

**UNIVERSITE DU DROIT ET DE LA SANTE DE LILLE 2**  
**FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE**

Année de soutenance : 2017

N°:

THESE POUR LE  
**DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE**

Présentée et soutenue publiquement le 06 septembre 2017

Par Claire BLANQUART

Née le 09 août 1993 à Lille – France

**TRAITEMENT NON-CHIRURGICAL DES PERFORATIONS IATROGENES  
PAR LA POSE DE BIODENTINE® :  
RÉALISATION DE FICHES PÉDAGOGIQUES.**

**JURY**

Président :	Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX
Assesseurs :	Monsieur le Docteur Alain GAMBIEZ
	<u>Monsieur le Docteur Thibault BÉCAVIN</u>
	Monsieur le Docteur Lieven ROBBERECHT

Président de l'Université : Pr. X. VANDENDRIESSCHE  
Directeur Général des Services : P-M. ROBERT  
Doyen : Pr. E. DEVEAUX  
Vice-Doyens : Dr. E. BOCQUET, Dr. L. NAWROCKI,  
Pr. G. PENEL  
Responsable des Services : S. NEDELEC  
Responsable de la Scolarité : L. LECOCQ

\*\*\*\*\*

### PERSONNEL ENSEIGNANT DE L'U.F.R.

#### PROFESSEURS DES UNIVERSITES :

P. BEHIN Prothèses

T. COLARD Sciences Anatomiques et Physiologiques,  
Occlusodontiques, Biomatériaux, Biophysiques,  
Radiologie.

**E. DELCOURT-DEBRUYNE** Professeur Emérite Parodontologie

E. DEVEAUX Odontologie Conservatrice – Endodontie  
**Doyen de la Faculté**

**G. PENEL** Responsable de la Sous-Section des **Sciences  
Biologiques.**

## **MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES**

<b>T. BECAVIN</b>	Responsable de la Sous-Section d' <b>Odontologie Conservatrice- Endodontie</b>
A. BLAIZOT	Prévention, Épidémiologie, Économie de la Santé, Odontologie Légale
F. BOSCHIN	Responsable de la Sous-Section de Parodontologie
<b>E. BOCQUET</b>	Responsable de la Sous- Section d' <b>Orthopédie Dento-Faciale</b>
<b>C.CATTEAU</b>	Responsable de la Sous-Section de <b>Prévention, Épidémiologie, Économie de la Santé, Odontologie Légale.</b>
A. De BROUCKER	Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques, Biomatériaux, Biophysiques, Radiologie
T. DELCAMBRE	Prothèses
C.DELFOSSE	Odontologie Pédiatrique
F. DESCAMP	Prothèses
A. GAMBIEZ	Odontologie Conservatrice – Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
P. HILDELBERT	Odontologie Conservatrice - Endodontie
<b>J.M. LANGLOIS</b>	Responsable de la Sous-Section de <b>Chirurgie Buccale, Pathologie et Thérapeutique, Anesthésiologie Réanimation.</b>
C. LEFEVRE	Prothèses
J.L. LEGER	Orthopédie Dento-Faciale
M. LINEZ	Odontologie Conservatrice – Endodontie
G. MAYER	Prothèses
L.NAWROCKI	Chirurgie Buccale, Pathologie et Thérapeutique, Anesthésiologie, Réanimation

	Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin - CHRU Lille
C. OLEJNIK	Sciences Biologiques
P. ROCHER	Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques, Biomatériaux, Biophysique, Radiologie
M. SAVIGNAT	Responsable de la Sous-Section <b>des Sciences Anatomiques, Physiologiques, Occlusodontiques, Biomatériaux, Biophysiques, Radiologie.</b>
T. TRENTESAUX	Odontologie Pédiatrique
J. VANDOMME	Responsable de la Sous-Section de <b>Prothèses</b>

### ***Réglementation de présentation du mémoire de Thèse***

Par délibération en date du 29 octobre 1998, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire de l'Université de Lille 2 a décidé que les opinions émises dans le contenu et les dédicaces des mémoires soutenus devant jury doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'ainsi aucune approbation, ni improbation ne leur est donnée.

**Aux membres de mon jury...**

**Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX**

**Professeur des Universités - Praticien hospitalier des CSERD**

*Sous-Section Odontologie Conservatrice – Endodontie*

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Sciences Odontologiques

Docteur en Odontologie de l'Université de Lille 2

Habilité à diriger des recherches

Doyen de la Faculté de Chirurgie Dentaire de Lille 2

Membre associé national de l'Académie Nationale de Chirurgie Dentaire

Responsable des Relations Internationales de la Faculté de Chirurgie Dentaire de Lille

Personne Compétente en Radioprotection

Ancien Président de la Société Française d'Endodontie

*Je suis très sensible à l'honneur que vous me faites en acceptant la  
présidence de mon jury de thèse.*

*Soyez assurée de ma sincère reconnaissance et veuillez trouver ici  
l'expression de mon profond respect pour l'attention que vous portez à vos  
étudiants et la qualité de votre enseignement.*

**Monsieur le Docteur Alain Gambiez**

**Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier des  
CSERD**

*Sous-Section Odontologie Conservatrice – Endodontie*

Docteur en Chirurgie Dentaire

D.E.A Sciences de la Vie et de la Santé

*Vous m'avez ouvert les yeux sur la pratique de l'endodontie.*

*C'est un plaisir d'apprendre à vos côtés.*

*Merci pour vos précieuses remarques, votre expérience, votre savoir, vos conseils  
bibliographiques qui ont su faire avancer ma réflexion.*

*Veillez trouver dans ce travail l'expression de ma gratitude et de mes  
sentiments les plus sincères.*

**Monsieur le Docteur Thibault BÉCAVIN**

**Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier des CSERD**

*Sous-Section Odontologie Conservatrice – Endodontie*

Docteur en chirurgie dentaire

Master 1 Informatique Médical de Lille 2

Master 2 Biologie et Santé de Lille 2

Docteur de l'Université de Lille 2

Responsable de la sous-section d'Odontologie Conservatrice et Endodontie

*C'est avec enthousiasme et plaisir que vous avez accepté de diriger mon travail de thèse. Je vous remercie pour tout ce temps que vous avez pu me consacrer. Malgré votre emploi du temps chargé, vous avez toujours fait preuve d'une écoute attentive. J'espère que notre collaboration sur ce travail aura été à la hauteur de vos espérances.*

*Merci pour votre confiance.*

*Je vous en suis très reconnaissante.*

**Monsieur le Docteur Lieven ROBBERECHT**

**Maître de conférences des universités – Praticien hospitalier  
des CSERD**

*Sous-Section Odontologie Conservatrice – Endodontie*

Docteur en Chirurgie Dentaire

Master 1 Informatique médical de Lille 2

Master 2 Biologie et santé de Lille 2

Docteur de l'université de Lille 2

*Vous avez accepté spontanément et avec enthousiasme de siéger au sein de ce  
jury.*

*Pour votre gentillesse et votre disponibilité auprès des étudiants,  
veuillez trouver ici l'expression de mes sincères remerciements et de ma  
reconnaissance.*

***Je dédie cette thèse,***



## Table des matières

Introduction.....	14
1. Les perforations radiculaires iatrogènes : localisations, causes et pronostics des traitements .....	15
1.1. Rappels anatomiques des tissus concernés par les perforations.....	15
1.1.1. La dentine .....	15
1.1.1.1. Composition.....	15
1.1.1.2. Les types de dentine .....	15
1.1.2. L'endodonte.....	16
1.1.3. Le cément radiculaire.....	17
1.1.4. Le parodonte.....	17
1.2. Définition et étiologies des perforations iatrogènes.....	18
1.2.1. Définition.....	18
1.2.2. Aménagement des voies d'accès.....	18
1.2.3. Canaux courbes.....	19
1.2.4. Pause ou retrait d'un tenon radiculaire.....	20
1.2.5. Éviction d'un instrument fracturé intra-canalair.....	21
1.3. Les différentes localisations des perforations.....	21
1.3.1. Perforations du plancher pulpaire.....	21
1.3.2. Perforations du tiers coronaire et moyen.....	22
1.3.2.1. Perforations supra-crestales.....	22
1.3.2.2. Perforations infra-crestales.....	22
1.3.3. Perforation du tiers apical.....	22
1.3.4. Perforation par stripping.....	24
1.4. Pronostics des traitements des perforations.....	25
1.4.1. En fonction de la taille de la perforation .....	25
1.4.2. En fonction des structures environnantes.....	25
1.4.3. En fonction de la contamination bactérienne et de l'ancienneté .....	25
1.4.4. En fonction de la localisation .....	25
2. Les silicates de calcium dans le traitement des perforations : la Biodentine® et le MTA.....	26
2.1. Pourquoi ces matériaux ?.....	26
2.2. Présentation de la Biodentine® et du MTA.....	26
2.2.1. Composition chimique.....	26
2.2.2. Conditionnement.....	28
2.2.3. Réaction de prise.....	28
2.3. Indications de la Biodentine® et du MTA.....	29
2.4. Objectif du matériau d'obturation des perforations .....	30
2.5. Analyse des propriétés de la Biodentine® et du MTA.....	30
2.5.1. Propriétés physico-chimiques.....	30
2.5.1.1. Pureté.....	30
2.5.1.2. Radio-opacité.....	30
2.5.1.3. Formation d'une dentine réactionnelle.....	31
2.5.1.4. Résistance en milieu acide et à la dissolution .....	31
2.5.1.5. Densité et porosité.....	32
2.5.2. Propriétés biologiques.....	34
2.5.2.1. Biocompatibilité.....	34
2.5.2.2. Effet anti-microbien.....	34
2.5.3. Propriétés mécaniques.....	35

2.5.3.1. Temps de prise et manipulation .....	35
2.5.3.2. Micro-dureté.....	35
2.5.3.3. Résistance à la compression.....	35
2.5.3.4. Résistance à la flexion.....	36
2.5.3.5. Étanchéité.....	36
2.5.3.6. Pérennité.....	37
2.5.4. Conclusion.....	38
3. Séquence opératoire d'utilisation de la Biodentine® dans le traitement des perforations iatrogènes.....	39
3.1. Diagnostic des perforations iatrogènes .....	39
3.1.1. Diagnostic clinique.....	39
3.1.2. Diagnostic radiologique.....	39
3.1.3. Aide au diagnostic.....	39
3.2. L'annonce au patient .....	41
3.3. Choix du traitement .....	41
3.3.1. Généralités.....	41
3.3.2. Notion de matrice dentaire et osseuse.....	41
3.3.2. Intérêt de la chirurgie parodontale.....	42
3.3.3. Intérêt des matrices internes.....	43
3.3.4. Décision thérapeutique .....	44
3.3.4.1. Perforation du plancher radiculaire.....	44
3.3.4.2. Perforation supra-crestale et juxta-crestale. ....	47
3.3.4.3. Perforation infra-crestales du 1/3 moyen radiculaire .....	47
3.4. Protocole d'irrigation et de nettoyage des perforations.....	52
3.4.1. Intérêt.....	52
3.4.2. L'hypochlorite de sodium.....	52
3.4.3. L'éthylène diamine tétra-acétique (EDTA).....	52
3.4.4. L'irrigation des perforations.....	53
3.5. Intérêt des inter-séances à l'hydroxyde de calcium.....	54
3.6. Préparation et mise en place de la Biodentine®.....	55
3.7. Surveillance régulière .....	56
4. Fiches pédagogiques.....	56
4.1. Intérêt des fiches.....	56
4.2. Public concerné.....	57
4.3. Mise en place des fiches.....	57
4.4. Discussion.....	57
4.5. Les fiches pédagogiques.....	59
4.5.1. Guide d'utilisation de la Biodentine® .....	59
4.5.2. Matériel nécessaire pour l'obturation des perforations.....	60
4.5.3. Traitement des perforations de plancher radiculaire par Biodentine®. ....	61
4.5.4. Traitement des perforations du tiers moyen radiculaire par Biodentine® .....	62
5. Cas cliniques.....	63
5.1. Perforation du plancher radiculaire iatrogène .....	63
5.2. Perforation du 1/3 moyen radiculaire.....	64
5.3. Double perforation du 1/3 coronaire radiculaire .....	65
Conclusion.....	69
Références bibliographiques.....	70
Table des figures.....	76
Table des tableaux.....	77

## Introduction

Les perforations endodontiques ont toujours représenté une cause d'échec importante compromettant considérablement le devenir de la dent. Selon Seltzer, les perforations sont la deuxième cause d'échec du traitement endodontique [62]. Elles sont définies en endodontie comme «une communication pathologique ou iatrogène entre l'espace canalaire et le desmodonte» (définition de l'Association Américaine d'Endodontie). Grâce à l'évolution des nouvelles techniques et l'apparition de nouveaux matériaux, l'avulsion dentaire est devenue la solution de dernier recours. Le maintien de l'intégrité de la dent naturelle est important pour le bon fonctionnement de la cavité buccale. Les perforations peuvent être d'origine iatrogène, c'est à dire survenues lors du traitement ou du retraitement endodontique ou lors de la préparation d'un logement intra-radulaire. Elles peuvent être également d'origine pathologique lors de carie profonde ou lors de résorption radulaire interne ou externe.

Le groupe Septodont® a mis au point en 2010 la Biodentine®. C'est un matériau à base de silicate de calcium conciliant des propriétés mécaniques élevées avec une excellente biocompatibilité ainsi qu'un comportement bioactif [69]. Elle est utilisée comme substitut dentinaire dans de nombreuses situations cliniques notamment dans le traitement des perforations.

L'objectif de cette thèse est pédagogique, il constitue en la réalisation de fiches pédagogiques destinées aux étudiants de la faculté de chirurgie dentaire

Cette thèse commencera par des rappels anatomiques. Nous nous intéresserons ensuite aux étiologies et localisations des perforations iatrogènes ainsi qu'aux pronostics des traitements proposés. Dans une seconde partie, une synthèse des données de la littérature sur les propriétés de la Biodentine® et sur son efficacité dans le traitement des perforations endodontiques iatrogènes sera effectuée. Pour finir, ce travail sera composé de fiches pédagogiques afin de faciliter l'utilisation de ce nouveau matériau. Des cas cliniques clôtureront ce travail afin d'illustrer la thèse.

# 1. Les perforations radiculaires iatrogènes : localisations, causes et pronostics des traitements

## 1.1. Rappels anatomiques des tissus concernés par les perforations

### 1.1.1. La dentine

#### 1.1.1.1. Composition

La dentine est un tissu minéralisé qui représente le principal constituant de l'organe dentaire. Elle est recouverte par l'émail coronaire et le cément radiculaire. C'est le tissu dentaire qui a le volume le plus important. La dentine est moins dure que l'émail. Elle contient 70% de phase minérale (cristaux d'hydroxyapatite), 20% de trame organique constituée essentiellement par du collagène et 10% de phase aqueuse (eau). Son opacité aux rayons X est plus faible que celle de l'émail. Elle présente une structure poreuse et est parcourue par des tubulis dentinaires qui la rendent perméable. Ces tubulis traversent la dentine depuis la lumière canalaire (contenant la pulpe) jusqu'à la jonction amélo-dentinaire ou cémento-dentinaire.

#### 1.1.1.2. Les types de dentine

Dans la littérature, plusieurs dénominations existent concernant les différents types de dentines synthétisées au cours de la vie de la dent. Goldberg et Smith ont essayé de les définir [68] :

→ **La dentine primaire** est synthétisée dès le début de la formation de la dent. Elle donne la forme générale à l'organe dentaire. Il s'agit de la structure la plus externe, mais également la plus fine. Elle est située sous la jonction amélo-dentinaire. Ce sont les odontoblastes qui la secrètent au cours de leur différenciation terminale. Elle présente une structure sans prolongement odontoblastique.

→ **La dentine secondaire** est synthétisée de manière physiologique après l'éruption de la dent. La sécrétion de la dentine secondaire ne présente pas une répartition homogène. Elle est en quantité moins importante au niveau du

plancher de la chambre pulpaire qu'au niveau du toit et des parties externes de celle-ci. La dentine primaire et secondaire ont une composition chimique et histologique absolument identiques.

→ **La dentine tertiaire**, quant à elle, n'est pas sécrétée de manière physiologique mais en réponse à une agression externe (carie, abrasion). Cette dentine permet de protéger la pulpe sous-jacente. En fonction de l'agression des odontoblastes, on distingue deux types de dentine tertiaire. Lors d'une agression qui ne conduit pas à la destruction des odontoblastes, la dentine sécrétée prend le nom de « dentine réactionnelle », lorsque le stress est plus intense et que la survie des odontoblastes est compromise, il s'agit alors de « la dentine réparatrice » (Figure 1).

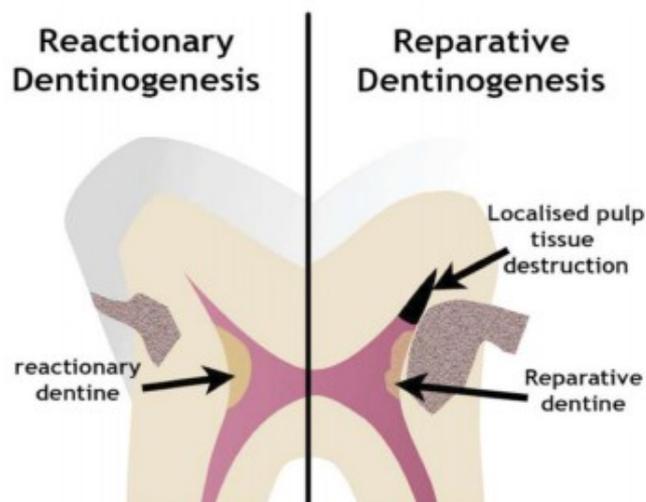


Figure 1 : illustration des deux types de dentinogénèse tertiaire [67]

### 1.1.2. L'endodonte

La partie interne de la dent est constituée de l'endodonte qui prend aussi le nom de pulpe dentaire. Différentes parties la constituent :

- **La pulpe camérale** qui est contenue dans la chambre pulpaire au niveau de la couronne dentaire. Cette chambre est délimitée en coronaire par le plafond pulpaire et en apical par le plancher pulpaire.
- **La pulpe radiculaire** contenue dans les canaux radiculaires.

La pulpe est constituée de différentes couches. Au niveau de sa partie externe (sous la dentine de la couronne dentaire) se trouve les corps cellulaires des

odontoblastes. Immédiatement sous-jacente à cette **couche odontoblastique** se trouve un espace traversé par des branches terminales de fibres nerveuses (responsable de la sensibilité) et de vaisseaux sanguins, il s'agit de la **couche acellulaire de Weil**, elle a la particularité d'être dépourvue de cellule. Sous cette couche se trouve la **couche cellulaire de Hôhl** constituée également de fibres nerveuses et vaisseaux sanguins ainsi que de cellules mésenchymateuses (figure 1). La **masse pulpaire centrale** est remplie d'un tissu conjonctif classique avec des cellules mésenchymateuses, des cellules de défense, des fibroblastes, des fibres de collagène, un réseau de vaisseaux sanguins, des vaisseaux lymphatiques, des troncs nerveux sensitifs et des terminaisons nerveuses libres (figure 2) [53].

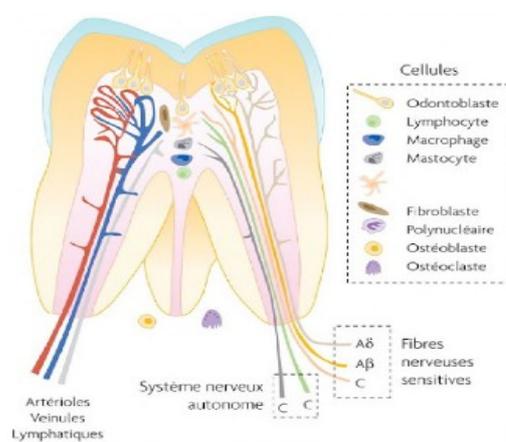


Figure 2 : schéma des principaux constituants pulpaires [67].

Lorsque la dent est traitée endodontiquement, tous les constituants de cette pulpe sont extirpés. On procède alors à une préparation chémo-mécanique, à un parage et à une obturation des canaux radiculaires.

### 1.1.3. Le ciment radiculaire

Il s'agit du quatrième tissu spécifique de la dent. Le ciment recouvre la surface externe de la dentine radiculaire. Les fibres de collagène du desmodonte (tissu de soutien de la dent) se retrouvent ancrées dans le ciment, assurant ainsi la jonction entre la racine dentaire et l'os alvéolaire.

### 1.1.4. Le parodonte

Le parodonte est le tissu de soutien de la dent. Il est en communication avec le ciment radiculaire de par le ligament alvéolo-dentaire (desmodonte). Lors des perforations radiculaires, il existe une communication entre l'endodonte et le

parodonte. Celle-ci n'est pas physiologique mais pathologique. La mise en communication entre le réseau canalaire et le parodonte aboutit à une réaction inflammatoire et à une perte des tissus de soutien de la dent provoquées par les bactéries [68]. Ce phénomène peut compromettre de façon irréversible les tissus adjacents entraînant la perte précoce des dents [51].

## **1.2. Définition et étiologies des perforations iatrogènes**

### **1.2.1. Définition**

Les perforations sont considérées comme la deuxième cause d'échec en endodontie. Elles surviennent lors de traitement endodontique initial ou lors de retraitement, mais aussi à l'occasion de la préparation d'un logement radiculaire en vue de la pose d'un tenon radiculaire qui peut être disproportionné et en dehors de l'axe canalaire. Elles peuvent se situer au niveau du plancher pulpaire lors de la recherche de l'entrée des canaux radiculaires mais également au niveau latérale ou apicale des racines lors de la mise en forme canalaire. Lorsque les perforations radiculaires sont méconnues ou traitées de façon inadéquate, les conséquences sont déterminantes quant au pronostic de la dent affectée.

Selon l'étude clinique de Siew et al, le taux de succès des traitements non chirurgicaux des perforations est supérieur à 70%. Les dents maxillaires ainsi que l'absence de radio-clarté pré-opératoire sont des facteurs favorables à la guérison des perforations [65].

### **1.2.2. Aménagement des voies d'accès**

La cavité d'accès est l'ouverture de la chambre pulpaire, elle a pour but l'élimination mécanique de l'émail et de la dentine coronaire afin d'accéder aux entrées canalaires.

Plusieurs facteurs peuvent être à l'origine des perforations lors de la réalisation des cavités d'accès :

→ Un mauvais angle d'approche de la fraise causé par une différence d'axe entre la racine et la couronne dentaire.

→ Une mauvaise appréciation anatomique de la dent.

De plus, l'âge du patient peut être à l'origine d'erreur de cavité d'accès. En effet

des modifications pulpaire sont visibles avec l'âge. Le dépôt continu de dentine réduit considérablement la taille de la chambre pulpaire [53]. Celle-ci est donc moins visible cliniquement et peut être à l'origine de perforation si l'anatomie de la chambre pulpaire n'a pas été évaluée au préalable. Les erreurs de cavité d'accès peuvent aboutir à des perforations du plancher radiculaire mais aussi à des perforations latérales situées au niveau cervical de la couronne.

Afin d'éviter les perforations lors de la réalisation de cavités d'accès, il est indispensable de respecter certaines règles et précautions. La radiographie rétro-alvéolaire doit tout d'abord être analysée afin d'évaluer le degré de rétraction pulpaire et de localiser les canaux radiculaires. En premier lieu, le tissu carieux et les reconstitutions coronaires devront être éliminés. Il faudra ensuite imaginer et repérer la projection géométrique des cornes pulpaire sur la face d'accès de la dent (figure 3-a) et approfondir la cavité en direction de la chambre pulpaire (figure 3-b), puis le plafond résiduel est supprimé et la cavité est élargie (figure 3-c) à l'aide d'une fraise Endo-Z qui possède une pointe mousse et permet donc de ne pas mutiler le plancher pulpaire. La dernière étape consiste en la suppression des surplombs dentinaires à l'aide de la même fraise afin d'avoir un accès direct aux canaux (figure 3-d,e) [67].

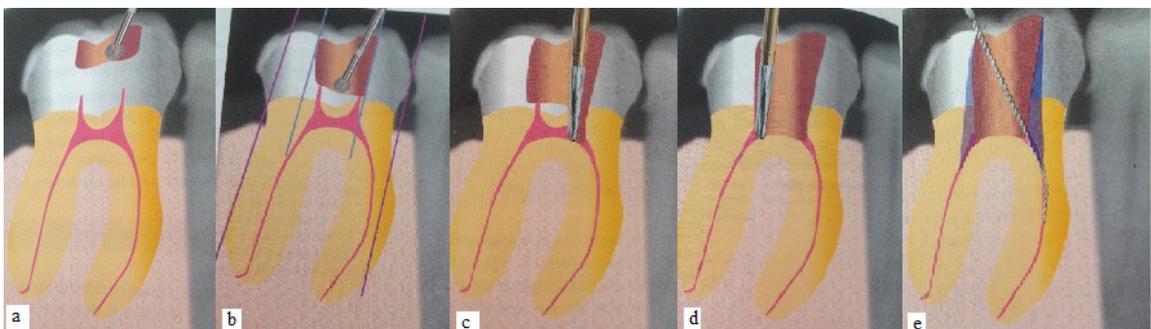


Figure 3 : méthode de réalisation d'une cavité d'accès [67].

### 1.2.3. Canaux courbes

De manière traditionnelle, le traitement canalaire consistait à négocier immédiatement le canal jusqu'à la longueur déterminée au préalable et à débiter la préparation par l'augmentation progressive de la largeur du tiers apical en y introduisant successivement des instruments de taille croissante (technique standardisée, technique du step-back). La principale faiblesse réside dans

l'absence de prise en compte de l'anatomie canalaire. La différence de conicité entre un canal non traité endodontiquement et les limes utilisées pour la mise en forme canalaire entraîne, avec l'augmentation du calibre des limes, un effet de gainage et en conséquence une perte de contrôle du travail effectué à la pointe de l'instrument qui peut conduire à la perforation. La gestion des courbures endodontiques commence par le retrait de tous les surplombs dentinaires au niveau de l'entrée des orifices canaux en réalisant une cavité d'accès idéale où l'orifice canalaire est relocalisé à l'aide d'orifice openers [11] .

Si les courbures canales ne sont pas négociées correctement cela peut aboutir à une fausse route instrumentale et donc à une perforation radiculaire (en général au niveau du tiers moyen radiculaire).

#### **1.2.4. Pause ou retrait d'un tenon radiculaire**

En fonction du délabrement coronaire, un tenon radiculaire peut être indiqué pour restaurer la dent. Une erreur d'axe ou l'utilisation d'un forêt surdimensionné lors de la réalisation du forage pour la mise en place d'un tenon radiculaire peut aboutir à une perforation du tiers moyen radiculaire (figure 4) [74]. L'observation des radiographies rétro-alvéolaires sous différentes incidences est indispensable avant le forage afin de localiser d'éventuelles courbures qui peuvent être à l'origine de perforation.



*Figure 4 : radiographie mettant en évidence une erreur d'axe et de diamètre d'un tenon radiculaire [58].*

Lors de la dépose d'un tenon radiculaire collé, scellé ou vissé profondément ou fracturé, il est parfois nécessaire de libérer le col du tenon en périphérie au dépend du tissu dentinaire pouvant aboutir à une perforation.

### 1.2.5. Éviction d'un instrument fracturé intra-canaire

Lors de la réalisation du traitement endodontique ou du retraitement, il peut arriver qu'un instrument de préparation canalaire se fracture dans le canal. Plus l'instrument est fracturé en profondeur, plus il est laborieux de l'extraire. De nombreuses techniques plus ou moins invasives sont disponibles pour le retrait. Par exemple, un instrument endodontique de faible diamètre peut être utilisé pour contourner et dépasser l'instrument fracturé afin de le libérer des contraintes et de le sortir. Il s'agit de la technique du « by-pass ». L'instrument agit en stripping est peu aboutir à une perforation latérale de la racine [48]. Certains instruments utilisés pour le retrait nécessite le dégagement de la partie haute de l'instrument fracturé au dépend de la dentine radiculaire. Si les parois radiculaires sont fines, le retrait peut aboutir à une perforation. Par exemple, le kit Masserann nécessite le dégagement de la partie coronaire du fragment pour poser un trépan [78].

## 1.3. Les différentes localisations des perforations

### 1.3.1. Perforations du plancher pulpaire

Elles sont le plus souvent créées lors de la réalisation de la cavité d'accès ou de la recherche des canaux calcifiés. Elles présentent généralement forme circulaire. La dent est alors affaiblie mécaniquement. Les perforations accidentelles du plancher pulpaire pendant le traitement endodontique (figure 5) affectent le pronostic du traitement. Celui-ci est affecté par divers facteurs tels que la taille, l'emplacement ainsi que la capacité du matériau utilisé pour sceller la perforation.



Figure 5 : perforation du plancher radiculaire iatrogène [18][21].

Comme toutes perforations, la première préoccupation est d'éviter la contamination bactérienne si elle n'a pas déjà eu lieu [75]. En effet, les perforations permettent aux micro-organismes d'envahir le parodonte, de

déclencher une inflammation et d'aboutir à une perte d'attache de la dent.

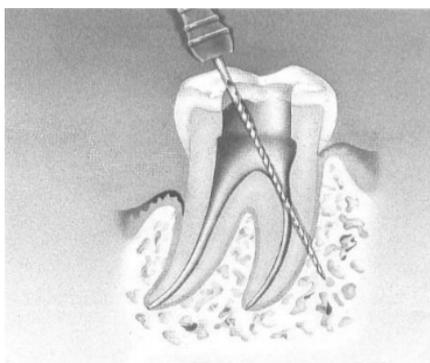
### **1.3.2. Perforations du tiers coronaire et moyen**

#### **1.3.2.1. Perforations supra-crestales**

Les perforations supra-crestales sont localisées au dessus du rebord crestal de l'os alvéolaire. Une élongation coronaire ou une chirurgie parodontale est souvent nécessaire afin de respecter l'espace biologique. Ce type de perforation sera souvent intégré à la restauration coronaire.

#### **1.3.2.2. Perforations infra-crestales**

Lors de perforations infra-crestales (figure 6), il faut s'assurer que la table osseuse ne soit pas perforée. La communication entre la perforation et le sulcus doit être recherchée. Plusieurs techniques permettent de diagnostiquer ce type de perforation. Un instrument à bout mousse au niveau de la lésion peut être introduit, la palpation de celui-ci au niveau de la table osseuse peut constituer une aide au diagnostic. En effet, si on ressent l'instrument avec le doigt sous la gencive cela signifie qu'il n'y a plus d'os vestibulaire. Une radiographie de confirmation est également nécessaire.



*Figure 6 : illustration d'une perforation infra crestale [27]*

### **1.3.3. Perforation du tiers apical**

Kuttler a tenté de décrire la partie apicale d'une dent [41]. Il s'agit d'une région complexe constituée d'un cône dentinaire et d'un autre cémentaire (figure 7).

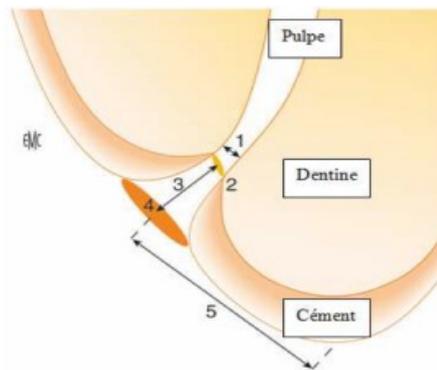


Figure 7 : schéma de la région apicale d'après Kuttler [54]

1. Constriction apicale; 2. jonction cémento-dentinaire ; 3. distance séparant le centre du foramen de la jonction cémento-dentinaire ; 4. foramen ; 5. distance séparant le centre du foramen du vertex.

D'un point de vue anatomique, le cône dentinaire se resserre jusqu'à la constriction apicale. Le cône cémentaire, lui, s'évase de la constriction apicale jusqu'au foramen apical (figure 7).

Lorsque cette structure foraminale est détruite, il est difficile d'obtenir une étanchéité lors du traitement ou retraitement endodontique, les bactéries peuvent s'infiltrer très facilement et provoquer un échec. Elles sont de manière générale de faibles diamètres.

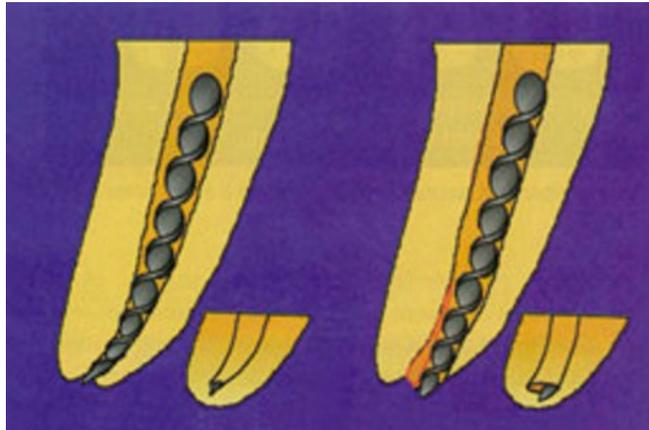
Les perforations radiculaires apicales se retrouvent en général au niveau des racines courbes, du côté extérieur de la courbure.

Les perforations apicales peuvent être réalisées :

- Si la cavité d'accès n'est pas réalisée convenablement (présence de surplomb par exemple).
- Si la pré-courbure des instruments de traitement endodontique ou retraitement est mal adaptée.
- Si les instruments utilisés sont de diamètres trop importants pour atteindre trop rapidement la longueur de travail de l'instrument.
- Si la longueur de travail n'est pas déterminée correctement, on peut aboutir à une perforation apicale. Elle peut donc arriver dans un canal parfaitement droit.

Afin d'éviter les perforations du tiers apical, il est indispensable que le chirurgien dentiste se rappelle que la portion apicale du canal radiculaire se rétrécit dans sa

partie apicale. On appelle cette constriction le cône cémentaire de Kuttler. Si ce cône n'est pas respecté, il peut exister, au niveau apical, une communication pathologique entre le parodonte et l'endodonte.



*Figure 8 : destruction du cône de Kuttler [43]*

Les perforations apicales sont généralement traitées de manière chirurgicale.

#### **1.3.4. Perforation par stripping**

Il s'agit d'une perforation latérale obtenue par une sur-instrumentation dans les canaux ou lorsque le contre-angle utilisé pour la mise en forme canalaire ne tourne pas dans le sens horaire. Elles sont de formes ovalaires. Les «stripings» sont difficiles à traiter car les bords ne sont pas nets. La lésion ressemble à une déchirure, avec des parois irrégulières et fines et une surface d'exposition plus ou moins grande.

Les racines mésio-vestibulaires des molaires maxillaires et les racines mésiales des molaires mandibulaires sont très sensibles à la perforation par stripping en raison des fines parois radiculaires (figure 9) [20].



*Figure 9 : perforation par stripping sur une molaire mandibulaire[1]*

La perforation par stripping est souvent mise en évidence lors du séchage du canal. Après assèchement du canal, on observe une tâche de sang sur le cône en regard de la lésion.

## **1.4. Pronostics des traitements des perforations**

### **1.4.1. En fonction de la taille de la perforation**

La taille d'une perforation est un facteur très important pour le pronostic du traitement. Les petites perforations sont souvent associées à moins de destruction tissulaire. Une perforation de taille importante, en communication avec le sulcus sur la face proximale d'une molaire, suite à une erreur d'axe de la fraise au cours de la réalisation de la cavité d'accès, est beaucoup plus difficile à obturer.

### **1.4.2. En fonction des structures environnantes**

La présence de maladie parodontale compromet considérablement le pronostic du traitement de la perforation. Il est indispensable d'évaluer l'état du parodonte grâce à un sondage et à différents indices (plaque visible à l'oeil nu, saignement...). S'il existe une communication entre la perforation et le fond d'une poche parodontale, les chances de réussite du traitement seront diminuées [68].

### **1.4.3. En fonction de la contamination bactérienne et de l'ancienneté**

La contamination bactérienne est le facteur qui influence le plus le pronostic des perforations. La chance de guérison sur une perforation ancienne, contaminée, et ayant entraîné une perte osseuse est plus faible que dans le cas d'une perforation non contaminée et obturée immédiatement [75]. De nombreuses études réalisées ont montré une meilleure cicatrisation des perforations non contaminées et traitées immédiatement par rapport à celles déjà contaminées avant traitement, et ce quelque soit le matériau utilisé [75] [27] [42].

### **1.4.4. En fonction de la localisation**

Les perforations du tiers coronaire sont généralement faciles d'accès mais le pronostic de réussite du traitement peut s'avérer moins bon que pour les perforations plus profondes. En effet, elles sont généralement réalisées lors de la réalisation de la cavité d'accès avec des instruments rotatifs (fraises, forets de gâtes) qui présentent donc un diamètre important. De plus, elles peuvent présenter une localisation supra-osseuse et être en communication avec le fond

du sulcus ou avec une poche parodontale et donc conduire à une contamination bactérienne par le sillon gingival [74]. L'approche pluridisciplinaire impliquant l'orthodontie (traction de la racine) et ou la chirurgie parodontale peut être nécessaire [68].

Contrairement aux perforations latérales qui sont de forme ovale, les perforations du plancher sont plutôt arrondies et donc plus faciles à obturer. Le pronostic est néanmoins dépendant de la proximité du sulcus et de la communication éventuelle entre la perforation et le milieu oral. Il peut se produire une inflammation de cette zone perforée et donc provoquer une rapide destruction des tissus parodontaux [68].

Les perforations très apicales ont de bons pronostics si le traitement endodontique est réalisé correctement et si le canal principal est retrouvé. Il s'agit en général de perforations de faibles diamètres.

## **2. Les silicates de calcium dans le traitement des perforations : la Biodentine® et le MTA**

### **2.1. Pourquoi ces matériaux ?**

La Biodentine® et le MTA sont deux matériaux de la famille des silicates de calcium. Tous les deux sont utilisés dans le traitement des perforations, cette partie permettra d'analyser les propriétés de ces deux matériaux tout en les comparant.

### **2.2. Présentation de la Biodentine® et du MTA**

#### **2.2.1. Composition chimique**

*Tableau 1 : composition chimique de la Biodentine® sous forme de tableau [69].*

Poudre	Liquide
Silicate tricalcique (3CaO.SiO <sub>2</sub> )	Chlorure de calcium (CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O)
Silicate dicalcique (2CaO.SiO <sub>2</sub> )	Eau
Carbonate de calcium (CaCO <sub>3</sub> )	Polymère hydrosoluble
Dioxyde de zirconium (ZrO <sub>2</sub> )	
Oxyde de fer	

Le silicate dicalcique et tricalcique sont les principaux constituants de la Biodentine® (plus de 70%). Ils sont responsables après hydratation des propriétés mécaniques de celle-ci. Le carbonate de calcium (5%) a quant à lui un rôle de charge, l'oxyde de fer donne la teinte au biomatériau, le dioxyde de zirconium joue un rôle de radio-opacifiant (plus de 5%). Le chlorure de calcium (environ 15%) est utilisé comme agent réducteur d'eau et comme accélérateur de prise. Le polymère hydrosoluble est également utilisé comme agent réducteur d'eau afin d'accélérer le temps de prise du matériau.

Le temps de travail, défini par le délai entre le mélange et la prise initiale du matériau, est de 6 minutes. Son temps de prise est quant à lui compris entre 9 et 12 minutes. L'augmentation de la taille des particules, l'ajout de chlorure de calcium liquide et la diminution de la teneur en liquide permettent un temps de prise rapide.

Tableau 2 : composition chimique du MTA sous forme de tableau

Poudre	Liquide
Silicate tricalcique Silicate dicacique Aluminate tricalciques Aluminate ferrique Oxyde Bismuth Gypse	Eau distillée

Le MTA (minéral tricalcique aggrégate) a été développé par Torabinejad. Il est à base de ciment de Portland (75%) couramment utilisé dans l'industrie du bâtiment. Le ciment de Portland est constitué de silicate tri et di-calcique, d'aluminate tricalcique et d'aluminate ferrique. L'oxyde de bismuth (20%) est ajouté pour rendre le MTA radio-opaque. Le gypse a pour rôle d'accélérer la prise du matériau. Il se présente sous la forme de poudre grise ou blanche constitué de fines particules hydrophiles. A l'origine, le MTA était gris mais depuis 2002, un MTA blanc a été commercialisé, le fer a été éliminé de sa composition. Il a le même composant principal que la Biodentine® (silicate tri et dicalcique). Le liquide présent dans le MTA est de l'eau distillée alors que dans la Biodentine®, il y a l'ajout de chlorure de calcium et de polymère hydrosoluble afin d'accélérer la prise du matériau. Selon les données du fabricant, le temps de prise du MTA est de 5

minutes et le temps de travail est estimé à 2h45 [72].

### 2.2.2. Conditionnement



Figure 10 : conditionnement de la Biodentine® (par l'auteur)

La Biodentine® est commercialisée par Septodont et se présente sous la forme d'une capsule contenant la poudre associée à une ampoule contenant le liquide (figure 10).

Le conditionnement diffère selon le fabricant pour le MTA. Par exemple chez Dentsply, il est commercialisé sous la forme de sachets pré-dosés à mélanger avec de l'eau distillée. Chez Micro-Méga, il s'agit comme la Biodentine® d'une capsule à faire vibrer.

Le conditionnement en capsule facilite la mise en œuvre du matériau (moins difficile d'obtenir la consistance souhaitée). L'inconvénient de ce dispositif est le risque de gaspillage. En effet étant en conditionnement mono-dose, on ne peut pas évaluer la quantité nécessaire. Une étude a tenté de comparer la technique de manipulation par vibration avec la technique par mélange manuel. Mais il s'avère que l'étanchéité du matériau lorsqu'il est mélangé manuellement est diminuée [32]. Des études sont en cours pour tenter de trouver une poudre appropriée pour le mélange manuel.

Le coût de la Biodentine® en comparaison au MTA présente un avantage financier non négligeable. En effet, en moyenne la Biodentine® coûte 18 euros par gramme, 100 euros par gramme pour le MTA.

### 2.2.3. Réaction de prise

Dans la Biodentine®, le silicate de calcium en présence d'eau forme un gel de silicate de calcium hydraté ainsi que de l'hydroxyde de calcium. Il s'agit d'une

réaction d'hydratation. Le gel hydraté va tout d'abord se former à la surface des grains du silicate de calcium non hydraté puis va finir par combler tous les espaces entre ces grains. La Biodentine® va finir de se solidifier progressivement dans une solution sursaturée par la formation de cristaux.

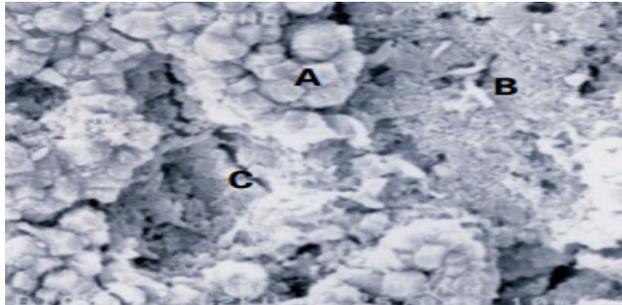


Figure 11 : image au microscope électronique à balayage de la Biodentine®.

A : cristaux de carbonate de calcium B : Hydroxyde de calcium  
C : Gel de silicate de calcium [63].

Le MTA possède également une réaction d'hydratation aboutissant à la formation de gel silicate dicalcique hydraté et d'hydroxyde de calcium tout comme la biodentine® [63]. Le mélange de la poudre et du liquide forme deux phases (une phase cristalline composée d'oxyde de calcium et une phase amorphe composée de phosphate de calcium) [72]. Cela aboutit à un gel colloïdal évoluant vers une structure solide.

### 2.3. Indications de la Biodentine® et du MTA

La Biodentine® peut être utilisée au niveau coronaire comme restauration dentinaire définitive ou comme restauration amélo-dentinaire provisoire. Cette indication clinique diffère du MTA qui lui ne peut pas être employé comme matériau de restauration coronaire du fait de ses propriétés mécaniques insuffisantes.

Les deux matériaux peuvent être utilisés pour la réalisation de pulpotomie ou de coiffage pulpaire direct et indirect. Au niveau endodontique, ils sont tous les deux utilisés pour l'apexification, l'obturation endodontique à rétro et le traitement des perforations et des résorptions radiculaires.

## **2.4. Objectif du matériau d'obturation des perforations**

Un matériau d'obturation idéal doit être biocompatible, étanche par adhésion aux parois dentaires, empêcher le passage des bactéries et des toxines, supporter les variations dimensionnelles et élastiques de la dentine. Il doit également avoir une résistance mécanique suffisante à la compression [33][34].

Pour obtenir un succès complet, le matériau de réparation de la perforation devrait idéalement entraîner la régénération du tissu osseux, du ligament parodontal et du cément.

Au cours du temps, beaucoup de matériaux ont été utilisés pour le traitement des perforations tels que l'amalgame, l'oxyde de zinc-eugénol, la résine composite, le ciment verre ionomère (CVI), les phosphates tricalciques... Le manque d'étanchéité de certains, la difficulté de mise en place pour d'autres expliquent l'inconstance des résultats obtenus lors du traitement.

Le MTA et la Biodentine® sont deux silicates de calcium indiqués dans le traitement des perforations.

## **2.5. Analyse des propriétés de la Biodentine® et du MTA**

### **2.5.1. Propriétés physico-chimiques**

#### **2.5.1.1. Pureté**

Dans le MTA, le silicate de calcium provient de l'industrie du bâtiment, contrairement à la Biodentine® où ce composant est synthétique. La pureté du silicate de calcium contenu dans la Biodentine® est contrôlée en éliminant l'aluminium et d'autres impuretés. Ceci a pour conséquence d'augmenter les propriétés physico-chimiques. Le durcissement est ainsi plus rapide, la résistance mécanique est améliorée et elles permettent une diminution du temps de prise. Cela représente une amélioration par rapport au ciment verre ionomère haute densité et au MTA [49].

#### **2.5.1.2. Radio-opacité**

La radio-opacité est une propriété importante attendue d'un matériau

d'obturation des perforation car ces matériaux sont généralement utilisés en faible proportion et ils doivent être facilement discernés afin d'évaluer leur bonne application.

L'oxyde de zirconium est utilisé comme radio-opacifiant dans la Biodentine® contrairement à d'autres matériaux comme le MTA où l'oxyde de bismuth est préféré.

La Biodentine® présente une radio-opacité moins importante que les matériaux où l'oxyde de bismuth est utilisé [71]. Elle est équivalente à celle d'une épaisseur de 3,5 mm d'aluminium. Très légèrement supérieure à celle de la dentine, elle suffit à distinguer le matériau. Des études montrent que l'oxyde de zirconium possède des caractéristiques biocompatibles, il s'agit d'un matériau bio-inerte avec des propriétés mécaniques favorables ainsi qu'une résistance à la corrosion [49] [56].

#### **2.5.1.3. Formation d'une dentine réactionnelle**

Après coiffage pulpaire, la Biodentine® et le MTA ont tous les deux la capacité d'entraîner la formation de dentine réactionnelle [39].

#### **2.5.1.4. Résistance en milieu acide et à la dissolution**

Lors d'inflammation tissulaire, les biomatériaux utilisés en odontologie conservatrice et en endodontie sont en contact avec un milieu acide. Lors du traitement des perforations, les propriétés physico-chimiques des matériaux à base de silicate de calcium peuvent être altérées en raison du pH acide.

Des tests ont été réalisés afin d'observer le comportement du MTA et de la Biodentine® en milieu acide. La résistance à la compression, la dureté de surface, la structure morphologique et la force de liaison en milieu acide de la Biodentine® et du MTA ont été étudiées. Pour cela des échantillons ont été placés soit dans une solution d'eau distillée à pH neutre (pH 7,4) soit dans une solution d'acide butyrique à pH acide (pH 6,4 ; 5,4 ; 4,4). De par les différents tests réalisés, il a été démontré que la résistance à la compression et la dureté de surface ainsi que la force de liaison de ces deux matériaux ont été altérées en milieu acide. Cependant la Biodentine® a présenté de meilleurs résultats que le MTA [23]. Au microscope électronique à balayage, on observe qu'en milieu acide, la Biodentine® et le MTA présentent une structure en forme d'aiguille et de cristaux avec des structures en nid d'abeille (figure 12). Le MTA présentait une structure

plus érodée. Cela signifie qu'en milieu acide la structure de ces matériaux est modifiée et par conséquent les propriétés physico-chimiques sont affectées [46].

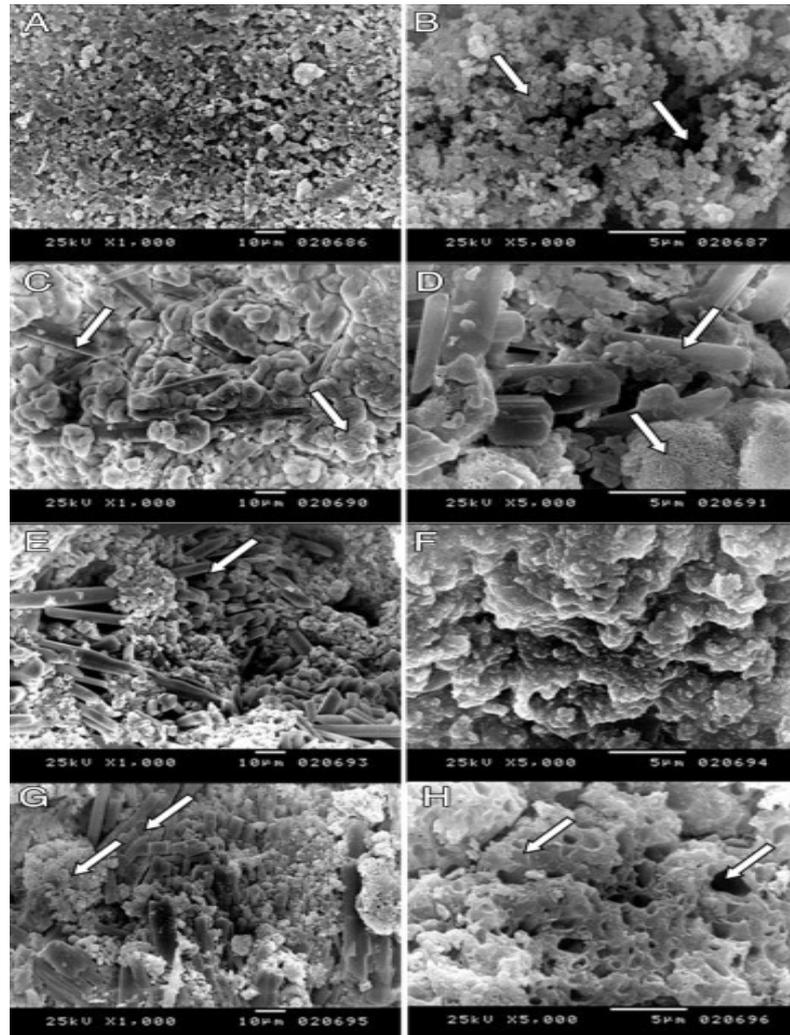


Figure 12 : vues au microscope électronique à balayage de la Biodentine® exposée à différents pH (7,4 ; 6,4 ; 5,4 et 4,4) de haut en bas à grossissement 1000 à droite et 5000 à gauche [23].

#### 2.5.1.5. Densité et porosité

La résistance mécanique des silicates de calcium est inversement proportionnelle à la porosité. Plus la porosité du matériau est basse, plus sa densité est élevée. La densité supérieure de la Biodentine® par rapport aux ciments à base de silicate de calcium est due à la faible teneur en eau utilisée dans le mélange.

Une étude (décrite ci-après) a démontré la faible porosité de la Biodentine® par rapport à d'autres matériaux. Deux tests ont été réalisés :

Le premier est un test par intrusion. Le mercure est utilisé car il s'agit d'un liquide

approprié pour mesurer la porosité. La Biodentine® présente une porosité inférieure au MTA (Tableau 3). La Biodentine® et le Fuji IX (Ciment verre ionomère) présentent une porosité et une densité équivalentes.

Tableau 3 : tableau comparatif de la porosité du MTA de la Biodentine® et du Fuji IX [64].

Matériaux	Porosité
Pro Root MTA®	22,60%
<b>Biodentine®</b>	<b>6,80%</b>
Fuji IX	7,20%

Une analyse en utilisant la mobilité des ions sur le matériau qui est dépendant du nombre de pore et de la taille des pores a été réalisée par électrochimie. Cette analyse a montré qu'au cours du temps la résistance électrique augmentait. Cela signifie que la Biodentine® continue d'évoluer au cours du temps : diminution de la taille des pores et donc augmentation de la densité.

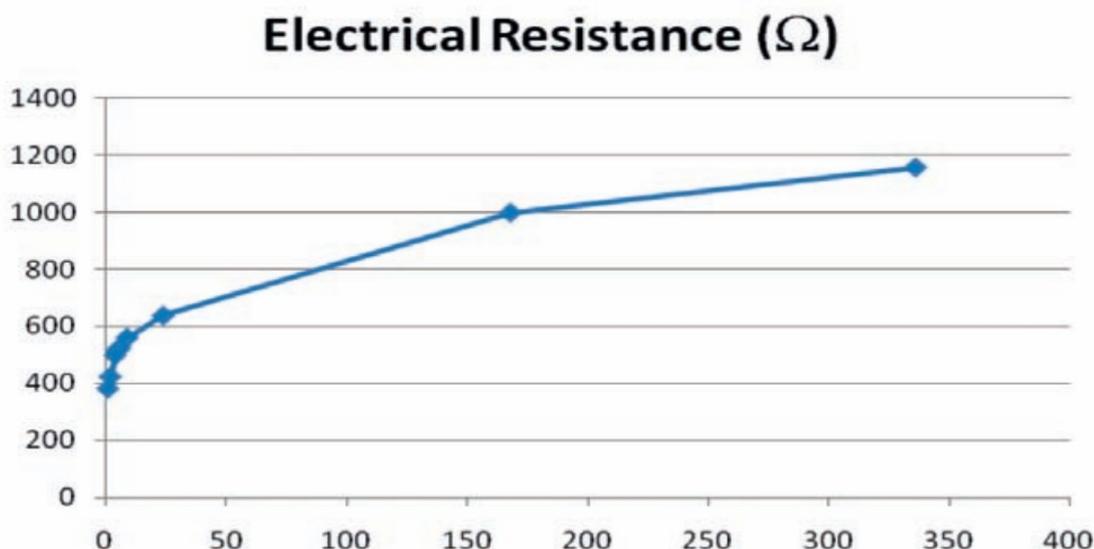


Figure 13 : graphique représentant la résistance électrique de la Biodentine® au cours du temps [64].

## **2.5.2. Propriétés biologiques**

### **2.5.2.1. Biocompatibilité**

La biocompatibilité est la capacité d'un biomatériau à ne pas interférer, ne pas dégrader le milieu biologique dans lequel il est utilisé.

→ Au niveau de l'endodonte : Des tests de toxicité cellulaire et de génotoxicité de la Biodentine® n'ont montré aucun signe de toxicité, ni d'effet mutagène [44]. Lorsqu'elle est placée directement sur des fibroblastes pulpaire humains, elle n'engendre pas la mort cellulaire [82].

Une étude a comparé la biocompatibilité du MTA et de la Biodentine® et a montré que ces deux matériaux n'altèrent pas les fibroblastes pulpaire et les cellules pulpaire. Le MTA® est également totalement biocompatible avec les fibroblastes du ligament parodontal [24].

Les effets de la Biodentine®, du MTA et de l'hydroxyde de calcium sur les fibroblastes humains provenant de la pulpe de dent de sagesse ont été étudiés. Les résultats ont montré que le MTA et la Biodentine® étaient moins cytotoxiques que l'hydroxyde de calcium [81].

→ Au niveau du parodonte : Il est important que le matériau d'obturation ne soit pas à l'origine de lésion au niveau du parodonte. La présence de calcium et de silicium dans la Biodentine® permet une meilleure adhésion des fibroblastes et donc un meilleur maintien du ligament parodontal lors du traitement des perforations [2].

→ Au niveau du tissu osseux : Une étude réalisée en 2009 a montré que les ciments à base de silicate de calcium favorisent la croissance des cellules ostéogéniques et peuvent induire une formation osseuse. Ils sont donc biocompatibles avec les tissus osseux [28].

### **2.5.2.2. Effet anti-microbien**

Lors de perforations radiculaire, une contamination microbienne est souvent présente. En effet, la perforation peut être en communication avec les bactéries contenues dans le fluide sulculaire ou le parodonte. Idéalement le matériau d'obturation de la perforation devrait avoir une action anti-bactérienne pour empêcher la croissance bactérienne et fongique.

La Biodentine® a une action sur certaines bactéries anaérobies facultatives telles que *Actinomyces naeslundii* et *Lactobacillus casei*. Ce phénomène serait pH dépendant. Le silicate de calcium et l'hydroxyde de calcium libérés lors de la réaction de prise du matériau permettent d'augmenter le pH à 12,5. Ce pH élevé permet d'inhiber la croissance de micro-organisme [69]. Il a été démontré que la Biodentine® avait une action anti-microbienne et anti-fongique supérieure au MTA et au CVI [9].

### **2.5.3. Propriétés mécaniques**

#### **2.5.3.1. Temps de prise et manipulation**

Le temps de prise de la Biodentine® est estimé à 12 minutes alors que celui du MTA à 165 minutes. La présence de chlorure de calcium et de carbonate de calcium dans la Biodentine® permet une prise plus rapide que le MTA. De plus, la présence de granulation et la consistance sableuse du MTA le rend plus difficile à manipuler [12].

#### **2.5.3.2. Micro-dureté**

Elle est comparable à la dentine saine et peut ainsi la remplacer tant au niveau coronaire qu'au niveau radiculaire, sans traitement préalable des tissus calcifiés. Elle est comprise entre 51 et 69 HVN (dureté Vickers) [64].

*Tableau 4 : comparaison de la dureté de la Biodentine® et de la dentine humaine [59]*

Biodentine®	51 HVN(à 2h) – 69HVN (à 1 mois)
Dentine humaine	60-90 HVN

Camilleri a évalué la micro-dureté de la Biodentine® en la soumettant à une attaque d'acide phosphorique à 37% et a constaté que la Biodentine® conserve une excellente dureté de surface après cette attaque [13].

#### **2.5.3.3. Résistance à la compression**

La fragilité de la dent engendrée par la perforation nécessite que le matériau utilisé dans le traitement des perforations renforce la solidité de la dent, qu'il lui permet de résister aux forces occlusales. Les propriétés mécaniques de la Biodentine® en terme de dureté et de résistance à la compression sont proches de la dentine humaine et sa résistance à la flexion s'apparente à celle des verres

ionomères [16].

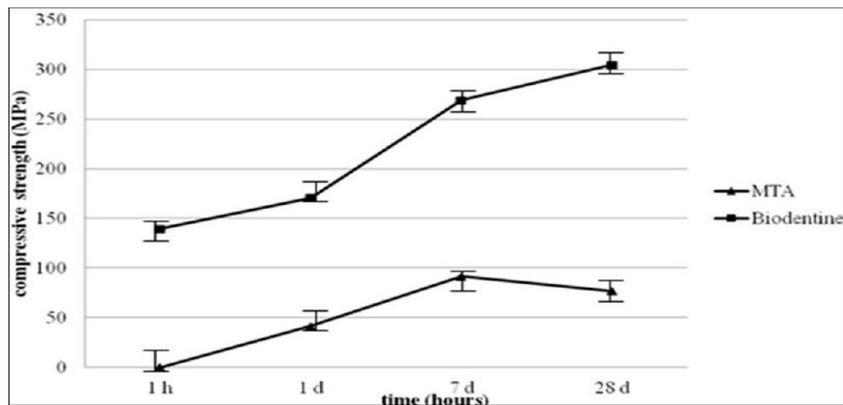


Figure 14 : la résistance à la compression du MTA et de Biodentine® en fonction du temps mesuré à 1h, 1 jour, 7 jours et 28 jours [12].

D'après les études de Butt et coll., la résistance à la compression du MTA est de 41 MPa à 24h et a augmentée à 76 MPa à 28 jours. La Biodentine® quant à elle présente une résistance à la compression de 170 Mpa à 24h qui a augmentée à 304 Mpa à 28 jours. La résistance à la compression de la Biodentine® est significativement supérieure au MTA (figure 14) [12].

#### 2.5.3.4. Résistance à la flexion

Comme vu dans la réaction de prise de la Biodentine®, le silicate de calcium en présence d'eau produit de l'hydroxyde de calcium. Des études ont montré que le contact prolongé de l'hydroxyde de calcium avec la dentine radiculaire provoque un affaiblissement de celle-ci [49] [79] [70]. Le risque de fracture est augmenté lorsque la résistance à la flexion est faible. Cependant dans le cas d'une perforation de plancher par exemple, la Biodentine® comble la perforation et joue un rôle de substitut dentinaire puis un matériau ayant des propriétés mécaniques supérieures est utilisées par dessus (technique sandwich).

La résistance à la flexion de la Biodentine® est de 34 Mpa ce qui est par exemple très éloigné de la résine composite (61-182 Mpa) (16).

#### 2.5.3.5. Étanchéité

L'étanchéité est un facteur important dans l'évaluation de l'aptitude des matériaux à être utilisés comme matériaux de restauration en dentisterie. Il est indispensable que le matériau soit étanche afin d'éviter le passage des bactéries et pour la pérennité du matériau. La Biodentine®, après 20 heures de prise a presque retrouvé son volume initial et présente une contraction de prise inférieure

à 1%. Elle possède donc une stabilité dimensionnelle efficace qui permet une bonne étanchéité du matériau [63].

Allwyn et coll. en 2016 ont comparé l'étanchéité de la Biodentine® et du MTA sur 40 molaires en réalisant sur chacune d'elles une perforation de plancher. Vingt d'entre elles ont été obturées à la Biodentine® et les vingt autres au MTA. L'analyse a montré que la Biodentine® présentait nettement moins de fuite que le MTA jusque 24h [60].

*Tableau 5 : valeur exprimée en  $\mu\text{l}/\text{min}/70 \text{ cm H}_2\text{O}$ . Tableau montrant les filtration des fluides du MTA et de la Biodentine® à différents intervalle de temps [12].*

Time	Mean microleakage $\pm$ SD	
	Biodentine	MTA-Angelus
4 h	0.268 $\pm$ 0.0054 <sup>a</sup>	0.951 $\pm$ 0.064 <sup>b</sup>
24 h	0.109 $\pm$ 0.0146 <sup>a</sup>	0.499 $\pm$ 0.0469 <sup>b</sup>
1-week	0.052 $\pm$ 0.0236 <sup>a</sup>	0.070 $\pm$ 0.0035 <sup>a</sup>
2 weeks	0.035 $\pm$ 0.0036 <sup>a</sup>	0.050 $\pm$ 0.0021 <sup>a</sup>
4 weeks	0.017 $\pm$ 0.0026 <sup>a</sup>	0.024 $\pm$ 0.0029 <sup>a</sup>
8 weeks	0.005 $\pm$ 0.0013 <sup>a</sup>	0.006 $\pm$ 0.0006 <sup>a</sup>
12 weeks	0.005 $\pm$ 0.0005 <sup>a</sup>	0.005 $\pm$ 0.0013 <sup>a</sup>

Des études ont été réalisées pour comparer l'étanchéité du MTA et de la Biodentine®. Ces études ont montré que au fil du temps ces deux matériaux avaient une résistance à l'étanchéité équivalente (tableau 5) [12] [38] [22].

#### **2.5.3.6. Pérennité**

Il a été démontré que la Biodentine® peut être utilisée en tant que matériaux de restauration coronaire pendant 6 mois. Passé ce délai, elle doit ensuite être recouvert d'un matériau de restauration présentant de meilleures propriétés mécaniques (composite par exemple). Il faut un suivi clinique régulier pour s'assurer du succès de notre traitement conservateur, il est possible de remplir la cavité d'accès entièrement de Biodentine® et de voir l'évolution clinique dans les 6 mois afin de prendre une décision sur la poursuite du plan de traitement [40].

## 2.5.4. Conclusion

L'intérêt d'utiliser la Biodentine<sup>®</sup> plutôt que le MTA dans le comblement des perforations radiculaires réside dans le fait que le temps de prise est nettement plus court, qu'elle possède une meilleure adhésion aux tissus dentaires, qu'elle n'induit aucune décoloration et que l'application est plus aisée. Les propriétés mécaniques de la Biodentine<sup>®</sup> sont supérieures à celles du MTA en raison de sa faible porosité, de la diminution du ratio liquide poudre et de l'utilisation de composés hautement purifiés [14]. Toutefois, le MTA présente d'avantage de recul clinique et montre également une efficacité dans le traitement des perforations. La Biodentine<sup>®</sup> constitue une alternative intéressante au MTA de par ses propriétés [59]. De plus il s'agit du matériau utilisé au centre de soin Abel Caumartin de la faculté de Lille, c'est pourquoi la suite du travail de cette thèse sera centrée sur la Biodentine<sup>®</sup>.

*Tableau 6 : comparaison des propriétés physico-chimiques et biologiques du ProRoot-MTA<sup>®</sup> et de la Biodentine<sup>®</sup> [15]*

	ProRoot-MTA <sup>®</sup>	Biodentine <sup>®</sup>
Réaction de prise	Hydratation	Hydratation
Temps de prise approximatif	165 min	12 min
Ratio liquide/poudre	0,35	0,18
Résistance à la compression	67 MPa	320 MPa
Étanchéité à long terme	Excellente	Excellente
Radio-opacité (mm Al)	6,4	2,8
Cicatrisation	Complète	Complète

## **3. Séquence opératoire d'utilisation de la Biodentine® dans le traitement des perforations iatrogènes.**

### **3.1. Diagnostic des perforations iatrogènes**

#### **3.1.1. Diagnostic clinique**

La détection et l'emplacement des perforations sont cruciaux pour leurs traitements.

Le saignement soudain lors du passage des instruments endodontiques est un signe qui peut faire penser à la présence de perforations. La difficulté d'assécher avec les pointes de papier peut être une aide au diagnostic mais cela constitue un signe peu fiable car le saignement peut provenir du foramen apical ou du tissu pulpaire encore vivant [74].

Le patient décrit une piqûre faite sur la gencive, il s'agit d'une sensibilité ligamentaire.

Les perforations de la furcation radiculaire sont plus facilement détectables. La mise en place d'un cône de papier dans les canaux radiculaires et un saignement persistant dans la chambre confirment le diagnostic de perforation du plancher. La sensation tactile à la sonde sur le plancher permet également le diagnostic [74].

#### **3.1.2. Diagnostic radiologique**

La radiographie rétro-alvéolaire est un excellent moyen de diagnostic des perforations. L'utilisation de différentes incidences permet de l'optimiser.

#### **3.1.3. Aide au diagnostic**

Le localisateur d'apex électronique peut déterminer avec précision l'emplacement des perforations profondes [26] [74]. En effet, si on observe que la longueur mesurée est plus courte que la longueur pré-opératoire, il peut s'agir d'une perforation.

En endodontie, le travail s'effectue à l'échelle du demi millimètre. Afin d'optimiser la motricité fine, l'acuité visuelle est un facteur déterminant. Le microscope opératoire permet une vision binoculaire, stéréoscopique, avec une source

lumineuse focalisée au centre du champ de travail ainsi qu'une puissance lumineuse 2 à 3 fois supérieure à l'éclairage monté sur loupe. Il apporte également un grossissement du champ opératoire de x4 à x21 [4].

Le microscope opératoire est donc un autre outil [74] [76] [19] très efficace dans la détection des perforations profondes au cours du traitement radiculaire et lors des traitements endodontiques chirurgicaux. Un grossissement élevé avec éclairage coaxial permet une détection et une visualisation précise des perforations le long de canaux radiculaires droits non courbés [50]. L'inconvénient du microscope est qu'il ne permet pas de détecter les perforations au delà de la moitié de la racine.

Une étude réalisée par Schmidt et coll en 2016 a montré que l'utilisation du microscope opératoire dans le traitement des perforations permet une meilleure adaptation marginale des matériaux de comblement [61].

Ces aides au diagnostic sont également indispensables pour la prévention des perforations, en effet il est essentiel de travailler avec une bonne visibilité des instruments, la loupe et le microscope permettent cela [67] [37] (figure 15). L'utilisation de fraises long col et d'inserts à ultrasons de faibles diamètres permettent de travailler avec plus de visibilité et de précision et donc de diminuer le risque de perforation [68].



*Figure 15 : photographies illustrant l'utilisation de loupe et microscope opératoire en endodontie [67]*

## 3.2. L'annonce au patient

Lors de la réalisation d'une perforation par le praticien ou l'étudiant, il est de notre devoir de le signaler au patient. Il faut lui annoncer qu'une complication s'est produite lors de la séance et que celle-ci doit être traitée rapidement pour éviter l'infection. Le patient doit être informé de manière claire et précise.

Le praticien, quant à lui, devra prendre une décision suivant la situation clinique en évaluant le potentiel de conservation de la dent. Si il ne se sens pas en mesure de traiter la perforation, il devra orienter son patient chez un spécialiste en endodontie rapidement.

## 3.3. Choix du traitement

### 3.3.1. Généralités

Avant d'entreprendre le traitement, il est absolument nécessaire de s'assurer du potentiel de conservation de la dent. Le traitement ou le retraitement doit être possible, le support parodontal doit être suffisant (il sera vérifié à l'aide d'un sondage parodontal) et la reconstitution coronaire étanche possible. En effet lorsque toutes les options thérapeutiques possibles ont été discutées et évaluées, il se peut que le meilleur rapport bénéfice/ risque pour le patient soit l'extraction.

Il faudra toujours privilégier la reprise de traitement endodontique par voie orthograde sous champ opératoire afin d'éviter toute contamination bactérienne.

### 3.3.2. Notion de matrice dentaire et osseuse

La notion de matrice dentinaire et osseuse (parodontale) a été définie par Cochet en 1999. Dans son livre [37], Lasfargues y fait référence :

« **La matrice osseuse** disparaît fréquemment dans les lésions anciennes, sous l'action des toxines bactériennes selon les mêmes principes que les lésions parodontales d'origines endodontiques ; **la matrice dentinaire** favorise l'effet « bouchon » purement physique selon le principe trivial de la bouteille et de son bouchon. Par conséquent, plus ce dernier est long et enchâssé meilleures seront l'obturation et son étanchéité.»

Cela signifie que si l'os proche de la perforation est détruit, il ne joue plus son rôle de rempart permettant à la Biodentine® de ne pas dépasser dans les tissus parodontaux. Plus la matrice dentinaire entourant la perforation est importante,

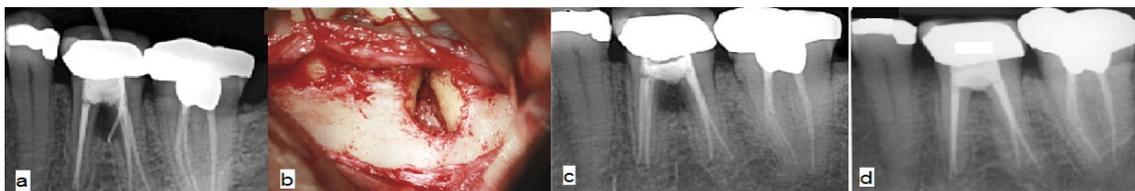
meilleure sera l'étanchéité. Cependant il a été démontré que la sur-obturation à l'aide d'un matériau adéquat n'affecte pas la cicatrisation [15] [45] [25].

### 3.3.2. Intérêt de la chirurgie parodontale

Le traitement des perforations radiculaires peut se faire soit de manière non chirurgicale ou chirurgicale par voie d'accès au parodonte. Le traitement conventionnel (non chirurgical) devra toujours être privilégié. La technique chirurgicale est indiquée lorsque l'accès coronaire n'est pas possible, en deuxième intention après échec du traitement orthograde, ou lorsqu'un traitement parodontal chirurgical est prévu.

Au cours des dernières décennies, des progrès considérables ont été réalisés dans les procédures de régénération parodontale. Les tentatives de scellement des perforations à la Biodentine® (ou au MTA) en utilisant des substituts osseux et la régénération parodontale pourraient améliorer la guérison dans le cas de perforation avec lésions parodontales associées.

Un rapport de cas réalisé par Azim et coll. en 2013 montre l'utilisation du MTA dans le cas d'une perforation de plancher radiculaire avec lésion parodontale associée (poche parodontale de 10 mm avec lésion osseuse associée) (Figure 16-a). Après la mise en place du MTA, un lambeau inversé a été réalisé (Figure 16-b), le tissu de granulation a été enlevé, un substitut osseux (bio-oss) a été mis en place. Celui-ci a été recouvert d'une membrane résorbable. Ce rapport de cas a montré un excellent résultat avec une diminution de la poche parodontale ainsi qu'un comblement osseux dans la zone de la furcation (Figure 16-d).



*Figure 16 : traitement chirurgical d'une perforation*

*Radiographie pré-opératoire avec mise en évidence de la poche parodontale (a), photographie de la lésion inter-radiculaire et radiographie post-opératoire (b,c), radiographie de contrôle à 19 mois (d) [6].*

Dans le cas de perforation du 1/3 coronaire et moyen radiculaire sans accès possible au niveau coronaire, le canal est obturé dans un premier temps puis un accès chirurgical à la perforation est mis en place (lambeau d'épaisseur total et

trépanation osseuse). Celle-ci est mise en forme, nettoyée et obturée. Si la destruction osseuse est trop importante, un comblement osseux peut être envisagé avant de remettre en place le lambeau [77].

### 3.3.3. Intérêt des matrices internes

L'objectif des matrices internes est d'éviter la fusée du matériau d'obturation de la perforation dans le parodonte, d'améliorer l'herméticité du matériau mais également d'assurer l'hémostase [47] [55]. Elles sont généralement à base de collagène. La matrice est placée directement en contact avec le parodonte, il est donc indispensable qu'elle soit biocompatible, stérile et résorbable.

Elles sont utiles lorsque la destruction tissulaire est importante et dans les cas où le tissu n'est plus suffisamment abondant pour la mise en place et le maintien de la Biodentine®. En revanche si le matériau d'obturation peut être mis directement en contact avec les tissus sans fuser, la matrice doit être évitée car elle ne pourra que retarder la cicatrisation.

La figure 17 illustre le protocole de mise en place de la matrice interne.



*Figure 17 : mise en évidence de la perforation à l'aide d'un cône de Gutta dans la perforation (a), mise en place de la matrice de collagène à l'aide d'un cône de gutta introduit dans le canal et obturation de la perforation au MTA (b,c), radiographie post-opératoire (d) et radiographie de contrôle à 1 an, on observe une cicatrisation du parodonte(e) [10].*

Dans le cas de perforations anciennes et de diamètres importants qui n'ont pas été diagnostiquées tout de suite, un tissu de granulation peut se former à l'intérieur de la perforation. Celui-ci peut être difficile à nettoyer avec l'irrigation et le curetage. Les matrices de collagène permettent de pousser le tissu de granulation hors de la perforation et recréer la forme externe de la racine. Le matériau d'obturation peut ainsi obturer la perforation sans tissu de granulation [7].

### **3.3.4. Décision thérapeutique**

#### **3.3.4.1. Perforation du plancher radiculaire**

Afin de faciliter le choix de traitement des perforations, des arbres décisionnels ont été réalisés dans cette thèse. Il est absolument nécessaire de s'assurer que la dent soit conservable avant d'entreprendre une intervention. Celle-ci doit pouvoir être restaurée, le retraitement endodontique doit être possible et elle doit présenter un support parodontal suffisant [5] [17].

Afin d'optimiser la chance de maintien de la dent sur l'arcade, il est indispensable que le protocole opératoire soit clair et reproductible afin d'obturer la perforation dans les meilleurs délais et d'éviter la contamination bactérienne [73] [75] [36].

L'évaluation de la situation du parodonte est indispensable pour le choix de la technique opératoire. Nous pouvons distinguer trois cas de figure :

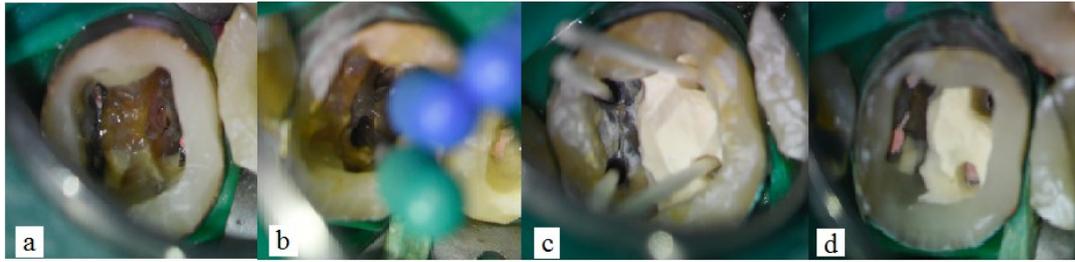
→ Si le parodonte sous-jacent à la perforation est sain et n'a pas été touché lors du geste iatrogène, la perforation sera obturée sans intervention chirurgicale.

→ Lorsque la perforation entraîne une destruction significative du tissu osseux sous-jacent, la Biodentine® ne pourra pas être maintenue. Il faudra, dans ce cas, mettre une matrice interne ou un matériau de substitution osseuse pour reconstruire un support parodontal avant de mettre la Biodentine® [38][39].

→ En présence de perforation ancienne et d'un tissu parodontal sous-jacent pathologique, le recours à la chirurgie devra être nécessaire afin d'assainir le site avant l'obturation de la perforation à la Biodentine®.

Les canaux radiculaires seront obturés dans un premier temps avant l'obturation de la perforation. Cela va permettre de désinfecter la perforation (grâce à l'hypochlorite de sodium qui inonde la cavité d'accès) pendant la mise en forme canalaire. Lors de l'obturation il faudra faire attention que le ciment de scellement ne fuse pas dans la perforation [75].

Une alternative au protocole peut être réalisée. La perforation peut être obturée avant l'obturation des canaux radiculaires. La mise en place de finger spreader (Figure 18-b) ou de cône de gutta permet de protéger les entrées canalaire et d'éviter la fusée de la Biodentine®.



*Figure 18 : obturation d'une perforation du plancher radiculaire avant l'obturation des canaux radiculaires. a: cavité d'accès avec mise en évidence de la perforation, b: mise en place de finger spreader dans les canaux pour protéger leurs entrées, c: obturation de la perforation à la Biodentine® avec les pointes de papier en place pour assécher les canaux radiculaires, d: obturation des canaux et de la perforation (Alain Gambiez)*

Si l'obturation de la perforation et le traitement endodontique ne peuvent pas être réalisés dans la même séance par manque de temps, l'obturation de la perforation devra être favorisée.

L'arbre décisionnel ci-après permet de comprendre de manière simple les différentes possibilités de traitement des perforations du plancher radiculaire.

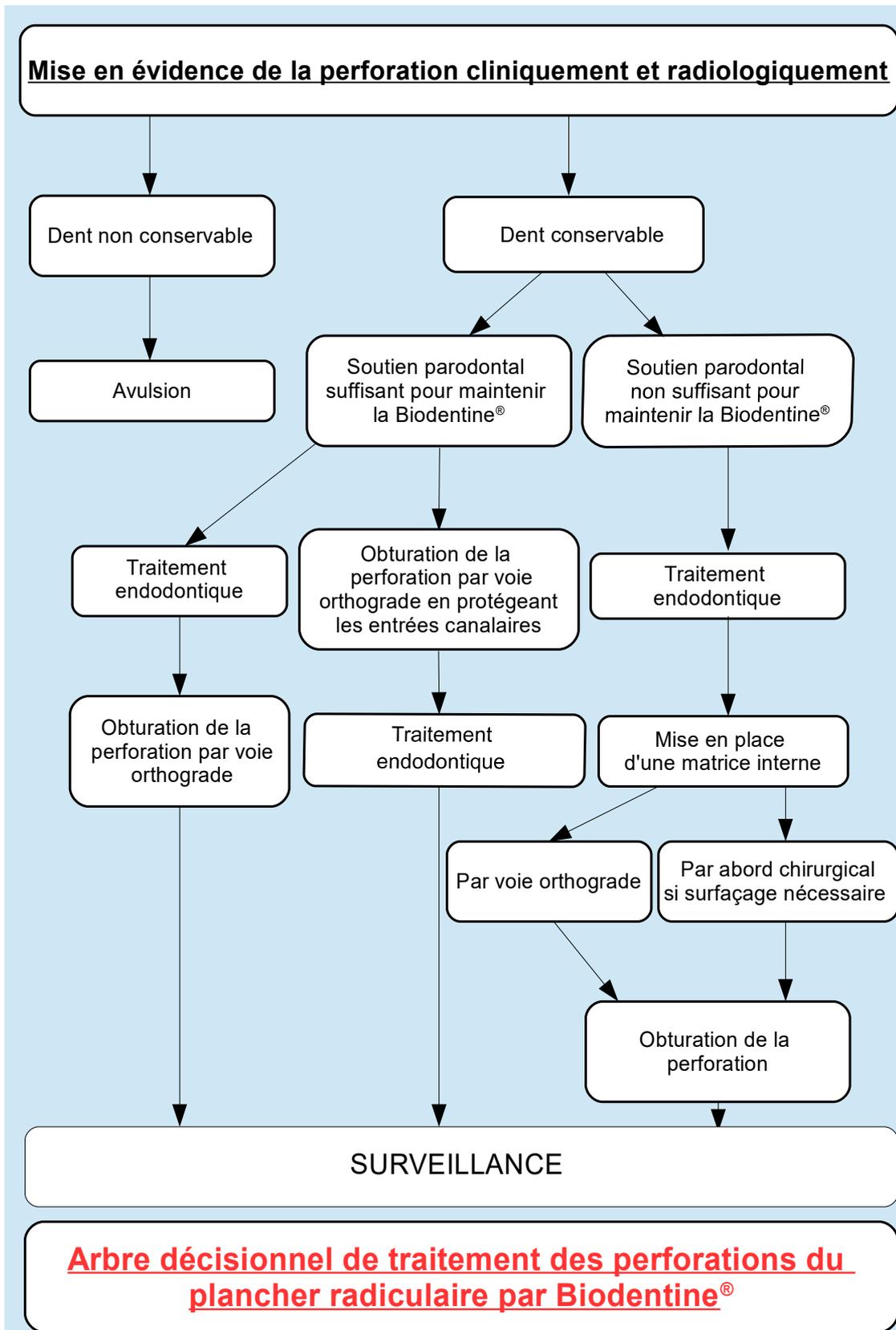


Figure 19 : arbre décisionnel de traitement des perforations du plancher radiculaire par la Biodentine®

### 3.3.4.2. Perforation supra-crestale et juxta-crestale.

En présence de perforation supra-crestale, il est préférable d'intégrer la perforation à la reconstitution coronaire si cela est possible.

Un rapport de cas va permettre d'illustrer ce cas de figure [52]. Un chirurgien dentiste a réalisé une perforation supra-crestale sur une deuxième molaire mandibulaire gauche (figure 20-a), la perforation avait été scellée provisoirement avec du ciment d'oxyde de zinc-eugénol. Lors du traitement de la perforation, l'obturation provisoire a été éliminée. En raison de la proximité avec le sulcus et la gencive, le saignement était abondant mais la visibilité était satisfaisante. L'hémostase a été réalisée et la perforation scellée avec du minéral trioxyde-aggregate (la Biodentine® n'existait pas en 2005 lors du rapport de cas). Le traitement canalaire a été réalisé 2 jours plus tard puis la reconstitution coronaire. Les contrôles à 1, 6, 15 mois plus tard ont révélé que la dent était asymptomatique et qu'elle ne présentait pas de lésion parodontal associé à la perforation (figure 20-b,c).



*Figure 20 : radiographies rétro-alvéolaires illustrant le traitement d'une perforation supra-crestale [52]*

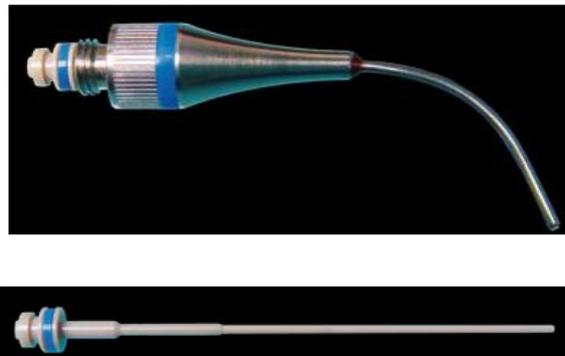
Lorsque la perforation est en communication avec le sulcus ou juxta-osseux, il est difficile d'obturer la perforation dans des conditions optimales. En effet, le fluide gingival est très présent et difficile à maîtriser, le pronostic est donc moins bon. La traction orthodontique rapide permet de placer la perforation au dessus du rebord osseux, elle est possible plus facilement sur les dents monoradiculées. L'abord chirurgical par élongation coronaire peut également permettre de mettre la perforation en supra-crestale [68]. Si ces techniques ne sont pas réalisables, la perforation sera gérée comme une perforation du 1/3 moyen radiculaire. Du fait de la présence du fluide gingivale, le pronostic sera moins bon.

### 3.3.4.3. Perforation infra-crestales du 1/3 moyen radiculaire

Ces perforations peuvent être réalisées lors du forage pour la mise en

place d'un tenon radiculaire, ou lors d'une sur instrumentation des limes endodontiques (par stripping..). Le traitement peut être compliqué car il est parfois difficile d'avoir un accès coronaire à la perforation (présence de courbures ou position très apicale de la perforation). Si l'accès coronaire n'est pas possible ou si les conditions ne permettent pas d'obturation la perforation de manière optimale par voie orthograde, la chirurgie devra être envisagée pour l'obturation de la perforation [20] [73] [75] .

Les fabricants d'instruments dentaires ont développé des portes matériaux avec des embouts interchangeables droits ou courbés de faibles diamètres pour permettre la mise en place de la Biodentine® (ou autre matériau d'obturation) plus facilement dans la perforation (figure 21) .



*Figure 21 : Embout à mémoire de forme, pouvant être courbé à la convenance du praticien, et piston en peek [55]*

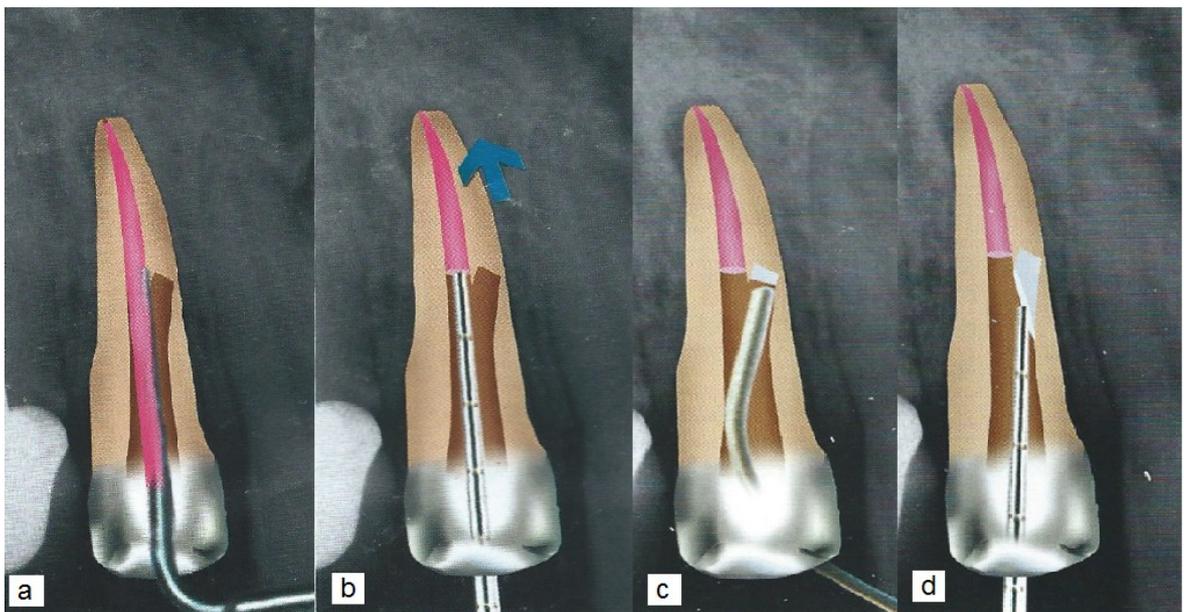
L'évaluation de la largeur de la perforation est difficile. Il est important de définir ce qu'est une petite perforation qui sera associée à moins de destruction tissulaire, moins d'inflammation et donc à une guérison plus rapide [27]. Une perforation est définie comme ponctiforme lorsqu'elle est de largeur similaire à un canal latéral ou à la lime de préparation endodontique (0,5mm) [74]. Suivant la situation clinique lorsque la perforation est ponctiforme, elle peut être gérée comme un canal latéral et obturée par pression hydraulique lors du réchauffement de la pâte d'obturation ou comme un canal supplémentaire, la longueur de travail est alors déterminée et le « faux » canal est mise en forme, nettoyé et obturé [57].

Lorsque la perforation est large, la Biodentine® est nécessaire. Tout d'abord une lime pré-courbée permet de retrouver la partie apicale du canal sous la perforation. Après localisation, nettoyage et mise en forme du ou des canaux,

plusieurs techniques peuvent être utilisées [37] [75]:

→ Soit la perforation est obturée à la Biodentine® puis le canal à la gutta percha. Il faudra utiliser un finger spreader ou un cône de gutta dans le canal afin d'éviter que la Biodentine® ne fuse dans le canal (protocole décrit dans la fiche 4 de cette thèse).

→ Soit la partie apicale du canal est obturée à la gutta percha (figure 22-a,b), puis la perforation à la Biodentine® (figure 22-c,d), ensuite la partie coronaire du canal est obturée soit par de la Biodentine® soit par de la gutta percha.



*Figure 22 : photographies illustrant le protocole d'obturation d'une perforation: mise en place de la gutta en apicale de la perforation (a,b) puis obturation de la perforation (c,d)*

Le suivi clinique et radiologique post-opératoire doit être régulier afin de s'assurer que la cicatrisation soit optimale. En cas d'échec du traitement, l'amputation radiculaire ou l'extraction devra être envisagée.

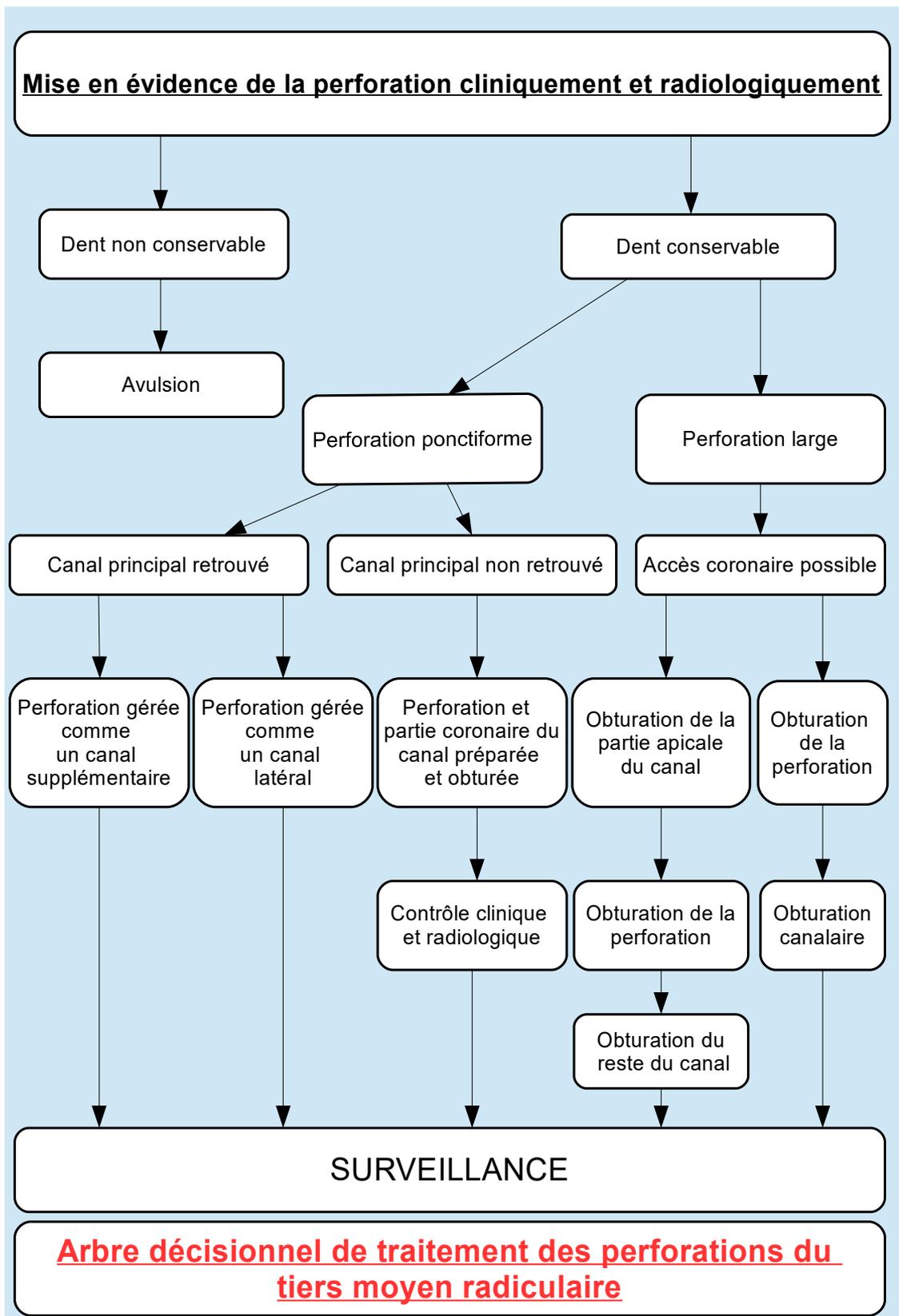


Figure 23 : arbre décisionnel de traitement des perforations du tiers moyen radiculaire

## **3.4. Protocole d'irrigation et de nettoyage des perforations**

### **3.4.1. Intérêt**

L'irrigation utilisée en endodontie permet de dissoudre les composés minéraux et organiques ainsi que d'éliminer la flore bactérienne.

En présence d'une perforation, une communication entre l'endodonte et le parodonte peut exister. Lors de l'irrigation de la zone lésée, la solution utilisée ne devra pas léser le parodonte sous-jacent.

A l'heure actuelle, aucun des produits présents sur le marché ne peut répondre à toutes les qualités requises pour permettre une irrigation idéale. Ainsi, l'association de plusieurs solutions s'impose afin de réaliser le nettoyage et la désinfection la plus complète possible [30].

La Biodentine® conserve une force de liaison importante même après avoir été exposée aux différents irrigants [31].

### **3.4.2. L'hypochlorite de sodium.**

Il s'agit de la solution d'irrigation la plus utilisée en endodontie. C'est un agent anti-microbien puissant, efficace sur les bactéries à Gram positif et négatif, les champignons, les spores et les virus. L'efficacité de l'hypochlorite de sodium est étroitement liée à son renouvellement intra-canalair. L'inconvénient de cet irrigant est d'être toxique et irritant pour les tissus vitaux [3].

La concentration idéale est comprise entre 2,5 et 5% à partir d'une dilution de la solution base [8]. L'hypochlorite de sodium ne permet pas l'élimination de la phase minérale de la boue dentinaire (smear layer). Cette solution d'irrigation ne peut donc pas être utilisée de manière seule.

Le risque principal lors d'irrigation par hypochlorite de sodium est le passage de ce liquide dans les tissus mous. Si l'aiguille d'irrigation est introduite avec une pression trop importante dans le canal radiculaire, l'excellente capacité de dissolution des tissus de l'hypochlorite de sodium conduira à la nécrose des tissus [35].

### **3.4.3. L'éthylène diamine tétra-acétique (EDTA)**

L'hypochlorite de sodium ne peut pas être utilisé de manière seule comme

moyen d'irrigation. En effet, il n'a pas le pouvoir de dissoudre les particules inorganiques. L'EDTA est donc recommandé comme adjuvant dans l'irrigation des perforations [80]. L'EDTA est obtenu par dissolution de sels di ou tri-sodiques d'acide éthylène diamine tétracétique dans l'eau. C'est un produit hautement biocompatible qui agit sur la portion minérale de la boue dentinaire. Il est dépourvu d'action antiseptique. Il doit donc être utilisé en combinaison avec l'hypochlorite de sodium. Quelque soit la solution utilisée, l'action est diminuée lorsqu'elle est mélangée à la solution d'hypochlorite de sodium. Une utilisation prolongée d'EDTA induit une déminéralisation trop importante et détruit la dentine en surface ; Il est recommandé d'utiliser l'EDTA au cours de la phase finale de l'irrigation à une concentration de 17% [66].

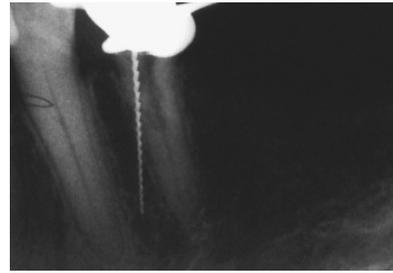
#### **3.4.4. L'irrigation des perforations**

Rapport de cas de Gernhart et coll.:

Une pulpite irréversible ainsi qu'une résorption inflammatoire externe sur la 34 d'une patiente âgée de 49 ans ont été diagnostiquées. Aucun signe de perforation n'avait été diagnostiqué. Le traitement endodontique a été réalisé avec une irrigation à l'hypochlorite de sodium de 5,25%. Peu de temps après, la patiente décrivait des douleurs et sensations de brûlure au niveau de la lèvre inférieure, puis un oedème et un hématome sont apparus (Figure 24). Le lendemain, on a pu observer une destruction nécrotique des tissus intra-oraux. La première radiographie réalisée quatre jours plus tard a montré une perforation latérale (Figure 25). L'extrusion accidentelle de l'hypochlorite de sodium a été causée par celle-ci. Pour la suite du traitement, une solution de gluconate de chlorexidine a été utilisée.



*Figure 24 : photographie illustrant l'accident d'extrusion de l'hypochlorite de sodium [29]*



*Figure 25 : radiographie rétro-alvéolaire mettant en évidence la perforation [29]*

Ce cas montre que l'hypochlorite de sodium doit être utilisé avec prudence notamment dans le cas de perforation. La conclusion de cette étude montre que l'utilisation de concentration plus faible d'hypochlorite de sodium (2,5 %) en combinaison avec de la chlorexidine peut constituer une alternative sûre et efficace en particulier en cas de perforation [29].

Le protocole d'irrigation d'une perforation iatrogène est donc le suivant :

→ Irrigation avec une solution d'hypochlorite de sodium (avec une seringue utilisée sans pression dans le canal) à une concentration de 2,5 % permettant de garder ainsi l'efficacité de l'hypochlorite de sodium en combinaison avec la chlorexidine.

→ Une irrigation finale à l'EDTA à 17% afin d'éliminer le contenu minéral.

→ Une irrigation finale au sérum physiologique peut être effectuée

Les ultrasons de faible diamètre peuvent être utiliser de manière douce pour le nettoyage de la perforation et l'activation de la solution d'irrigation.

### **3.5. Intérêt des inter-séances à l'hydroxyde de calcium**

Lorsque le site de la perforation est contaminé, le processus de cicatrisation peut se produire dans des conditions moins favorables.

Holland et coll. ont évalué, en 2007, le processus de cicatrisation des perforations latérales non contaminées et contaminées obturées par du MTA qui comme la Biodentine® est un ciment à base de calcium. Ils ont analysé l'intérêt d'utiliser

l'hydroxyde de calcium en inter-séances dans le traitement des perforations. Cette étude n'a pas montré d'amélioration entre les perforations traitées préalablement à l'hydroxyde de calcium et les autres sans traitement préalable à l'hydroxyde de calcium [34]. L'inter-séance à l'hydroxyde de calcium est conseillée uniquement en présence d'exsudat purulent [75].

L'avantage de l'hydroxyde de calcium dans le traitement des perforations est son pouvoir anti-bactérien, anti-hémorragique et anti-exsudatif.

En conclusion, l'utilisation d'hydroxyde de calcium en inter-séance doit se faire en présence d'un saignement ou d'un tissu de granulation persistant au niveau de la perforation ou du canal. Son usage est également indiqué dans le cas où le traitement ne peut être fini dans la séance ou si la désinfection canalaire est jugée insuffisante.

### **3.6. Préparation et mise en place de la Biodentine®**

Après assèchement et désinfection de la perforation, les étapes d'utilisation de la Biodentine® sont les suivantes :

→ Commencer par ouvrir la capsule contenant la poudre et une mono dose de liquide.

→ Verser 5 gouttes de liquide dans la capsule contenant la poudre.

→ Refermer la capsule et la faire vibrer pendant 30 secondes à une fréquence de 4000 à 4200 oscillations par minute. Le nombre d'oscillation par minute est très important pour obtenir une consistance correcte du biomatériau.

Septodont a développé un vibreur-mélangeur spécial Biodentine®. Si le praticien ne le possède pas dans son cabinet, il faudra vérifier le réglage de la machine avant son utilisation.

→ Ouvrir la capsule et récupérer le biomatériau à l'aide d'un instrument adapté.

→ Placer la Biodentine® sur le site de la perforation et la comprimer à l'aide de fouloir endodontique de diamètre égal ou supérieur à la perforation afin d'éviter de propulser le matériau à l'extérieur de la perforation.

→ Attendre sa prise.

→ Une radiographie rétro-alvéolaire permet de contrôler la mise en place du

matériau.

→ La reconstitution provisoire peut être réalisée après le comblement de la perforation.

### **3.7. Surveillance régulière**

Des contrôles cliniques et radiologiques doivent être effectués régulièrement afin de vérifier la bonne cicatrisation du site. La cicatrisation est plus longue lorsque le tissu parodontal est atteint. Ils permettront de proposer un traitement différents en cas d'échec.

## **4. Fiches pédagogiques**

### **4.1. Intérêt des fiches**

Les étudiants commençant la clinique n'ont pas d'expérience réelle sur les patients. Il est malheureusement fréquent que des étudiants réalisent des perforations lors de la réalisation des traitements ou retraitements endodontiques ou lors de la mise en place de tenon radiculaire. Ils sont alors déstabilisés et ne savent pas comment réagir face à ce problème.

La Biodentine<sup>®</sup> est utilisée au centre Abel Caumartin de à la Faculté de Chirurgie Dentaire de Lille pour le comblement des perforations endodontiques. C'est pour cela que toute la thèse a été centrée sur la Biodentine<sup>®</sup>.

Ces fiches seront à disposition des étudiants et leur permettront d'avoir un guide d'utilisation de la Biodentine<sup>®</sup> lors de la réalisation d'une perforation. L'objectif de ces fiches sera de fournir un contenu clair, hiérarchisé et utile pour aborder le traitement sereinement.

De plus, il est primordial que le traitement des perforations iatrogènes soit réalisé le plus tôt possible. Ce guide pédagogique va permettre aux étudiants de suivre un protocole strict et efficace pour un traitement optimal avec un pronostic encourageant.

En pratique, de multiples cas peuvent être rencontrés empêchant l'exhaustivité, cependant, en se concentrant sur la présentation de quelques cas, et en systématisant la méthode de travail, la plupart des autres situations rencontrées pourront être abordées plus sereinement.

Une étude statistique australienne a tenté de comprendre pourquoi les praticiens (spécialiste en endodontie ou non spécialiste) n'utilisaient pas le MTA et la Biodentine® au cabinet dentaire. Cette étude a montré que la cause principale est le manque de formation sur l'utilisation appropriée de ces matériaux [33]. Ces fiches pourraient également servir aux praticiens afin de prendre en charge au mieux les perforations.

## **4.2. Public concerné**

Ces fiches pédagogiques sont principalement destinées aux étudiants de quatrième, cinquième et sixième années de la faculté de chirurgie dentaire lors de leurs vacations hospitalières afin de les guider dans la prise en charge des perforations. Elles seront également disponibles pour les praticiens voulant se former.

## **4.3. Mise en place des fiches**

Pour la réalisation des fiches, Open Office draw a été utilisé. Il permet de réaliser des fiches synthétiques mais surtout donnant envie à l'étudiant de s'investir.

Afin d'illustrer les fiches, les perforations ont été simulées sur des dents extraites puis le traitement par Biodentine® a été réalisé. Chaque étape a ainsi pu être photographiée. Ces iconographies jouent un rôle important dans la bonne compréhension du protocole.

Les fiches ont été élaborées en suivant des règles précises dans la disposition des éléments, le format et la police du texte. Un patron ergonomique a été créé pour standardiser les fiches et avoir une harmonie entre elles. Elles vont constituer une aide au choix du traitement et aux protocoles d'utilisation de la Biodentine® lors de perforations radiculaires. De plus, elles seront disponibles sous forme «papier» ou sous forme PDF pouvant être lues sur ordinateur ou tablette.

## **4.4. Discussion**

Afin d'optimiser le confort de lecture, certaines recommandations ont été établies. En effet, les mots et notions inutiles ont été éliminés sans toutefois sacrifier la qualité du contenu. Les polices les plus simples ont été privilégiées et

les points importants mis en avant.

Ces fiches sont ouvertes à la critique, elles doivent être évolutives et améliorées dans le temps. De plus, il serait intéressant que ce travail soit poursuivi en réalisant des vidéos pédagogiques pour illustrer d'une manière plus ludique ces fiches.

## 4.5. Les fiches pédagogiques

### 4.5.1. Guide d'utilisation de la Biodentine®

FICHE 1

#### GUIDE D'UTILISATION DE LA BIODENTINE®



*Conditionnement*

- Un sachet contenant une capsule de poudre
- Une mono-dose de liquide
- Une spatule



#### Protocole

- ① Vérifier l'assèchement de la cavité avant la mise en place de la Biodentine®
- ② Verser 5 gouttes de liquide dans la capsule contenant la poudre
- ③ Vibrer à une oscillation de 4000 à 4200 par minute la capsule fermée pendant 30 secondes
- ④ Récupérer la Biodentine® à l'aide de la spatule


#### Manipulation

→ La consistance doit être **crémeuse**



→ Si la consistance est trop dur:  
→ Remettre une goutte de liquide et vibrer 10 secondes



→ Si elle est trop liquide:  
→ Attendre quelques minutes pour avoir la consistance souhaitée



*Figure 26 : fiche pédagogique : guide d'utilisation de la Biodentine®*

## 4.5.2. Matériel nécessaire pour l'obturation des perforations

FICHE 2

### *Le matériel nécessaire pour l'obturation des perforations à la Biodentine®*

#### *Ajustage de la cavité d'accès et de la perforation*



Ultrasons, forêts de gates, fraise Zékrya, fraises boules et cylindriques bagues vertes et rouges

#### *Étapes pré-opératoire*

- Digue, cadre à digue, crampon
- Sonde DG16 et coudée, miroir, précelles.
- Hypochlorite de sodium, EDTA, sérum physiologique
- Seringue pour irrigation
- Finger spreader (si nécessaire)
- Pointe de papier
- Compresses ou cotons stériles (sans fibre susceptible de rester accrocher aux parois dentaires)
- Loupes ou microscope opératoire



#### *Mise en place de la Biodentine®*

- Utiliser des instruments propres et stériles
- Le porte amalgame permet de mettre la Biodentine® dans la cavité,



- Des portes matériaux avec des embouts interchangeables droits ou courbés de faibles diamètres permettent également la mise en place de la Biodentine®



- Les fouloirs endodontiques de différents diamètres permettent de condenser la Biodentine® dans la perforation



Figure 27: fiche pédagogique : le matériel nécessaire pour l'obturation des perforations à la Biodentine®

### 4.5.3. Traitement des perforations de plancher radicaire par Biodentine®

FICHE 3

#### *Perforation du plancher radicaire traitée par Biodentine®*

##### *Prérequis*

- → Dent conservable
- Soutien parodontal suffisant
- Temps disponible
- Traitement endodontique étanche réalisé

##### *Obturation de la perforation*

- Pose du champs opératoire
- Réajuster la cavité d'accès
- Réaliser le traitement endodontique en obturant la perforation avec du coton stérile
- Retravailler la perforation pour obtenir des bords permettant une rétention et une herméticité optimale



- Nettoyage de la perforation sans pression à l'hypochlorite de sodium 2,5%
- Irrigation finale à l'EDTA
- Rinçage au sérum physiologique



- Hémostase à l'aide de compresse stérile
- Vérifier à l'aide d'une aide optique l'élimination de la totalité des fibres du coton.
- Préparation de la Biodentine® (Fiche 1)
- Mise en place de la Biodentine® à l'aide d'un porte amalgame



- Tasser la Biodentine® à l'aide d'un fouloir de diamètre supérieur ou égal à la perforation pour condenser sans trop appuyer en remplissant la chambre pulpaire



- Radiographie de contrôle et surveillance clinique et radiologique régulière

Figure 28 : fiche pédagogique : perforation du plancher radicaire traitée par Biodentine®

#### 4.5.4. Traitement des perforations du tiers moyen radiculaire par Biodentine®

FICHE 4

### *Perforation du tiers moyen radiculaire traitée par Biodentine®*

#### *Prérequis*

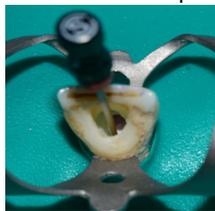
- Dent conservable
- Soutien parodontal suffisant
- Temps disponible
- Accès coronaire possible
- Perforation de diamètre supérieur à 0,5 mm

#### *Obturation de la perforation*

- Pose du champs opératoire
- Réajuster la cavité d'accès et visualisation de la perforation et de l'axe du canal à l'aide de loupes ou d'un microscope



- Localisation, mise en forme et nettoyage du canal
  - Nettoyage de la perforation sans pression l'hypochlorite de sodium 2,5%
- Irrigation finale à l'EDTA et au sérum physiologique
  - Rinçage au sérum physiologique
- Protection de l'entrée du canal avec un finger spreader sans ciment afin que la Biodentine® ne fuse pas dans le canal



- Hémostase à l'aide de compresses stériles
  - Préparation de la Biodentine®
- Mise en place à l'aide d'un porte amalgame de la Biodentine® et d'un fouloir de diamètre supérieur ou égal à la perforation pour condenser sans trop appuyer en remplissant la chambre pulpaire



- Traitement endodontique du canal après la prise de la Biodentine®
- Radiographie de contrôle et surveillance clinique et radiologique régulière

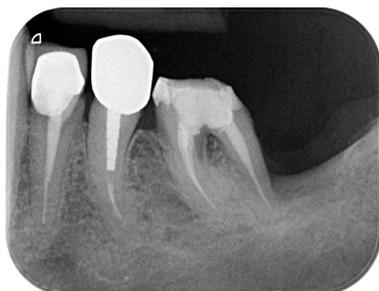
Figure 29: fiche pédagogique : perforation du tiers moyen radiculaire traitée par Biodentine®

## 5. Cas cliniques

### 5.1. Perforation du plancher radiculaire iatrogène

**Présentation du patient** : Une patiente de 70 ans, suivie au CHRU pour de l'ostéoporose traitée par biphosphonate nous a été envoyée pour le traitement de la 36. La patiente a subi une ostéonécrose de la mâchoire mandibulaire gauche avec exposition d'os alvéolaire au niveau de l'alvéole de la 37. L'extraction dentaire doit donc être dans cette région l'alternative de dernier recours. La 36 n'est pas mobile mais est légèrement douloureuse à la percussion. La racine distale est complètement dépourvue d'os mais la décision thérapeutique de conserver la dent a été décidée en raison de l'antécédent d'ostéonécrose dans ce secteur.

**Signes radiologiques** : La radiographie pré-opératoire montre une radio-clarté inter-radicaire au niveau de la 36 (figure 30). Le traitement endodontique paraît satisfaisant. On observe une dénudation radiculaire distale.



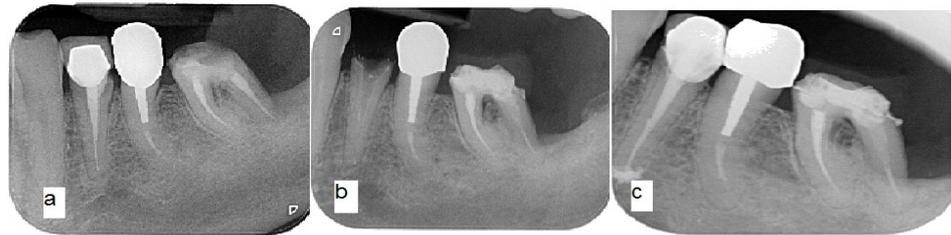
*Figure 30 : radiographie pré-opératoire centrée sur la 36 (Claire Blanquart)*

**Décision thérapeutique** : Après dépose de la reconstitution coronaire, une perforation du plancher est constatée. Malgré un pronostic peu favorable quant au devenir de cette dent sur arcade, la décision de conserver la dent a été prise.

**Protocole** : Après pose de la digue opératoire, la Biodentine® a été posée au niveau de la perforation du plancher, puis recouverte d'un pansement provisoire étanche. A la séance suivante, une reconstitution corono-radicaire a été réalisée à l'aide d'un tenon fibré mis en place dans la racine distale et recouvert d'une couronne provisoire (figure 31-a).

**Suivi** : Ayant d'autres soins à effectuer, des radiographies rétro-alvéolaires régulièrement afin de surveiller l'évolution de la lésion inter-radicaire ont été effectuées (figure 31-b,c). La patiente ne présente plus de symptomatologie au

niveau de cette dent. Une évolution lente mais relativement favorable de la lésion inter-radicaire est observée.



*Figure 31 : radiographies rétro alvéolaires de contrôle centrées sur la 36 lors de la pose du tenon fibré (a) puis un mois après (b) et trois mois après (c) (Claire Blanquart)*

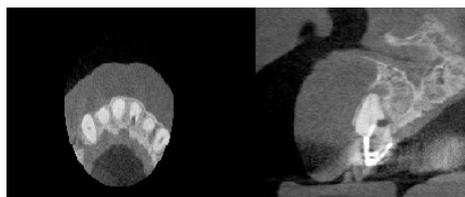
## **5.2. Perforation du 1/3 moyen radicaire**

**Présentation du patient :** Monsieur G se présente au service d'odontologie conservatrice, endodontie pour le traitement d'une perforation du 1/3 moyen radicaire sur une 21 (figure 32). Elle a été réalisée lors du forage d'un tenon radicaire.



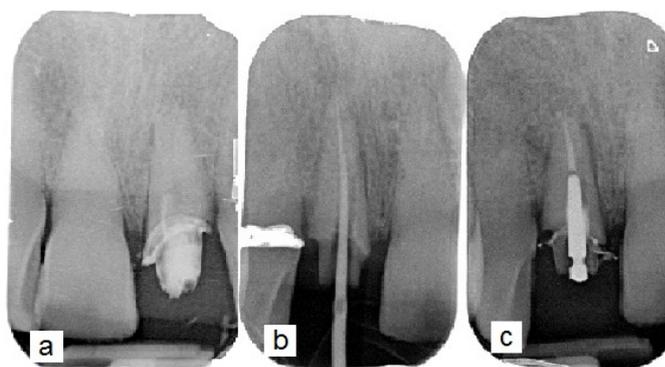
*Figure 32 : radiographie rétro-alvéolaire centrée sur la 21 (Dr T.Bécavin)*

**Signes radiologiques :** Il était difficile de diagnostiquer la perforation à l'aide d'une radiographie rétro-alvéolaire car la perforation se situe dans le sens vestibulo-palatin. Il a donc été décidé de réaliser un CBCT (figure 33), où la perforation est nettement visible (zone radio-claire).



*Figure 33 : radiographies mettant en évidence une perforation du 1/3 moyen radicaire ( Dr T.Bécavin)*

**Décision thérapeutique et protocole:** Après la dépose de la couronne et du tenon (figure 34-a), la Biodentine® a été placée dans la perforation puis le traitement endodontique a été réalisé (Figure 34-b). Un forage dans l'axe du canal a été effectué pour permettre la mise en place d'un inlay-core (Figure 34-c) et d'une couronne.



*Figure 34 : radiographies rétro-alvéolaires illustrant la dépose de la couronne et du tenon ( a), la mise en place du cône de gutta après que la perforation a été obturée à la Biodentine® (b) et la mise en place du tenon dans l'axe (c) (Dr T.Bécavin)*

**Suivi :** Un contrôle régulier a été réalisé. La dent est devenue asymptomatique et fonctionnelle.

### **5.3. Double perforation du 1/3 coronaire radiculaire**

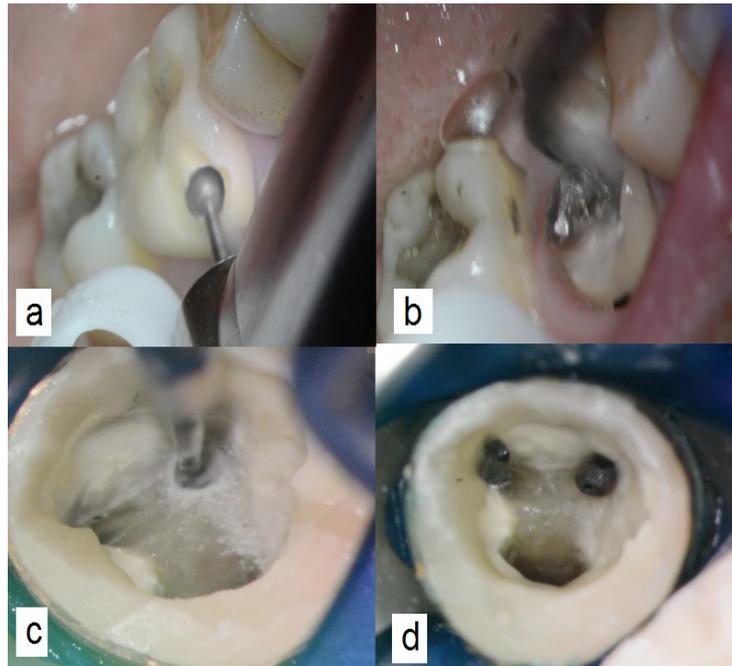
**Présentation du patient :** Un patient s'est présenté au cabinet du Dr A.Gambiez pour le traitement de la 36 recouverte d'une couronne céramo-métallique. Le patient se plaint de douleurs à la percussion axiale et à la palpation des tables osseuses.

**Signes radiologiques :** A la radiographie rétro-alvéolaire, on constate une radio-clarté péri-apicale très volumineuse. Un dépassement de pâte d'obturation en regard de la racine distale est également visible. La présence d'une perforation au niveau du 1/3 coronaire de la racine mésio-vestibulaire est observée, ainsi que dans la racine mésio-linguale (figure 35).



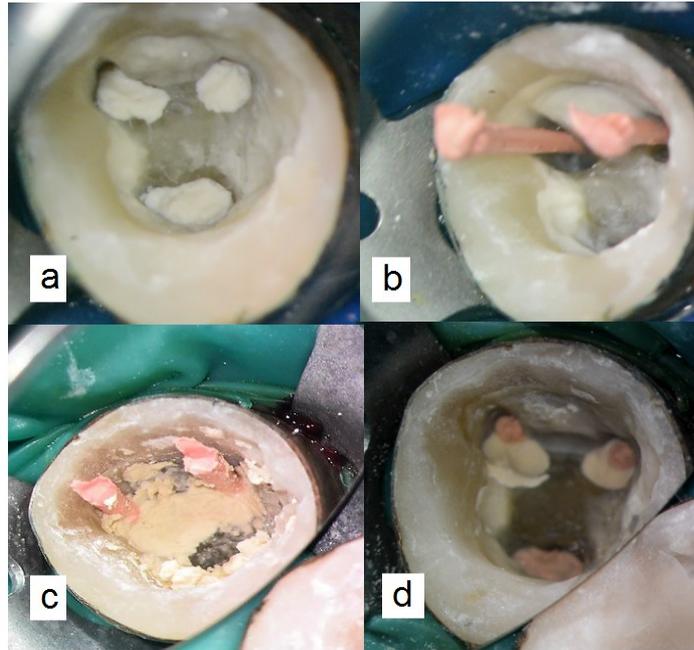
*Figure 35 : radiographie rétro-alvéolaire pré opératoire centrée sur la 36 (Dr A. Gambiez)*

**Décision thérapeutique et protocole** : La première étape a consisté à déposer la couronne ainsi que l'inlay-core (Figure 36-a,b). Dans un second temps, la désobturation radiculaire a été effectuée en prenant soin d'extraire les instruments fracturés dans les racines mésiales (Figure 36-c). Les perforations ont ainsi pu être localisées et nettoyées (Figure 36-d).



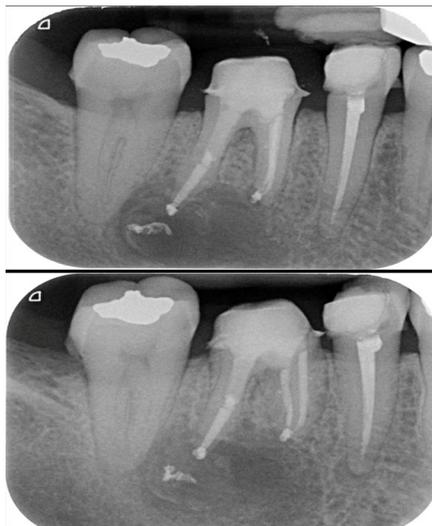
*Figure 36 : photographies illustrant la dépose de la couronne (a), de l'inlay-core (b) et des instruments fracturés (c) et la localisation des perforations (d) (Dr A.Gambiez)*

Une séance de traitement des canaux radiculaires à l'hydroxyde de calcium est ensuite réalisée afin de faciliter leurs assèchements (Figure 37-a). L'obturation des perforations à la Biodentine® est effectuée en prenant soin de protéger l'entrée des canaux radiculaires à l'aide de cône de gutta afin d'éviter la fusée de Biodentine® (Figure 37-b,c). Les canaux radiculaires sont ensuite obturés à la gutta-percha (Figure 37-d). A la prochaine séance, un composite à tenon fibré a été réalisé puis la dent a été recouverte d'une provisoire.



*Figure 37 : photographies illustrant l'assèchement des canaux à l'hydroxyde de calcium (a), la mise en place de cônes de Gutta Percha dans les canaux radiculaires afin d'éviter la fusée de la Biodentine® (b), la mise en place de la Biodentine®, et l'obturation des canaux après la mise en place de la Biodentine® (d) (Dr A.Gambiez)*

**Suivi** : Une surveillance régulière a permis d'observer une diminution de la lésion péri-apicale à la radiographie ainsi qu'une absence de radio-clarté en regard des perforations obturées à la Biodentine® (figure 38). Cliniquement, la dent est devenue asymptomatique.



*Figure 38 : radiographies rétro-alvéolaires de contrôle 9 mois après le traitement (Dr A.Gambiez)*

## Conclusion

Les perforations iatrogènes constituent une complication fréquente des traitements endodontiques. Elles peuvent être de diverses étiologies et sont très hétérogènes tant au niveau des caractéristiques (taille, forme, localisation., ancienneté..) que des possibilités de traitement.

La chance de réussite du traitement est très influencée par le temps écoulé avant la réalisation de la thérapeutique (augmentation du risque de contamination bactérienne entre autres), mais aussi par la taille et la localisation de la perforation ainsi que par le soutien parodontal de la dent perforée (présence de bactéries parodontopathogènes, destruction osseuse).

Pour le patient, la meilleure thérapeutique reste la prévention. Le respect du protocole stricte de la réalisation d'une cavité d'accès et de la préparation des canaux radiculaires permet de réduire de manière considérable le risque de perforation. L'anatomie radiculaire doit également être étudiée avant la réalisation du traitement.

Le traitement non chirurgical doit toujours être privilégié en cas de perforations. Une étude menée par Siew et coll. a évalué à 73% le taux de succès du traitement non chirurgical des perforations [64]. L'abord chirurgical est recommandé en cas de défaut parodontal important ou lorsqu'il est impossible d'accéder à la perforation par voie coronaire.

L'extraction d'une dent perforée doit être la solution de dernier recours. Depuis des décennies, de nombreux matériaux sont ou ont été utilisés pour l'obturation des perforations. Malgré son faible recul clinique, la Biodentine® est un matériau très prometteur. Elle présente d'excellentes propriétés physico-chimiques ainsi que mécaniques. La Biodentine® est un matériau de choix dans le traitement des perforations lorsqu'elle est utilisée dans des situations appropriées et constitue une excellente alternative au Minéral Trioxide Aggregate (MTA).

Les fiches pédagogiques constituent un support simple des cas les plus fréquents et permettra à l'étudiant de l'aider dans la réalisation du traitement. Ces fiches ne sont en aucun cas exhaustives mais constituent un support de base.

## Références bibliographiques

1. Adiga S, Ataide I, Fernandes M, Adiga S. Nonsurgical approach for strip perforation repair using mineral trioxide aggregate. *J Conserv Dent JCD*. 2010;13(2):97-101.
2. Akbulut MB, Uyar Arpacı P, Unverdi Eldeniz A. « Effects of novel root repair materials on attachment and morphological behaviour of periodontal ligament fibroblasts: Scanning electron microscopy observation ». *Microsc Res Tech*. 2016;
3. Alkahtani A, Alkahtany SM, Anil S. An in vitro evaluation of the cytotoxicity of varying concentrations of sodium hypochlorite on human mesenchymal stem cells. *J Contemp Dent Pract*. 1 juill 2014;15(4):473-81.
4. Arbona L. Le microscope opératoire en endodontie: Applications cliniques. *Inf Dent*. 2016;
5. Association dentaire française. Commission des dispositifs médicaux. Le retraitement endodontique. Paris, France: Association dentaire Française; 2006. 71 p.
6. Azim AA, Lloyd A, Huang GT-J. Management of Longstanding Furcation Perforation Using a Novel Approach. *J Endod*. 2014;40(8):1255-9.
7. Bargholz C. Perforation repair with mineral trioxide aggregate: a modified matrix concept. *Int Endod J*. 2005;38(1):59-69.
8. Baumgartner JC, Cuenin PR. Efficacy of several concentrations of sodium hypochlorite for root canal irrigation. *J Endod*. 1992;18(12):605-12.
9. Bhavana V, Chaitanya KP, Gandhi P, Patil J, Dola B, Reddy RB. Evaluation of antibacterial and antifungal activity of new calcium-based cement (Biodentine) compared to MTA and glass ionomer cement. *J Conserv Dent JCD*. 2015;18(1):44-6.
10. Biswas M, Mazumdar D, Neyogi A. Non surgical perforation repair by mineral trioxide aggregate under dental operating microscope. *J Conserv Dent JCD*. 2011;14(1):83.
11. Bronnec F, Caron G. Le traitement endodontique des premières molaires. *Réal Clin*. 2008;19(4):339-51.
12. Butt N, Talwar S, Chaudhry S, Nawal RR, Yadav S, Bali A. Comparison of physical and mechanical properties of mineral trioxide aggregate and Biodentine. *Indian J Dent Res*. 2014;25(6):692.
13. Camilleri J. Investigation of Biodentine as dentine replacement material. *J Dent*. 2013;41(7):600-10.
14. Camilleri J, Sorrentino F, Damidot D. Investigation of the hydration and bioactivity of radiopacified tricalcium silicate cement, Biodentine and MTA

- Angelus. Dent Mater Off Publ Acad Dent Mater.2013;29(5):580-93.
15. Claisse A, Barril-Cochet I, Cochet J-Y, Flouriot A-C, Guigand M, Oriez D, et al. obturation canalaire [Internet]. Paris, France; 2014. Disponible sur: <http://www.adf.asso.fr/fr/espace-formation/publications/dossiers-de-ladf#rokquickcart>
  16. Claisse-Crinquette A. Pharmacologie endodontique (II). Les matériaux d'obturation canalaire et leurs solvants. EMC-Médecine Buccale. 2011;6(5):1-9.
  17. Cochet J-Y. Traitement endodontique des perforation-utilisation du MTA. 2002;13:209-25.
  18. Cohen S, Burns RC, Keiser K. Pathways of the pulp. St. Louis (Miss.): Mosby, cop. 2006.; 2006.
  19. Daoudi MF, Saunders WP. In vitro evaluation of furcal perforation repair using mineral trioxide aggregate or resin modified glass ionomer cement with and without the use of the operating microscope. J Endod. 2002;28(7):512-5.
  20. Eghbal MJ, Fazlyab M, Asgary S. Repair of a strip Perforation with Calcium-Enriched Mixture Cement: A Case Report. Iran Endod J. 2014;9(3):225-8.
  21. Eghbal MJ, Fazlyab M, Asgary S. Repair of an extensive furcation perforation with CEM cement: A case study. Iran Endod J. Winter 2014;9(1):79.
  22. El-Khodary HM, Farsi DJ, Farsi NM, Zidan AZ. Sealing ability of four calcium containing cements used for repairing furcal perforations in primary molars: An in vitro study. J Contemp Dent Pract. 2015;16(9):733-9.
  23. Elnaghy AM. Influence of acidic environment on properties of biodentine and white Mineral Trioxide Aggregate: A comparative study. J Endod. 2014;40(7):953-7.
  24. Escobar-García DM, Aguirre-López E, Méndez-González V, Pozos-Guillén A. Cytotoxicity and initial biocompatibility of endodontic biomaterials (MTA and Biodentine™) used as root-end filling materials. BioMed Res Int. 2016;2016:7926961.
  25. Ford TR, Torabinejad M, McKendry DJ, Hong CU, Kariyawasam SP. Use of mineral trioxide aggregate for repair of furcal perforations. Oral surg oral med oral pathol oral radiol endod. 1995;79(6):756-63.
  26. Fuss Z, Assooline LS, Kaufman AY. Determination of location of root perforations by electronic apex locators. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology. 1996;82(3):324-9.
  27. Fuss Z, Trope M. Root perforations: classification and treatment choices based on prognostic factors. Endod Dent Traumatol. déc 1996;12(6):255-64.
  28. Gandolfi MG, Ciapetti G, Perut F, Taddei P, Modena E, Rossi PL, et al.

- Biomimetic calcium-silicate cements aged in simulated body solutions. Osteoblast response and analyses of apatite coating. *J Appl Biomater Biomech JABB*. 2009;7(3):160-70.
29. Gernhardt CR, Eppendorf K, Kozlowski A, Brandt M. Toxicity of concentrated sodium hypochlorite used as an endodontic irrigant. *Int Endod J*. 2004;37(4):272-80.
  30. Giardino L, Ambu E, Becce C, Rimondini L, Morra M. Surface tension comparison of four common root canal irrigants and two new irrigants containing antibiotic. *J Endod*. nov 2006;32(11):1091-3.
  31. Guneser MB, Akbulut MB, Eldeniz AU. Effect of various endodontic irrigants on the push-out bond strength of biodentine and conventional root perforation repair materials. *J Endod*. 2013;39(3):380-4.
  32. Gupta PK, Garg G, Kalita C, Saikia A, Srinivasa TS, Satish G. Evaluation of sealing ability of Biodentine as retrograde filling material by using two different manipulation methods : an in vitro study. *J Int Oral Health JIOH*. 2015;7(7):111.
  33. Ha WN, Duckmanton P, Kahler B, Walsh LJ. A survey of various endodontic procedures related to mineral trioxide aggregate usage by members of the Australian Society of Endodontology. *Aust Endod J*. 1 déc 2016;42(3):132-8.
  34. Holland R, Bisco Ferreira L, de Souza V, Otoboni Filho JA, Murata SS, Dezan E. Reaction of the lateral periodontium of dogs' teeth to contaminated and noncontaminated perforations filled with mineral trioxide aggregate. *J Endod*. oct 2007;33(10):1192-7.
  35. Hülsmann M, Hahn W. Complications during root canal irrigation – literature review and case reports. *Int Endod J*. 2000;33(3):186-93.
  36. Ibarrola JL, Biggs SG, Beeson TJ. Repair of a large furcation perforation: a four-year follow-up. *J Endod*. 2008;34(5):617-9.
  37. Jean Jacques Lasfargues. *Concepts cliniques en endodontie*. Paris; 2005.
  38. Katge FA, Shivasharan PR, Patil D. Sealing ability of mineral trioxide aggregate Plus™ and Biodentine™ for repair of furcal perforation in primary molars: An in vitro study. *Contemp Clin Dent*. 2016;7(4):487-92.
  39. Kim J, Song Y-S, Min K-S, Kim S-H, Koh J-T, Lee B-N, et al. Evaluation of reparative dentin formation of ProRoot MTA, Biodentine and BioAggregate using micro-CT and immunohistochemistry. *Restor Dent Endod*. 2016;41(1):29.
  40. Koubi G, Colon P, Franquin J-C, Hartmann A, Richard G, Faure M-O, et al. Clinical evaluation of the performance and safety of a new dentine substitute, Biodentine, in the restoration of posterior teeth - a prospective study. *Clin Oral Investig*. 2013;17(1):243-9.

41. Kuttler Y. Microscopic investigation of root apexes. *J Am Dent Assoc.* 1955;50(5):544-52.
42. Lantz B, Persson PA. Experimental root perforation in dogs' teeth. A roentgen study. *Odontol Revy.* 1965;16(3):238-57.
43. Lasfargues JJ. Evolution des concepts de préparation : nouveaux concepts-nouvelles techniques. *ID Inf Dent.* 1997;22:1469-89.
44. Laurent P, Camps J, De Méo M, Déjou J, About I. Induction of specific cell responses to a Ca<sub>3</sub>SiO<sub>5</sub>-based posterior restorative material. *Dent Mater.* 2008;24(11):1486-94.
45. Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endod.* 1993;19(11):541-4.
46. Lee Y-L, Lee B-S, Lin F-H, Yun Lin A, Lan W-H, Lin C-P. Effects of physiological environments on the hydration behavior of mineral trioxide aggregate. *Biomaterials.* 2004;25(5):787-93.
47. Lemon RR. Nonsurgical repair of perforation defects. Internal matrix concept. *Dent Clin North Am.* 1992;36(2):439-57.
48. Madarati AA, Hunter MJ, Dummer PMH. Management of Intracanal Separated Instruments. *J Endod.* 2013;39(5):569-81.
49. Malkondu Ö, Kazandağ MK, Kazazoğlu E. A Review on Biodentine, a contemporary dentine replacement and repair material. *biomed res int.* 2014 Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4082844/>
50. Mallet J-P, Deveaux E. Aides visuelles en endodontie. In: Simon S, Pertot P, Endodontie. CdP; 2012.
51. Marques NCT, Lourenço Neto N, Oliveira TM. Immediate and mediate furcal perforation treatment in primary molars: 24-month follow-up. *Eur Arch Paediatr Dent Off J Eur Acad Paediatr.* 2016;
52. Menezes R, Xavier da Silva Neto U, Carneiro E, Letra A, Monteiro Bramante C, Bernadinelli N. MTA Repair of a supracrestal perforation: A case report. *J Endod.* 2005;31(3):212-4.
53. Mount GJ, Hume WR. Préservation et restauration de la structure dentaire. Paris, France: De Boeck Université; 2002. 272 p.
54. Pérard M, Goff AL, Hingant B, Clerc JL, Perez F, Vulcain J-M, et al. Choix de la limite apicale et de la longueur de travail. 2009;
55. Pertot W-J. Perforations : possibilités actuelles de traitement. *Inf Dent.* 2010; (22):109-16.
56. Piconi C, Maccauro G. Zirconia as a ceramic biomaterial. *Biomaterials.* 1999;20(1):1-25.

57. Pontius V, Pontius O, Braun A, Frankenberger R, Roggendorf MJ. Retrospective evaluation of perforation repairs in 6 private Ppractices. *J Endod.* 2013;39(11):1346-58.
58. Ricketts DNJ, Tait CME, Higgins AJ. Tooth preparation for post-retained restorations. *Br Dent J.* 2005;198(8):463-71.
59. Salzano S, Tirone F. Mini-invasive nonsurgical treatment of class 4 invasive cervical resorption: a case series. *G Ital Endodonzia.* 2016;30(1):52-63.
60. Samuel A, Asokan S, Geetha Priya PR, Thomas S. Evaluation of sealing ability of Biodentine™ and mineral trioxide aggregate in primary molars using scanning electron microscope: A randomized controlled in vitro trial. *Contemp Clin Dent.* 2016;7(3):322-5.
61. Schmidt BS, Zaccara IM, Só MVR, Kuga MC, Palma-Dibb RG, Kopper PMP. Influence of operating microscope in the sealing of cervical perforations. *J Conserv Dent JCD.* 2016;19(2):152.
62. Seltzer S, Bender IB, Smith J, Freedman I, Nazimov H. Endodontic failures--an analysis based on clinical, roentgenographic, and histologic findings. II. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1967;23(4):517-30.
63. Semennikova K, Colon P, Pradelle N. Les ciments tricalciques. 2016;1(2):25.
64. Septodont: service recherche et développement (R&D). Biodentine: active biosilicate technology. Scientific file; 2010.
65. Siew K, Lee AHC, Cheung GSP. Treatment outcome of repaired root perforation: a systematic review and meta-analysis. *J Endod.* 2015;41(11):1795-804.
66. Simon S. Les solutions d'irrigations. In: *Irrigation en endodontie. Dossier de l'ADF.* 2012.
67. Simon S, Machtou P, Pertot W-J, Friedman S. *Endodontie.* Editions CdP; 2012.
68. Simon S, Pertot W-J, Proust J-P. *La reprise du traitement endodontique.* Paris ; Berlin ; Chicago : Quintessence International,; 2006.
69. Singh H, Kaur M, Kapoor SM and P. Biodentine: A Promising Dentin substitute. *JBR J Interdiscip Med Dent Sci.* 2014. Disponible sur: [http://www.omicsonline.com/open-access/interdisciplinary-medicine-dental-science-abstract.php?abstract\\_id=30029](http://www.omicsonline.com/open-access/interdisciplinary-medicine-dental-science-abstract.php?abstract_id=30029)
70. Soares CJ, Santana FR, Silva NR, Preira JC, Pereira CA. Influence of the endodontic treatment on mechanical properties of root dentin. *J Endod.* 2007;33(5):603-6.
71. Tanalp J, Karapınar-Kazandağ M, Dölekoğlu S, Kayahan MB. Comparison of the radiopacities of different root-end filling and repair materials.

ScientificWorldJournal. 2013;2013:594950.

72. Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Ford TRP. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod.* 1995;21(7):349-53.
73. Tsai Y-L, Ian W-H, Jeng J-H. Treatment of pulp floor and stripping perforation by mineral trioxide aggregate. *J Formos Med Assoc.* 2006;105(6):522-6.
74. Tsesis I, Fuss Z. Diagnosis and treatment of accidental root perforations. *Endod Top.* 2006;13(1):95-107.
75. Wilhelm J. Pertot. Traitement des perforations. *Endo Tribune Édition Française.* Mai 2014;32-4.
76. Wong R, Cho F. Microscopic management of procedural errors. *Dent Clin North Am.* 1997;41(3):455-79.
77. Yildirim G, Dalci K. Treatment of lateral root perforation with mineral trioxide aggregate: a case report. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* 2006;102(5):e55-8.
78. Yoldas O, Oztunc H, Tinaz C, Alparslan N. Perforation risks associated with the use of Masserann endodontic kit drills in mandibular molars. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* 2004;97(4):513-7.
79. Zarei M, Afkhami F, Malek Poor Z. Fracture resistance of human root dentin exposed to calcium hydroxide intervisit medication at various time periods: an in vitro study. *Dent Traumatol.* 2013;29(2):156-60.
80. Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod.* 2006;32(5):389-98.
81. Zhou H, Shen Y, Wang Z, Li L, Zheng Y, Häkkinen L, et al. In vitro cytotoxicity evaluation of a novel root repair material. *J Endod.* 2013;39(4):478-83.
82. [www.Septodont.fr](http://www.Septodont.fr).

## Table des figures

Figure 1 : illustration des deux types de dentinogénèse tertiaire [67]	16
Figure 2 : schéma des principaux constituants pulpaire [67].	17
Figure 3 : méthode de réalisation d'une cavité d'accès [67].	19
Figure 4 : radiographie mettant en évidence une erreur d'axe et de diamètre d'un tenon radulaire [58].	20
Figure 5 : perforation du plancher radulaire iatrogène [18][21].	21
Figure 6 : illustration d'une perforation infra crestale [27].	22
Figure 7 : schéma de la région apicale d'après Kuttler [54].	23
Figure 8 : destruction du cône de Kuttler [43].	24
Figure 9 : perforation par stripping sur une molaire mandibulaire[1].	24
Figure 10 : conditionnement de la Biodentine® (par l'auteur).	28
Figure 11 : image au microscope électronique à balayage de la Biodentine®.	29
Figure 12 : vues au microscope électronique à balayage de la Biodentine® exposée à différents pH (7,4 ; 6,4 ; 5,4 et 4,4) de haut en bas à grossissement 1000 à droite et 5000 à gauche [23].	32
Figure 13 : graphique représentant la résistance électrique de la Biodentine® au cours du temps [64].	33
Figure 14 : la résistance à la compression du MTA et de Biodentine® en fonction du temps mesuré à 1h, 1 jour, 7 jours et 28 jours [12].	36
Figure 15 : photographies illustrant l'utilisation de loupe et microscope opératoire en endodontie [67].	40
Figure 16 : traitement chirurgical d'une perforation.	42
Figure 17 : mise en évidence de la perforation à l'aide d'un cône de Gutta dans la perforation (a), mise en place de la matrice de collagène à l'aide d'un cône de gutta introduit dans le canal et obturation de la perforation au MTA (b,c), radiographie post-opératoire (d) et radiographie de contrôle à 1 an, on observe une cicatrisation du parodonte(e) [10].	43
Figure 18 : obturation d'une perforation du plancher radulaire avant l'obturation des canaux radulaires. a: cavité d'accès avec mise en évidence de la perforation, b: mise en place de finger spreader dans les canaux pour protéger leurs entrées, c: obturation de la perforation à la Biodentine® avec les pointes de papier en place pour assécher les canaux radulaires, d: obturation des canaux et de la perforation (Alain Gambiez)	45
Figure 19 : arbre décisionnel de traitement des perforations du plancher radulaire par la Biodentine®.	46
Figure 20 : radiographies rétro-alvéolaires illustrant le traitement d'une perforation supra-crestale [52].	47
Figure 21 : Embout à mémoire de forme, pouvant être courbé à la convenance du praticien, et piston en peek [55].	48
Figure 22 : photographies illustrant le protocole d'obturation d'une perforation: mise en place de la gutta en apicale de la perforation (a,b) puis obturation de la perforation (c,d).	49
Figure 23 : arbre décisionnel de traitement des perforations du tiers moyen radulaire.	50
Figure 24 : photographie illustrant l'accident d'extrusion de l'hypochlorite de sodium [29].	53

Figure 25 : radiographie rétro-alvéolaire mettant en évidence la perforation [29]	53
Figure 26 : fiche pédagogique : guide d'utilisation de la Biodentine®	58
Figure 27: fiche pédagogique : le matériel nécessaire pour l'obturation des perforations à la Biodentine®	59
Figure 28 : fiche pédagogique : perforation du plancher radiculaire traitée par Biodentine®	60
Figure 29: fiche pédagogique : perforation du tiers moyen radiculaire traitée par Biodentine®	61
Figure 30 : radiographie pré-opératoire centrée sur la 36 (Claire Blanquart)	62
Figure 31 : radiographies rétro alvéolaires de contrôle centrées sur la 36 lors de la pose du tenon fibré (a) puis un mois après (b) et trois mois après (c)(Claire Blanquart)	63
Figure 32 : radiographie rétro-alvéolaire centrée sur la 21 (Dr T.Bécavin)	63
Figure 33 : radiographies mettant en évidence une perforation du 1/3 moyen radiculaire ( Dr T.Bécavin)	63
Figure 34 : radiographies rétro-alvéolaires illustrant la dépose de la couronne et du tenon ( a), la mise en place du cône de gutta après que la perforation a été obturée à la Biodentine® (b) et la mise en place du tenon dans l'axe (c) (Dr T.Bécavin)	64
Figure 35 : radiographie rétro-alvéolaire pré opératoire centrée sur la 36 (Dr A.Gambiez)	65
Figure 36 : photographies illustrant la dépose de la couronne (a), de l'inlay-core (b) et des instruments fracturés (c) et la localisation des perforations (d) (Dr A.Gambiez)	66
Figure 37 : photographies illustrant l'assèchement des canaux à l'hydroxyde de calcium (a), la mise en place de cônes de Gutta Percha dans les canaux radiculaires afin d'éviter la fusée de la Biodentine® (b), la mise en place de la Biodentine®, et l'obturation des canaux après la mise en place de la Biodentine® (d) (Dr A.Gambiez)	67
Figure 38 : radiographies rétro-alvéolaires de contrôle 9 mois après le traitement (Dr A.Gambiez)	67

## Table des tableaux

Tableau 1 : composition chimique de la Biodentine® sous forme de tableau [71]	26
Tableau 2 : composition chimique du MTA sous forme de tableau	27
Tableau 3 : tableau comparatif de la porosité du MTA de la Biodentine® et du Fuji IX [65]	33
Tableau 4 : comparaison de la dureté de la Biodentine® et de la dentine humaine [59]	35
Tableau 5 : valeur exprimée en $\mu\text{l}/\text{min}/70 \text{ cm H}_2\text{O}$ . Tableau montrant les filtration des fluides du MTA et de la Biodentine® à différents intervalle de temps [13]	37
Tableau 6 : comparaison des propriétés physico-chimiques et biologiques du ProRoot-MTA® et de la Biodentine® [16]	38

Traitement non-chirurgical des perforations radiculaires iatrogènes par la pose de Biodentine® : Réalisation de fiches pédagogiques.

**BLANQUART Claire-** p. 77 : ill. 38 ; réf. 82.

**Domaines** : Odontologie-Endodontie

Mots clés Rameau : Racine de la dent; Matériaux dentaires ; Obturation (odontostomatologie) ; Thérapeutiques-Complications ; Matériel didactique.

Mots clés FmeSH : Racine dentaire ; Matériel d'enseignement ; Présentation de cas

Mots clés libres : Perforations radiculaires iatrogènes ; Biodentine® ; MTA

#### Résumé de la thèse en français

Les perforations dentaires iatrogènes représentent une cause d'échec importante en endodontie. Elles doivent être traitée immédiatement afin d'améliorer le pronostic de la dent. La Biodentine®, un ciment récent à base de silicate de calcium, présente de nombreuses indications cliniques. Ses bonnes propriétés physico-chimiques, sa biocompatibilité ainsi que ses propriétés mécaniques similaires à la dentine lui permettent d'être utilisée dans le traitement des perforations. Dans ce travail, une analyse des données de la littérature a montré l'intérêt de l'utilisation de la Biodentine® dans le traitement des perforations, puis des fiches pédagogiques ont été élaborées afin de faciliter le travail des étudiants dans le service d'odontologie du CHRU de Lille.

#### **JURY** :

**Président** : Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX

**Asseseurs** : Monsieur le Docteur Alain GAMBIEZ

Monsieur le Docteur Thibault BÉCAVIN

Monsieur le Docteur Lieven ROBBERECHT