littérature quant à la maturité apicale après pulpotomies. En effet, nous avons retrouvé de nombreuses études cliniques avec des résultats comparables aux nôtres, utilisant le MTA ou l'Hydroxyde de Calcium comme matériau de coiffage

Ghoddusi rapporte deux études, l'une prospective comparant les résultats de la pulpotomie au MTA (n=15) et à l'Oxyde de Zinc Eugénol (ZOE) (n=13).

- *Cliniquement*

A 03 mois, le taux de succès pour le groupe MTA est de 84,6%, pour le groupe ZOE, 100%
A 06mois, le taux de succès pour le groupe MTA est de 91,7%, pour le groupe ZOE, 100%

- *Radiologiquement*

A 03 mois, le taux de succès pour le groupe MTA est de 25%, pour le groupe ZOE, 33,3%
Entre 6 et 12 mois, 58,3% d'apex fermés pour le groupe MTA, et 75% d'apex fermés pour le groupe ZOE.

La deuxième étude est rétrospective avec le même protocole et 22 dents pour le ZOE et 6 pour le MTA. Entre 6 et 12 mois, le taux de succès pour le groupe MTA est de 100% et pour le groupe ZOE, 83,3% *[352](Ghoddusi)*

Dans une comparaison clinique et radiologique des pulpotomies au MTA et à l'Hydroxyde de Calcium sur dents immatures, ***El Meligy*** et al rapportent un taux de succès de 100% pour les 15 dents traitées au MTA et 87% pour les 13 dents traitées à l'Hydroxyde de Calcium. A 12 mois, l'édification apicale est complète dans les deux groupes de dents. Ils ne trouvent pas de différence statistiquement significative entre les deux matériaux, et suggèrent que le MTA peut largement égaler l'Hydroxyde de Calcium dans les thérapeutiques d'apexogenèse. *[302](El-Meligy)*

De même que ***Barrieshi-Nusair***, dans son étude prospective évaluant le taux de succès des pulpotomies partielles au MTA sur 21 dents matures et 7 dents immatures, contrôlées à 3, 6,12 et 18 mois, rapporte un taux de succès de 79%. Les 7 dents immatures ont atteint le stade 10 de Nolla, et des ponts dentinaires sont retrouvés dans 64% des dents matures. *[293](Barrieshi-Nusair)*

Biodentine, a été également utilisé dans les thérapeutiques d'apexogenèse avec des échantillonnages réduits. Nous avons retrouvé quelques cas rapportés et publiés sur dents immatures mais également sur dents temporaires :

Cauwels **:** Deux (2) cas traumatismes antérieurs**,** *[209] (Cauwels)*
Cauwels**:** Deux (2) pulpotomies sur molaires de 6ans et une (1) sur 11, *[197] (Cauwels).*
Ree : Une (1) pulpotomie sur 11 *[193] (Ree)*
Ashraf **:** Deux (2) pulpotomies sur molaire et incisive *[353] (Ashraf)*
Tous rapportent un suivi favorable et une édification apicale entre 6, 12 et 18mois

6.4.4. TAUX DE SUCCES DES THERAPEUTIQUES D'APEXOGENESE SELON LES PERIODES DE CONTROLE POSTOPERATOIRE :

Rappelons que toute thérapeutique de conservation de la vitalité pulpaire sur dent immature est couronnée de succès lorsque :

- Cliniquement, la dent est asymptomatique, répond aux tests de sensibilité pulpaire, absence de mobilité, de fistule et une réponse négative aux percussions.
- Radiologiquement, lorsque la lamina dura est intègre, Une absence de réaction périapicale, une absence de résorption externe ou interne, une absence

d'élargissement desmodontal et une poursuite de l'édification radiculaire *[326](AAPD); [302](El-Meligy); [293](Barrieshi-Nusair); [327](Chailertvanitkul);[275](Farsi)*

Nous avons associé nos résultats radiologiques aux résultats cliniques obtenus aux différentes séances de contrôle pour avancer les taux de succès suivants : (**Tableau 5-93, page 232)**

- *A 02 mois, le taux enregistré est de **96,3% (26),***
- *À 03 mois, il est de **96,3% (26),***
- *À 06 mois, il est de **85,3% (23)***
- *À 12 mois, il est de **51,9% (14)***

L'évaluation de ces résultats selon les paramètres donne :

LE SEXE

Nous avons relevé, dans notre étude, selon le sexe, les taux de succès suivants :

- *A 02 mois* : ***64,7% (11)*** pour les fillettes et ***35,3% (6)*** pour les garçons.
- *A 03 mois* : ***64,7% (11)*** pour les fillettes et ***35,3% (6)*** pour les garçons.
- *A 06 mois* : ***66,7% (10)*** pour les fillettes et ***33,3% (5)*** pour les garçons.
- *A 12 mois* : ***44,4% (4)*** pour les fillettes et ***55,5% (5)*** pour les garçons.

Les fillettes ont enregistrés le plus de succès à toutes les périodes de contrôles, sauf à celui de 12 mois, où leur nombre était légèrement inférieur à celui des garçons. Nous n'avons pas trouvé de différence statistiquement significative entre les deux sexes et les taux de succès des thérapeutiques.

L'AGE

Nous avons relevé, dans notre étude, selon l'âge, les taux de succès suivants :

- *A 02 mois* : ***94,1% (16)*** pour les moins de 10ans, et ***5,9% (1)*** pour les plus de 10ans.
- *A 03 mois* : ***94,1% (16)*** pour les moins de 10ans, et ***5,9% (1)*** pour les plus de 10ans.
- *A 06 mois* : ***93,3% (14)*** pour les moins de 10ans, et ***6,7% (1)*** pour les plus de 10ans.
- *A 12 mois* : ***100% (9)*** pour les moins de 10ans

L'ensemble de ces enfants ont un âge moins de 10 ans étant donné qu'à la base, nous avions un taux important dans cette tranche d'âge (17/18enfants). Nos résultats rejoignent ceux rapportés dans la littérature.

En effet, ***Barthel*** et al, ont conclu dans leur étude rétrospective sur 05 ans, concernant 123 dents, matures et immatures ayant subi des coiffages pulpaires qu'il n y a pas de différence statistiquement significative quant à l'âge des patients. *[273](Barthel)*

Sur des dents temporaires coiffées au MTA, et Biodentine, ***Bharti*** et al rapportent des taux de succès de 100% pour les deux groupes Biodentine et MTA, et ne trouvent pas de lien statistiquement significatif entre l'âge des enfants et le taux de succès *[354](Bharti)*

TYPE DE DENTS

A la base les incisives étaient plus nombreuses que les molaires, par conséquent même en termes de succès, nous retrouvons la même tendance à savoir

- *A 02 mois* : ***69,3% (18)*** d'incisives et ***30,7% (8)*** de molaires.
- *A 03mois* : ***69,3% (18)*** d'incisives et ***30,7% (8)*** de molaires.
- *A 06 mois* : ***78,2% (18)*** d'incisives et ***21,8% (5)*** de molaires. ***(p=0,022).***
- *A 12 mois* : ***64,3% (9)*** d'incisives et ***35,7% (5)*** de molaires.

Les incisives, ont été les dents qui ont enregistrées plus de succès par rapport aux molaires. Ceci pour différentes raisons :

- Le nombre d'incisive à la base était plus important que celui des molaires
- Les incisives sont des monoradiculées, donc avec un volume pulpaire réduit par rapport à celui des molaires.
- L'origine traumatique n'a pas le même impact que l'origine infectieuse.

Par ailleurs, nous avons retrouvé un lien statistiquement significatif entre les taux de succès des thérapeutiques et le type de dents au contrôle de 06 mois. Autrement dit, après 06 mois, les thérapeutiques sur les incisives ont plus de chances d'être couronnées de succès que celles des molaires.

Nous avons retrouvé dans la littérature différentes études cliniques dans lesquelles le type de dents est désigné dans le protocole. Certains auteurs ne sélectionnent que des molaires, *[293](Barrieshi-Nusair) ;[275](Farsi) ; [340](Tuna) ; [294](Qudeimat)*, d'autres tels que ***El Meligy*** *[302](El-Meligy)* et ***Witherspoon*** *[301](Witherspoon)* incluent tout type de dent.

Les pulpotomies réalisées sur dents temporaires n'incluent que les molaires *[355](Uddin) ; [356](Grewal)*.

Pour toutes ces études, le taux de succès n'est pas en rapport avec le type de la dent, mais plus avec le matériau utilisé (MTA, $CaOH_2$, Biodentine) ainsi que d'autres paramètres.

DIAGNOSTIC POSITIF ET ETIOLOGIQUE

Les dents présentant des fractures coronaires non pénétrantes ont été celles qui ont manifesté le plus de succès dans les thérapeutiques d'apexogénèse. Cependant, pour des raisons d'analyse, nous avons regroupé les dents en « *étiologie* » : carieuse pour la catégorie II de Baume et traumatique pour les dents présentant des fractures coronaires pénétrantes et non pénétrante. La comparaison des taux de succès a retrouvé une relation

statistiquement significative au contrôle de 06 mois ***(p=0,007)*** en faveur de l'étiologie traumatique.

LES PULPOTOMIES PARTIELLES ET TOTALES

- *A 02 mois* : nous avons totalisé ***84,6%(22)*** de pulpotomies partielles et ***15,4%(4)*** de pulpotomies totales.
- *A 03 mois* : nous avons totalisé ***84,6%(22)*** de pulpotomies partielles et ***15,4%(4)*** de pulpotomies totales.
- *A 06 mois* : nous avons totalisé ***86,9%(20)*** de pulpotomies partielles et ***13,1%(3)*** de pulpotomies totales.
- *A 12 mois* : nous avons totalisé ***85,7%(12)*** de pulpotomies partielles et ***14,3%(2)*** de pulpotomies totales.

La pulpotomie partielle constitue la thérapeutique qui a été couronnée de succès plus que la pulpotomie totale, ceci est peut-être dû au fait que l'amputation pulpaire n'est pas totale et que le tissu pulpaire laissé en place favorise la cicatrisation. Nous avons étudié la relation entre les deux diagnostics et les taux de succès et nous n'avons pas retrouvé de lien statistiquement significatif.

Nos résultats rejoignent ceux rapportés par ***Qudeimat*** en matière de succès de la pulpotomie partielle. En effet, dans une étude prospective comparative évaluant les taux de succès des pulpotomies partielles au MTA et à l'Hydroxyde de Calcium sur 37 dents matures et 14 dents immatures, contrôlées à 3, 6 et 12 mois, rapporte un taux de succès 93% pour le MTA et 91% pour l'Hydroxyde de Calcium. Des ponts dentinaires sont retrouvés dans 55% sous l'Hydroxyde de Calcium et 64% sous le MTA et toutes les dents immatures ont atteint le stade 10 de Nolla ***[294] (Qudeimat)***

Witherspoon a également réalisé une évaluation clinique et radiographique des résultats de pulpotomies totales au MTA, et a rapporté 100% de succès pour les dents immatures et 90% pour les dents matures ***[301] (Witherspoon)***

Dans un essai clinique randomisé comparant les taux de succès des pulpotomies partielles au MTA et à l'Hydroxyde de Calcium sur dents immatures et portant sur 76 dents (MTA : n=41, CaOH2 : n=35), les auteurs rapportent qu'il n'y pas de différence statistiquement significative entre les deux matériaux, et que la pulpotomie partielle sur des pulpopathies réversibles est recommandée avec des restaurations immédiates.
Le temps que peut prendre une apexogénèse après pulpotomie est en moyenne entre 1 et 2ans, et dépend du stade de développement de la dent au moment de l'intervention.
L'absence de symptomatologie ne reflète pas nécessairement le statut de la pulpe et par conséquent l'évolution de la pulpotomie, les signes cliniques tels que la fistule, la palpation vestibulaire et les signes radiographiques sont des moyens d'indication de l'état pulpaire ***[327](Chailertvanitkul)***

Les critères de succès de la pulpotomie partielle sont : la formation d'un pont dentinaire, l'achèvement normal de l'apex, l'absence de symptômes cliniques et de pathologie périapicale. La formation du pont dentinaire débute deux à trois semaines après le coiffage. A ce stade, l'absence du pont dentinaire ne signifie pas nécessairement un échec. Au rythme de 5 µm de dentine réactionnelle par jour, une barrière appréciable de tissu dur se forme à l'intérieur du site de l'exposition pulpaire en deux à trois mois. *[357](Charland)*

Nous avons relevé dans la littérature quelques études et publications concernant les pulpotomies et coiffages pulpaires directs et qui ont les mêmes taux de succès que notre étude :

Une évaluation clinique du coiffage pulpaire direct au MTA sur des dents permanentes chez de jeunes enfants : 22 immatures et 8 matures, rapporte qu'à

- 6 mois, il n'y avait aucune symptomatologie,
- 12 mois : 8 dents avec des apex fermés,
- 18 mois : 4 dents avec des apex fermés,
- 24 mois, 8 dents avec des apex fermés.

Le taux de succès à 6mois est de 93,3%, après 1an il est 100%. La fermeture apicale est constatée entre 1 et 2 ans. L'auteur conclu que le MTA est un matériau de choix pour les thérapeutiques vitales*.* *[275](Farsi)*

Tuna et al ont réalisé la même étude mais sur des molaires temporaires. Ils rapportent un taux de succès de 100% à 24 mois. Le nombre de dents analysées était de 22/25. Les enfants étaient âgés de 5 à 8 ans. Ils indiquent également le MTA pour les thérapeutiques vitales des dents temporaires. *[340](Tuna)*

Uddin et al ont comparé cliniquement et radiologiquement des pulpotomies sur molaires temporaires au MTA et à l'Hydroxyde de calcium, 40 molaires temporaires, contrôlées à 3, 6 et 12 mois. Ils constatent à 3 mois : 100% de succès pour les 2 matériaux et à 6 mois : 100% pour le MTA et 75% pour l'Hydroxyde de Calcium. Les auteurs recommandent le MTA pour les pulpotomies d'origine carieuse ou iatrogène sur dents temporaires *[355](Uddin)*

La nuance entre la pulpotomie partielle et la pulpotomie totale est peu mise en évidence dans la littérature. Certains auteurs, précisent l'une ou l'autre, *[193](Ree) ; [184](Bhat),* d'autres citent « thérapeutique d'apexogénèse » ou « pulpotomie » tout court *[186](Cauwels) ; [302](El-Meligy) ;[275](Farsi) ;[198](Cauwels) ;[358](Nosrat)* et ce quel que soit le matériau de coiffage utilisé.

Une évaluation comparative entre Biodentine et l'Hydroxyde de Calcium dans la formation de pont dentinaire après pulpotomie sur dent temporaire a concerné 30 dents, 15 pour chaque groupe et a montré une différence statistiquement significative quant à l'épaisseur du pont dentinaire en faveur de Biodentine *[356] (Grewal)*

***Nosrat*,** dans une étude clinique randomisée sur les pulpotomies totales sur 51 molaires permanentes immatures au MTA (n=25) et au CEM (Calcium-Enriched mixture cement)(n=26), contrôlées à 12 mois rapporte des taux de succès de 100% pour les deux matériaux, avec 76,8% de fermeture apicale pour le CEM et 73,8% de fermeture apicale pour le MTA. *[358](Nosrat)*

Bharti et al ont également procédé à une évaluation clinique et radiographique des pulpotomies sur dents temporaires au MTA et Biodentine et Propolis. Ils rapportent que

- *Cliniquement* **:** à 3 et 6 mois, ils constatent les mêmes taux de succès pour les 03 matériaux, à 9 mois, les groupe MTA et Biodentine donnent un taux de succès de 100%, alors que le groupe Propolis : 84%
- *Radiologiquement* : à 9 mois, les taux sont de 92% pour le groupe MTA, 80% pour le groupe Biodentine et 72% pour le groupe Propolis

Ils conclurent que pour Biodentine :

- Les résultats cliniques sont comparables à ceux du MTA à 6 et 9 mois
- Les résultats radiographiques n'ont pas montré de différence significative comparés au MTA.

Biodentine peut être indiqué dans les pulpotomies. *[354](Bharti)*

Quelques cas de pulpotomies avec Biodentine sur dents immatures ont été rapportés dans la littérature : ***Parirokh*** **:** Quatre (04) cas *[50] (Parirokh)* ; ***Kontham*** **:** Un (1) cas *[359](Kontham)*

Bhat : rapporte un cas d'apexogenèse au Biodentine sur une incisive fracturée et totalement guérie à 12 mois. Pour l'auteur, la réussite des thérapeutiques d'apexogénèse en dehors du choix du matériau de coiffage, dépend du statut pulpaire et la contamination microbienne au niveau de la dent causale. *[184](Bhat)*

Au terme de cette étude descriptive des effets dentinogénétiques de Biodentine sur des dents permanentes immatures, nous pouvons avancer que les résultats obtenus sont comparables à ceux obtenus avec le MTA dans la littérature et superposables avec ceux obtenus avec l'Hydroxyde de Calcium

Malgré la taille réduite de son échantillon, notre étude a montré que Biodentine peut-être recommandé dans les thérapeutiques d'apexogénèse. Elle a pu mettre en évidence une association significative entre les incisives, les étiologies traumatiques et les succès thérapeutiques. Ceci rejoint les résultats de quelques publications internationales à ce sujet (avec des échantillons encore plus réduits que le nôtre), précisant ainsi que les thérapeutiques d'apexogénèse répondent favorablement et plus vite dans le temps lorsqu'il s'agit d'incisives présentant des traumatismes dentaires et traitées par Biodentine.

Recommandations et perspectives de l'étude

L'étude comparative que nous avons menée au service d'Odontologie Conservatrice/Endodontie a comporté un échantillon de 98 patients et 121 dents sur une période de 03 ans.

- La taille de l'échantillon est relativement importante par rapport aux études publiées que nous avons pu consulter.
- Nous avons, dans le protocole de l'étude, exclu les dents qui ont subis une première thérapeutique de coiffage (même provisoire)
- L'évaluation des taux de succès que nous avons fait s'est basée sur l'aspect clinique et radiologique.

Nous avons aboutit à des conclusions objectives et réalistes quant aux vertus de Biodentine. Toutefois et afin de permettre, à juste titre et à terme d'élargir l'utilisation de Biodentine telle que méritée, nous proposons :

- ◆ Que soient entreprises d'autres études cliniques avec des échantillonnages plus grands afin d'augmenter la puissance statistique des résultats.
- ◆ D'élargir les critères d'inclusion aux dents ayant subis une première tentative de coiffage.
- ◆ Que soient aussi conduites des études histologiques pour pouvoir quantifier l'épaisseur et la qualité des ponts dentinaires édifiés.

DIFFICULTES RENCONTREES

Lors de la réalisation de notre étude, nous avons rencontré quelques difficultés relatives aux patients et à la discussion des résultats.

- Le recrutement des patients : En trois (3) ans, nous n'avons pu recruter que 98 patients adultes et 18 enfants. Ceux-ci répondaient bien entendu aux critères d'inclusion et d'exclusion que nous nous sommes imposés. En effet, rares sont les patients qui viennent consulter au service pour des dents non coiffées déjà ou avec des fractures coronaires pénétrantes. Ce qui explique la taille réduite de notre échantillon sur une période de 03 ans.

- L'absence des patients aux séances de contrôles, malgré nos appels et courriers incessants, restés sans réponses.

- Nous avons également perdu des patients en raison de leurs refus de signer le consentement éclairé

- La discussion et la comparaison de nos résultats avec ceux de la littérature n'ont pas été aisées : Biodentine étant un matériau relativement récent, nous n'avons pas retrouvé beaucoup d'études de grandes envergures, ayant les mêmes objectifs que la nôtre. En effet, les quelques publications qui existent concernent des « case-report » sur des échantillonnages réduits.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] (Lasfargues) Lasfargues J.J; Colon P. **Odontologie conservatrice et restauratrice. Tome 1 ; une approche médicale et globale** JPIO. Edition CDP **2010**

[2] (Goldberg) Goldberg M. Farges, JC,. Magloire H **Structure des dents : Dentines in La dent normale** – Bruxelles : De Boeck Université, 2001

[3] (Tziafas) Tziafas D, Smith AJ, Lesot H. **Designing new treatment strategies in vital pulp therapy** – J Dent **2000**; (28):77-92.

[4] (Simon) Simon S**. Biologie de la pulpe** in Endodontie. Edition CDP **2012**

[5] (Goldberg) Goldberg M, Smith AJ. **Cells and extracellular matrices of dentin and pulp : A biological basis for repair - and tissue engeneering** - Crit Rev Oral Biol Med. **2004**;15(1):13–27

[6] (Simon) Simon S, and al. **Biologie pulpaire : comprendre pour appliquer au quotidien** - Rev Odonto-stomatol **2008**;37(3):209

[7] (Durand) Durand S. H., Flacher V., Romeas A. **Lipoteichoic acid increases TLR and functional chemokine expression while reducing - dentin formation in vitro differentiated human odontoblasts** - *J Immunol* **2006**;176(5):2880-2887

[8] (Smith) Smith AJ, Lesot H. **Induction and regulation of crown dentinogénèses: embryonic events as a template - for dental tissue repair?** - Crit Rev Oral Biol Med **2001** ; (12):425-437

[9] (Graham) Graham L, Cooper PR, Cassidy N, et al. **The effect of calcium hydroxide on solubilisation of bio-active dentine matrix components**. Biomaterials **2006** ; (27):2865-2873

[10] (Tomson) Tomson PL, et al. **Dissolution of bio-active dentine matrix components by Mineral Trioxide Aggregate**. J Dent **2007** ;(35):636-642.

[11] (Millet) Millet P., Weiss P. **Propriétés physiques des matériaux dentaires - Société Francophone de Biomatériaux Dentaires 2009/2010**

[12] (Colon) Colon,P , Bolla M. , Leforestier E. **Cahier des charges des matériaux de restauration utilisés en technique directe**. - Société Francophone de Biomatériaux Dentaires **2009/2010**

[13] (Mount) Mount G.J.; Hume W.R. **Préservation et restauration de la structure dentaire** - Ed: De Boeck Université Bruxelles, **2002**.

[14] (Boucher) Boucher Y. **Physiologie de la pulpe** in Endodontie. Edition CDP **2012**

[15] (Olgart) Olgart L.; Bergehholtz G. **The dentin-pulp complex: responses to adverses influences**. In: Bergehholtz G, Horsted-Bindslev, P. Reit C (eds). Textbook of endodontology. - Oxford : Blackwell Munksgaard, **2003**: 21-42

[16](Simon) Simon SRJ, Berdal A , Cooper PR et al. **Dentin-pulp complex regeneration : from lab to clinic** - Adv Dent Res. **2011** ; 23(3) :340-5

[17] (Renard) Renard E, Lopez-Cazaux S, Guicheux J, et al. **Les cellules souches de la pulpe dentaire** - Comptes rendus Biologies. **2007** ; 330(9) :635-43

[18] (Beer) Beer R, Baumann MA, Kielbassa AM. **Atlas de poche d'endodontie** - Paris: Flammarion Médecine-Sciences; **2008**. 229 p.

[19] (Ciucchi) Ciucchi B. - Bouillaguet S. - Holtz J. **La perméabilité dentinaire et ses implications cliniques** - Réalités Cliniques **1995**. Vol. 6, n°2 : pp. 145-157

[20] (Vreven) Vreven, J. Noel H. **Pulpite et nécrose pulpaire in la dent normale et pathologique** - Bruxelles : De Boeck Université, **2001**

[21] (Goldberg) Goldberg M. **Histologie du complexe dentinopulpaire** - EMC, Odontologie **2008**, 28-115-B-10

[22] (Karjalainen) Karjalainen S. **Metabolic alterations in the odontoblast-predentine region during the propagation of caries. A biochemeical study on human teeth** - Proc Finn Dent Soc. **1979** ;(75) Suppl 1-2 : 1-47

[23] (Jean) Jean A. **Conserver la pulpe vivante : dans quelles limites ?** - Réalités Cliniques **1995**. Vol. 6, n°2 : pp. 183-192

[24] (Bouillaguet) Bouillaguet S**,** Ciucchi B, Holtz J. **Diagnostic et classification des pulpopathies. Directives thérapeutiques** - Réalités Cliniques **1995**. Vol. 6, n°2 : pp. 135-143

[25] (Hess) Hess J.C., Médioni E. Vené. G. **Thérapeutique endodontique. Ensemble pulpodentinaire Conservation de la vitalité pulpaire: le coiffage** - EMC Odontologie **1990**, [23-035-A-10]

[26] (Gregoire) Gregoire G. - Millas A. **La protection dentinopulpaire. Pourquoi, quand, comment ?** - Réalités Cliniques **1995**. Vol. 6, n°2 : pp. 159-172

[27] (Duncan) Duncan H.F,Ramachandran Nair P.N., Pitt Ford T.R. **Vital pulp treatment: a review** - ENDO (Lond Engl) **2008**;2(4):247**–**258

[28] (Claisse-Crinquette) Claisse-Crinquette A, Claisse D. **Hydroxyde de calcium ou MTA en traumatologie** - Réalités Cliniques. **2002**;13(1):53

[29] (Mohammadi) Mohammadi Z, Dummer PMH. **Properties and applications of calcium hydroxide in endodontics and dental traumatology**. Int Endod J. **2011**;44(8):697**–**730.

[30] (ADF) ADF, commission des dispositifs médicaux. **Médicaments et dispositifs médicaux en endodontie** - Paris: Association Dentaire Française; **2008.**

[31] (Craig) Craig R., Sakaguchi RL, Powers JM. **Craig's restorative dental materials** - Philadelphia, PA: Elsevier,Mosby; **2012**. 400 p.

[32] (Burdairon) Burdairon G. **Abrégé de biomatériaux dentaires** - Paris: Masson; **1990.** 306 p.

[33] (Aeinehchi) Aeinehchi M, Eslami B, Ghanbariha M, Saffar AS. **Mineral trioxide aggregate (MTA) and calcium hydroxide as pulp-capping agents in human teeth: a preliminary report** - Int Endod J. **2003**;36(3):225**–**31.

[34] (El Arrouf) EL arrouf N, Sakout M, Abdallaoui F. **Protection pulpodentinaire et adhésion : évolution des concepts biologiques et implications cliniques en pratique quotidienne** - Rev Odonto-Stomatol. **2010**;(39):112**–**33.

[35] (Swift) Swift, E.J. Trope, M. ; Ritter, A.V. **Vital pulp therapy for the mature tooth – can it work?** - Endodontic Topics, **2003**, 5 : 49-56

[36] (Cochet-Barril) Cochet-Barril I, Simon S. **L'hydroxyde de calcium est-il toujours d'actualité?** - Les cahiers de l'ADF. **2003**;16:17**–**25.

[37] (Segura) Segura, J.J.; Llamas, R. ; Rubio-Manzanares, A.J. et al. **Calcium hydroxide inhibits substrate adherence capacity of macrophages** - J Endod**, 1997** Jul, 23 (7) : 444-447.

[38] (Blunck) Blunck U. Traduction : Boucher Y. **Coiffage pulpaire direct : Systèmes adhésifs ou $CaOH_2$?** - Réalités Cliniques **1999** Vol. 10 n° 2 pp. 225-235

[39] (Goldberg) Goldberg, M. et al. **Bioactive molecules and the future of pulp therapy** - Am J Dent, **2003** Feb, 16 (1): 66-76.

[40](Horsted-Bindslev) Horsted-Bindslev, P. Lovschall, H. **Treatment outcome of vital pulp treatment** - Endodontic Topics, **2002** (2) : 24-34.

[41] (Seux) Seux, D.; Couble, M.L. et al. **Odontoblast-like cytodifferenciation of human dental pulp cells in vitro in the presence of a calcium hydroxide-containing cement** - Arch Oral Biol, **1991**, 36 (2) : 117-128.

[42] (Tziafas) Tziafas, D. et al. **The dentinogenic effect of mineral trioxide aggregate (MTA) in short-term capping experiments** - Int Endod J, **2002** Mar, 35 : 245-254.

[43] (Estrela) Estrela C, et al. **Mechanism of action of calcium and hydroxyl ions of calcium hydroxide on tissue and bacteria** - Braz Dent J **1995**;6(2):85-90

[44] (Rashid) Rashid, F. et al. **The effect of extracellular calcium ion on gene expression of bone-related proteins in human pulp cells** - J Endod, **2003** Feb, 29 (2) : 104-107.

[45] (Olsson) Olsson, H. ; Petersson, K. ; Rohlin, M. **Formation of a hard tissue barrier after pulp cappings in humans. A systematic review.** Int Endod J, **2006** Jun, 39 (6) : 429-442

[46] (Modena) Modena, K.C. et al. **Cytotoxicity and biocompatibility of direct and indirect pulp capping materials** - J Appl Oral Sci, **2009** Nov-Dec, 17 (6) : 544-554

[47] (Cohen) Cohen S, Hargreaves KM, Berman LH **Cohen's pathways of the pulp** (11ème edition) - St. Louis, Mo.: Mosby Elsevier; **2011**. 952 p.

[48] (Goldberg) Goldberg et al. **Inflammatory and immunological aspects of dental pulp repair** - Pharmacological Research 58 (**2008**) 137–147

[49] (Koubi) Koubi S.A., Brouillet J.L., Pigoly C. **Restaurations esthétiques postérieures en technique directe** - EMC-Odontologie 1, 340-347, **2005**

[50] (Parirokh) Parirokh M. Kakoei S. **Vital pulp therapy of mandibular incisors: a case report with 11-year follow up** - Aust Endod J **2006**; 32: 75–78

[51] (Semennikova) Semennikova K. et al. **Les ciments tricalciques. Exemple du matériau Biodentine™ Partie 1 - Présentation, composition et propriétés** - Biomatériaux Cliniques Vol. 1 - n° 2 octobre **2016**

[52] (Lee) Lee, S.J. ; Monsef, M. ; Torabinejad, M **Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations** - J Endod, **1993**, 19 (11) : 541-4.

[53] (Torabinejad) Torabinejad, M. et al. **Physical and chemical properties of a new root-end filling material** - J Endod, **1995** Jul, 21 : 349-353

[54] (Schwartz) Schwartz, R.S. et al. **Mineral trioxide aggregate : a new material for endodontics** - J Am Dent Assoc, **1999** Jul, 130 (7) : 967-975

[55] (Asgry) Asgry, S. et al. **Chemical differences between white and gray mineral trioxide aggregate** - J Endod, **2005** Feb, 31 (2) : 101-103.

[56] (Song) Song JS, Mante FK, Romanow WJ et al. **Chemical analysis of powder and set forms of Portland cement, gray ProRoot MTA, white ProRoot MTA, and gray MTA-Angelus** - Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod **2006**; 102(6):809-15

[57] (Camilleri) Camilleri, J.; Pitt Ford, T.R. **Mineral trioxide aggregate: a review of the constituents and biological properties of the material** - Int Endod J, **2006** Oct, 39 (10) : 747-754.

[58] (Camilleri) Camilleri J, Montesin FE, Curtis RV et al. **Characterization of Portland cement for use as a dental restorative material** - Dent Mater **2006**; 22 (6):569-75

[59] (Camilleri) Camilleri J. **Hydration mechanisms of mineral trioxide aggregate** - Int Endod J **2007**;40(6):462-70

[60] (Camilleri) Camilleri J. **Mineral Trioxyde Aggregate in Dentistry : From preparation to applications** - Ed Camilleri J, Springer Berlin, Heidelberg, **2014**, 201p

[61] (Jefferies) Jefferies SR. **Bioactive and biomimetic restorative materials: a comprehensive review. Part I.** - Esthet Restor Dent **2014**; 26(1):14-26

[62] (Pitt Ford) Pitt Ford TR, et al. **Using mineral trioxide aggregate as a pulp-capping material** - J Am Dent Assoc. **1996**;127(10):1491–4.

[63] (Dentsply) Dentsply Tulsa Dental. **Literature from the Manufacturer. Material Safety Data Sheet** - Tulsa, OK : Dentsply Tulsa Dental, **1998**

[64](Schönenberger) Schönenberger Göhring, K. , Lehnert B. ,Zehnder M. **Une revue des domaines d'indication du MTA : 1ère partie: propriétés chimiques physiques et biologiques du MTA** - Rev Mens Suisse Odontostomatol , Vol 114 : 2/**2004**

[65] (Camilleri) Camilleri, J. et al. **The constitution of mineral trioxide aggregate** - Dent Mater, **2005** Apr, 21 (4) : 297-303

[66] (Iwamato) Iwamoto, C.E. et al. **Clinical and histological evaluation of white ProRoot MTA in direct pulp capping** - Am J Dent, **2006**, 19 (2) : 85-90.

[67] (Roberts) Roberts, H.W. et al. **Mineral trioxide aggregate material use in endodontic treatment: a review of the literature**. Dent Mater, **2008** Feb, 24 (2) : 149-164

[68] (Islam) Islam, I. ; Ghng, H.K. ; Yap, A.U. **Comparison of the physical and mechanical properties of MTA and Portland cement**. J Endod, **2006** Mar, 32 : 193-197.

[69] (Accorinte) Accorinte, M.L. et al. **Evaluation of two mineral trioxide aggregate compounds as pulp-capping agents in human teeth** - Int Endod J, **2009** Feb, 42 (2) : 122-128.

[70] (Dammachke) Dammachke, T. et al. **Chemical and physical surface and bulk material characterization of white ProRoot MTA and two Portland cements** - Dent Mater, **2005**, 21 : 731-738.

[71] (Dominguez) Dominguez, M.S. et al. **Histological and scanning electron microscopy assessment of various vital pulp-therapy materials** - J Endod, **2003**, 29 : 324-333.

[72] (Torabinejad) Torabinejad, M. ; Watson, T.F. ; Pitt Ford, T.R. **Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root end filling material.** J Endod, **1993** Dec, 19 (12) : 591-595.

[73] (Nekoofar) Nekoofar MH et al. **The effet of condensation pressure on selected physical properties of mineral trioxide aggregate** - Int Endod J, **2007** June, 40 (6) : 453-461.

[74] (Abdullah) Abdullah D, et al. **An evaluation of accelerated Portland cement as a restorative material** - Biomaterials **2002**, 23, 4001–10.

[75] (Laghios) Laghios, C.D. et al. **Comparative radiopacity of tetracalcium phosphate and other root-end filling materials.** Int Endod J, **2000** Jul, 33 (4) : 311-315

[76] (Torabinejad) Torabinejad, M. et al. **Comparative investigation of marginal adaptation of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials** - J Endod, **1995**f Jun, 21 (6) : 295-299

[77] (Torabinejad) Torabinejad, M. et al. **Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as a root-end filling material** - J Endod, **1995**e Mar, 21 (3) : 109-112.

[78] (Chang) Chang S-W, Lee S-Y, Kum K-Y, Kim E-C. **Effects of ProRoot MTA, Bioaggregate, and Micromega MTA on Odontoblastic Differentiation in Human Dental Pulp Cells** - J Endod. **2014**;40(1):113–8.

[79](Schönenberger) Schönenberger Göhring, K. Lehnert, B.; Zehnder M. **Une revue des domaines d'indication du MTA : 2ème partie: utilisations et applications cliniques** - Rev Mens Suisse Odontostomatol , Vol 114 : 3/**2004**

[80] (Pérez) Pérez AL, Spears R, Gutmann JL, Opperman LA. **Osteoblasts and MG-63 osteosarcoma cells behave differently when in contact with ProRoot MTA and White MTA** - Int Endod J. **2003**;36(8):564–70.

[81] (Parirokh) Parirokh M, et al. **A comparative study of white and grey mineral trioxide aggregate as pulp capping agents in dog's teeth** - Dent Traumatol. **2005**;21(3):150–4.

[82] (Rezende) Rezende, T.M. et al. **Effect of mineral trioxide aggregate on cytokine production by peritoneal macrophages**. Int Endod J, **2005**, 38 : 896-903.

[83] (Silva) Silva, A.F. ; Tarquinio, S.B. ; Demarco, F.F. et al. **The influence of haemostatic agents on healing of healthy human dental pulp tissue capped with calcium hydroxide**.- Int Endod J, **2006** Apr, 39 (4) : 309-316.

[84] (Chacko) Chacko, V.; Kurikose, S. **Human pulpal response to mineral trioxide aggregate (MTA): a histologic study** - J Clin Pediatr Dent, **2006**, 30 : 203-209.

[85] (Faraco) Faraco I.M. ; Holland, R. **Response of the pulp of dogs to capping with mineral trioxide aggregate or a calcium hydroxide cement** - Dent Traumatol, **2001** Aug, 17 (4) : 163-166.

[86] (Nair) Nair, P.N.R. et al. **Histological, ultrastructural and quantitative investigations on the response of healthy human pulps to experimental capping with mineral trioxide aggregate: a randomized controlled trial** - International Endodontic Journal, **2008**, 41 : 128-150.

[87] (Reston) Reston, E.G. ; De Souza Costa, C.A. **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** Aug, 35 (2) : 78-84.

[88] (Hauman) Hauman, C.H.J.; Love, R.M. **Biocompatibility of dental materials used in contemporary endodontic therapy: a review. Part 2. Root canal-filling materials** - Int Endod J, **2003**, 36 : 147-160.

[89] (Beslot) Beslot A, Lasfargues J. **Mineral Trioxyde Agregate MTA matériau d'apexification?** - Information Dentaire **2004** ; 86(35) : 2263- 2273

[90] (Torabinejad) Torabinejad, M. et al. **Antibacterial effects of some root end filling materials** - J Endod, **1995**c Aug, 21 (8) : 403-406.

[91] (Al-Nazhan) Al-Nazhan S, Al-Judai A. **Evaluation of antifungal activity of mineral trioxide aggregate** - J Endod. **2003**;29(12):826–7.

[92] (Mitchell) Mitchell, P.J.C. et al. **Osteoblast biocompatibility of mineral trioxide aggregate** - Biomaterials**, 1999**, 20 : 167-173.

[93] (Bogen) Bogen, G.; Kim, J.S.; Bakland, L.K. **Direct pulp capping with Mineral Trioxide Aggregate: an observational study** - J Am Dent Assoc, **2008**, 139 : 305-315.

[94] (Moghaddame-Jafari) Moghaddame-Jafari, S. et al. **Effect of ProRoot MTA on pulp cell apoptosis and proliferation in vitro** - J Endod, **2005** May, 31 (5) : 387-391.

[95] (Witherspoon) Witherspoon, D.E. **Vital pulp therapy with new materials: new directions and treatment perspectives-permanent teeth** - J Endod, **2008** Jul, 34 (7 Suppl) : S25-S28.

[96] (Holland) Holland, R. et al. **Reaction of rat connective tissue to implanted dentin tubes filled with mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide** - J Endod, **1999**, 25 : 161-166.

[97] (Sawicki) Sawicki, L. et al. **Histological evaluation of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide in direct pulp capping of human immature permanent teeth** - Am J Dent, **2008**, 21 (4) : 262-266.

[98] (Min) Min, K.S. et al. **Effect of mineral trioxide aggregate on dentin bridge formation and expression of dentin sialoprotein and heme-oxygenase-1 in human dental pulp** - J Endod, **2008** Jun, 34 (6) : 666-670

[99] (Fischer) Fischer, E.J. ; Arens, D.E. ; Miller, C.H. **Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as compared with zinc-free amalgam, intermediate restorative material and super-EBA as a root-end filling material** - J Endod, **1998,** 24 : 176-179.

[100] (Sarkar) Sarkar, N.K. et al. **Physiochemical basis of the biologic properties of mineral trioxide aggregate** - J Endod, **2005** Feb, 31 (2) : 97-100.

[101] (Duarte) Duarte, M.A.H. et al. **pH and calcium ion release of two root-end filling materials** - Endod, **2003** Mar, 95 (3) : 345-347.

[102] (Torabinejad) Torabinejad M, Parirokh M. **Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review-part II: leakage and biocompatibility investigations** - J Endod **2010**;36(2):190-202

[103] (Peng) Peng W, Liu W, Zhai W et al. **Effect of tricalcium silicate on the proliferation and odontogenic differentiation of human dental pulp cells** - J Endod **2011**;37(9):1240-6

[104] (Wang) Wang X, Chen L, Xiang H, Ye J. **Influence of anti-washout agents on the rheological properties and injectibility of a calcium phosphate cement** - J Biomed Mater Res B Appl Biomater **2007**;81(2):410-8

[105] (Ribeiro) Ribeiro CS, Scelza MFZ, Hirata Júnior R. et al. **The antimicrobial activity of gray-colored mineral trioxide aggregate (GMTA) and white-colored MTA (WMTA) under aerobic and anaerobic conditions** - Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod **2010**; 109(6):e109-12.

[106] (Parirokh) Parirokh M, Torabinejad M. **Mineral Trioxide Aggregate: a comprehensive literature review-Part III: Clinical applications, drawbacks, and mechanism of action** - J Endod **2010**;36(3):400-413

[107] (Tay) Tay FR, Pashley DH, Rueggeberg FA et al. **Calcium phosphate phase transformation produced by the interaction of the portland cement component of white mineral trioxide aggregate with a phosphate-containing fluid**. J Endod **2007**; 33(11):1347-51.

[108] (Guven) Guven G, Cehreli ZC, Ural A et al. **Effect of mineral trioxide aggregate cements on transforming growth factor beta1 and bone morphogenetic protein production by human fibroblasts in vitro** - J Endod **2007**;33(4):447-50.

[109] (Liu) Liu WN, Chang J, Zhu YQ. et al. **Effect of tricalcium aluminate on the properties of tricalcium silicate-tricalcium aluminate mixtures: setting time, mechanical strength and biocompatibility** - Int Endod J **2011**; 44(1):41-50.

[110] (Colon) Colon P., Goldberg M., Grosgogeat B. et al. **Biodentine™ « vers une dentine synthétique en capsule ? »** - La Revue des Praticiens Hospitalo-universitaires ; Mai **2010** : 42 : 2-9

[111] (Septodont SRD) SEPTODONT : Service Recherche et Développement (R&D). **Biodentine® : Active Biosilicate Technology®** - Scientific File, **2010**

[112] (About) About I. **Biodentine: From biochemical and bioactive properties to clinical applications** - Giornale Italiano di Endodonzia (**2016**) 30, 81—88

[113] (Koubi) Koubi G, Franquin J C, Colon P. **A clinical study of a new Ca3SiO5-based material indicated as a dentine substitute.** Abstract in *Clin Oral Invest* **2009** and poster Consuero 2009 Seville, Spain March 12th- 14th 2009

[114] (Bachoo) Bachoo I.K., Seymour D. Brunton P. **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: E5

[115] (Villat) Villat C, Tran XV, Tran VX et al. **Impedance methodology: A new way to characterize the setting reaction of dental cements** - Dent Mater **2010**; 26(12):1127-32

[116] (Nonat) Nonat A, Franquin JC. **Un nouveau matériau de restauration dentaire à base minérale** - Matériaux 2006, 13-17 novembre **2006**, Dijon-France

[117] (Grech) Grech L, Mallia B, Camilleri J. **Investigation of the physical properties of tricalcium silicate cement-based root-end filling materials** - Dent Mater **2013**;29(2):20-28 65.

[118] (O'Brien) O'Brien WJ. **Dental materials and their selection** -Hanover Park, IL: Quintessence Pub. Co.; **2008**. 425 p.

[119] (Goldberg) Goldberg M, and al. **Emerging trends in (bio) material researches. In: Goldberg M, editor. Biocompatibility or cytotoxic effects of dental composites** - Oxford: Coxmoor Publishing **2009;**181-203

[120] (Koubi) Koubi, G. and al. **Biodentine® : un nouveau substitut dentinaire** - Clinic, Oct **2011**, 32 : 497-505.

[121] (Tanalp) Tanalp J, and al. **Comparison of the Radiopacities of Different Root-End Filling and Repair Materials**. Scientific World Journal **2013**; ID 594950

[122](Kaup) Kaup M, Schäfer E, Dammaschke T. **An in vitro study of different material properties of Biodentine™ compared to ProRoot MTA**- Head Face Med **2015**; 11:16.

[123](Nomoto) Nomoto R and McCabe. **A simple acid erosion test for dental water-based cements** - Dent. Mater. **2001**. 17(1) 53-59.

[124](Reyes-Carmona) Reyes-Carmona JF, Felippe MS, Felippe WT. **Biomineralization ability and interaction of mineral trioxide aggregate and white portland cement with dentin in a phosphate-containing fluid**- J Endod **2009**; 35(5):731-6.

[125](Han) Han L, Okiji T. **Bioactivity evaluation of three calcium silicate-based endodontic materials** - Int Endod J **2013**; 46(9):808-14.

[126](Ouladdiaf) Ouladdiaf S, Goutaudier C, Grosgogeat B et al. **Interface Characterization Between a CaSi Cement and Biological Hydroxyapatite** - J Dent Res **2014**; 93(special issue C).

[127](Bozeman) Bozeman TB, Lemon RR, Eleazer PD. **Elemental analysis of crystal precipitate from gray and white MTA** - J Endod **2006;** 32(5):425-8

[128](Aggarwal) Aggarwal V, Singla M, Yadav S et al. **Marginal Adaptation Evaluation of Biodentine™ and MTA Plus in "Open Sandwich" Class II Restorations**.- J Esthet Restor Dent **2015**;27(3):167-75

[129](Watson) Watson TF, Atmeh AR, Sajini S et al. **Present and future of glass-ionomers and calcium-silicate cements as bioactive materials in dentistry: biophotonics-based interfacial analyses in health and disease** - Dent Mater **2014**;30(1):50-61

[130] (Dhuru) Dhuru VB. **Contemporary dental materials. -** Oxford; New York: Oxford University Press**; 2004.** 208 p.

[131](Attik) Attik GN, Villat C, Hallay F et al. **In vitro biocompatibility of a dentine substitute cement on human MG63 osteoblasts cells: Biodentine™ versus MTA®.-** Int Endod J **2014**;47(12):1133-41

[132](Laurent) Laurent P. et al. **Induction of specific cell responses to a Ca3SiO5-based posterior restorative material**. Dental Materials 24 (**2008)** 1486–1494

[133](About) About I. **Etude in vitro sur culture cellulaire de la biocompatibilité du produit RD94 : étude des fonctions spécifiques des fibroblastes pulpaires humains** - Report RG EN RA EXTRD94/054, **2003**

[134](Franquin) Franquin JC. **Etude comparative de la cytotoxicité in vitro de trois produits de restauration coronaire ou radiculaire**. - Report RG EN RA EXT-RD94/028, **2001**

[135](Camillieri) Camillieri J, and al. **Characterization and analyses of acid-extractable and leached trace elements in dental cements** - Int Endod J **2012**;45(8):737-743

[136](Patel) Patel N and al. **A comparative study on the in vivo behavior of hydroxyapatite and silicon substituted hydroxyapatite granules**. - J Mater Sci Mater Med **2002**;13(12):1199-1206

[137](Saito) Saito T, Toyooka H, Ito S, Crenshaw MA. **In vitro study of remineralization of dentin: effects of ions on mineral induction by decalcified dentin matrix**. - Caries Res **2003**;37(6):445-449

[138](Han) Han L, Okiji T. **Uptake of calcium and silicon released from calcium silicate–based endodontic materials into root canal dentine**. - Int Endod J **2011**;44(12):1081-1087

[139](Khan) Khan SIJ, and al. **Evaluation of pH and calcium ion release of mineral trioxide aggregate and a new root-end filling material** - e-J Dent **2012**;2(2):166-169

[140](Koubi) Koubi G, and 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 Invest **2013**;17(1):243-249

[141](Atmeh) Atmeh AR, and al. **Dentin-cement Interfacial Interaction: Calcium Silicates and Polyalkenoates**. - J Dent Res **2012**;91(5):454-459

[142](Téclès) Téclès O, and al. **Activation of human dental pulp progenitor/stem cells in response to odontoblast injury**. Arch Oral Biol **2005**;50(2):103-108

[143](Laurent) Laurent, P.; Camps J.; About I. **BiodentineTM induces TGF-b1 release from human pulp cells and early dental pulp mineralization** - International Endodontic Journal, 45, 439–448, **2012**

[144](About) About I. **Dentin-pulp regeneration: the primordial role of the microenvironment and its modification by traumatic injuries and bioactive materials**. - Endod Topics **2013**;28(1):61-89

[145](Kitasako) Kitasako Y, Shibata S, Tagami J. **Migration and particle clearance from hard-setting Ca(OH)2 and self-etching adhesive resin following direct pulp capping**. - Am J Dent **2006**;19(6),370-5

[146](Tran) Tran XV and al. **Effect of a Calcium-silicate-based Restorative Cement on Pulp Repair**.- J Dent Res **2012**;91(12):1166-1171

[147](Peters) Peters OA, Galicia J, Arias A et al. **Effects of two calcium silicate cements on cell viability, angiogenic growth factor release, and related gene expression in stem cells from the apical papilla** - Int Endod J. **2016** Dec;49(12):1132-1140

[148](El Karim) El Karim IA, Mc Crudden MTC, Mc Gahon MK et al. **Biodentine™ Reduces Tumor Necrosis Factor Alpha-induced TRPA1 Expression in Odontoblast-like Cells**. - J Endod **2016**; 42(4):589-95

[149](Luo) Luo Z, Kohli MR, Yu Q et al. **Biodentine™ induces human dental pulp stem cell differentiation through mitogen-activated protein kinase and calcium-/calmodulin-dependent protein kinase II pathways**. J Endod **2014**; 40(7):937-42.

[150](Luo) Luo Z, Li D, Kohli MR et al. **Effect of Biodentine™ on the proliferation, migration and adhesion of human dental pulp stem cells**. - J Dent **2014**; 42(4):490-7.

[151](Widbiller) Widbiller M, Lindner SR, Buchalla W et al. **Three-dimensional culture of dental pulp stem cells in direct contact to tricalcium silicate cements**. - Clin Oral Investig **2016**;20(2):237-46

[152](Daltoé) Daltoé MO, Paula-Silva FWG, Faccioli LH et al. **Expression of Mineralization Markers during Pulp Response to Biodentine™ and Mineral Trioxide Aggregate**. - J Endod **2016**; 42(4):596-603.

[153](Zanini) Zanini M, Sautier JM, Berdal A et al. **Biodentine™ induces immortalized murine pulp cell differentiation into odontoblast-like cells and stimulates biomineralization** - J Endod **2012**; 38(9):1220-6.

[154](Bortoluzzi) Bortoluzzi EA, Niu LN, Palani CD et al. **Cytotoxicity and osteogenic potential of silicate calcium cements as potential protective materials for pulpal revascularization**. - Dent Mater **2015**;31(12):1510-22

[155](Tziafa) Tziafa C, Koliniotou-Koumpia E, Papadimitriou S et al. **Dentinogenic activity of Biodentine™ in deep cavities of miniature swine teeth** - J Endod **2015**;41(7):1161-6

[156](Gandolfi) Gandolfi MG, Shah SN, Feng Rn et al. **Biomimetic calcium-silicate cements support differentiation of human orofacial mesenchymal stem cells** - J Endod **2011**;37(8):1102-8

[157](Poggio) Poggio C, Beltrami R, Colombo M et al. **In vitro antibacterial activity of different pulp capping materials** - J Clin Exp Dent **2015**;7(5):e584-8.

[158](Zhou) Zhou H, Shen Y, Wang Z et al. **In vitro cytotoxicity evaluation of a novel root repair material** - J Endod **2013**; 39(4):478-83.

[159](Camps) Camps J, Jeanneau C, El Ayachi I et al. **Bioactivity of a Calcium Silicate-based Endodontic Cement (BioRoot RCS): Interactions with Human Periodontal Ligament Cells In Vitro**. - J Endod **2015**; 41(9):1469-73

[160](Jung) Jung S, Mielert J, Kleinheinz J, et al. **Human oral cells' response to different endodontic restorative materials: an in vitro study**. Head Face Med **2014**; 10:55.

[161](Mori) Mori GG, Teixeira LM, de Oliveira DL et al. **Biocompatibility evaluation of Biodentine™ in subcutaneous tissue of rats** - J Endod **2014**;40(9):1485-8

[162](Margunato) Margunato S, Taşlı PN, Aydın S et al. **In vitro evaluation of ProRoot MTA, Biodentine™, and MM-MTA on human alveolar bone marrow stem cells in terms of biocompatibility and mineralization** - J Endod **2015**; 41(10):1646-52.

[163](Hakki) Hakki SS, Bozkurt BS, Ozcopur B et al. **The response of cementoblasts to calcium phosphate resin-based and calcium silicate-based commercial sealers**. - Int Endod J **2013**;46(3):242-52.

[164](Johns) Johns DA, and al. **An innovative approach in the management of palato-gingival groove using Biodentine and platelet-rich fibrin membrane** - J Conserv Dent **2014**;17(1):75-79

[165](Naik) Naik M, and al. **Treatment of combined endodontic: periodontic lesion by sealing of palato-radicular groove using biodentine**. - J Conserv Dent **2014**;17(6):594-597

[166](Dewaele) Dewaele M, and al. **Class II restorations: influence of a liner with rubbery qualities on the occurrence and size of cervical gaps** - Eur J Oral Sci **2006**;114(6):535-541

[167](Hashem) Hashem DF, and al. **The physical characteristics of resin composite-calcium silicate interface as part of a layered/laminate adhesive restoration**. - Dent Mater **2014**;30(3):343-349

[168](Koubi) Koubi S, and al. **Quantitative Evaluation by Glucose Diffusion of Microleakage in Aged Calcium Silicate-Based Open-Sandwich Restorations** - Int J Dent **2012**;2012:105863

[169](Odabas) Odabas ME, Bani M, Tirali RE. **Shear Bond Strengths of Different Adhesive Systems to Biodentine** - Scientific World Journal **2013**;ID 26103

[170](Kavahan) Kayahan MB, and al. **Effect of Acid Etching Procedures on the Compressive Strength of 4 Calcium Silicate-based Endodontic Cements**. - J Endod **2013**;39(12):1646-1648

[171](Decup) Decup F, Gaucher C. **Approche bioconservatrice des tissus pour les restaurations indirectes** - Réalités Cliniques **2014**;25(4):279-287

[172](Koubi) Koubi G, and al. **Restaurations esthétiques postérieures. Un nouveau substitut dentinaire** - Information Dentaire **2011**;22:22-26

[173](Spirollari) Spirollari M. **Successful use of Biodentine™ in two deep cavity cases** - Septodont Case Studies Collection **2012**;3:14-1

[174](Roubalikova) Roubalikova L. **Personal Clinical Experience with Biodentine™.** Septodont Case Studies Collection **2012**;2:16-19

[175](Levin) Levin R. A. **Clinical Review of 50 Pulp Capping Procedures with Biodentine™.** Septodont Case Studies Collection **2012**;3:10-13

[176](Boutsiouki) Boutsiouki C, Tolidis K, Gerasimou P. **The direct application of Biodentine™ under indirect ceramic restoration** - Septodont Case Studies Collection **2013**;6:13-17

[177](Denga) Denga OV, Anisimov MV, Anisimova LV. **Clinical effectiveness of acute deep caries treatment in patients with compromised allergic history using a novel calcium silicate material** - Septodont Case Studies Collection **2013**;4:16-20

[178](Bakopoulou) Bakopoulou A, About I. **Biodentine™: a promising bioactive material for the long-term preservation of pulp vitality in prosthetic abutments**. - Septodont Case Studies Collection **2014**;8:4-10

[179](Banerji) Banerji S. **Restoration of the deep carious lesion** - Septodont Case Studies Collection **2014**;7:22-24

[180](Cauwels) Cauwels R, Martens L. **Biodentine : pulpotomie après trauma** - Chir Dent Fr **2014**;1610-1611

[181](Hashem) Hashem D, and al. **Clinical and Radiographic Assessment of the Efficacy of Calcium Silicate Indirect Pulp Capping: A Randomized Controlled Clinical Trial** - J Dent Res **2015**;94(4):562-568

[182](Simon) Simon S, and al. **Evaluation of a new laboratory model for pulp healing: preliminary study**. Int Endod J **2008**;41(9):781-790

[183](Borkar) Borkar SA, Ataide I. **Biodentine pulpotomy several days after pulp exposure: Four case reports**. J Conserv Dent **2015**;18(1):73-78

[184](Bhat) Bhat SS, and al. **Direct pulp capping in an immature incisor using a new bioactive material**. Contemp Clin Dent **2014**;5(3):393-396

[185](Dammaschke) Dammaschke T. **Direct pulp capping with Biodentine™: Full restoration in one session**. Septodont Case Studies Collection **2012**;2:10-15

[186](Cauwels) Cauwels R, Martens L. **Biodentine partie 5 : coiffages pulpaires**. - Dentist News sept **2013**;6:19-23

[187](Firla) Firla M. **Coiffage pulpaire direct avec un substitut dentinaire bioactif.** Chir Dent Fr **2013**,1548

[188](Villat) Villat C, and al. **Conservative approach of a symptomatic carious immature permanent tooth using a tricalcium silicate cements (Biodentine):** a case report. Restor Dent Endod **2013**;38(4):258-262

[189](Groupy) Goupy L. **Biodentine™ a novel dentin substitute for use in paediatric conservative dentistry**. Septodont Case Studies Collection **2012**;1:10-16

[190](Bakopoulou) Bakopoulou A, About I. **Biodentine™, a promising bioactive material for the preservation of pulp vitality in restorative dentistry** - Septodont Case Studies Collection **2013**;5:4-10

[191](Nowicka) Nowicka A, and al. **Response of Human Dental Pulp Capped with Biodentine and Mineral Trioxide Aggregate**. J Endod **2013**;39(6):747-747

[192](Cutts) Cutts G. **Vital Pulp Therapy / Pulp Capping with Biodentine™.** Septodont Case Studies Collection **2013**;5:15-18

[193](Ree) Ree M. **Vital pulp therapy with Biodentine™ in two immature traumatized teeth**. Septodont Case Studies Collection **2014**;8:25-30

[194](Zhang) Zhang W, Yelick PC. **Vital Pulp Therapy-Current Progress of Dental Pulp Regeneration and Revascularization**. Int J Dent **2010**;ID 856087

[195](Shayegan) Shayegan A. **Etude de RD 94 comme agent pulpaire dans le cadre de pulpotomie et coiffage direct sur les dents lactéales de cochon**. Etude n° PC 08-001. Report RD RA DEV 94-006. **2009**

[196](Cauwels) Cauwels R, Martens L. **Biodentine partie 4 : la pulpotomie sur molaires lactéales cariées vitales**. Dentist News juin **2013b**;5:17-21

[197](Cauwels) Cauwels R, Martens L. **Biodentine : la pulpotomie sur molaires lactéales cariées vitales**. Septodont Case Studies Collection **2014**;16-20; Numéro spécial

[198](Cauwels) Cauwels R, Martens L. **Biodentine : Pulpotomie sur molaires de 06 ans.** Septodont Case Studies Collection **2014**;16-20; Numéro spécial

[199](Shabahang) Shabahang S., Torabinejad M. **Treatment of teeth with open apices using mineral trioxide aggregate**. Pract Periodontics Aesthet Dent **2000**;12(3):315-320

[200](Felippe) Felippe WT, Felippe MCS, Rocha MJC. **The effect of mineral trioxide aggregate on the apexification and periapical healing of teeth with incomplete root formation**. Int Endod J **2006**;39(1):2-9

[201](Huang) Huang GTJ, and al. **The hidden treasure in apical papilla: the potential role in pulp/dentin regeneration and bioroot engineering**. J Endod **2008**;34(6):645-651

[202](Rafter) Rafter M. **Apexification a review**. Dent Traumatol **2005**;21(1):1-8

[203](Banchs) Banchs F, Trope M. **Revascularization of immature permanent teeth with apical periodontitis: new treatment protocol?** J Endod **2004**;30(4):196-200

[204](Bose) Bose R, Nummikoski P, Hargreaves K. **A retrospective evaluation of radiographic outcomes in immature teeth with necrotic root canal systems treated with regenerative endodontic procedures**. J Endod **2009**;35(10):1343-1349

[205](Raskin) Raskin A, and al. **In Vitro Microleakage of Biodentine as a Dentin Substitute Compared to Fuji II LC in Cervical Lining Restorations**. J Adhes Dent **2012**;14(6):535-542

[206](Andreasen) Andreasen JO, Farik B, Munksgaard EC. **Long term calcium hydroxide as a root canal dressing may increase risk of fracture**. Endod Dent Traumatol **2002**;18(3):134-137

[207](Sinha) Sinha N, Singh B, Patil S. **Cone beam-computed topographic evaluation of a central incisor with an open apex and a failed root canal treatment using one-step apexification with Biodentine™: A case report.** J Conserv Dent **2014**;17(3):284-289

[208](Khetarpal) Khetarpal A, and al. **Endodontic management of open apex using Biodentine as a novel apical matrix** - Indian J Dent Res **2014**;25(4):513-516

[209](Cauwels) Cauwels R. **Biodentine™ Pulp therapy of traumatized immature incisors**. Septodont Case Studies Collection **2013**;4:4-8

[210](Bronnec) Bronnec F. **Biodentine pour le traitement des perforations, l'apexification et l'obturation à retro**. Information Dentaire **2012**;94(7):20-24

[211](Mercado) Mercado V. and al. **Apexification as treatment in immature apex using Biodentine™.** Septodont Case Studies Collection **2015**;10:14-18

[212](Nayak) Nayak G, Hasan MF. **Biodentine-a novel dentinal substitute for single visit apexification** - Restor Dent Endod **2014**;39(2):120-125

[213](Caron) Caron G, and al. **Use of a new retrograde filling material (Biodentine) for endodontic surgery: two case reports**. Int J Oral Sci **2014**;6(4):250-253

[214](Pawar) Pawar AM, Kokate SR, Shah RA. **Management of a large periapical lesion using Biodentine™ as retrograde restoration with eighteen months evident follow up**. J Conserv Dent **2013**;16(6):573-575

[215](Gutiérrez) Gutiérrez CA. **Apicoectomy treated with an active biosilicate cement: Biodentine™.** Septodont Case Studies Collection **2013**;6:18-22

[216](Gluskin) Gluskin AH, and al. **Retreatment of Non-Healing Endodontic Therapy and Management of Mishaps** In: Ingle JI, Bakland LK, Baumgartner JC. Ingle's Endodontics. 6e edition. Hamilton, Ont : BC Decker, **2008**, p. 1088-1161

[217](Jeevani) Jeevani E, and al. **Evaluation of sealing ability of MM-MTA, Endosequence, and biodentine as furcation repair materials: UV spectrophotometric analysis**. J Conserv Dent **2014**;17(4):340-343

[218](Aggarwal) Aggarwal V, and al. **Comparative evaluation of push-out bond strength of ProRoot MTA®, Biodentine™, and MTA Plus® in furcation perforation repair** J Conserv Dent **2013**;16(5):462-465

[219](Gruneser) Gruneser MB, Akbulut MB, Eldeniz AU. **Effect of Various Endodontic Irrigants on the Pushout Bond Strength of Biodentine and Conventional Root Perforation** Repair Materials J Endod **2013**;39(3):380-384

[220](Bachoo) Bachoo IK, Seymour D, Brunton P. **Clinical case reports using a novel calcium-based cement**. Brit Dent J **2013;**214(2):61-64

[221](Gómez-Rojas) Gómez-Rojas A, Jaureguizar GD, Sans FA. **Biodentine™ as repair material for furcal perforation: 2 case reports.** Septodont Case Studies Collection **2013**;5:11-14

[222](Lorenzo) Lorenzo I. **Solution to a pulp chamber perforation: Use of Biodentine™.** Septodont Case Studies Collection **2014**;7:25-26

[223](Boukpessi) Boukpessi T, Clot D, Lasfargues JJ. **Thérapeutiques de la dent pulpée : Gérer l'exposition pulpaire sur une dent permanente.** Réalités Cliniques **2013**. Vol. 24, n°4 : pp. 265-276

[224](Paladino) Paladino F., Toledano C. Serfaty R. **Estimer l'état pulpaire** - Réalités Cliniques **2013**. Vol. 24, n°4 : pp. 253-264

[225](Deveaux) Deveaux E, Gambiez A. **Le diagnostic en endodontie II- Les pathologies** - Réalités Cliniques. **2006**;17(3):291-306.

[226] (Chazel) Chazel JC, et al. **Pulpopathies iatrogènes : étiologies, préventions et traitements** - EMC Odontologie ; **2006** : 23-008-A-20

[227](Farges) Farges JC, Roméas A, Magloire et al. **La cicatrisation pulpaire face aux préparations prothétiques : données actuelles et perspectives**. Chir Dent Fr. **2001**;1019:125-131.

[228] (Gopikrishna) Gopikrishna V.,Pradeep G. & Venkateshbabu N. **Assessment of pulp vitality: a review -** International Journal of Paediatric Dentistry Jan**2009**; 19: 3–15

[229] (Chen) Chen E, Abbott PV. **Evaluation of Accuracy, Reliability, and Repeatability of Five Dental Pulp Tests**. - J Endod. déc **2011**;37(12):1619-23

[230] (Vaghela) Vaghela, D.J. Sinha A.A. **Pulse oximetry and laser Doppler flowmetry for diagnosis of pulpal vitality** - Journal of Interdisciplinary Dentistry Jan-Jun **2011**,Vol-1,Issue-1

[231] (Roeykens) Roeykens H et al. **A two-probe laser Doppler flowmetry assessment as an exclusive diagnostic device in a long-term follow-up of traumatised teeth: a case report** - Dent Traumatol. 1 avr **2002**;18(2):86-91

[232] (Karayilmaz) Karayilmaz H, Kirzioğlu Z. **Comparison of the reliability of laser Doppler flowmetry, pulse oximetry and electric pulp tester in assessing the pulp vitality of human teeth** - J Oral Rehabil, 1 mai **2011**;38(5):340-47

[233] (Samraj) Samraj RV and al. **Recent advances in pulp vitality testing** - Endodontology, Vol. 15, **2003**

[234](Chala) Chala, S. Abdalloui F. **Quand entamer le traitement endodontique des dents permanentes traumatisées ? Critères cliniques de décision** - Rev Odont Stomat **2007**;36:33-44

[235] (Ashraf) Ashraf AE,; Donald C. Yu **Dental Pulp Neurophysiology: Part 2**. **Current Diagnostic Tests to Assess Pulp Vitality** - **JADC** • www.cda-adc.ca/jadc • Mars **2009**, Vol. 75, N° 2

[236] (Jespersen) Jespersen JJ et al. **Evaluation of dental pulp sensibility tests in a clinical setting** - J Endod. mars **2014**;40(3):351-4

[237] (Jafarzadeh) Jafarzadeh; H. Abbott P.V. **Review of pulp sensibility tests. Part I: general information and thermal tests** - International Endodontic Journal, **2010**, (43),738–762

[238](Chen) Chen E, Abbott PV. **Dental pulp testing: a review** - Int J Dent. **2009**; 2009:365785.

[239] (Villa-Chávez) Villa-Chávez CE et al **Predictive values of thermal and electrical dental pulp tests: a clinical study**. - J Endod. août **2013**;39(8):965-9

[240] (Ashraf) Ashraf AE,; Donald C. Yu **Dental Pulp Neurophysiology: Part 1. Clinical and Diagnostic Implications** - **JADC** • www.cda-adc.ca/jadc • Février **2009**, Vol. 75, No 1

[241](Weisleder) Weisleder R, and al. **The validity of pulp testing: a clinical study**. J Am Dent Assoc. **2009**; 140(8):1013-7.

[242](Camp) Camp JH. **Diagnosis dilemmas in vital pulp therapy: treatment for the toothache is changing, especially in young, immature teeth**. J Endod. **2008**;34(7Suppl):S6-12.

[243](Diangelis) Diangelis AJ, and al. **International Association of Dental Traumatology guidelines for the management of traumatic dental injuries: 1. Fractures and luxations of permanent teeth** - Dent Traumatol. **2012**;28(1):2-12.

[244](Mjör) Mjör IA, Ferrari M. **Pulp-dentin biology in restorative dentistry. Part 6: Reactions to restorative materials, tooth-restoration interfaces, and adhesive techniques**. Quintessence Int. **2002**; 33(1):35-63.

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

[246](Viţalariu) Viţalariu A, Căruntu ID, Bolintineanu S. **Morphological changes in dental pulp after the teeth preparation procedure**. Rom J Morphol Embryol. **2005**;46(2):131-6

[247](Ciucchi) Ciucchi B, Bouillaguet S, Holz J. **La perméabilité dentinaire et ses implications cliniques**. Réalités Cliniques **1995**;6(2):145-157.

[248](Murray) Murray PE, About I, Lumley PJ, et al. **Postoperative pulpal and repair responses**. J Am Dent Assoc. **2000;** 131(3):321-9.

[249](Murray) Murray PE, Lumley PJ, Smith AJ. **Preserving the vital pulp in operative dentistry: 2. Guidelines for successful restoration of unexposed dentinal lesions Dent Update**. **2002**;29(3):127-34.

[250](Simon) Simon S. ; Ifi-Naulin C. **Conservation de la vitalité pulpaire et traitement de la dent immature** - Réalités Cliniques **2012**. Vol. 23, n°4 : pp. 289-297

[251](Hilton) Hilton T.J. **Keys to Clinical Success with Pulp Capping: A Review of the Literature** - Operative Dentistry, **2009**, 34-5, 615-625

[252](Vianna) Vianna F. and al. **Caries removal based on pulp biology** - Electronic J. Endod. Rosario, **2007** ; 01 : 1-14

[253] (Hume) Hume W.R. ; Mount G.J. **La thérapeutique de conservation de la vitalité pulpaire in préservation et restauration de la structure dentaire** - Bruxelles : De Boeck Université, **2002**

[254](Duncan) Duncan H.F,Ramachandran Nair P.N., Pitt Ford T.R. **Vital pulp treatment: clinical considerations** ENDO (Lond Engl) **2009;**3(1):7–17

[255](Ricketts) Ricketts D and al. **Operative caries management in adults and children. Cochrane Database - Cochrane Database of Systematic Reviews**. **2013** Mar 28;2013(3)

[256](Nirschi) Nirschl RF, Avery DR. **Evaluation of a new pulp capping agent in indirect pulp therapy**. ASDC J Dent Child **1983**;50:25-30

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

[258](Orhan) Orhan AI, Oz FT, Ozcelik B, Orhan K. **A clinical and microbiological comparative study of deep carious lesion treatment in deciduous and young permanent molars** - Clin Oral Investig **2008**;12:369-78.

[259](Orhan) Orhan AI, Oz FT, Orhan K. **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**;32:347-55

[260](Gruythuysen) Gruythuysen RJ, van Strijp AJ, Wu MK. **Long-term survival of indirect pulp treatment performed in primary and permanent teeth with clinically diagnosed deep carious lesions** J Endod **2010**;36:1490-3.

[261](Bjørndal) Bjørndal L and al. **Treatment of deep caries lesions in adults: randomized clinical trials comparing stepwise vs. direct complete excavation, and direct pulp capping vs. partial pulpotomy**. Eur. J. Oral Sci. **2010** ; 118 : 290-297

[262](Maltz) Maltz M and al. **Incomplete caries removal in deep lesions: A 10-year prospective study** - Am J Dent **2011**;24:211-4

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

[264](Petrou) Petrou MA and al. **A randomized clinical trial on the use of medical Portland cement, MTA and calcium hydroxide in indirect pulp treatment**. Clin Oral Investig **2014**;18:1383-9.

[265](Willershausen) Willershausen B, and al. **Retrospective study on direct pulp capping with calcium hydroxide** Quintessence Int. **2011** ; 42 : 165-171

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

[267](Hevinga) Hevinga MA and al. **Does incomplete caries removal reduce strenght of restored teeth?** J. Dent. Res. **2010** ; 89 : 1270-1275

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

[269](Beetke) Beetke E, Wenzel B, Lau B, Bienengräber V. **Direct capping of the artificial exposed pulp in teeth with deep caries**. Stomatol DDR **1990**;40:246-9

[270](Fitzgerald) Fitzgerald M, Heys RJ. **A clinical and histological evaluation of conservative pulpal therapy in human teeth**. Oper Dent **1991**;16:101-12

[271](Marsuo) Matsuo T and al. **A clinical study of direct pulp capping applied to carious-exposed pulps**. J Endod **1996**;22:551-6

[272](Santucci) Santucci PJ. **Dycal versus Nd:YAG laser and Vitrebond for direct pulp capping in permanent teeth**. J Clin Laser Med Surg **1999**;17:69-75

[273](Barthel) Barthel CR and al. **Pulp capping of carious exposures: Treatment outcome after 5 and 10 years: A retrospective study**. J Endod **2000**;26:525-8

[274](Al-Hiyasat) Al-Hiyasat AS, Barrieshi-Nusair KM, Al-Omari MA. **The radiographic outcomes of direct pulp-capping procedures performed by dental students: A retrospective study**. J Am Dent Assoc **2006**;137:1699-705

[275](Farsi) Farsi N, and al. **Clinical assessment of mineral trioxide aggregate (MTA) as direct pulp capping in young permanent teeth**. J Clin Pediatr Dent **2006**;31:72-6

[276](Dammaschke) Dammaschke T, Leidinger J, Schäfer E. **Long-term evaluation of direct pulp capping - Treatment outcomes over an average period of 6.1 years**. Clin Oral Investig **2010**;14:559-67

[277](Mente) Mente J, and al. **Mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide direct pulp capping: An analysis of the clinical treatment outcome**. J Endod **2010**;36:806-13

[278](Miles) Miles JP and al. **Pulp capping with mineral trioxide aggregate (MTA): A retrospective analysis of carious pulp exposures treated by undergraduate dental students**. Oper Dent **2010**;35:20-8

[279](Naito) Naito T. **Uncertainty remains regarding long-term success of mineral trioxide aggregate for direct pulp capping**. J Evid Based Dent Pract **2010**;10:250-1

[280](Hilton) Hilton TJ and al. **Comparison of CaOH with MTA for direct pulp capping: A PBRN randomized clinical trial.** J Dent Res **2013**; 92:16S-22.

[281](Mente) Mente J and al. **Treatment outcome of mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide direct pulp capping: Long-term results**. J Endod **2014**;40:1746-51

[282](Asgary) Asgary S,and al. **Outcomes of different vital pulp therapy techniques on symptomatic permanent teeth: a case series**. Iran Endod J **2014** Fall;9:295-300.

[283](Hess) Hess JC, et al. **Thérapeutique endodontique, ensemble pulpodentinaire et pulpotomie**, EMC Odontologie **1990,** [23-035-D-10]

[284](Barngkgei) Barngkgei IH and al. **Pulpotomy of symptomatic permanent teeth with carious exposure using mineral trioxide aggregate.** Iran Endod J. **2013** ;8 : 65-68

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

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

[287](Eghbal) Eghbal MJ and al. **MTA pulpotomy of human permanent molars with irreversible pulpitis**. Australian endodontic Journal, **2009** ; 35 :4-8

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

[289](Zilberman) Zilberman U, Mass E, Sarnat H. **Partial pulpotomy in carious permanent molars**. Am J Dent **1989**;2:147-50.

[290](Mejàre) Mejàre I, Cvek M. **Partial pulpotomy in young permanent teeth with deep carious lesions**. Endod Dent Traumatol **1993**;9:238-42

[291](Mass) Mass E, Zilberman U, Fuks AB. **Partial pulpotomy: Another treatment option for cariously exposed permanent molars**.ASDC J Dent Child **1995;**62:342-5

[292](Nosrat) Nosrat IV, Nosrat CA. **Reparative hard tissue formation following calcium hydroxide application after partial pulpotomy in cariously exposed pulps of permanent teeth**. Int Endod J **1998**;31:221-6

[293](Barrieshi-Nusair) Barrieshi-Nusair KM, Qudeimat MA. **A prospective clinical study of mineral trioxide aggregate for partial pulpotomy in cariously exposed permanent teeth**. J Endod **2006**;32:731-5

[294](Qudeimat) Qudeimat MA, Barrieshi-Nusair KM, Owais AI. **Calcium hydroxide vs mineral trioxide aggregates for partial pulpotomy of permanent molars with deep caries**. Eur Arch Paediatr Dent **2007**;8:99-104.

[295](Caprioglio) Caprioglio A, and al. **A long-term retrospective clinical study on MTA pulpotomies in immature permanent incisors with complicated crown fractures** Eur J Paediatr Dent **2014**;15:29-34

[296] (Chailertvanitkul) Chailertvanitkul P and 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**;47:835-42

[297](Caliskan) Caliskan MK. **Pulpotomy of carious vital teeth with periapical involvement**. Int Endod J **1995**;28:172-6

[298](Waly) Waly NG. **A five-year comparative study of calcium hydroxide-glutaraldehyde pulpotomies versus calcium hydroxide pulpotomies in young permanent molars**. Egypt Dent J **1995**;41:993-1000

[299](Teixeira) Teixeira LS and al. **Clinical and radiographic evaluation of pulpotomies performed under intrapulpal injection of anaesthetic solution**. Int Endod J **2001**; 34:440-6.

[300](DeRosa) DeRosa TA. **A retrospective evaluation of pulpotomy as an alternative to extraction**. Gen Dent **2006**; 54:37-40.

[301](Witherspoon) Witherspoon DE, Small JC, Harris GZ. **Mineral trioxide aggregate pulpotomies: A case series outcomes assessment**. J Am Dent Assoc **2006**;137:610-8

[302](El-Meligy) El-Meligy OA, Avery DR. **Comparison of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide as pulpotomy agents in young permanent teeth (apexogenesis).** - Pediatr Dent **2006**;28:399-404

[303](Nosrat) Nosrat A, Seifi A, Asgary S. **Pulpotomy in caries-exposed immature permanent molars using calcium-enriched mixture cement or mineral trioxide aggregate: A randomized clinical trial**. Int J Paediatr Dent **2013**;23:56-63

[304](Ohshima) Ohshima H. **Overview: developmental biology of Hertwig's epithelial root sheath (HERS) and tooth root formation**. J Oral Biosci 50(3): 147-153, **2008**.

[305](Fejerskov) Fejerskov O, Nyvad B, Kidd EA. **Pathology of dental caries**. In: Munksgaard B, editor - Dental Caries. Oxford**2008**. p. 19-48.

[306](Goldberg) Goldberg M., Gaucher C. **Embryologie de la dent**. EMC Odontologie **2011**,28-085-U-50

[307](Lynch) Lynch RJ, Ten Cate JM. **The effect of adjacent dentine blocks on the demineralisation and reminéralisation of enamel in vitro**. Caries Res. **2006**;40:38-42.

[308](Opsahl) Opsahl Vital S. **Formation et physiologie de la dent permanente immature : les répercussions cliniques.** Réalités Cliniques **2012**. Vol. 23, n°4 : pp. 253-259

[309](Ricketts) Ricketts DN, Kidd EA, Innes N, Clarkson J. **Complete or ultraconservative removal of decayed tissue in unfilled teeth. Cochrane Database** - Syst Rev. **2006**;3: CD003808.

[310](Aguilar) Aguilar P, Linsuwanont P. **Vital pulp therapy in vital permanent teeth with cariously exposed pulp: a systematic review**. J Endod**. 2011**;37:581-7.

[311](Lin) Lin LM, Rosenberg PA. **Repair and regeneration in endodontics** - Int Endod J. **2011**;44:889-906

[312](Flores) Flores MT, Malmgren B, Andersson L, and al. **Guidelines for the management of traumatic dental injuries. III. Primary teeth.** Dent Traumatol. **2007**; 23(4): 196-202.

[313](Mejare) Mejare, I.A., et al. **Diagnosis of the condition of the dental pulp: a systematic review**. Int Endod J, **2012**. 45(7): p. 597-613

[314](Simon) Simon S, Beres F, Zanini M. **La cicatrisation pulpodentinaire : de la biologie à la clinique. Réalités Cliniques** 2016**. Vol. 27, n°1 : pp. 13-26**

[315](Simon) Simon S, Perard M, Zanini M, and al. **Should pulp chamber pulpotomy be seen as a permanent treatment? Some preliminary thoughts**. Int Endod J. **2013**;46(1):79-87

[316](Rajasekharan) Rajasekharan S, Martens LC, Cauwels RGEC et al. **Biodentine™ material characteristics and clinical applications: a review of the literature**. Dent **2014**;15(3):147‑58

[317](Parolia) Parolia A , Kundabala M, Rao NN, Acharya SR, Agrawal P, Mohan M, Thomas M. **A comparative histological analysis of human pulp following direct pulp capping with Propolis, mineral trioxide aggregate and Dycal** - Australian Dental Journal **2010**; 55: 59–64

[318](Monea) Monea M, MoneaA, Stoica A. **Histological evaluation of indirect pulp capping procedures with Calcium Hydroxide and Mineral Trioxide Aggregate** - European Scientific Journal August **2014** edition vol.10, No.24, 1-10

[319](Accorinte) Accorinte MDL, Holland R, Reis A, Bortoluzzi MC, Murata SS, Dezan E, Alessandro LD. **Evaluation of Mineral Trioxide Aggregate and Calcium Hydroxide Cement as Pulp-capping Agents in Human Teeth** - *JOE* — Volume 34, Number 1, January **2008**

[320](Taha) Taha NA, Ahmad MB, Ghanim A. **Assessment of Mineral Trioxide Aggregate pulpotomy in mature permanent teeth with carious exposures** - International Endodontic Journal, 50, 117–125, **2017**

[321](Vimi) Vimi G., Suresh KJ, Balagopal V, Parvathy K. and al **Clinical and radiographic evaluation of indirect pulp treatment with MTA and calcium hydroxide in primary teeth (*in–vivo* study)** Journal of Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry Apr-Jun **2015** Vol 33, Issue 2

[322](Çalışkan) Çalışkan MK, Güneri P. **Prognostic factors in direct pulp capping with mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide: 2- to 6-year follow-up** - Clin Oral Investig. **2017** Jan;21(1):357-367

[323](Linsuwanont) Linsuwanont P, Wimonsutthikul K, Pothimoke U, Santiwong, B. **Treatment Outcomes of Mineral Trioxide Aggregate Pulpotomy in Vital Permanent Teeth with Carious Pulp Exposure: The Retrospective Study** - J Endod 43 (2), 225-230. **2016**

[324](Katge) Katge FA, Patil DP. **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** Apr;43(4):507-513

[325](Kunert) Kunert GG, Kunert IR, Costa Filho LC, Figueiredo JAP. **Permanent teeth pulpotomy survival analysis: retrospective follow-up** - Journal of Dentistry 43 (**2015**) 1125–1131

[326](AAPD) American Academy on Pediatric Dentistry. **Guideline on pulp therapy for primary and immature permanent teeth** - CLINICAL PRACTICE GUIDELINES, **2014**, 37 / N° 6, 15/16, 244-252

[327](Chailertvanitkul) Chailertvanitkul P, Paphangkorakit J, Sooksantisakoonchai N, and al. **Randomized control trial comparing calcium hydroxide and mineral trioxide aggregate for partial pulpotomies in cariously exposed pulps of permanent molars** - International Endodontic Journal, 47, 835–842, **2014**

[328](Ricucci) Ricucci D, Loghin S, Siqueira F. **Correlation between clinical and histologic pulp diagnosis** - Journal of Endodontics 40, 1932–9. **2014**

[329](Briso) Briso ALF, Rahal V, Rahal Mestrener S, Dezan Junior E. **Biological response of pulps submitted to different capping materials** - Braz Oral Res **2006**;20(3):219-25

[330](De Rossi) De Rossi A, Silva LB,Gaton-Hernandez P,Sousa-Neto MD, Nelson-Filho P,Silva RB, Mussolino de Queiroz M. **Comparison of Pulpal Responses to Pulpotomy and Pulp Capping with Biodentine and Mineral Trioxide Aggregate in Dogs** - JOE , Volume 40, Number 9, September **2014**

[331](Kim) Kim J, Song YS, Min KS, Kim SH, KohJT, Lee BN, ChangHS, Hwang IN, Oh WM, Hwang YC. **Evaluation of reparative dentin formation of ProRoot MTA, Biodentine and BioAggregate using micro-CT and immunohistochemistry** - Restor Dent Endod. **2016** Feb; 41(1): 29–36.

[232](Itri) ITRI A. **Dentinal bridge formation: clinical results after Biodentine™ removal.** Septodont Case Studies Collection **2017**;15,10-14;

[333](Asgary) Asgary S, Eghbal MJ, Fazlyab M, Baghban AA, Ghoddusi J. **Five-year results of vital pulp therapy in permanent molars with irreversible pulpitis: a non-inferiority multicenter randomized clinical trial** - Clinical Oral Investigations 19, 335–41 **2015**

[334](Auschill) Auschill TM, Arweiler NB, Hellwig E, Zamani-Alaei A, Sculean A. **Success rate of direct pulp capping with calcium hydroxide** - Schweiz Monatsschr Zahnmed **2003**;113:946–52

[335](Bansal) Bansal P, Kapur S, Ajwani P. **Effect of mineral trioxide aggregate as a direct pulp capping agent in cariously exposed permanent teeth** - Saudi Endodontic Journal, Sep-Dec **2014**, Vol 4 Issue 3

[336](Bokhari) Bokhari SS, Rana MJ, Adeel SS, Muneer M. **Comparison of the human pulpal pain response to Biodentine and Mineral Trioxide Aggragate as pulp capping agent** - Pakistan Oral & Dental Journal Vol 36, No. 3 (July-September **2016**)

[337](Cho) Cho SY, Seo DG,Lee SJ, Lee J,Lee SJ, Jung IY. **Prognostic Factors for Clinical Outcomes According to Time after Direct Pulp Capping**. JOE, Volume 39, Number 3, March **2013**

[338](Sajid) Sajid M, Jamil, Sajjad I, Munir B, Kousser R. **Comparison of effectiveness of Mineral Trioxide Aggregate (MTA) and Calcium Hydroxide as direct pulp capping materials** - Pakistan Oral & Dental Journal Vol 36, No. 2 (April-June **2016**)

[339](Eskandarizadeh) Eskandarizadeh A, Shahpasandzadeh MH, Shahpasandzadeh M, Torabi M, Parirokh M. **A comparative study on dental pulp response to calcium hydroxide, white and grey mineral trioxide aggregate as pulp capping agents** - Journal of Conservative Dentistry ,Oct-Dec **2011,**Vol 14, Issue 4

[340](Tuna) Tuna D, Olmez A. **Clinical long-term evaluation of MTA as a direct pulp capping material in primary teeth** - Int Endod J **2008**; 41: 273-278.

[341](Kundzina) Kundzina R, Stangvaltaite L, Eriksen HM, Kerosuo E. **Capping carious exposures in adults: a randomized controlled trial investigating MTA vs. calcium hydroxide** - **2017** doi: 10.1111/iej.12719 article in press

[342](Zhu) Zhu C, Ju B, Ni R. **Clinical outcome of direct pulp capping with MTA or calcium hydroxide: a systematic review and meta-analysis** - Int J Clin Exp Med **2015**;8(10):17055-60

[343](Jang) Jang Y, Song M, Yoo IS, Song Y, Roh BD, Kim E, **A Randomized Controlled Study of the Use of ProRoot Mineral Trioxide Aggregate and Endocem as Direct Pulp Capping Materials: 3-month versus 1-year Outcomes** - JOE Volume 41, Issue 8, August **2015**, Pages 1201–1206

[344](Petter) Petter R. **Pulp protection in case of deep cavity treatment** - Septodont Case Studies Collection **2016**;13:16-19

[345](Kaur) Kaur HS. **Biodentine Pulpotomy in Mature Permanent Molar: A Case Report** - Journal of Clinical and Diagnostic Research. **2016** Jul, Vol-10(7): 9-11

[346](Patel) Patel S, Vincer L. **Single visit indirect pulp cap using Biodentine™** Septodont Case Studies Collection **2017**;15,15-20;

[347](Queiroz) Queiroz AM, Assed S, Leonardo RL, Nelson-Filho P, Silva LB. **MTA AND CALCIUM HYDROXIDE FOR PULP CAPPING** - J Appl Oral Sci **2005;** 13(2): 126-30

[348](Maltz) Maltz M and al. **Randomized trial of partial vs. stepwise caries removal : 3-year follow-up**. J. Dent. Res. **2012** ; 91 : 1026-1031

[349](Hegde) Hegde S, Sowmya B, Mathew S, and al. **Clinical evaluation of mineral trioxide aggregate and biodentine as direct pulp capping agents in carious teeth. J** Conserv Dent **2017;**20:91-5

[350](Akhlaghi) Akhlaghi N, Khademi AK. **Outecomes of vital pulp therapy in permanent teeth with different medicaments based on review of the literature** - Dent Res J **2015**;12:406-17

[351](IADT) International Association of Dental Traumatology. **Dental trauma Guideline**. **2012** - http://www.dentaltraumaguide.org,

[352](Ghoddusi) Ghoddusi J, Shahrami F. Alizadeh, M. Kianoush, K Forghani M. **Clinical and Radiographic Evaluation of Vital Pulp Therapy in Open Apex Teeth with MTA and ZOE** - The New York State Dental Journal APRIL **2O12** ; 78:34-38

[353](Ashraf) Ashraf H, Rahmati A, Amini N. **Vital Pulp Therapy with Calcium-Silicate Cements: Report of Two. Cases** - Iranian Endodontic Journal **2017**;12(1): 112-115

[354](Bharti) Bharti K, Kumar R, Khanna K. **Clinical and radiographical evaluation of mineral trioxide aggregate, biodentine and propolis as pulpotomy medicaments in primary teeth** - Restor Dent Endod. **2015** Nov;40(4):276-85

[355](Uddin) Uddin MF, Alam MS, Moral AA, Howlader MR, Hossain MI. **Comparison of Mineral Trioxide Aggregate and Calcium Hydroxide as pulpotomy agents in Primary Molars** - Update Dental College Journal Vol 3 Issue 1, April-**2013**

[356](Grewal) Grewal N, Salhan R, Kaur N, Bipin Ptel H. **Comparative evaluation of calcium silicate‐based dentin substitute (Biodentine®) and calcium hydroxide (pulpdent) in the formation of reactive dentin bridge in regenerative pulpotomy of vital primary teeth: Triple blind, randomized clinical trial** - Contemporary Clinical Dentistry. Oct-Dec **2016**, Vol 7, Issue 4

[357](Charland) Charland R.,Aubre N, Salvail P, Mackay P,Shoghikian E, Gagnon S,Mercier R , Champagne M **Traumatismes des dents antérieures permanentes Onzième partie : traitements de l'exposition pulpaire traumatique** - Journal de l'Ordre des dentistes du Québec Volume 44 Octobre **2007**

[358](Nosrat) Nosrat A. Asgary S. **Apexogenesis of a symptomatic molar with calcium enriched mixture** - International Endodontic Journal, 43, 940–944, **2010**

[359](Kontham) Kontham U, Tiku A, Damle S, Kalaskar R. **Apexogenesis of a symptomatic mandibular first permanent molar with calcium hydroxide pulpotomy** - Quintessence Int **2005**; 36:653–657

ANNEXES

Liste des tableaux

Tableau	Légende	Page
	1er Chapitre : Le Complexe Pulpodentinaire	
Tableau 1-1	Compositions comparées des tissus minéralisés	**4**
Tableau 1-2	Nombre moyen de canalicules / mm^2 des couronnes, en fonction de la localisation et du niveau	**7**
Tableau 1-3	Propriétés physico-chimiques comparées de l'émail et la dentine	**12**
	3ème Chapitre : Thérapeutiques de Conservation de la Vitalité Pulpaire	
Tableau 3-1	Classification de Baume	**21**
Tableau 3-2	Composition minéralogique du ciment de Portland	**32**
Tableau 3-3	Dérivés des ciments de Portland et du Pro Root MTA	**33**
Tableau 3-4	Principaux composants de la poudre du MTA	**34**
Tableau 3-5	Composition pondérale de Biodentine™ et rôle de chaque composant	**45**
Tableau 3-6	Fibroblaste morts après contact direct avec Dycal®, MTA et Biodentine™	**58**
Tableau 3-7	Synthèse de quelques cas publiés de coiffage pulpaire indirect au Biodentine™.	**79**
Tableau 3-8	Synthèse de quelques cas publiés de coiffage pulpaire direct au Biodentine™	**84**
Tableau 3-9	Synthèse de quelques cas publiés de pulpotomie au Biodentine™.	**87**
Tableau 3-10	Synthèse de quelques cas publiés d'apexogenèse au Biodentine™.	**90**
Tableau 3-11	Synthèse de quelques cas publiés de mise en place d'un bouchon apical de Biodentine™.	**91**
Tableau 3-12	Synthèse de quelques cas publiés d'obturations a retro avec du Biodentine™.	**95**
Tableau 3-13	Synthèse de quelques cas publiés de réparations de perforations iatrogènes avec du Biodentine™.	**98**
Tableau 3-14	Coiffage pulpaire indirect sur dents permanentes rapporté dans la littérature	**110**
Tableau 3-15	Coiffage pulpaire direct sur dents permanentes rapporté dans la littérature	**112**
Tableau 3-16	Pulpotomie partielle sur dents permanentes rapportée dans la littérature	**115**
Tableau 3-17	Pulpotomie totale sur dents permanentes rapportée dans la littérature	**115**
Tableau 3-18	Stades de Nolla	**118**
Tableau 3-19	Chronologie de développement des dents permanentes	**119**
	5ème Chapitre : Résultats de l'étude	
Tableau 5-37	Sensibilité transitoire et profondeur de la cavité (n=61)	**184**
Tableau 5-38	Sensibilité transitoire et profondeur de la cavité (n=60)	**184**
Tableau 5-39	Sensibilité transitoire et profondeur de la cavité (n=121)	**184**
Tableau 5-40	Sensibilité transitoire et diagnostic positif (n=61)	**186**
Tableau 5-41	Sensibilité transitoire et diagnostic positif (n=60)	**186**
Tableau 5-42	Sensibilité transitoire et thérapeutique réalisée (n=61)	**187**
Tableau 5-43	Sensibilité transitoire et thérapeutique réalisée (n=60)	**187**
Tableau 5-44	Sensibilité transitoire et thérapeutique réalisée (n=121)	**187**
Tableau 5-45	Douleurs provoquées selon les périodes de contrôle post opératoire (n=61)	**188**
Tableau 5-46	Douleurs provoquées selon les périodes de contrôle post opératoire (n=60)	**188**
Tableau 5-47	Douleurs spontanées selon les périodes de contrôle post opératoire (n=61)	**190**
Tableau 5-48	Douleurs spontanées selon les périodes de contrôle post opératoire (n=60)	**190**
Tableau 5-49	Sensibilité pulpaire selon les périodes de contrôle postopératoire (n=61)	**191**
Tableau 5-50	Sensibilité pulpaire selon les périodes de contrôle postopératoire (n=60)	**191**
Tableau 5-51	Degrés d'apposition de tissu calcifié sous le matériau de coiffage (n=61)	**192**
Tableau 5-52	Degrés d'apposition de tissu calcifié sous le matériau de coiffage (n=60)	**193**
Tableau 5-53	Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon les périodes de contrôle (n=61)	**194**
Tableau 5-54	Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon les périodes de contrôle (n=60)	**194**
Tableau 5-55	Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon le sexe et les périodes de suivi (n=61)	**195**
Tableau 5-56	Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon le sexe et les périodes de suivi (n=60)	**195**
Tableau 5-57	Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon l'âge et les périodes de suivi (n=61)	**196**
Tableau 5-58	Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon l'âge et les périodes de suivi (n=60)	**196**

Tableau 5-59	Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon le type de dents et le suivi (n=61)	**198**
Tableau 5-60	Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon le type de dents et le suivi (n=60)	**198**
Tableau 5-61	Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon les types de cavités et le suivi (n=61)	**199**
Tableau 5-62	Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon les types de cavités et le suivi (n=60)	**199**
Tableau 5-63	Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon la profondeur des cavités et le suivi (n=61)	**201**
Tableau 5-64	Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon la profondeur des cavités et le suivi (n=60)	**201**
Tableau 5-65	Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon la profondeur des cavités et le suivi n=121	**202**
Tableau 5-66	Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon la sensibilité transitoire et le suivi (n=61)	**203**
Tableau 5-67	Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon la sensibilité transitoire et le suivi (n=60)	**203**
Tableau 5-68	Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon la sensibilité transitoire et le suivi (n=121)	**204**
Tableau 5-69	Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon le diagnostic positif et le suivi (n=61)	**205**
Tableau 5-70	Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon le diagnostic positif et le suivi (n=60)	**205**
Tableau 5-71	Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon les thérapeutiques et le suivi (n=61)	**207**
Tableau 5-72	Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon les thérapeutiques et le suivi (n=60)	**207**
Tableau 5-73	Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon les thérapeutiques et le suivi (n=121)	**208**
Tableau 5-74	Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon le biomatériau utilisé et le suivi (n=121)	**210**
Tableau 5-76	Comparaison en sous-groupes selon les tranches d'âge et le biomatériau utilisé	**214**
Tableau 5-77	Comparaison en sous-groupes selon le type de dents et le biomatériau utilisé	**215**
Tableau 5-80	Comparaison en sous-groupes selon le diagnostic positif et le biomatériau utilisé	**216**
Tableau 5-82	Récapitulatif et évolution des paramètres utilisés initiaux et selon les périodes de suivi (n=121)	**217**
Tableau 5-90	Douleurs provoquées selon les périodes de contrôle postopératoire (n=27)	**228**
Tableau 5-91	Douleurs spontanées selon les périodes de contrôle postopératoire (n=27)	**228**
Tableau 5-92	Sensibilité pulpaire selon les périodes de contrôle postopératoire (n=27)	**230**
Tableau 5-93	Degrés d'édification radiculaire (n=27)	**231**
Tableau 5-94	Taux de succès selon les périodes de contrôle postopératoire (n=27)	**233**
Tableau 5-95	Taux de succès des thérapeutiques d'apexogénèse selon le sexe et les périodes de suivi (n=18)	**235**
Tableau 5-96	Taux de succès des thérapeutiques d'apexogénèse selon l'âge et les périodes de suivi (n=18)	**237**
Tableau 5-97	Taux de succès des thérapeutiques d'apexogénèse selon le type de dents et le suivi (n=27)	**238**
Tableau 5-98	Taux de succès des thérapeutiques d'apexogénèse selon le diagnostic positif et le suivi (n=27)	**238**
Tableau 5-99	Taux de succès des thérapeutiques d'apexogénèse selon l'étiologie des dents et le suivi (n=27)	**240**
Tableau 5-100	Taux de succès des thérapeutiques d'apexogénèse selon les thérapeutiques et le suivi (n=27)	**240**
Tableau 5-101	Récapitulatif et évolution des paramètres utilisés initiaux selon les périodes de suivi	**243**
6ème Chapitre : Analyse des résultats		
Tableau 6-1	Degrés d'apposition de tissu calcifié sous le matériau de coiffage (n=121)	**267**

LISTE DES FIGURES

Figure	Légende	Page
	1er Chapitre : Le Complexe Pulpodentinaire	
Fig.1-1	Le complexe pulpodentinaire	**4**
Fig.1-2	Les canalicules traversent la masse dentinaire sur une longueur de 3 à 4 mm	**5**
Fig.1-3	La densité des tubuli dentinaires varie en fonction de la profondeur de la dentine	**6**
Fig.1-4	Description schématique de la structure de la dentine périphérique ou circumpulpaire	**7**
Fig.1-5	Patron histologique des deux types de dentine physiologiques, primaire et secondaire	**8**
Fig.1-6	Organisation de la dentine coronaire primaire (DP) et secondaire (DS) entre les JAD et JCD	**8**
Fig.1-7	Coupe histologique frontale d'une molaire de souris traitée avec une obturation coronaire.	**9**
Fig.1-8	Les deux types de dentinogénèse tertiaire	**10**
Fig.1-9a	Sécrétion de la dentine réactionnelle (1)	**11**
Fig.1-9b	Sécrétion de la dentine réactionnelle (2)	**11**
Fig.1-9c	Sécrétion de la dentine réactionnelle (3)	**11**
Fig.1-10a	Dentinogénèse réparatrice (1)	**12**
Fig.1-10b	Dentinogénèse réparatrice (2)	**12**
Fig.1-10c	Dentinogénèse réparatrice (3)	**12**
Fig.1-11	Vue schématique des principaux constituants pulpaires.	**15**
	2ème Chapitre : Physiopathologie du Complexe Pulpodentinaire	
Fig.2-1	Illustration des différentes couches de la carie et les réactions pulpodentinaires sous-jacentes.	**17**
Fig.2-2	Zone de sclérose de dentine humaine cariée	**18**
Fig.2-3	Dentine réactionnelle	**18**
Fig.2-4	Signes de souffrance dans une rangée d'odontoblastes située en regard d'une carie	**19**
	3ème Chapitre : Thérapeutiques de Conservation de la Vitalité Pulpaire	
Fig.3-1	Présentation de l'Hydroxyde de Calcium	**23**
Fig.3-2	Coupe histologique d'un coiffage pulpaire à l'Hydroxyde de Calcium à 3 mois	**29**
Fig.3-3	Coupe histologique d'un coiffage pulpaire à l'Hydroxyde de Calcium	**30**
Fig.3-4	Thérapeutique d'apexogenèse à l'Hydroxyde de Calcium	**31**
Fig.3-5	Présentation du PRO ROOT MAT	**34**
Fig.3-6	Coupe histologique d'un coiffage pulpaire au MTA à 2 mois	**40**
Fig.3-7	Coupe histologique d'un coiffage pulpaire au MTA à 3 mois	**40**
Fig.3-8	Coiffage pulpaire direct au MTA sur une 36 (9ans).	**42**
Fig.3-9	Conditionnement du Biodentine™	**44**
Fig.3-10	Présentation du matériau sous forme unitaire	**44**
Fig.3-11	Vue au MEB des cristaux constituant la poudre de Biodentine™	**45**
Fig.3-12	Processus de dissolution de Biodentine™	**46**
Fig.3-13	Illustration des étapes de la prise du matériau	**47**
Fig.3-14	Evolution de la rhéométrie dynamique du début à la fin de Biodentine™	**48**
Fig.3-15	Evaluation du temps de prise dans une solution saline	**48**
Fig.3-16	Evolution de la résistance à la compression de Biodentine après la prise.	**50**
Fig.3-17	Évolution de la résistance à la compression de Biodentine en fonction du temps.	**51**
Fig.3-18	Résistance à la compression des différents matériaux	**51**
Fig.3-19	Micro-dureté Vickers des différents matériaux	**52**
Fig.3-20	Comparaison de la profondeur d'érosion acide de Biodentine™ et de 2 CVI	**54**
Fig.3-21	Aspect des précipités à la surface de Biodentine™ dans une solution salivaire artificielle	**54**
Fig.3-22	Morphologie des cristaux retrouvés à la surface de Biodentine™	**55**

Fig.3-23	Évolution de la hauteur de Biodentine™ dans la salive reconstituée	**55**
Fig.3-24	Résistance à l'immersion immédiate dans l'eau	**56**
Fig.3-25	Haute résistance à la micro-infiltration de Biodentine™	**57**
Fig.3-26	Expression de collagène et de DSP après contact avec de Biodentine™ et MTA	**58**
Fig.3-27	Libération d'éléments métalliques dans une solution acide et tampon	**59**
Fig.3-28	Vue au MEB montrant la pénétration de Biodentine™ dans les canalicules dentinaires	**62**
Fig.3-29	Observation au MEB de l'interface avec la dentine	**63**
Fig.3-30	Observation au MEB de l'Interface Biodentine™/dentine	**64**
Fig.3-31	Observation au Microscope Optique de la migration des cellules progénitrices	**65**
Fig.3-32	Observation au MO de nodules de minéralisation au contact de Biodentine™	**67**
Fig.3-33	Observation au MO de l'expression de DSP et OPN au contact des 03 matériaux.	**69**
Fig.3-34	Schéma de la stimulation de la dentinogénèse réactionnelle au contact de Biodentine™	**70**
Fig.3-35	Adhésion et prolifération des cellules à la surface de Biodentine**™**	**71**
Fig.3-36a	Evaluation des restaurations pendant les phases du suivi : Score de la forme anatomique (1)	**74**
Fig.3-36b	Score de l'adaptation marginale (2)	**74**
Fig.3-36c	Score de la qualité du point de contact (3)	**75**
Fig.3-36d	Score de la coloration de l'interface (4)	**75**
Fig.3-36e	Score de l'état de surface. (5)	**75**
Fig.3-37	Nombre de cas ayant nécessité un recouvrement de Biodentine™ en fonction des mois	**76**
Fig.3-38	Coiffage pulpaire indirect au Biodentine™	**78**
Fig.3-39	Coiffage pulpaire direct au Biodentine™ (sur dent mature)	**80**
Fig.3-40	Coiffage pulpaire direct au Biodentine™ (sur dent immature)	**81**
Fig.3-41	Coiffage pulpaire direct d'une dent cariée	**83**
Fig.3-42	Observation au MO d'une obturation au formocrésol, MTA et Biodentine™ chez le cochon	**85**
Fig.3-43	Pulpotomie sur une dent temporaire	**86**
Fig.3-44	Pulpotomie sur une dent permanente mature	**86**
Fig.3-45	Apexogenèse d'une 12 par apposition de Biodentine™.	**88**
Fig.3-46	Mise en place d'un bouchon apical de Biodentine™ sur 11 et pulpectomie de la 12	**89**
Fig.3-47	Mise en place d'un bouchon apical sur la 11	**90**
Fig.3-48	Obturation a retro de la 25 au Biodentine™.	**93**
Fig.3-49	Obturation a retro de la 12 au Biodentine™.	**94**
Fig.3-50	Réparation d'une perforation du plancher pulpaire de 26 avec au Biodentine™.	**96**
Fig.3-51	Réparation d'une perforation distale de 35 au Biodentine™.	**97**
Fig.3-52	Le potentiel réparateur de la pulpe	**101**
Fig.3-53	Fracture de l'amalgame sur 26	**102**
Fig.3-54	Les critères décisionnels cliniques de la conservation de la vitalité pulpaire	**108**
Fig.3-55	Schématisation des thérapeutiques vitales : coiffage pulpaire indirect	**109**
Fig.3-56	Schématisation des thérapeutiques vitales : Coiffage Pulpaire Direct	**111**
Fig.3-57	Schématisation des thérapeutiques vitales: Pulpotomie	**113**
Fig.3-58	Illustration d'une pulpotomie partielle suite à une exposition pulpaire	**114**
Fig.3-59	Schéma récapitulatif de l'odontogenèse et rhizagenèse	**116**
Fig.3-60	Stades de Nolla	**119**
Fig.3-61	Représentation schématique de l'apexogénèse	**123**
Fig.3-62a	Thérapeutique d'apexogénèse par pulpotomie sur une 45	**124**
Fig.3-62b	Thérapeutique d'apexogénèse par pulpotomie	**124**
	4ème Chapitre : Résultats de l'étude	
Fig.4-1	Nécessaire pour champ opératoire	**130**
Fig.4-2	Nécessaire pour anesthésie locale	**130**
Fig.4-3	Instrumentation rotative : Turbine et Contre angle	**131**
Fig.4-4	Plateau technique de base	**131**

Fig.4-5	Fraises pour turbine et contre angle	**132**
Fig.4-6	Sonde parodontale graduée	**132**
Fig.4-7	Coffret pour finition	**133**
Fig.4-8	Matrice et strips abrasifs	**133**
Fig.4-9	Pulp tester	**134**
Fig.4-10	Coffret de Biodentine	**134**
Fig.4-11	Coffret d'Hydroxyde de Calcium	**135**
Fig.4-12	Spatules pour la dépose du $CaOH_2$	**135**
Fig.4-13	Coffret de composite photopolymérisable	**135**
Fig.4-14	Coffret de disques abrasifs	**135**
Fig.4-15	Lampe de photopolymérisation	**136**
Fig.4-16	Vibreur exclusif pour Biodentine	**136**
Fig.4-17	Dispositif de la RadioVisioGraphie	**137**
Fig.4-18	Kit d'angulateur pour radiographie	**137**
Fig.4-19	Capteur numérique de radiographie	**137**
Fig.4-20	Générateur de radiographie avec minuterie	**138**
Fig.4-21	Long cône de radiographie	**138**
Fig.4-22	Radiographie préopératoire sur écran	**138**
Fig.4-23	Vue préopératoire, digue en place	**139**
Fig.4-24	Ouverture de la cavité	**139**
Fig.4-25	Mise en place de Biodentine	**141**
Fig.4-26	Restauration définitive au composite	**141**
Fig.4-27	Vue postopératoire	**142**
Fig.4-28	Prise de radiographie postopératoire	**142**
Fig.4-29	Vue postopératoire sur écran	**142**
Fig.4-30	Radiographie préopératoire de la 12	**145**
Fig.4-31	Vue préopératoire	**145**
Fig.4-32	Ablation partielle de la pulpe camérale	**146**
Fig.4-33	Mise en place de Biodentine	**146**
Fig.4-34	Restauration définitive au composite	**147**
Fig.4-35	Radiographie postopératoire de la 12 à J0	**147**
Fig.4-36	Position du cône sur l'angulateur	**149**
	5ème Chapitre : Résultats de l'étude	
Fig.5-1	Distribution des patients selon d'âge (n=96)	**154**
Fig.5-2	Distribution des patients selon les tranches d'âge (n=96)	**155**
Fig.5-3	Distribution des patients selon le sexe (n=96)	**155**
Fig.5-4	Distribution des dents selon le type de dents (n= 121)	**156**
Fig.5-5	Vue préopératoire d'une 37 (BA)	**156**
Fig.5-6	Distribution des dents selon le type de cavités (n=121)	**157**
Fig.5-7	Vue préopératoire d'une 37 (BA)	**157**
Fig.5-8	Distribution des dents selon la profondeur de la cavité (n=121)	**158**
Fig.5-9	Vue préopératoire d'une 17 (BK)	**158**
Fig.5-10	Distribution des dents selon le diagnostic positif (n=121)	**159**
Fig.5-11	Vue préopératoire d'une 25 (HS)	**159**
Fig.5-12	Distribution des dents selon la thérapeutique indiquée (n=121)	**160**
Fig.5-13	Vue préopératoire d'une 17 (AN)	**160**
Fig.5-14	Distribution des dents selon le biomatériau utilisé (n=121)	**161**
Fig.5-15	Vue préopératoire d'une 37 (ABF)	**161**
Fig.5-16	Distribution des patients selon les tranches d'âge (n=61)	**162**
Fig.5-17	Distribution des patients selon les tranches d'âge (n=60)	**162**

Fig.5-18	Distribution des patients selon sexe (n= 61)	**163**
Fig.5-19	Distribution des patients selon sexe (n= 60)	**163**
Fig.5-20	Distribution des dents selon le type de dents (n= 61)	**164**
Fig.5-21	Distribution des dents selon le type de dents (n= 60)	**164**
Fig.5-22a	Radiographie préopératoire (BN)	**165**
Fig.5-22b	Radiographie postopératoire à 6 mois (BN)	**165**
Fig.5-23	Distribution des dents selon le type de cavités (n=61)	**166**
Fig.5-24	Distribution des dents selon le type de cavités (n=60)	**166**
Fig.5-25	Distribution des dents selon la profondeur de la cavité (n=61)	**167**
Fig.5-26	Distribution des dents selon la profondeur de la cavité (n=60)	**167**
Fig.5-27a	Radiographie préopératoire (MB)	**168**
Fig.5-27b	Radiographie postopératoire à 6 mois (MB)	**168**
Fig.5-27c	Radiographie postopératoire à 12 mois (MB)	**168**
Fig.5-28	Distribution des dents selon le diagnostic positif des dents (n=61)	**169**
Fig.5-29	Distribution des dents selon le diagnostic positif des dents (n=60)	**169**
Fig.5-30a	Radiographie préopératoire (ABF)	**170**
Fig.5-30b	Radiographie postopératoire à 12 mois (ABF)	**170**
Fig.5-31	Distribution des dents selon la thérapeutique indiquée (n=61)	**171**
Fig.5-32	Distribution des dents selon la thérapeutique indiquée (n=60)	**171**
Fig.5-33	Types de dents et diagnostic positif (n=61)	**172**
Fig.5-34	Types de dents et diagnostic positif (n=60)	**172**
Fig.5-35a	Radiographie préopératoire (NY)	**173**
Fig.5-35b	Radiographie postopératoire à 3 mois (NY)	**173**
Fig.5-35c	Radiographie postopératoire à 6 mois (NY)	**173**
Fig.5-36	Types de cavités et diagnostic positif (n=61)	**174**
Fig.5-37	Types de cavités et diagnostic positif (n=60)	**174**
Fig.5-38a	Vue préopératoire (ABF)	**175**
Fig.5-38b	Vue postopératoire (ABF)	**175**
Fig.5-38c	Radiographie préopératoire (ABF)	**175**
Fig.5-38d	Radiographie postopératoire à 12 mois (ABF)	**175**
Fig.5-39	Profondeur des cavités et diagnostic positif (n=61)	**176**
Fig.5-40	Profondeur des cavités et diagnostic positif (n=60)	**176**
Fig.5-41	Types de cavités et thérapeutiques réalisées (n=61)	**177**
Fig.5-42	Types de cavités et thérapeutiques réalisées (n=60)	**177**
Fig.5-43a	Radiographie préopératoire (BA)	**178**
Fig.5-43b	Radiographie postopératoire à 6 mois (BA)	**178**
Fig.5-44	Thérapeutiques réalisées et diagnostic positif (n=61)	**179**
Fig.5-45	Thérapeutiques réalisées et diagnostic positif (n=60)	**179**
Fig.5-46	Profondeur de la cavité et thérapeutiques réalisées (n=61)	**180**
Fig.5-47	Profondeur de la cavité et thérapeutiques réalisées (n=60)	**180**
Fig.5-48	Organigramme du nombre de patients consultés selon les périodes de suivi (n=121)	**181**
Fig.5-49a	Radiographie préopératoire (HS)	**182**
Fig.5-49b	Radiographie postopératoire à J30 (HS)	**182**
Fig.5-49c	Radiographie postopératoire à 12mois (HS)	**182**
Fig.5-50	La sensibilité transitoire (n=61)	**183**
Fig.5-51	La sensibilité transitoire (n=60)	**183**
Fig.5-52a	Vue préopératoire (CN)	**185**
Fig.5-52b	Vue postopératoire(CN)	**185**
Fig.5-52c	Radiographie préopératoire (CN)	**185**
Fig.5-52d	Radiographie postopératoire à 12 mois (CN)	**185**
Fig.5-53a	Vue préopératoire (AO)	**189**
Fig.5-53b	Vue postopératoire (AO)	**189**

Fig.5-53c	Radiographie préopératoire (AO)	**189**
Fig.5-53d	Radiographie postopératoire à 12 mois (AO)	**189**
Fig.5-54a	Radiographie préopératoire (RN)	**193**
Fig.5-54b	Radiographie postopératoire à 06 mois (RN)	**193**
Fig.5-55a	Vue préopératoire (BY)	**197**
Fig.5-55b	Vue postopératoire (BY)	**197**
Fig.5-55c	Radiographie préopératoire (BY)	**197**
Fig.5-55d	Radiographie postopératoire à 12 mois (BY)	**197**
Fig.5-56a	Vue préopératoire (BY)	**200**
Fig.5-56b	Vue postopératoire (BY)	**200**
Fig.5-56c	Radiographie préopératoire (BY)	**200**
Fig.5-56d	Radiographie postopératoire à 12 mois (BY)	**200**
Fig.5-57a	Radiographie préopératoire (MF)	**204**
Fig.5-57b	Radiographie postopératoire à 12 mois (MF)	**204**
Fig.5-58a	Vue préopératoire (BN)	**206**
Fig.5-58b	Vue postopératoire (BN)	**206**
Fig.5-58c	Radiographie préopératoire (BN)	**206**
Fig.5-58d	Radiographie postopératoire à 12 mois (BN)	**206**
Fig.5-59a	Radiographie préopératoire (FSA)	**209**
Fig.5-59b	Radiographie postopératoire à 12 mois (FSA)	**209**
Fig.5-59c	Vue préopératoire (FSA)	**209**
Fig.5-59d	Vue postopératoire (FSA)	**209**
Fig.5-60	Taux de succès des thérapeutiques dentinaires selon le biomatériau utilisé (n=121)	**210**
Fig.5-61a	Vue préopératoire (AO)	**212**
Fig.5-61b	Vue postopératoire (AO)	**212**
Fig.5-61c	Radiographie préopératoire (AO)	**212**
Fig.5-61d	Radiographie postopératoire à 12 mois (AO)	**212**
Fig.5-61e	Radiographie postopératoire à 12 mois (AO)	**213**
Fig.5-62	Répartition des dents selon les tranches d'âge (n=18)	**219**
Fig.5-63	Répartition des dents selon le sexe (n= 18)	**220**
Fig.5-64	Répartition des dents selon le type de dents (n=27)	**221**
Fig.5-65	Radiographie préopératoire (AI)	**221**
Fig.5-66	Répartition des dents selon le diagnostic positif (n=27)	**222**
Fig.5-67	Radiographie préopératoire (MK)	**222**
Fig.5-68	Répartition des dents selon la thérapeutique réalisée (n=27)	**223**
Fig.5-69	Radiographie préopératoire (BNH)	**223**
Fig.5-70	Diagnostic positif et type de dents	**224**
Fig.5-71	Thérapeutiques réalisées et diagnostic positif	**225**
Fig.5-72	Radiographie préopératoire (GR)	**225**
Fig.5-73	Organigramme du nombre de patients consultés selon les périodes de suivi	**226**
Fig.5-74a	Radiographie préopératoire (BNH)	**227**
Fig.5-74b	Radiographie postopératoire à 3mois (BNH)	**227**
Fig.5-74c	Radiographie postopératoire à 12mois (BNH)	**227**
Fig.5-75a	Radiographie préopératoire (AI)	**229**
Fig.5-75b	Radiographie postopératoire à 3mois (AI)	**229**
Fig.5-75c	Radiographie préopératoire 6 mois (AI)	**229**
Fig.5-75d	Radiographie postopératoire à 12mois (AI)	**229**
Fig.5-76a	Radiographie préopératoire (GR)	**231**
Fig.5-76b	Radiographie préopératoire 6 mois (GR)	**231**
Fig.5-77a	Radiographie préopératoire (AB)	**232**
Fig.5-77b	Radiographie préopératoire 6 mois (AB)	**232**
Fig.5-78a	Radiographie préopératoire (AI)	**234**

Fig.5-78b	Radiographie postopératoire à 3mois (AI)	**234**
Fig.5-78c	Radiographie préopératoire 6 mois (AI)	**234**
Fig.5-78d	Radiographie postopératoire à 12mois (AI)	**234**
Fig.5-79a	Radiographie préopératoire (MK)	**236**
Fig.5-79b	Radiographie postopératoire à 3mois 11 (MK)	**236**
Fig.5-79c	Radiographie préopératoire 3 mois 21 (MK)	**236**
Fig.5-79d	Radiographie postopératoire à 12mois (MK)	**236**
Fig.5-80a	Radiographies préopératoires 11,21 (AI)	**237**
Fig.5-80b	Radiographies postopératoires à 12 mois (AI)	**237**
Fig.5-81a	Radiographie préopératoire (BY)	**239**
Fig.5-81b	Radiographie postopératoire à J0 (BY)	**239**
Fig.5-81c	Radiographie préopératoire 6 mois (BY)	**239**
Fig.5-82a	Radiographie préopératoire (NE)	**241**
Fig.5-82b	Radiographie postopératoire à 1 mois (NE)	**241**
Fig.5-82c	Radiographie postopératoire à 12 mois (NE)	**241**

Traitement d'urgence d'une pathologie pulpaire irréversible

(Annexe 1)

Dans le cas de la survenue d'un échec au coiffage chez un sujet inclus dans l'étude, sa prise en charge relève d'un traitement dans l'immédiat et qui consiste à réaliser une thérapeutique d'urgence selon le protocole suivant :

Traitement d'urgence d'une atteinte pulpaire irréversible	
Chronologie	**Les étapes opératoires**
01	Anesthésie locale ou locorégionale selon la dent en question
02	Mise en place du champ opératoire
03	Désobturation et ouverture de la cavité
04	Curetage dentinaire complet s'il ne l'a pas été
05	Réalisation de la cavité d'accès endodontique en fonction de la dent
06	Cathétérisme canalaire avec des limes K
06	Extirpation de tout le parenchyme pulpaire
07	Réalisation de l'hémostase
08	Désinfection et Séchage des canaux
09	Mise en place d'un sédatif dans la chambre pulpaire et restauration provisoire de la dent

(ANNEXE 02)

N° du patient : ……

Patient :
Nom :……..
Prénom : ……..

J 0

Attestation d'obtention du consentement éclairé

Nous soussignée, Dr ……

certifions que le ou la patient(e) / ou tuteur ……

A accepté en toute connaissance de cause et en toute liberté de participer à l'étude :

« Dentinogénèse et apexogénèse après application d'un biomatériau à base de silicate tricalcique », entreprise de Janvier 2013 à Décembre 2015 au service d'Odontologie Conservatrice /Endodontie du CHU Oran.

Nous lui avons donné toutes les explications nécessaires concernant la nature, le but, les contraintes et les risques potentiels de l'étude.

Nous avons répondu à toutes les questions qui nous ont été posées.

Le patient ou tuteur a signé la notice de consentement.

Fait à Oran le : ……/……../…….

Signature du patient ou tuteur

Signature du Médecin Traitant

(**Annexe 3)** N° du patient : ……

Patient :

Nom et Prénom :……..

Contrôle Postopératoire à quinze (15) jours

N° DENT :	**INTERROGATOIRE**	
L'état général est bon	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Le patient a pris un traitement quelconque ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Si oui, lequel ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Le motif ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
La dent a présenté des douleurs provoquées ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
La dent a présenté des douleurs spontanées ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
N° DENT :	**DOULEURS PROVOQUEES**	
Chaud	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Froid	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Sucres	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Mastication	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Contact	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
S'arrêtent tout de suite après l'arrêt des stimuli	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Se prolongent dans le temps ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Durent 3 mn après arrêt des stimuli ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Durent plus de 5 mn après arrêt des stimuli ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
N° DENT :	**DOULEURS SPONTANEES**	
Continues	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Discontinues	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Nocturnes	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Diurnes	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Pulsatiles	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Prise d'antalgiques ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Douleurs cèdent aux antalgiques ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
N° DENT :	**TESTS DE CONTROLE CLINIQUE**	
Teinte de la couronne conservée ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Restauration antérieure détériorée ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Si oui ; la pulpe est dénudée ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Percussion transversale sensible ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Percussion axiale sensible ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Réponse positive aux tests de vitalité pulpaire ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Présence de fistule ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Palpation vestibulaire sensible ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Mobilité ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐

N° du patient : ……

Patient :

Nom et Prénom :……..

Contrôle Postopératoire à trente (30) jours

N° DENT :	**INTERROGATOIRE**	
L'état général est bon	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Le patient a pris un traitement quelconque ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Si oui, lequel ?		
Le motif ?		
La dent a présenté des douleurs provoquées ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
La dent a présenté des douleurs spontanées ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
N° DENT :	**DOULEURS PROVOQUEES**	
Chaud	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Froid	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Sucres	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Mastication	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Contact	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
S'arrêtent tout de suite après l'arrêt des stimuli	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Se prolongent dans le temps ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Durent 3mn après arrêt des stimuli ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Durent plus de 5mn après arrêt des stimuli ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
N° DENT :	**DOULEURS SPONTANEES**	
Continues	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Discontinues	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Nocturnes	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Diurnes	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Pulsatiles	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Prise d'antalgiques ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Douleurs cèdent aux antalgiques ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
N° DENT :	**TESTS DE CONTROLE CLINIQUE**	
Teinte de la couronne conservée ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Restauration antérieure détériorée ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Si oui ; la pulpe est dénudée ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Percussion transversale sensible ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Percussion axiale sensible ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Réponse positive aux tests de vitalité pulpaire ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Présence de fistule ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Palpation vestibulaire sensible ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Mobilité ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
N° DENT :	**TESTS DE CONTROLE RADIOLOGIQUE**	
Présence d'un élargissement desmodontal	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Lamina dura intacte	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Présence d'une résorption interne	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Présence d'une résorption externe	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Présence d'une réaction périapicale	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Présence d'une barrière de tissu dur radio-opaque sous le matériau de coiffage ou poursuite de l'édification apicale	**Oui :** ☐	**Non :** ☐

N° du patient : ……

Patient :

Nom et Prénom :……..

Contrôle Postopératoire à deux (2) mois

N° DENT :	**INTERROGATOIRE**	
L'état général est bon	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Le patient a pris un traitement quelconque ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Si oui, lequel ?		
Le motif ?		
La dent a présenté des douleurs provoquées ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
La dent a présenté des douleurs spontanées ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
N° DENT :	**DOULEURS PROVOQUEES**	
Chaud	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Froid	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Sucres	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Mastication	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Contact	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
S'arrêtent tout de suite après l'arrêt des stimuli	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Se prolongent dans le temps ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Durent 3 mn après arrêt des stimuli ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Durent plus de 5 mn après arrêt des stimuli ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
N° DENT :	**DOULEURS SPONTANEES**	
Continues	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Discontinues	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Nocturnes	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Diurnes	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Pulsatiles	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Prise d'antalgiques ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Douleurs cèdent aux antalgiques ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
N° DENT :	**TESTS DE CONTROLE CLINIQUE**	
Teinte de la couronne conservée ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Restauration antérieure détériorée ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Si oui ; la pulpe est dénudée ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Percussion transversale sensible ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Percussion axiale sensible ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Réponse positive aux tests de vitalité pulpaire ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Présence de fistule ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Palpation vestibulaire sensible ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Mobilité ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
N° DENT :	**TESTS DE CONTROLE RADIOLOGIQUE**	
Présence d'un élargissement desmodontal	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Lamina dura intacte	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Présence d'une résorption interne	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Présence d'une résorption externe	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Présence d'une réaction périapicale	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Présence d'une barrière de tissu dur radio-opaque sous le matériau de coiffage ou poursuite de l'édification apicale	**Oui :** ☐	**Non :** ☐

N° du patient : ……

Patient :

Nom et Prénom :……..

Contrôle Postopératoire à trois (3) mois

N° DENT :	**INTERROGATOIRE**	
L'état général est bon	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Le patient a pris un traitement quelconque ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Si oui, lequel ?		
Le motif ?		
La dent a présenté des douleurs provoquées ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
La dent a présenté des douleurs spontanées ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
N° DENT :	**DOULEURS PROVOQUEES**	
Chaud	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Froid	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Sucres	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Mastication	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Contact	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
S'arrêtent tout de suite après l'arrêt des stimuli	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Se prolongent dans le temps ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Durent 3 mn après arrêt des stimuli ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Durent plus de 5 mn après arrêt des stimuli ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
N° DENT :	**DOULEURS SPONTANEES**	
Continues	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Discontinues	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Nocturnes	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Diurnes	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Pulsatiles	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Prise d'antalgiques ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Douleurs cèdent aux antalgiques ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
N° DENT :	**TESTS DE CONTROLE CLINIQUE**	
Teinte de la couronne conservée ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Restauration antérieure détériorée ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Si oui ; la pulpe est dénudée ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Percussion transversale sensible ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Percussion axiale sensible ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Réponse positive aux tests de vitalité pulpaire ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Présence de fistule ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Palpation vestibulaire sensible ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Mobilité ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
N° DENT :	**TESTS DE CONTROLE RADIOLOGIQUE**	
Présence d'un élargissement desmodontal	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Lamina dura intacte	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Présence d'une résorption interne	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Présence d'une résorption externe	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Présence d'une réaction périapicale	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Présence d'une barrière de tissu dur radio-opaque sous le matériau de coiffage ou poursuite de l'édification apicale	**Oui :** ☐	**Non :** ☐

N° du patient : ……

Patient :

Nom et Prénom :……..……..

Contrôle Postopératoire à six (6) mois

N° DENT :	**INTERROGATOIRE**	
L'état général est bon	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Le patient a pris un traitement quelconque ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Si oui, lequel ?		
Le motif ?		
La dent a présenté des douleurs provoquées ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
La dent a présenté des douleurs spontanées ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
N° DENT :	**DOULEURS PROVOQUEES**	
Chaud	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Froid	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Sucres	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Mastication	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Contact	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
S'arrêtent tout de suite après l'arrêt des stimuli	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Se prolongent dans le temps ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Durent 3 mn après arrêt des stimuli ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Durent plus de 5 mn après arrêt des stimuli ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
N° DENT :	**DOULEURS SPONTANEES**	
Continues	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Discontinues	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Nocturnes	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Diurnes	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Pulsatiles	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Prise d'antalgiques ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Douleurs cèdent aux antalgiques ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
N° DENT :	**TESTS DE CONTROLE CLINIQUE**	
Teinte de la couronne conservée ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Restauration antérieure détériorée ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Si oui ; la pulpe est dénudée ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Percussion transversale sensible ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Percussion axiale sensible ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Réponse positive aux tests de vitalité pulpaire ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Présence de fistule ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Palpation vestibulaire sensible ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Mobilité ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
N° DENT :	**TESTS DE CONTROLE RADIOLOGIQUE**	
Présence d'un élargissement desmodontal	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Lamina dura intacte	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Présence d'une résorption interne	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Présence d'une résorption externe	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Présence d'une réaction périapicale	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Présence d'une barrière de tissu dur radio-opaque sous le matériau de coiffage ou poursuite de l'édification apicale	**Oui :** ☐	**Non :** ☐

N° du patient : ……

Patient :

Nom et Prénom :……..

Contrôle Postopératoire à douze (12) mois

N° DENT :	**INTERROGATOIRE**	
L'état général est bon	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Le patient a pris un traitement quelconque ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Si oui, lequel ?		
Le motif ?		
La dent a présenté des douleurs provoquées ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
La dent a présenté des douleurs spontanées ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
N° DENT :	**DOULEURS PROVOQUEES**	
Chaud	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Froid	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Sucres	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Mastication	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Contact	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
S'arrêtent tout de suite après l'arrêt des stimuli	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Se prolongent dans le temps ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Durent 3 mn après arrêt des stimuli ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Durent plus de 5 mn après arrêt des stimuli ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
N° DENT :	**DOULEURS SPONTANEES**	
Continues	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Discontinues	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Nocturnes	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Diurnes	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Pulsatiles	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Prise d'antalgiques ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Douleurs cèdent aux antalgiques ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
N° DENT :	**TESTS DE CONTROLE CLINIQUE**	
Teinte de la couronne conservée ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Restauration antérieure détériorée ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Si oui ; la pulpe est dénudée ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Percussion transversale sensible ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Percussion axiale sensible ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Réponse positive aux tests de vitalité pulpaire ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Présence de fistule ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Palpation vestibulaire sensible ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Mobilité ?	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
N° DENT :	**TESTS DE CONTROLE RADIOLOGIQUE**	
Présence d'un élargissement desmodontal	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Lamina dura intacte	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Présence d'une résorption interne	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Présence d'une résorption externe	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Présence d'une réaction périapicale	**Oui :** ☐	**Non :** ☐
Présence d'une barrière de tissu dur radio-opaque sous le matériau de coiffage ou poursuite de l'édification apicale	**Oui :** ☐	**Non :** ☐

ANNEXE 4

Tableau 5-1 : Distribution des patients selon les tranches d'âge		
Tranches d'âge	**Effectifs**	**Pourcentage**
16-26 ans	74	77,1
26-36 ans	18	18,8
36-46 ans	4	4,2
Total	96	100

Tableau 5-2 : Distribution des patients selon le sexe		
Sexe	**Effectifs**	**Pourcentage**
Homme	26	27,1
Femme	70	72,9
Total	96	100

Tableau 5-3 : Distribution des dents selon le type de dents		
Dents	**Effectifs**	**Pourcentage**
Molaire	87	71,9
Prémolaire	26	21,5
Incisive	7	5,8
Canine	1	0,8
Total	121	100

Tableau 5-4 : Distribution des dents selon le type de cavité		
Cavités	**Effectifs**	**Pourcentage**
Occlusale	29	24
Occluso-Proximale	52	43
Vestibulo-Proximale	7	5,8
Vestibulo-Occlusale	17	14
Vestibulaire	3	2,5
Mésio-Palatine	1	0,8
Disto-Palatine	1	0,8
Occluso-Linguale	4	3,3
Proximale	7	5,8
Total	121	100

Tableau 5-5 : Distribution des dents selon la profondeur de la cavité		
Profondeur	**Effectifs**	**Pourcentage**
Plus 2mm	79	65,3
Moins 2mm	42	34,7
Total	121	100

Tableau 5-6 : Distribution des dents selon le diagnostic positif		
Diagnostic	**Effectifs**	**Pourcentage**
Catégorie I	24	19,8
Catégorie II	97	80,2
Total	121	100

Tableau 5-7 : Distribution des dents selon la thérapeutique indiquée		
Thérapeutique	**Effectifs**	**Pourcentage**
Coiffage Pulpaire Indirect	104	86
Coiffage Pulpaire Direct	17	14
Total	121	100

Tableau 5-8 : Distribution des dents selon le biomatériau utilisé		
Matériau	**Effectifs**	**Pourcentage**
Hydroxyde de Calcium	60	49,6
Biodentine	61	50,4
Total	121	100

Tableau 5-9 : Distribution des patients selon les tranches d'âge (n=61)		
Tanches d'âge	Effectifs	Pourcentage
16-26 ans	***48***	78,7
26-36 ans	10	16,4
36-46 ans	3	4,9
Total	61	100

Tableau 5-10 : Distribution des dents selon les tranches d'âge (n=60)		
Tranches d'âge	**Effectifs**	**Pourcentage**
16-26 ans	***47***	78,3
26-36 ans	12	20
36-46 ans	1	1,7
Total	60	100

Tableau 5-11 : Distribution des patients selon le sexe (n=61)		
Sexe	**Effectifs**	**Pourcentage**
Homme	17	27,9
Femme	***44***	72,1
Total	61	100

Tableau 5-12 : Distribution des patients selon le sexe (n=60)		
Sexe	**Effectifs**	**Pourcentage**
Homme	16	26,6
Femme	***44***	73 ,3
Total	60	100

Tableau 5-13 : Distribution des dents selon le type de dents (n=61)

Dents	Effectifs	Pourcentage
Molaire	***47***	77
Prémolaire	14	23
Incisive	-	-
Canine	-	-
Total	61	100

Tableau 5-14 : Distribution des dents selon le type de dents (n=60)

Dents	Effectifs	Pourcentage
Molaire	***40***	66,7
Prémolaire	12	20
Incisive	7	11,7
Canine	1	1,7
Total	60	100

Tableau 5-15 : Distribution des dents selon le type de cavité (n=61)

Cavités	Effectifs	Pourcentage
Occlusale	14	23
Occluso-Proximale	***28***	45,9
Vestibulo-Proximale	5	8,2
Vestibulo-Occlusale	10	16,4
Vestibulaire	1	1,6
Mésio-Palatine	-	-
Disto-Palatine	-	-
Occluso-Linguale	2	3,3
Proximale	1	1,6
Total	61	100

Tableau 5-16 : Distribution des dents selon le type de cavité (n=60)

Cavités	Effectifs	Pourcentage
Occlusale	15	25
Occluso-Proximale	***24***	40
Vestibulo-Proximale	2	3,3
Vestibulo-Occlusale	7	11,7
Vestibulaire	2	3,3
Mésio-Palatine	1	1,7
Disto-Palatine	1	1,7
Occluso-Linguale	2	3,3
Proximale	6	10
Total	60	100

Tableau 5-17 : Distribution des dents selon la profondeur de la cavité (n=61)

Profondeur	Effectifs	Pourcentage
Plus 2 mm	***49***	80,3
Moins 2 mm	12	19,7
Total	61	100

Tableau 5-18 : Distribution des dents selon la profondeur de la cavité (n=60)

Profondeur	Effectifs	Pourcentage
Plus de 2mm	30	50
Moins de 2mm	30	50
Total	60	100

Tableau 5-19 : Distribution des dents selon le diagnostic positif des dents (n=61)

Diagnostic	Effectifs	Pourcentage
Catégorie I	6	9,8
Catégorie II	***55***	90,2
Total	61	100%

Tableau 5-20 : Distribution des dents selon le diagnostic positif des dents (n=60)

Diagnostic	Effectifs	Pourcentage
Catégorie I	18	30
Catégorie II	***42***	70
Total	60	100

Tableau 5-21 : Distribution des dents selon la thérapeutique indiquée (n=61)

Thérapeutique	Effectifs	Pourcentage
CPI	***49***	80,3
CPD	12	19,7
Total	61	100

Tableau 5-22 : Distribution des dents selon la thérapeutique indiquée (n=60)

Thérapeutique	Effectifs	Pourcentage
CPI	***55***	91,7
CPD	5	8,3
Total	60	100

Tableau 5-23 : Types de dents et diagnostic positif (n=61)

Dents	Cat I	Cat II	Total
	n (%)	n (%)	n (%)
Molaire	4 (66,7)	***43 (78,2)***	47 (77)
Prémolaire	2 (33,3)	12 (21,8)	14 (23)
Incisive	-	-	-
Canine	-	-	-
Total	6 (100)	55 (100)	61 (100)

Tableau 5-24 : Types de dents et diagnostic positif (n=60)

Dents	Cat I	Cat II	Total
	n (%)	n (%)	n (%)
Molaire	8(44,5)	***32(76,2)***	40(66,7)
Prémolaire	4(22,2)	8(19)	12(20)
Incisive	5(27,8)	2(4,8)	7(11,7)
Canine	1(5,5)	-	1(1,7)
Total	18(100)	42(100)	60(100)

Tableau 5-25 : Types de cavité et diagnostic positif (n=61)

Cavités	Cat I	Cat II	Total
	n (%)	n (%)	n (%)
Occlusale	1 (16,7)	13 (23,6)	14 (23)
Occluso-Proximale	3 (50)	***25 (45,5)***	28 (45,9)
Vestibulo-Proximale	1 (16,7)	4 (7,3)	5 (8,2)
Vestibulo-Occlusale	1 (16,7)	9 (16,4)	10 (16,4)
Vestibulaire	-	1 (1,8)	1 (1,6)
Mésio-Palatine	-	-	-
Disto-Palatine	-	-	-
Occluso-Linguale	-	2 (3,6)	2 (3,3)
Proximale	-	1 (1,8)	1 (1,6)
Total	6 (100)	55 (100)	61 (100)

Tableau 5-26 : Types de cavités et diagnostic positif (n=60)

Cavités	Cat I	Cat II	Total
	n (%)	n (%)	n (%)
Occlusale	4(22,2)	11(26,3)	15(25)
Occluso-Proximale	3(16,7)	***21(50)***	24(40)
Vestibulo-Proximale	1(5,5)	1(2,3)	2(3,3)
Vestibulo-Occlusale	1(5,5)	6(14,2)	7(11,7)
Vestibulaire	2(11,1)	-	2(3,3)
Mésio-Palatine	-	1(2,3)	1(1,7)
Disto-Palatine	-	1(2,3)	1(1,7)
Occluso-Linguale	1(5,5)	1(2,3)	2(3,3)
Proximale	6(33,3)	-	6(10)
Total	18(100)	42(100)	60(100)

Tableau 5-27 : Profondeur des cavités et diagnostic positif (n=61)			
Profondeur	**Cat I** n (%)	**Cat II** n (%)	**Total** n (%)
Plus de 2 mm	3 (50)	***46 (83,6)***	49 (80 ,3)
Moins de 2 mm	3 (50)	9 (16,4)	12 (19,7)
Total	6 (100)	55 (100)	61 (100)

Tableau 5-28 : Profondeur des cavités et diagnostic positif des dents (n=60)			
Profondeur	**Cat I** n (%)	**Cat II** n (%)	**Total** n (%)
Plus 2mm	2(11,1)	***28(66,7)***	30(50)
Moins 2mm	16(88,9)	14(33,3)	30(50)
Total	18(100)	42(100)	60 (100)

Tableau 5-29 : Types de cavité et thérapeutiques réalisées (n=61)			
Cavités	**CPI** n (%)	**CPD** n (%)	**Total** n (%)
Occlusale	12(24,5)	2(16,7)	14 (23)
Occluso-Proximale	***21(42,9)***	7(58,3)	28 (45,9)
Vestibulo-Proximale	4(8,2)	1(8,3)	5 (8,2)
Vestibulo-Occlusale	8(16,3)	2(16,7)	10 (16,4)
Vestibulaire	1(2)	-	1 (1,6)
Mésio-Palatine	-	-	-
Disto-Palatine	-	-	-
Occluso-Linguale	2(4,1)	-	2 (3,3)
Proximale	1(2)	-	1 (1,6)
Total	49 (100)	12 (100)	61 (100)

Tableau 5-30 : Types de cavités et thérapeutiques réalisées (n=60)			
Cavités	**CPI** n (%)	**CPD** n (%)	**Total** n (%)
Occlusale	14(25,5)	1(20)	15(25)
Occluso-Proximale	***21(38,2)***	3(60)	24(40)
Vestibulo-Proximale	2(3,6)	-	2(3,3)
Vestibulo-Occlusale	6(10,9)	1(20)	7(11,7)
Vestibulaire	2(3,6)	-	2(3,3)
Mésio-Palatine	1(1,8)	-	1(1,7)
Disto-Palatine	1(1,8)	-	1(1,7)
Occluso-Linguale	2(3,6)	-	2(3,3)
Proximale	6(10,9)	-	6(10)
Total	55(100)	5(100)	60(100)

Tableau 5-31 : Thérapeutiques réalisées et diagnostic positif (n=61)

Thérapeutique	Cat I	Cat II	Total
	n (%)	n (%)	n (%)
CPI	5 (83,3)	***44 (80)***	49 (80 ,3)
CPD	1 (16,7)	11 (20)	12 (19,7)
Total	6 (100)	55 (100)	61 (100)

Tableau 5-32 : Thérapeutiques réalisées et diagnostic positif (n=60)

Thérapeutique	Cat I	Cat II	Total
	n (%)	n (%)	n (%)
CPI	18(100)	***37(88,1)***	55(91,7)
CPD	-	5(11,9)	5(8,3)
Total	18(100)	42(100)	60 (100)

Tableau 5-33 : Profondeur des cavités et thérapeutiques réalisées (n=61)

Profondeur	CPI	CPD	Total
	n(%)	n(%)	n(%)
Plus de 2mm	***37 (75,5)***	12 (100)	49 (80,3)
Moins de 2mm	12 (24,5)	-	12 (19,7)
Total	49 (100)	12 (100)	61 (100)

Tableau 5-34 : Profondeur des cavités et thérapeutiques réalisées (n=60)

Profondeur	CPI	CPD	Total
	n (%)	n (%)	n (%)
Plus 2mm	25(45,5)	5(100)	30(50)
Moins 2mm	***30(54,5)***	-	30(50)
Total	55(100)	5(100)	60 (100)

Tableau 5-35 : La sensibilité transitoire (n=61)

Sensibilité	Effectifs	Pourcentage
Absence	49	80,3
Présence	**12**	**19,7**
Total	61	100

Tableau 5-36 : La sensibilité transitoire (n=60)

Sensibilité	Effectifs	Pourcentage
Absence	52	86,7
Présence	**8**	**13,3**
Total	60	100

Tableau 5-75 : Comparaison en sous-groupes selon le sexe et le biomatériau utilisé

Période de suivi	Sexe	Biodentine	$CaOH_2$	P
02 mois	**Masculin**	12(70,58)	7(43,75)	*NS*
	Féminin	26(59,09)	24(54,54)	
03 mois	**Masculin**	12(70,58)	10(62,5)	*NS*
	Féminin	35(79,54)	29(65,9)	
06 mois	**Masculin**	11(64,70)	8(50)	*NS*
	Féminin	31(70,45)	24(54,54)	
12 mois	**Masculin**	9(52,94)	6(37,5)	*NS*
	Féminin	29(65,90)	19(43,18)	

Tableau 5-78 : Comparaison en sous-groupes selon la profondeur des cavités et le biomatériau utilisé				
Période de suivi	**Profondeur**	**Biodentine**	**$CaOH_2$**	**P**
02 mois	**Plus de 2mm**	34(69 ,38)	19(63,33)	*NS*
	Moins de 2mm	4(33,33)	12(40)	
03 mois	**Plus de 2mm**	40(81,36)	21(70)	*NS*
	Moins de 2mm	7(58,33)	18(60)	
06 mois	**Plus de 2mm**	37(75,51)	18(60)	*NS*
	Moins de 2mm	5(41,66)	14(46,66)	
12 mois	**Plus de 2mm**	33(67,34)	14(46,66)	*NS*
	Moins de 2mm	5(41,66)	11(36,66)	

Tableau 5-79 : Comparaison en sous-groupes selon la sensibilité transitoire et le biomatériau utilisé				
Période de suivi	**Sensibilité**	**Biodentine**	**$CaOH_2$**	**P**
02 mois	**Présence**	9(75)	7(87,5)	*NS*
	Absence	29(59,18)	24(46,15)	
03 mois	**Présence**	12(100)	7(87,5)	*NS*
	Absence	35(71,42)	32(61,53)	
06 mois	**Présence**	10(83,33)	5(62,5)	*NS*
	Absence	32(65,3)	27(51,92)	
12 mois	**Présence**	10(83,33)	4(50)	*NS*
	Absence	28(57,14)	21(40,38)	

Tableau 5-81 : Comparaison en sous-groupes selon la thérapeutique réalisée et le biomatériau utilisé				
Période de suivi	**Thérapeutique**	**Biodentine**	**$CaOH_2$**	**P**
02 mois	**CPI**	30(61,22)	28(50,90)	*NS*
	CPD	8(66,66)	3(60)	
03 mois	**CPI**	38(77,55)	36(65,45)	*NS*
	CPD	9(75)	3(60)	
06 mois	**CPI**	31(63,26)	28(50,90)	*NS*
	CPD	11(91,66)	4(80)	
12 mois	**CPI**	28(57,14)	21(38,18)	*NS*
	CPD	10(83,33)	4(80)	

(CPI) : Coiffage Pulpaire Indirect ; **(CPD)** : Coiffage Pulpaire Direct

Tableau 5-83 : Répartition des patients selon les classes d'âge (n=18)		
Tranche d'âge	Effectifs	Pourcentage
Moins de 10 ans	17	94,4
Plus de 10 ans	1	5,6
Total	18	100

Tableau 5-84 : Répartition des dents selon le sexe (n=18)		
Sexe	Effectifs	Pourcentage
Masculin	7	38,9
Féminin	11	61,1
Total	18	100

Tableau 5-85: Répartition des dents selon le type de dents (n=27)		
Dent	**Effectifs**	**Pourcentage**
Molaire	9	33,3
Incisive	18	66,7
Total	27	100

Tableau 5-86 : Répartition des dents selon le diagnostic positif (n=27)		
Diagnostic	**Effectifs**	**Pourcentage**
Catégorie II de Baume	9	33,3
FCNP	11	40,7
FCP	7	25,9
Total	27	100

(FCNP) : Fracture Coronaire Non Pénétrante ; (FCP) : Fracture Coronaire Pénétrante

Tableau 5-87 : Répartition des dents selon la thérapeutique réalisée (n=27)		
Thérapeutique	**Effectifs**	**Pourcentage**
PP	22	81,5
PT	5	18,5
Total	27	100

(PP) : Pulpotomie Partielle ; (PT) : Pulpotomie Totale

Tableau 5-88 : Diagnostic et type de dents (n=27)				
Dent	**Cat II**	**FCNP**	**FCP**	**Total**
	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)
Molaire	9 (100)	-	-	9 (100)
Incisive	-	11 (61,1)	7 (38,9)	18 (100)
Total	9 (33,3)	11 (40,7)	7 (25,9)	27 (100)

(Cat II) : Catégorie II de Baume ; (**FCNP)** : fracture coronaire non pénétrante **; (FCP)** : fracture coronaire pénétrante, (-) : aucune dent

Tableau 5-89 : Thérapeutiques réalisées et diagnostic positif (n=27)				
Diagnostic	**Cat II**	**FCNP**	**FCP**	**Total**
	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)
PP	5 (55,6)	10 (90,9)	7 (100)	22 (81,5)
PT	4 (44,4)	1 (9,1)	-	5 (18,5)
Total	**9 (100)**	**11 (100)**	**7 (100)**	27 (100)

(PP) : Pulpotomie Partielle ; **(PT)** : Pulpotomie Totale ; (**Cat II)** : Catégorie II de Baume ;
(FCNP) : fracture coronaire non pénétrante **; (FCP)** : fracture coronaire pénétrante, (-) : aucune dent

Intitulé : *Dentinogénèse et apexogénèse après application d'un biomatériau à base de silicate tricalcique*

Résumé :

Les thérapeutiques conservatrices visent à préserver la vitalité pulpaire, étant donné que la pulpe, une fois stimulée, induit une régénération et une formation d'une apposition dentinaire et radiculaire. Depuis de nombreuses années, l'Hydroxyde de Calcium a été le matériau de référence pour ces thérapeutiques. La nouvelle approche de la dentisterie restauratrice combinée à la mise sur le marché de nouveaux matériaux performants à base de silicate tricalcique tels que Biodentine est à la base de cette étude. L'objectif est de comparer les effets dentinogénétiques de Biodentine et l'Hydroxyde de Calcium sur des dents matures par des thérapeutiques de coiffages pulpaires directs et indirects d'une part, et d'autre part d'observer ces mêmes effets sur des dents permanentes immatures par des thérapeutiques d'apexogénèse.

Il s'agit d'une étude clinique monocentrique, randomisée avec bénéfice individuel direct, contrôlée, ouverte en simple insu.

121 dents permanentes matures chez 98 patients ont été randomisées et traitées par coiffages pulpaires directs et indirects avec les deux biomatériaux ainsi que 27 dents immatures chez 18 enfants. L'étude a duré trois années. Les suivis clinique et radiologique ont été réalisés sur une période d'une année, à des intervalles de 15j, 1, 2, 3, 6 et 12 mois. L'analyse a été effectuée à l'aide du logiciel SPSS (IBM SPSS Statistics 20).

Comparé au MTA et à l'Hydroxyde de Calcium, Biodentine semble favorable pour les thérapeutiques de conservation de la vitalité pulpaire sur dents matures et sur dents immatures.

Abstract :

The aim of conservative therapies is to preserve pulp vitality, which once stimulated, induces regeneration and formation of dentinal and radicular appositions. For many years, Calcium Hydroxide has been the reference material for these therapies. The new approach in restorative dentistry combined with the introduction of new high-performance tricalcium silicate materials, such as Biodentine is the basis of this study. The objective, in this study, is to compare the dentinogenetic effects of Biodentine and Calcium Hydroxide on mature teeth by direct and indirect pulp capping therapies in one hand, and in the other to observe these same effects on permanent teeth by apexogenesis therapeutics.

It is a single-center, randomized clinical trial with direct individual benefit, controlled and open single-blinded.

121 mature permanent teeth of 98 patients were randomized and treated with direct and indirect pulp capping with both biomaterials, than 27 immature teeth of 18 children. The study lasted three years. The clinical and radiological controls were performed over a period of one year at intervals of 15 days, 1, 2, 3, 6 and 12 months. The statistical analysis was realised by statistique SPSS software (IBM SPSS Statistics 20).

Compared to MTA and Calcium Hydroxide, Biodentine seems to be favorable for the preservation of pulpal vitality in mature and immature teeth

Mots clés : Biodentine, Hydroxyde de Calcium, MTA, Thérapeutiques dentinogènes, Thérapeutiques d'apexogénèse.

Rubrique de classement : Odontologie Conservatrice/Endodontie

Adresse du Directeur de thèse : **Pr Sid Ahmed SERRADJ** – Service d'Odontologie Conservatrice/Endodontie – CHU Oran. Clinique de Chirurgie Dentaire, 6 place du Dr Roux. 31000 Oran - Algérie

Adresse de l'auteur : **Dr Nabila TAHARI** - Service d'Odontologie Conservatrice/Endodontie – CHU Oran. Clinique de Chirurgie Dentaire, 6 place du Dr Roux. 31000 Oran - Algérie nabila_65@yahoo.fr

The aim of conservative therapies is to preserve pulp vitality, which once stimulated, induces regeneration and formation of dentinal and radicular appositions. For many years, Calcium Hydroxide has been the reference material for these therapies. The new approach in restorative dentistry combined with the introduction of new high-performance tricalcium silicate materials, such as Biodentine is the basis of this study. The objective, in this study, is to compare the dentinogenetic effects of Biodentine and Calcium Hydroxide on mature teeth by direct and indirect pulp capping therapies in one hand, and in the other to observe these same effects on permanent teeth by apexogenesis therapeutics.

It is a single-center, randomized clinical trial with direct individual benefit, controlled and open single-blinded.
121 mature permanent teeth of 98 patients were randomized and treated with direct and indirect pulp capping with both biomaterials, than 27 immature teeth of 18 children. The study lasted three years. The clinical and radiological controls were performed over a period of one year at intervals of 15 days, 1, 2, 3, 6 and 12 months. The statistical analysis was realised by statistique SPSS software (IBM SPSS Statistics 20).
Compared to MTA and Calcium Hydroxide, Biodentine seems to be favorable for the preservation of pulpal vitality in mature and immature teeth.