

UNIVERSITÉ DE NANTES  
UNITÉ DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Année 2020  
N° 3634

**Régénération tissulaire guidée et chirurgie  
endodontique.**

THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE  
DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

*présentée  
et soutenue publiquement par*

**BOBEAU Antoine**  
Né le 18/11/1996

*Le 15 juin 2020 devant le jury ci-dessous :*

Président : Madame le Professeur Fabienne Pérez

Assesseur : Monsieur le Professeur Zahi Badran

Directeur de Thèse : Madame le Docteur Valérie Armengol

Co-Directeur de Thèse : Monsieur le Docteur Louis-Emmanuel Sarkissian

Membre invité : Monsieur le Docteur Matthieu Remaud

**UNIVERSITE DE NANTES**

Président  
**Pr LABOUX Olivier**



**FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE**

Doyen  
**Pr GIUMELLI Bernard**

Assesseurs  
Dr RENAUDIN Stéphane  
Pr SOUEIDAN Assem  
Pr WEISS Pierre



**PROFESSEURS DES UNIVERSITES  
PRATICIENS HOSPITALIERS DES C.S.E.R.D.**

Mme ALLIOT-LICHT Brigitte  
M. AMOURIQ Yves  
M. BADRAN Zahi  
M. GIUMELLI Bernard  
M. LE GUEHENNEC Laurent

M. LESCLOUS Philippe  
Mme PEREZ Fabienne  
M. SOUEIDAN Assem  
M. WEISS Pierre

**PROFESSEURS DES UNIVERSITES**

M. BOULER Jean-Michel

**MAITRE DE CONFERENCE DES UNIVERSITES**

Mme VINATIER Claire

**PROFESSEURS EMERITES**

M. JEAN Alain

**ENSEIGNANTS ASSOCIES**

M GUIHARD Pierre (Professeur Associé)

Mme LOLAH Aoula (Assistant Associé)

**MAITRES DE CONFERENCES DES  
UNIVERSITES PRATICIENS HOSPITALIER DES  
C.S.E.R.D.**

M. AMADOR DEL VALLE Gilles  
Mme ARMENGOL Valérie  
Mme BLERY Pauline  
M. BODIC François  
Mme CLOITRE Alexandra  
Mme DAJEAN-TRUTAUD Sylvie  
M. DENIS Frédéric  
Mme ENKEL Bénédicte  
M. GAUDIN Alexis  
M. HOORNAERT Alain  
Mme HOUCHMAND-CUNY Madline  
Mme JORDANA Fabienne  
M. KIMAKHE Saïd  
M. LE BARS Pierre  
Mme LOPEZ-CAZAUX Serena  
M. NIVET Marc-Henri  
M. PRUD'HOMME Tony  
Mme RENARD Emmanuelle  
M. RENAUDIN Stéphane  
Mme ROY Elisabeth  
M. STRUILLOU Xavier  
M. VERNER Christian

**ASSISTANTS HOSPITALIERS  
UNIVERSITAIRES DES C.S.E.R.D.**

M. ALLIOT Charles  
Mme ARRONDEAU Mathilde  
Mme BARON Charlotte  
M. BOUCHET Xavier  
Mme CLOUET Roselyne  
M. FREUCHET Erwan  
M. GUIAS Charles  
Mme HASCOET Emilie  
Mme HEMMING Cécile  
M. HIBON Charles  
M. HUGUET Grégoire  
M. KERIBIN Pierre  
M. OUVRARD Pierre  
M. RETHORE Gildas  
M. SARKISSIAN Louis-Emmanuel  
M. SERISIER Samuel

**PRATICIENS HOSPITALIERS**

Mme DUPAS Cécile (Praticien Hospitalier)  
Mme BRAY Estelle Praticien Hospitalier Attaché  
Mme LEROUXEL Emmanuelle (Praticien Hospitalier Attaché)

Mme QUINSAT Victoire (Praticien Hospitalier Attaché)  
Mme RICHARD Catherine (Praticien Hospitalier Attaché)  
Mme HYON Isabelle (Praticien Hospitalier Contractuel)

Mise à jour le 12/03/2020

Par délibération, en date du 6 Décembre 1972, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire de Nantes a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'il n'entend leur donner aucune approbation, ni improbation.

## **REMERCIEMENTS,**

***À Madame le Professeur Fabienne PÉREZ***

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier des Centres de Soins  
d’Enseignement et de Recherches Dentaires

Docteur de l’Université de Toulouse 3

Habilitée à Diriger les Recherches

Chef du Département d’Odontologie Conservatrice - Endodontie

Chef du Service d’Odontologie Conservatrice et Pédiatrique

**- NANTES -**

*Pour m’avoir fait l’honneur de présider ce jury,*

*Pour vos encadrements dans mes activités cliniques,*

*Pour votre écoute, votre soutien, votre bienveillance et votre disponibilité tout au long de mon cursus,*

*Pour le rôle majeur que vous avez joué dans mon orientation professionnelle,*

*Veillez trouver ici l’expression de mon plus grand respect ainsi que tous mes remerciements.*

*À Madame le Docteur Valérie ARMENGOL*

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des Centres de Soins  
d’Enseignement et de Recherches Dentaires

Docteur de l’Université de Nantes

Département d’Odontologie Conservatrice - Endodontie

**- NANTES -**

*Pour avoir accepté de diriger ce travail de thèse,*

*Pour vos conseils et votre disponibilité,*

*Pour votre volonté à faire partager votre savoir,*

*Vous trouverez ici l’expression de mon plus profond respect et de ma sincère  
gratitude.*

*À Monsieur le Docteur Louis-Emmanuel SARKISSIAN*

Assistant Hospitalier Universitaire des Centres de Soins d'Enseignement et de  
Recherches Dentaires  
Département d'Odontologie Conservatrice - Endodontie

**- NANTES –**

*Pour avoir accepté de diriger ce travail de thèse,  
Pour vos conseils, votre disponibilité et votre bienveillance,  
Pour votre aide et votre motivation,  
Pour m'avoir encouragé et soutenu dans mes projets,  
Vous trouverez ici l'expression de toute mon amitié, de mes remerciements et de mon  
immense reconnaissance.*

***À Monsieur le Professeur Zahi BADRAN***

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier des Centres de Soins  
d’Enseignement et de Recherches Dentaires

Docteur de l’Université de Nantes

Habilité à Diriger les Recherches

Département de Parodontologie

**- NANTES -**

*Pour m’avoir fait l’honneur de siéger dans ce jury,*

*Pour votre enseignement, votre bienveillance et votre écoute lors des vacations de  
Parodontologie,*

*Pour le rôle majeur que vous avez joué dans mon orientation professionnelle,*

*Vous trouverez ici l’expression de toute ma gratitude et de tout mon respect.*

***À Monsieur le Docteur Matthieu REMAUD***

Praticien Hospitalier Attaché au service d'Odontologie Conservatrice et Endodontie.  
Praticien libéral.

**- NANTES -**

*Pour avoir accepté de siéger dans ce jury,  
Pour l'attention que vous portez à ce travail,  
Pour votre soutien lors des vacations cliniques,  
Vous trouverez ici l'expression la plus sincère de toute mon amitié et de ma sincère  
considération.*

# Table des matières

<b>I. Introduction et mise en contexte</b> .....	<b>12</b>
<b>II. La chirurgie endodontique</b> .....	<b>14</b>
II.1. Indications.....	14
II.1.1. Généralités.....	14
II.1.1.1. Histopathologie des lésions péri-apicales.....	14
II.1.2. Indications.....	16
II.1.3. Pronostic.....	17
II.1.3.1. Critères de succès.....	18
II.1.3.2. Type de lésion.....	19
II.2. Contre-indications.....	21
II.3. Examens préopératoires.....	22
II.3.1. Examen endobuccal.....	22
II.3.2. Examen radiographique.....	22
II.3.3. Innovations technologiques.....	23
II.3.4. Prescription pré/post-opératoire.....	23
II.3.4.1. Information et Consentement.....	23
II.3.4.2. Prescription médicamenteuse.....	24
II.3.4.3. Suites opératoires et complications.....	24
II.4. Protocole.....	25
II.4.1. Anesthésie.....	25
II.4.2. Incision, décollement et rétraction du lambeau.....	25
II.4.3. Localisation du foyer et ostéotomie.....	26
II.4.4. Curetage péri-radulaire et biopsie.....	27
II.4.5. Apicectomie.....	27
II.4.6. Hémostase.....	28
II.4.7. Inspection et examen de la surface radulaire.....	28
II.4.8. Préparation apicale <i>a retro</i> , contrôle, évaluation de la cavité rétrograde.....	28
II.4.8.1. Préparation apicale <i>a retro</i> .....	28
II.4.9. Préparation et mise en place du matériau d'obturation <i>a retro</i> .....	29
II.4.9.1. Propriétés recherchées.....	29
II.4.9.1.1. Biocompatibilité.....	30
II.4.9.1.2. Manipulation clinique aisée.....	30
II.4.9.1.3. Capacité de scellement étanche du système canalaire.....	30
II.4.9.2. Amalgame (Anciennement utilisé).....	30
II.4.9.3. Ciments à base d'oxyde de zinc-eugénol.....	31
II.4.9.3.1. IRM® (Immediate Restorative Material).....	31
II.4.9.3.2. Super EBA® (EthoxyBenzoïque Acid).....	31
II.4.9.4. Matériaux biocéramiques.....	31
II.4.9.4.1. Mineral Trioxide Aggregate (MTA).....	31
II.4.9.4.2. Biodentine®.....	32
II.4.9.4.3. Root Repair Material (RRM) Putty.....	32
II.4.10. Aménagement de la crypte osseuse.....	33
II.4.11. Repositionnement du lambeau, sutures et compression.....	33
<b>III. La Régénération Tissulaire Guidée (RTG)</b> .....	<b>34</b>
III.1. Généralités.....	34
III.1.1. Historique.....	34
III.1.2. Principes de cicatrisation.....	34
III.1.2.1. Tissu épithélial.....	34
III.1.2.2. Tissu conjonctif.....	35
III.1.2.3. Tissu osseux.....	35
III.1.2.4. Cément.....	35
III.1.2.5. Ligament parodontal.....	35
III.2. Matériaux.....	36

III.2.1. Membranes.....	36
III.2.1.1. Résorbables.....	37
III.2.1.1.1. Acide polylactique .....	37
III.2.1.1.2. Collagène.....	37
III.2.1.2. Non Résorbables.....	37
III.2.1.3. Critères de décision.....	38
III.2.2. Matériaux de comblement osseux.....	38
III.2.2.1. Principes.....	38
III.2.2.2. Matériaux.....	39
III.2.2.2.1. Autogreffe.....	39
III.2.2.2.2. Allogreffe .....	41
III.2.2.2.3. Xénogreffe .....	42
III.2.2.2.4. Matériaux synthétiques.....	43
III.3. Indications .....	44
III.4. Contre-indications.....	44
<b>IV. Analyse Bibliographique - Méthode de recherche .....</b>	<b>45</b>
IV.1 Cicatrisation.....	46
IV.1.1 Principe de la cicatrisation .....	46
IV.1.2 Evaluation de la cicatrisation .....	48
IV.1.3 Classification des lésions.....	49
IV.1.3.1 Classification des lésions.....	49
IV.2 Intérêts en fonction du défaut .....	50
IV.2.1. Généralités .....	50
IV.2.2 Lésions de taille supérieure à 10mm .....	51
IV.2.3 Défaut à 4 parois .....	51
IV.2.4 Lésions transfixiantes .....	52
IV.2.5 Lésions avec implication du parodonte marginal.....	52
IV.3 Proposition d'arbre décisionnel .....	53
<b>V. Cas clinique .....</b>	<b>54</b>
<b>VI. Conclusion.....</b>	<b>57</b>
<b>VII. Table des illustrations.....</b>	<b>58</b>
<b>VIII. Bibliographie .....</b>	<b>59</b>
<b>IX. Annexes.....</b>	<b>72</b>

# **I. Introduction et mise en contexte**

Le succès en endodontie est généralement défini par la guérison de la maladie péri-apicale, il peut être néanmoins considéré comme le maintien asymptomatique et fonctionnel de la dent sur l'arcade (1). On détermine qu'une dent est guérie lorsqu'elle est cliniquement silencieuse, et radiographiquement sans lésion. Elle est en cours de guérison lorsqu'il y a une amélioration des critères cliniques et radiographiques. Elle est jugée pathologique lorsque ses signes cliniques persistent, ou sont majorés, ou bien encore que la lésion augmente ou perdure radiographiquement.

Le taux de succès du Traitement Endodontique Initial (TEI) varie entre 74 et 92% selon que la dent présente ou non une pathologie péri-apicale préexistante (2).

Comme toute procédure de soins, des échecs dans les traitements par voie orthograde sont possibles. Les causes les plus fréquentes sont définies par Song et coll en 2011 (3) et sont les suivantes :

- Non étanchéité de l'obturation canalaire (30,4 %).
- Canal oublié (19,7 %).
- Sous-obturation importante (14,2 %).

Une grande partie des échecs est aussi liée à un échec prothétique vrai (4,5).

En cas d'échec, deux options sont possibles dont le retraitement par voie orthograde. Le taux de succès de cette reprise de traitement est d'environ 89% (6), ce qui laisse également place à d'éventuels nouveaux échecs. Lorsque nous arrivons aux limites des traitements endodontiques par voie orthograde, le traitement endodontique ou retraitement endodontique par voie chirurgicale est une option thérapeutique très intéressante permettant le maintien de la dent sur l'arcade.

Selon Kang et coll (7), à court terme (< 4 ans), la chirurgie endodontique présente un taux de succès significativement plus important (92%) que le retraitement conventionnel (80%), alors qu'à long terme, ces taux sont similaires.

La procédure et le plateau technique nécessaire à la réalisation de la chirurgie endodontique ont évolué ces dernières années. Nous distinguerons donc d'une part, la procédure traditionnelle et d'autre part la technique dite « moderne ». La chirurgie apicale traditionnelle a un taux de succès d'environ 59 %, tandis que celui de la chirurgie moderne est d'environ 94 % (8).

La chirurgie moderne est la technique la plus utilisée actuellement et c'est celle qui nous intéressera dans le cadre de ce travail. Effectuer une deuxième chirurgie sur le même site présente des taux de succès similaires à la chirurgie endodontique moderne et est d'environ 92,9 % selon Song et coll. (9). Nous nous retrouvons alors face à des cas où la probabilité d'un échec est inférieure à 10%.

Nous nous sommes donc demandés s'il existait d'autres moyens d'améliorer le taux de succès de cette procédure et ainsi repousser plus encore l'indication de l'avulsion. Dans ce but, nous nous sommes interrogé sur la régénération tissulaire guidée ? Présente-t-elle un intérêt comme elle peut l'avoir en implantologie ou parodontologie ? Est-il possible d'améliorer le pronostic de ces interventions par le biais de la régénération tissulaire guidée ? Et si c'est le cas, augmente-t-elle le pronostic dans toutes les situations ?

Après de brefs rappels sur la chirurgie endodontique et la régénération tissulaire guidée, nous analyserons grâce à la littérature si l'association des deux techniques permet d'obtenir une meilleure cicatrisation entraînant, théoriquement, un maintien prolongé de la dent sur l'arcade.

## **II. La chirurgie endodontique**

La parodontite apicale est une réaction inflammatoire des tissus péri-apicaux résultant de la présence de micro-organismes dans les canaux radiculaires. Elle est traditionnellement traitée en première intention par un traitement endodontique initial par voie orthograde. Ce traitement a pour but d'éliminer les micro-organismes responsables de l'infection déclenchant la réponse inflammatoire et d'empêcher leur développement.

La chirurgie endodontique est considérée comme un traitement endodontique à part entière et possède les mêmes objectifs, elle peut être indiquée en première ou en seconde intention. Elle consiste en l'ablation chirurgicale d'une lésion péri-apicale associée à la résection d'une partie apicale de la racine, suivie par la désinfection et le scellement de la partie apicale du ou des canaux (10). Les principes d'intervention par voie rétrograde restent les mêmes que par voie orthograde : désinfection, obturation, étanchéité (11). La chirurgie endodontique moderne correspond à l'utilisation d'instruments permettant une chirurgie microscopique. Le microscope associé à des inserts ultrasonores permettant la préparation canalaire *a retro* ainsi qu'une utilisation de matériaux bien tolérés histologiquement permettent de réaliser cette microchirurgie.

La technique de chirurgie moderne utilisée actuellement présente un taux de succès plus important (94% (8)) que la chirurgie traditionnelle (59% (8)), vraisemblablement lié aux évolutions technologiques du plateau technique.

### **II.1. Indications**

#### **II.1.1. Généralités**

Une radio-clarté péri-apicale n'est pas toujours synonyme d'une phase active de la maladie pour les dents traitées endodontiquement. Ces lésions peuvent mettre jusqu'à quatre ans pour guérir (12), il est donc important en face d'une lésion d'origine endodontique d'avoir un suivi radiographique pour savoir si la lésion progresse, n'évolue pas ou régresse.

##### **II.1.1.1. Histopathologie des lésions péri-apicales**

Les bactéries colonisant la pulpe entraînent des réactions immunitaires dans le péri-apex aboutissant à des destructions tissulaires, occasionnant ce que nous nommons des LIPOE (Lésion Inflammatoire Péri-Radiculaire d'Origine Endodontique), observables d'un point de vue radiographique. Les réactions inflammatoires induites par la colonisation bactérienne commencent avant la destruction complète de la pulpe (13,14).

Les lésions initiales sont constituées d'un tissu inflammatoire circonscrit par une capsule fibreuse contenant principalement des polymorphonucléaires, des lymphocytes B et T, des ostéoblastes, des ostéoclastes, des fibroblastes, des mastocytes, des macrophages, des cellules épithéliales, des débris cellulaires et des chimiokines (15–18).

Il existe 3 formes de lésions péri-apicales :

- Le granulome péri-apical : Histologiquement, c'est une lésion inflammatoire arrondie et circonscrite créée par l'accumulation de lymphocytes, plasmocytes et macrophages (19). Elle est favorisée par l'irritation intra-canalair (20) entraînant un épaississement ligamentaire suivie par une destruction de l'os alvéolaire. Les cytokines libérées stimulent l'activité ostéoclastique ainsi que la production des facteurs de croissance pendant la phase chronique de cette lésion (21).

L'équilibre entre le système immunitaire et les agents irritants intra-radiculaires est fragile et peut entraîner une phase aiguë secondaire augmentant la résorption osseuse. L'alternance des phases aiguës et chroniques est aléatoire et discontinue (22).

- L'épithélio-granulome : La prolifération épithéliale dans le granulome péri-apical est fréquente, elle se fait anarchiquement, l'épithélium se propage au niveau du péri-apex autour d'un foyer inflammatoire (21).

Cette prolifération peut entraîner une formation kystique. (19)

- Le kyste péri-apical : Histologiquement il est composé d'une cavité contenant des débris nécrotiques et des cristaux jaunâtres de cholestérol dans 29 à 43 % des cas (20), et d'un épithélium périphérique d'épaisseur variable (20). Les lésions kystiques sont de deux formes : les kystes en poche, où il existe une communication avec le canal, et les kystes vrais, non communicants avec le canal.

Le diagnostic de certitude ne peut être établi qu'après examen anatomo-pathologique de la lésion et ne peut être posé après simple examen clinique et/ou radiologique.

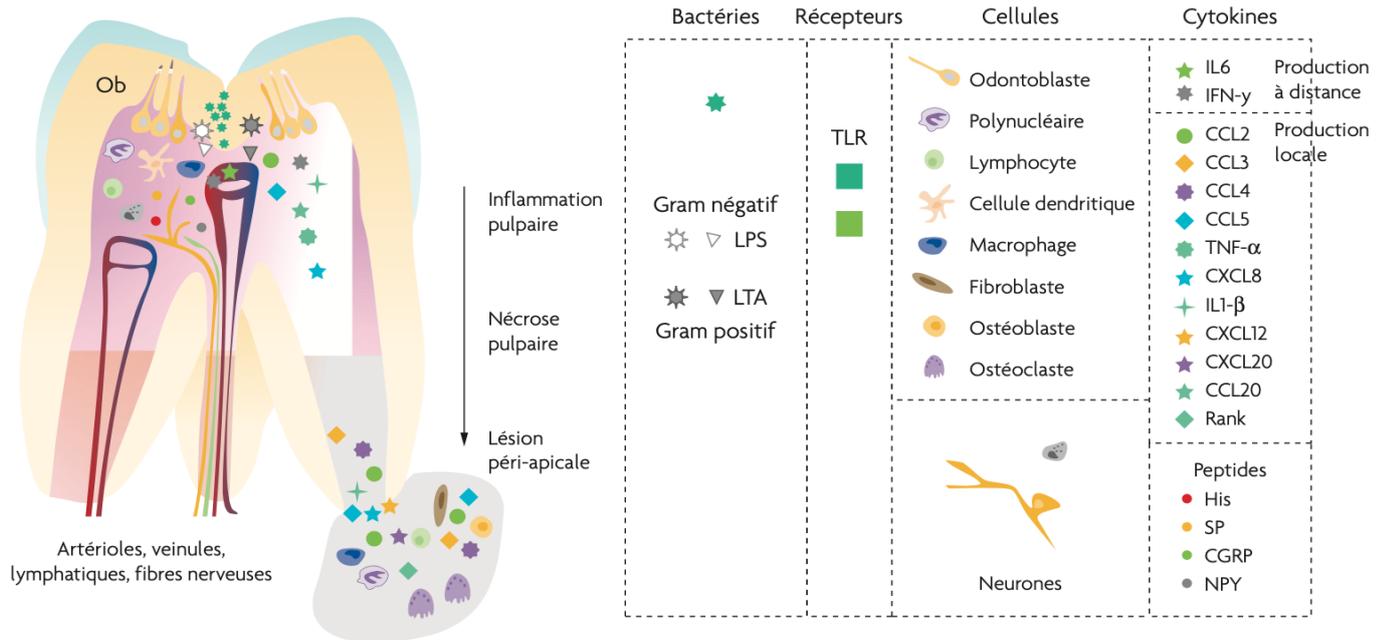


Figure 1 : Représentation schématique des principales réactions induites dans la pulpe dentaire et les tissus péri-apicaux par une exposition bactérienne : Les cytokines sont des éléments clés de ces réactions, agissant sur les cellules, les nerfs et les vaisseaux (23).

## II.1.2. Indications

L'indication de la chirurgie endodontique est posée lorsque le retraitement par voie orthograde est impossible ou échoue, lorsqu'il y a peu de chances qu'il puisse entraîner une amélioration du résultat précédent, ou lorsque la biopsie de la lésion péri-apicale est nécessaire. La chirurgie représente donc la dernière chance d'éviter l'extraction (24).

Une chirurgie en première intention peut néanmoins être indiquée dans certaines situations cliniques telles que les canaux minéralisés, les *dens in dente* et les dents immatures.

L'avènement des guides endodontiques pour traitement endodontique par voie orthograde a rendu l'indication de traitement des canaux minéralisés limitée.

### **II.1.3. Pronostic**

Song et coll (25) ont évalué les différents taux de succès en fonction de plusieurs variables dont on trouve un résumé dans le tableau suivant.

Variables	Endo + endo-perio				Endo			
	Point estimate	95% confidence interval		P value	Point estimate	95% confidence interval		P value
		Lower	Upper			Lower	Upper	
Sex								
Female versus male	1.926	1.090	3.403	.024	1.489	0.733	3.027	.271
Tooth position								
Anterior versus premolar	2.176	1.057	4.479	.035	3.060	1.210	7.739	.018
Anterior versus molar	2.288	1.154	4.537	.018	3.445	1.407	8.437	.007
Arch type								
Maxilla versus mandible	1.922	1.059	3.485	.032	2.118	1.024	4.381	.043
Lesion type								
Endodontic versus endodontic-periodontal	2.061	1.120	3.793	.020				
Postoperative restoration type								
Single vs short bridge					0.000	0.000	0.000	.998
Single vs long bridge					4.653	1.246	17.382	.022
Single versus RPD abutment					1.330	0.253	6.976	.736

Endo, isolated endodontic lesion; Endo + endo-perio, both isolated endodontic lesion and endodontic-periodontal lesion; RPD, removable partial denture.  
The coefficient of determination = 0.115 (total) and the coefficient of determination = 0.157 (isolated endodontic lesion).

Figure 2 : Résumé des critères influençant significativement la réussite d'une chirurgie endodontique.

Les facteurs favorisants sont : le sexe féminin, les dents antérieures, les dents maxillaires, les lésions endodontiques sans implication parodontale et la restauration prothétique unitaire.

### II.1.3.1. Critères de succès

Un succès est vulgairement défini par une absence de symptomatologie post-opératoire à long terme ainsi qu'une amélioration des critères radiographiques.

Peñaroccha et coll. (26) ont comparé plusieurs classifications de succès, celle qui est la plus utilisée est la classification de Von Arx et Kurt (27) combinant des critères cliniques et radiographiques et possédant le plus de résultats cohérents avec les autres classifications proposées.

Plusieurs étapes sont nécessaires pour évaluer si on se trouve ou non en situation de succès, et donc, décider si oui ou non une chirurgie endodontique s'avère nécessaire.

- Evaluation de la douleur :

<b>Définition du score de douleur</b>	
<b>Score</b>	<b>Définition</b>
<b>0</b>	Pas de douleurs
<b>1</b>	Douleurs moyennes (intermittentes)
<b>2</b>	Douleurs moyennes (continues)
<b>3</b>	Douleurs intenses

- Evaluation clinique :

<b>Définition du score de douleur</b>	
<b>Score</b>	<b>Définition</b>
<b>0</b>	Pas de manifestations cliniques
<b>1</b>	Zone apicale sensible à la palpation
<b>2</b>	Gonflement apical ou douleur à la percussion
<b>3</b>	Pathologie sinusienne ou abcès

- Classification sur évaluation radiographique:

<b>Définition de la classification de guérison</b>	
<b>Classification</b>	<b>Définition</b>
<b>Succès</b>	Guérison complète : Régénération osseuse >90% et douleur et critère clinique = 0
<b>Amélioration</b>	Guérison partielle : Régénération osseuse entre 50 et 90%, douleur et critère clinique = 0
<b>Echec</b>	Guérison absente ou incertaine : Régénération osseuse <50% ou douleur ou critère clinique $\geq 1$

### II.1.3.2. Type de lésion

Le type et la taille des lésions sont des paramètres importants quant au pronostic de succès des différentes thérapeutiques endodontiques. Il apparaît comme pertinent d'appréhender les différents types de lésions périapicales d'origine endodontique que nous pouvons rencontrer.

Une classification des types de lésion selon la présence de défaut parodontal associé ainsi que la taille de la lésion a été proposée par Kim et Kratchman (28).



Figure 3 : Représentation schématique de la classification de Kim et Kratchman (28)

Les classes A, B, C représentent une lésion endodontique pure de différentes tailles et les classes D, E, F représentent une lésion endodontique avec différents types de défauts parodontaux.

La classe A correspond à une absence de lésion péri radiculaire, pas de mobilité, sondage parodontal normal mais des symptômes cliniques après retraitement conventionnel qui sont la seule raison d'être de la chirurgie. La classe B correspond à la présence d'une petite lésion péri radiculaire dans le tiers apical associée à des symptômes cliniques tels que la gêne ou la sensibilité à la percussion, il y a un sondage parodontal normal sans mobilité.

La classe C correspond à la présence d'une large lésion péri-radicaire proliférant coronairement sans mobilité ni sondage pathologique.

La classe D correspond à la classe C avec un sondage parodontal > 4mm mais sans communication entre la lésion péri-radicaire et la lésion parodontale.

La classe E correspond à la présence d'une lésion péri-radicaire importante communiquant avec la lésion parodontale sans fracture évidente visible.

La classe F correspond à la présence d'une lésion péri-radicaire volumineuse et fenestration de la corticale vestibulaire sans mobilité associée.

Kim et coll. (29) ont évalué le taux de succès à un an de ces lésions. Les classes A, B, C, ont un taux de succès à 95,2 % contre 77,5% pour les classes D, E, F.

Estrela et coll. (30) proposent le CBCT PériApical Index score, plus le score est élevé, plus la destruction est importante. Il permet d'évaluer correctement la taille de la lésion sur l'examen CBCT (Cone Beam Computed Tomography) et par conséquent d'analyser son évolution au cours du temps.

Cone Beam Computed Tomography PeriApical Index Score (30)	
Score	Quantité de destruction osseuse
0	Structure osseuse péri-apicale intacte
1	Diamètre de la radioclarité péri-apicale > 0,5-1 mm
2	Diamètre de la radioclarité péri-apicale > 1-2 mm
3	Diamètre de la radioclarité péri-apicale > 2-4 mm
4	Diamètre de la radioclarité péri-apicale > 4-8 mm
5	Diamètre de la radioclarité péri-apicale > 8 mm
Score (n) + E*	Déformation de la corticale osseuse
Score (n) + D*	Destruction de la corticale osseuse
* Les variables E et D sont ajoutées à chaque score si l'une d'entre elles a été détectée au CBCT	

Figure 4 : Cone Beam Computed Tomography PeriApical Index Score (30).

## II.2. Contre-indications

Contre-indications et risques de la chirurgie endodontique		
<b>Risques infectieux</b>	Haut Risque d'endocardite Infectieuse	
	Diabète non équilibré	
	Anti-TNF	Arrêt du Traitement >15 jours si Etanercept + ATB-P Arrêt du Traitement > 4 semaines si Ingliximab, Adalimumab, Certolizumab, Golimumab + ATB-P
	VIH	ATB-P si CD4 < 500
<b>Risque hémorragique</b>	Pathologies cardio-vasculaires non stabilisées	Prise en charge hospitalière
	Anomalies constitutionnelles ou induites de l'hémostase	Prise en charge hospitalière
	Association AVK/AAP	Prise en charge hospitalière
	AVK	Pas d'arrêt, Prise en charge hospitalière si INR > 3
	AAP	Pas d'arrêt, technique d'hémostase rigoureuse nécessaire
<b>Risque cardio-vasculaire</b>	HTA Non équilibrée : PA Systolique > 150 mmHg et PA Diastolique > 120 mmHg	Jusqu'à stabilisation
<b>Risque d'ostéonécrose</b>	Radiothérapie cervicofaciale	Si > 30 Gy
	Biphosphonates	Si prise en charge d'un cancer
		Si Par voie orale > 4 ans pour l'ostéoporose : Arrêt pendant 2 mois après avis du médecin traitant.
		Si Par voie orale < 4 ans avec corticostéroïdes ou agents anti-angiogéniques pour le traitement de l'ostéoporose : Arrêt pendant 2 mois après avis du médecin traitant.
	Par voie orale < 4 ans sans autre facteur de risque pour le traitement de l'ostéoporose : RAS	
<b>Anatomie</b>	Sinus	Analyse CBCT
	Seconde molaire maxillaire et artère palatine	Pour les racines palatines, jamais d'abord palatin
	Épaisseur osseuse	Analyse CBCT
	Proximité du foramen mentonnier	Si en vestibulaire ou au contact de la lésion : CI
	Proximité du canal mandibulaire	Si en vestibulaire de la racine : CI
	Limitation d'accès au secteur postérieur	Périmètre labial, volume excessif des joues, musculature trop importante : CI
<b>Parodonte</b>	Mobilité, soutien parodontal faible, rapport couronne clinique/racine clinique défavorable, hauteur de la racine résiduelle infra-osseuse après résection insuffisante	CI
	Inflammation parodontale marginale	Réévaluation après assainissement.

Tableau 1 : Synthèse des contre-indications et risques de la chirurgie endodontique.

Contre Indication (Rouge) Risque Existant, précautions particulières (Orange).

Sans précautions (Vert) ATB-P : Antibio prophylaxie (31)

## **II.3. Examens préopératoires**

### **II.3.1. Examen endobuccal**

Prendre en compte l'environnement muco-gingival oriente nos choix et les différentes alternatives protocolaires. La position de la ligne du sourire, le biotype gingival, la tonicité des joues permettent d'évaluer les difficultés et de choisir le type d'incision.

### **II.3.2. Examen radiographique**

Le principe ALARA (As Low As Reasonably Achievable) doit être pris en compte en imagerie médicale, tout type d'imagerie doit être prescrit en suivant le rapport Bénéfice/Risque.

Le cliché rétro-alvéolaire permet d'objectiver les différentes structures telles que la taille de la lésion, la position et formes des racines mais aussi les obstacles anatomiques tels que le sinus ou le canal dentaire inférieur. Ce cliché est essentiel mais insuffisant.

De nos jours, le cliché tridimensionnel semble être indispensable en préalable de la chirurgie endodontique.

Le CBCT est une technique d'imagerie tridimensionnelle permettant de visualiser une zone précise, elle délivre une dose de rayons X supérieure à celle d'un cliché rétro-alvéolaire (4 à 6  $\mu$ Sv) ou même d'une radiographie panoramique (10 à 15 $\mu$ Sv). La Haute Autorité de Santé (HAS) (32) fournit des informations précises sur l'utilisation du CBCT en endodontie dans son rapport de 2009 sur la tomographie volumique à faisceau conique : « L'imagerie CBCT en endodontie peut représenter un intérêt dans certains cas bien sélectionnés, lorsque les informations fournies par la clinique et la radiologie conventionnelle ne sont pas suffisamment contributives au diagnostic et qu'une imagerie tridimensionnelle est indispensable. » Ces informations sont suivies et complétées par l'European Society of Endodontology en 2014 (33) et l'American Association of Endodontists en 2015 (34) considère le CBCT comme « la technique d'imagerie de choix pour la planification pré-chirurgicale, la localisation des apex et l'évaluation de la proximité des structures anatomiques adjacentes ».

Son utilisation est donc une aide au diagnostic permettant de détecter plus fréquemment des lésions sur des dents ayant un traitement endodontique (63,3%) qu'avec des clichés rétro-alvéolaires (35,3%) et même des radiographies panoramiques (17,6%) (35).

Le CBCT est une aide précieuse à la décision pour évaluer la racine en cause, la proximité du sinus, de la gouttière de l'artère palatine, du foramen mentonnier, du canal dentaire inférieur et de l'épaisseur de corticale mandibulaire.

### **II.3.3. Innovations technologiques**

Lorsque l'accès à certaines racines s'avère complexe à cause des éléments anatomiques, l'utilisation de guides chirurgicaux peut être intéressante.

Les guides chirurgicaux sont fréquemment utilisés en implantologie afin de minimiser le risque d'endommager les tissus et structures avoisinantes.

L'utilisation d'un guide pour la chirurgie endodontique ne s'est pour l'instant pas démocratisée en raison du prix et d'un apport non scientifiquement prouvé.

L'impression 3D d'un guide biocompatible dento-porté suite à une empreinte par caméra optique est à ce jour la technique la plus utilisée pour les guides de chirurgie endodontique.

Peu d'études sont actuellement publiées sur le sujet, quelques séries de cas (36,37) montrent une localisation plus aisée du foyer mais leur utilité est à confirmer dans les années futures. Grâce à ces avancées technologiques, les indications seraient de plus en plus étendues. Les contre-indications liées à la localisation anatomique seraient moins nombreuses même si elles resteraient des pratiques d'exception.

### **II.3.4. Prescription pré/post-opératoire**

La prescription médicale doit prendre en compte les précautions d'emploi, les effets indésirables, et les contre-indications relatives de chaque médicament. Elle doit être expliquée et remise au patient le jour de la consultation préopératoire.

#### **II.3.4.1. Information et Consentement**

Les patients ayant reçu des informations positives concernant leur traitement endodontique en préopératoire sont moins anxieux le jour de l'intervention (38).

L'information doit être loyale, claire et appropriée et le praticien doit obtenir un consentement éclairé du patient. Ce consentement doit être donné le jour de la consultation pré-opératoire. Il est indispensable de le recueillir avant le début de l'intervention. Il doit expliquer les alternatives de traitements, l'indication, les suites post opératoires ainsi que les risques, c'est une obligation légale (39).

Suite à l'intervention, il faudra remettre les instructions postopératoires par écrit au patient, ces instructions comportent les suites opératoires normales, la conduite à tenir pour favoriser une situation optimale ainsi qu'un moyen de joindre le praticien en cas de complications.

### **II.3.4.2. Prescription médicamenteuse**

#### **Prescription de base :**

##### 1 - Amoxicilline - 1000 mg

Prendre 2 comprimés le matin de l'intervention puis prendre 1 comprimé matin et soir pendant 7 jours.

##### 2 - Prednisolone - 20 mg

Prendre 3 comprimés en une prise le matin pendant 4 jours, à commencer le matin de l'intervention.

##### 3 - Paracétamol - 1000 mg

Prendre 1 comprimé 4 fois par jour, Espacer les prises de 4 à 6 heures, Ne pas dépasser 4 comprimés par 24 heures.

##### 4 - Poche de Froid

Appliquer pendant 15 minutes toutes les 30 minutes (15 minutes avec, 15 minutes sans) les premières heures après l'intervention.

##### 5- Digluconate de chlorhexidine 0,12% - 1 Flacon

Utiliser ½ godet de solution après chaque repas pendant 7 jours.

##### 6- Brosse à Dent chirurgicale 7/100<sup>ème</sup>

#### **Si le patient est stressé, ajouter :**

##### - Diazepam -10mg

Prendre 1 comprimé une heure avant l'intervention.

### **II.3.4.3. Suites opératoires et complications**

Les suites opératoires sont limitées, la douleur survient généralement 2 heures après l'intervention (40), l'oedème est systématique et est le plus important au deuxième jour après l'intervention (40), et les saignements sont rares.

Les complications possibles sont : la surinfection 1,6-3% selon Lindeboom (41), la réouverture du lambeau, l'hématome, l'hémorragie, la paresthésie.

## **II.4. Protocole**

### **II.4.1. Anesthésie**

L'anesthésie suit les principes généraux de l'anesthésie intra-buccale, cependant il y a certaines spécificités car il est difficile de ré-anesthésier en cours d'intervention. Une anesthésie suffisante en fonction du temps d'intervention est indispensable. Cette anesthésie permet d'obtenir un effet hémostatique nécessaire à la visibilité optimale du site opératoire au microscope, ainsi que l'obtention d'une surface canalair sèche après obturation *a retro* pour une obturation de bonne qualité, stable et pérenne (42,43).

La solution anesthésique comprend une molécule active (Articaïne) ainsi qu'un vasoconstricteur (Adrénaline) à différents dosages (1/100 000 utilisé dans notre cas).

### **II.4.2. Incision, décollement et rétraction du lambeau**

Une fois l'anesthésie efficace, l'accès au site se fait par un lever de lambeau. Les instruments nécessaires à cette étape sont : une lame 15C ou microlame et son porte-lame/ un décolleur de Prichard, de Molt ou de papille triangulaire permettant de décoller et d'élever le lambeau ainsi que les papilles/ un écarteur permettant de dégager les tissus mous, de maintenir le lambeau (écarteur de Rubinstein, de Kim, de Carr ou de Minnesota par exemple).

Il est important d'évaluer le biotype gingival avant intervention pour évaluer le risque de récession gingivale. Les deux extrêmes sont le biotype épais et peu festonné, et le biotype fin et festonné. Le biotype fin et festonné est fragile, plus délicat à manipuler avec un risque accru de récessions, tandis que le biotype épais et plat est dense et possède moins de risques de développer des récessions. Les lambeaux sont effectués en pleine épaisseur et leurs formes dépendent des tracés d'incisions, horizontaux et verticaux.

Situation clinique	Type de lambeau		
	Lambeau triangulaire comprenant une incision horizontale intra-sulculaire et une incision verticale mésiale ou distale.	Lambeau trapézoïdal sulculaire unitaire comprenant une incision horizontale sulculaire et deux incisions verticales	Lambeau de Luebke-Ochsenbein ; trapézoïdal à distance unitaire comprenant une incision horizontale à distance des papilles et deux incisions verticales
<b>Incisives maxillaires</b>		X	X
<b>Canine, prémolaires et molaires maxillaires</b>	X	X	X
<b>Incisives mandibulaires</b>	X		
<b>Canine et première prémolaire mandibulaires</b>	Décharge mésiale pour éviter le nerf mentonnier.		
<b>Deuxième prémolaire et molaires mandibulaire</b>	Décharge distale pour éviter le nerf mentonnier.		

Tableau 2 : Type de lambeau en fonction de la situation clinique.

### **II.4.3. Localisation du foyer et ostéotomie**

Cela consiste en l'élimination de la corticale osseuse, permettant l'accès à la portion de la racine à traiter, qu'elle soit latérale ou apicale. Si la lésion a atteint la corticale vestibulaire, il y a fenestration et accès direct à la lésion. L'instrumentation peut être rotative, grâce à une turbine angulée à 45° qui permet d'accéder aux zones chirurgicales difficiles.

Les fraises utilisées sont : une fraise boule long col en carbure de tungstène de gros diamètre (014) afin de passer à travers l'os puis une fraise Zekrya affinant l'ostéotomie.

L'irrigation abondante est indispensable au refroidissement du site opératoire, car la vasoconstriction entraînée par l'anesthésie induit un tissu osseux plus vulnérable. De plus, elle permet l'élimination des débris osseux et le maintien de l'efficacité de coupe.

L'instrumentation peut également faire appel aux ultrasons ; si la corticale épaisse est bien dissociée de l'os spongieux, on découpe les bords, on élève le volet osseux et on le conserve dans du sérum physiologique. Il est replacé en fin d'intervention dans sa position initiale, favorisant la cicatrisation. On se sert d'une pièce à main à ultrasons spécifique à la chirurgie.

La taille de l'ostéotomie dépend de la taille initiale de la lésion, et de l'espace nécessaire à l'utilisation du matériel de préparation et d'obturation *a retro*.

#### **II.4.4. Curetage péri-radicaire et biopsie**

Plusieurs curettes sont utiles pour répondre à toutes les situations cliniques :

- La curette de Lucas permet d'éliminer la majorité de la lésion.
- La curette de Columbia (13/14) permet un curetage plus précis.
- La curette Jaquette Scaler, utilisée dans les zones difficiles d'accès et étroites.

Si la biopsie est nécessaire, un flacon de prélèvement rempli d'un liquide de fixation est à prévoir afin d'obtenir une analyse anatomo-pathologique.

L'historique médical peut à lui seul justifier le prélèvement, l'American Association of Endodontists en 2013 (45) l'indique : « s'il existe une pathologie persistante ou si cette pathologie ne semble pas en rapport avec un problème endodontique sur la base de l'évaluation clinique et radiologique ».

#### **II.4.5. Apicectomie**

La résection apicale met en évidence les contours radiculaires, facilite l'élimination du tissu pathologique et permet la localisation des canaux ainsi que des isthmes.

Les variations anatomiques du système canalaire sont principalement localisées dans les trois derniers millimètres apicaux (46). Éliminer cette partie de la racine permet d'accéder à l'ensemble du système canalaire et de palier plus aisément les éventuels accidents de mise en forme canalaire (fausse route, perforation).

Une turbine angulée à 45° associée à une fraise Zekrya sous irrigation abondante permet cette résection apicale. Le biseau doit être le plus perpendiculaire possible, une angulation de 5° est préférable afin d'avoir une visibilité convenable dans toutes les situations et surtout de ne pas oublier un canal, ce qui entraînerait un échec de traitement (47).

Si l'obturation est effectuée convenablement en qualité et en quantité, l'angle du biseau ne semble pas avoir de réelle influence sur la percolation apicale (48).

## **II.4.6. Hémostase**

Une hémostase parfaite est indispensable pour réaliser les étapes de préparation et d'obturation canalair dans les meilleures conditions et obtenir une excellente visibilité sur la zone de travail (28).

Von Arx (49) a montré que l'association d'une solution de chlorure d'aluminium et de sulfate ferrique possède les meilleurs effets sur l'hémostase lors de la chirurgie endodontique mais les restes de chlorure d'aluminium entraînent une inflammation locale.

Jensen (50) a ajouté que l'électrocautérisation possède les mêmes résultats que l'association précédente.

Un nettoyage de la crypte osseuse est nécessaire car il existe un risque modéré d'inflammation, les résidus de sulfate ferrique sont à enlever sous risque de nécrose (51,52).

Une étude récente a été réalisée afin de trouver une alternative avec une compresse imbibée d'épinéphrine, (53) sans succès.

L'électrocautérisation, quant à elle, ne présente pas plus de contrôle de l'hémorragie que le chlorure d'aluminium. (54)

Le sulfate ferrique semble donc être la molécule de choix pour obtenir l'hémostase souhaitée.

## **II.4.7. Inspection et examen de la surface radiculaire**

Le micro-miroir permet d'examiner l'ensemble de la surface radiculaire sous microscope. En ajoutant du bleu de méthylène, la localisation des isthmes et des canaux se fait facilement.

Le microscope permet également de repérer et objectiver la taille des fêlures qui seront à fraiser pour améliorer le taux de succès, évalué à environ 31,5% à 3 ans par Tawil et coll. (55) si la dentine présente des défauts de structures.

## **II.4.8. Préparation apicale *a retro*, contrôle, évaluation de la cavité rétrograde**

### **II.4.8.1. Préparation apicale *a retro***

L'objectif de la préparation apicale est d'éliminer l'ancien matériau d'obturation et la dentine infectée pour désinfecter le canal et aménager l'espace pour mettre en place une obturation étanche.

Plusieurs particularités anatomiques sont à prendre en compte afin de ne pas avoir un échec de traitement telles que les isthmes ou les canaux latéraux présents à environ 73,6% dans le tiers apical selon Vertucci (46).

Les systèmes piézoélectriques sont plus faciles d'utilisation que les systèmes magnétostrictifs ou pneumatiques qui sont moins puissants, plus erratiques et entraînent en plus une perte de sensibilité tactile. Les inserts utilisés lors de la préparation apicale présentent une extrémité travaillante diamantée plus ou moins longue avec différentes angulations. L'extrémité terminale est toujours droite et d'au moins 3mm de longueur.

Wang et coll. (56) suggèrent que lorsque toute la partie résiduelle du canal est préparée et obturée, le taux de succès est de 100%. Ceci est rendu possible par des inserts longs allant jusqu'à 9mm.

Pour sécher ce canal il existe des irrigateurs permettant de sécher directement à l'intérieur de la préparation. Dans le cas contraire, le séchage se fait à l'aide de cônes papiers, de la même manière que le traitement par voie orthograde

### **II.4.9. Préparation et mise en place du matériau d'obturation *a retro***

L'obturation sert à sceller hermétiquement le système canalaire pour éviter que les bactéries prolifèrent vers les tissus péri-apicaux. De nombreux matériaux ont été proposés et certains semblent actuellement dépassés.

#### **II.4.9.1. Propriétés recherchées**

Les propriétés recherchées sont définies par Gartner et Dorn (57) :

- Biocompatibilité.
- Manipulation clinique aisée.
- Capacité de scellement étanche du système canalaire.
- Non résorbabilité.
- Durcissement sans être affecté par l'humidité.
- Stabilité volumétrique.
- Absence de toxicité.
- Bonne tolérance par les tissus péri-apicaux.
- Opacité radiologique différente de celle de la dentine.
- Stimulation de la régénération des tissus péri-apicaux.
- Absence de corrosion et d'activité électrochimique.
- Absence de coloration de la dent et des tissus adjacents.
- Capacité à adhérer aux murs dentinaires.

Les propriétés déterminantes dans le choix du matériau sont la biocompatibilité, la manipulation et l'étanchéité.

### **II.4.9.1.1. Biocompatibilité**

La biocompatibilité est la propriété témoignant de l'absence de dégradation du matériau et/ou l'absence de réponse par le tissu hôte. Cela se traduit par une non-toxicité lorsqu'il est mis au contact des tissus péri-apicaux (58).

Les matériaux d'obturation *a retro* utilisés en chirurgie endodontique ne présentent pas de cytotoxicité pour l'organisme (59,60).

### **II.4.9.1.2. Manipulation clinique aisée**

La manipulation du matériau d'obturation est rendue complexe par la section apicale perpendiculaire à l'axe radiculaire, la cavité rétrograde de petites dimensions, l'humidité et la gestion de l'hémostase (61).

### **II.4.9.1.3. Capacité de scellement étanche du système canalaire**

La percolation est caractérisée par les mouvements de fluides au niveau du péri-apex, au niveau des défauts d'obturation, c'est un manque d'étanchéité.

La percolation est contrebalancée par la capacité des matériaux à adhérer aux murs dentinaires. Si le matériau possède une bonne capacité d'adhésion et qu'il est bien mis en place, la percolation sera moins importante (23).

## **II.4.9.2. Amalgame (Anciennement utilisé)**

L'amalgame a longtemps été utilisé comme matériau d'obturation en chirurgie traditionnelle, facile d'utilisation, peu couteux et radio-opaque (62), il présente néanmoins plusieurs inconvénients; peu biocompatible, peu étanche dû à l'infiltration marginale et responsable de tatouages gingivaux à cause de la corrosion (63).

Saatchi et coll (64) ont également démontré qu'il y avait un risque d'augmentation de mercure dans la circulation sanguine, et conseillent d'utiliser un matériau plus biocompatible.

### **II.4.9.3. Ciments à base d'oxyde de zinc-eugénol**

#### **II.4.9.3.1. IRM<sup>®</sup> (Immediate Restorative Material)**

L'IRM<sup>®</sup> est composé d'une résine polyméthyl méthacrylate et d'acétate de zinc renforçant les propriétés mécaniques de la poudre (65).

Il présente une meilleure étanchéité que l'amalgame, des propriétés antibactériennes plus faibles et entraînent une réaction inflammatoire diminuant sur le long terme (66).

Mais, le relargage d'eugénol et de zinc au niveau du péri-apex le rend cytotoxique (67). Il reste néanmoins toléré par l'organisme car moins agressif que les ZOE classiques (68). Sa manipulation est complexe avec une condensation parfois difficile à mettre en oeuvre (69).

#### **II.4.9.3.2. Super EBA<sup>®</sup> (EthoxyBenzoïque Acid)**

Le Super EBA<sup>®</sup> contient de l'acide ortho-éthoxybenzoïque qui a partiellement remplacé l'eugénol liquide, la poudre d'oxyde de zinc est complétée par l'ajout d'oxyde d'aluminium et de quartz. Le pH est plus neutre, il est plus résistant à la compression, à la traction et sa solubilité est diminuée. Il provoque une légère réaction inflammatoire au niveau péri-apical, mais une fois pris, elle est considérée comme négligeable (70).

Il adhère à la dentine en conditions humides, présente une bonne étanchéité, rendant l'infiltration très restreinte (71,72).

### **II.4.9.4. Matériaux biocéramiques**

Ces matériaux font partie de la famille des silicates de calcium, ils sont dérivés du ciment Portland.

#### **II.4.9.4.1. Mineral Trioxide Aggregate (MTA)**

Le MTA a été élaboré par M. Torabinejad dans les années 1990 (59,62,73), il est considéré comme le matériau d'obturation *a retro* de choix en chirurgie endodontique (74).

Les principaux composants du MTA sont le ciment de Portland (75%) et l'oxyde de bismuth (20%). Il se présente sous la forme de solidification d'un gel colloïdal, semi-liquide à granule difficilement manipulable.

Il est proposé par Torabinejad et coll. comme matériau d'obturation *a retro* en 1993, prenant en présence d'humidité, il est biocompatible et induit la formation de ciment au contact (73).

Il présente de nombreuses propriétés intéressantes comme matériau d'obturation *a retro* ; il est tolérant à l'humidité, résistant à la traction et compression, antibactérien, il possède un potentiel de régénération tissulaire, une bonne stabilité dimensionnelle et une étanchéité supérieure à celle de l'IRM® et du Super EBA® (75–77).

Il est également moins cytotoxique que l'amalgame, l'IRM® ou le Super EBA® (75–77). Le MTA stimule la cimentogénèse, l'ostéogénèse et la néoformation ligamentaire, le rendant beaucoup plus intéressant que les matériaux précédents (78).

Ses inconvénients principaux sont sa manipulation complexe à cause de sa texture, son temps de prise long, (plusieurs heures, variant selon plusieurs facteurs) (75), un coût élevé et une réintervention parfois difficile. Un nouveau type de MTA intitulé MM-MTA commercialisé par MicroMega présente un temps de prise réduit (20 minutes) ainsi qu'une manipulation plus aisée, ce qui renforce les recommandations sur son utilisation.

#### **II.4.9.4.2. Biodentine®**

La Biodentine® est apparue en 2011 et possède des propriétés similaires au MTA.

Ce matériau se compose d'une poudre de silicate tricalcique, de carbonate de calcium et de dioxyde de zirconium. On associe cette poudre à un liquide composé de chlorure de calcium en solution aqueuse avec un mélange de polycarboxylate modifié.

C'est un matériau biocompatible à prise rapide, bioactif stimulant la différenciation ostéoblastique, étanche et adhérent aux parois dentinaires (74,79–81).

Prenant en 12 à 15 minutes (82) et plus facile à manipuler, il présente cependant une consistance aléatoire après vibration et est faiblement radio-opaque (79).

Plus d'études sont nécessaires afin d'évaluer les apports de son utilisation en obturation *a retro*.

#### **II.4.9.4.3. Root Repair Material (RRM) Putty**

Utilisé depuis 2007 en chirurgie endodontique, il se compose de silicate de calcium, d'oxyde de zirconium et de phosphate de calcium (74,83). Ce matériau est constitué de pâtes de haute viscosité pré-mélangées rendant la manipulation relativement aisée.

La réaction de prise produit de l'hydroxyapatite qui comble l'espace canalaire par liaisons chimiques avec la dentine, son expansion de prise permet un scellement étanche du système canalaire (84,85).

Il est biocompatible *in vitro* (86), la prise commence au bout de 10 minutes et continue pendant 24 heures (86).

Sa cytotoxicité est similaire à celle du MTA (87,88).

Il est étanche, sans rétraction de prise (81) et possède une activité antibactérienne (89).

Chaque praticien se doit d'avoir un plateau technique répondant aux données acquises de la science afin d'obtenir les meilleurs taux de succès clinique. Aucun matériau ne possède les propriétés idéales mais les études tendent à montrer une tendance vers la supériorité du MTA sur les autres ciments (24). Le recul clinique de l'utilisation de ce dernier étant important, plus d'études sur la Biodentine® et les RRM sont à entreprendre afin d'évaluer leur supériorité ou non.

Le praticien choisira le matériau avec lequel il se sent le plus à même de travailler dans les conditions qui lui sont les plus favorables à la réussite clinique.

Après avoir mis en place le matériau d'obturation, éliminer les excès et effectuer une toilette de la crypte osseuse et de la face interne du lambeau permet d'obtenir des interfaces propices au bon repositionnement du lambeau.

#### **II.4.10. Aménagement de la crypte osseuse**

Bien que la planification préopératoire oriente notre thérapeutique et permette d'envisager l'utilisation de membrane et/ou de matériau de comblement, c'est à ce moment que cliniquement nous ré-évaluons et envisageons de rendre cette planification possible ou non.

#### **II.4.11. Repositionnement du lambeau, sutures et compression**

Les sutures permettent de repositionner le lambeau dans sa position initiale passivement afin d'obtenir une cicatrisation de première intention. Un repositionnement berge à berge permet une cicatrisation rapide, évite la formation d'un tissu de granulation trop important par prolifération du tissu conjonctif (90).

Les fils de sutures sont résorbables ou non, les fils résorbables sont des fils en polymères synthétiques capables d'être résorbés par les tissus (91), tandis que les fils non résorbables utilisés sont préférentiellement des monofilaments synthétiques résistants à l'activité enzymatique et à l'hydrolyse.

Les fils résorbables entraînent avec leur résorption une légère réaction inflammatoire, au bout de 5 jours de suture, la résistance est encore à 50% de l'initiale, elle disparaît entre le 10<sup>ème</sup> et 14<sup>ème</sup> jour, au bout de 42 jours leurs résorptions est totale (92).

Les fils non résorbables entraînent également une réaction inflammatoire mais très légère, ce sont les fils en PTFE, ePTFE ou polypropylène.

Les nœuds doivent être plats (91) afin de résister au stress mécanique de la cicatrisation et permettre le maintien en place des tissus. Les sutures peuvent être constitués de points simples, continus, ou Matelassiers.

# **III. La Régénération Tissulaire Guidée (RTG)**

## **III.1. Généralités**

### **III.1.1. Historique**

Le concept de régénération tissulaire guidée a été introduit par Melcher via le principe de compétition cellulaire, chaque tissu présente un potentiel de cicatrisation différent et l'isolation permet de prioriser le type cellulaire de notre choix pour coloniser la surface radiculaire.

L'isolation est mécanique et s'effectue par la mise en place d'une barrière d'exclusion cellulaire (93,94).

Avant même de parler de régénération tissulaire, nous allons aborder le mécanisme de la cicatrisation tissulaire. Ce mécanisme est l'objectif que nous cherchons à enclencher dès que nous réalisons un traitement endodontique d'une dent présentant une lésion péri-apicale. L'évaluation du succès ou de l'échec de ce traitement dans le temps est définie, au delà de la disparition des symptômes cliniques, par la disparition ou non de la lésion d'un point de vue radiologique. La disparition d'une lésion est alors conjointe à un phénomène de cicatrisation osseuse permettant la réapparition aux examens complémentaires d'une matrice osseuse radio-opaque.

### **III.1.2. Principes de cicatrisation**

Chaque tissu présente son mécanisme propre de cicatrisation, comprendre ces mécanismes permet de sélectionner au mieux quel tissu nous intéresse le plus dans une situation donnée. Nous allons les aborder selon leurs vitesses de cicatrisation respectives, du plus rapide au plus lent.

#### **III.1.2.1. Tissu épithélial**

La cicatrisation du tissu épithélial est rapide (10 jours), les cellules basales sont responsables de la rapidité de ce turn-over. La cicatrisation par migration apicale crée un long épithélium de jonction si l'épithélium a été éliminé de la racine, ainsi qu'une ré-attache s'il reste de l'épithélium sur la racine (95). Cette cicatrisation se produit en quelques jours (94).

### **III.1.2.2. Tissu conjonctif**

La cicatrisation du tissu conjonctif est rapide également (21 jours), elle se fait en plusieurs étapes :

- Formation d'un caillot sanguin.
- Formation d'un tissu granulomateux.
- Formation d'un tissu conjonctif jeune riche en cellules et pauvre en collagène.
- Formation d'un tissu conjonctif moins vascularisé, pauvre en cellules et dense en collagène.

Les fibroblastes gingivaux sont capables de synthétiser l'ensemble des constituants de la matrice extracellulaire dont les métallo-protéinases matricielles essentielles au remodelage gingival (94).

### **III.1.2.3. Tissu osseux**

La cicatrisation du tissu osseux se fait en plusieurs phases selon la séquence ARIF : Activation, Résorption, Inversion, Formation. Cette formation dure 6 mois mais débute à partir de la 3ème semaine (96).

Les cellules impliquées dans le remodelage osseux sont les ostéocytes, les cellules de l'endoste, les cellules ostéogéniques du périoste et les cellules osseuses de la moelle (94).

### **III.1.2.4. Cément**

Les cellules de la gaine épithéliale de Hertwig ainsi que les protéines de l'émail sont impliquées dans le développement du cément cellulaire et acellulaire, le néocément se forme à partir du ligament alvéolo-dentaire (97). Cette cicatrisation se produit en quelques mois (98).

### **III.1.2.5. Ligament parodontal**

Isaka et al. (99) ont montré que certaines cellules progénitrices du ligament alvéolo-dentaire pouvaient se différencier en cellules cémentoblastiques ou ostéoblastiques. Le ligament parodontal est donc un réservoir cellulaire important et joue un rôle essentiel dans la cicatrisation parodontale. Cette cicatrisation se produit en quelques mois (100,101).

Dans le cadre de l'endodontie chirurgicale, nous ne recherchons pas à recréer une attache mais à empêcher l'invagination épithélio-conjonctive. L'utilisation d'une membrane permet cet empêchement, l'utilisation d'un biomatériau permet le soutien de la membrane ; on est face à une situation semblable à de la Régénération Osseuse Guidée (ROG) comme en implantologie.

Cette ROG permet de stabiliser le caillot sanguin entre la membrane et la crête osseuse, tandis que la greffe osseuse sous membranaire consiste à la mise en place de biomatériau entre la membrane et la crête osseuse (102).

L'apport d'un biomatériau permet néanmoins de maintenir l'espace grâce aux différentes propriétés : ostéoconductrices, ostéoinductrices.

## **III.2. Matériaux**

Comme nous l'avons évoqué plus tôt, le principe de la RTG est basé sur un principe de blocage mécanique pour empêcher la colonisation des tissus indésirables. Étudier les caractéristiques des différents matériaux nous permet de sélectionner au mieux ce que l'on souhaite utiliser.

### **III.2.1. Membranes**

Les propriétés idéales pour une membrane sont (103):

- Biocompatibilité.
- Intégration tissulaire.
- Imperméabilité cellulaire.
- Maniabilité clinique.
- Conservation de l'espace.

Elles ont pour but :

- De maintenir l'espace dans toutes les dimensions du site opératoire.
- De rendre la régénération osseuse la plus optimale en termes de fonctionnalité et d'esthétique.
- De permettre la sécurité de la thérapeutique au niveau biocompatibilité, intégration tissulaire et imperméabilité cellulaire (104).

Deux types de membranes existent : résorbables et non résorbables.

### **III.2.1.1. Résorbables**

Les membranes résorbables fonctionnent par intégration du lambeau et des tissus gingivaux en son sein, avec une dégradation contrôlée (105).

La membrane suit un cycle de résorption en quatre étapes après sa pose : hydratation, déformation, dégradation et résorption (106).

#### **III.2.1.1.1. Acide polylactique**

Une membrane commercialisée sous le nom de Guidor© présente de larges perforations sur sa couche externe permettant une intégration du tissu conjonctif, ainsi que des petites perforations sur sa couche interne laissant les cellules du ligament parodontal et de l'os alvéolaire la pénétrer ( (107) Site Guidor fabricant).

Ces interfaces permettent de limiter le risque d'inflammation, d'infection, de récession gingivale et d'exposition de la membrane (105).

#### **III.2.1.1.2. Collagène**

Ces membranes sont d'origine humaine et proviennent de la dure-mère et du placenta (108–110). Une prolifération des cellules est observée dès 6-8 semaines (109).

### **III.2.1.2. Non Résorbables**

Ces membranes sont très peu utilisées, car elles doivent être retirées après quelques mois (111,112). Les retirer présente un risque accru d'infection postopératoire (112) ainsi qu'un coût plus important pour le patient.

De plus, l'os néoformé peut s'attacher à la membrane et compliquer la dépose de cette dernière (111). Les tissus ne s'intègrent pas totalement à la membrane, ce qui entraîne des risques d'exposition par migration apicale de l'épithélium gingival. L'accumulation de plaque, puis l'inflammation voire l'infection et le risque de récession gingivale forcent à retirer la membrane plus tôt que prévu (105).

### **III.2.1.3. Critères de décision**

Types de membranes	Résorbables	Non Résorbables
Avantages	<ul style="list-style-type: none"><li>- Pas de ré-intervention</li><li>- Limitations des complications post-opératoires</li><li>- Meilleur rapport coût/efficacité</li><li>- Simplification de la procédure chirurgicale</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Manipulation aisée</li></ul>
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"><li>- Manipulation peu aisée</li><li>- Faible rigidité induisant un comblement sous jacent</li><li>- Inflammation locale lors de la dégradation induisant une légère résorption osseuse</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Deuxième temps opératoire pour la dépose</li><li>- Coût pour le patient</li><li>- Risque d'infection par migration apicale de l'épithélium</li></ul>

Tableau 3: Avantages et Inconvénients des membranes résorbables et non résorbables.

Au vu des caractéristiques ci-dessus ainsi que de la nécessité clinique, il semble donc plus intéressant d'utiliser une membrane résorbable, la réintervention chirurgicale entraînant trop de risques.

## **III.2.2. Matériaux de comblement osseux**

### **III.2.2.1. Principes**

L'ostéogenèse est caractérisée par la formation osseuse via les cellules ostéoprogénitrices spécifiques (113). Il est important pour notre matériau de comblement de respecter plusieurs principes nécessaires à l'établissement d'un tissu osseux cicatriciel.

L'ostéoinduction est le procédé par lequel la néoformation osseuse est possible par les cellules mésenchymateuses se différenciant en cellules ostéo-compétentes grâce à l'influence de protéines présentes dans la matrice osseuse. Les facteurs ostéoinducteurs de la matrice osseuse sont les Bone Morphogenetic Proteins capables d'induire cette formation osseuse (114–116).

Pour Friedenstein en 1968, « l'ostéoinduction est la capacité d'un matériau à recruter les cellules souches non différenciées pour induire une lignée ostéogénique afin de former des cellules ostéoprogénitrices. »

Le seul type de greffon capable d'induire l'ostéoinduction est l'os autogène (117).

L'ostéoconduction est décrite de plusieurs façons :

Damien et Parson (118) la présente comme la capacité d'un substitut à favoriser le développement vasculaire et des cellules ostéoprogénitrices à partir d'un site receveur. Pour Davies (119) c'est le processus par lequel l'os est dirigé dans le matériau, par les canaux, pores.

Tandis qu'Alberktsson et Johansson (120) la décrivent comme la repousse osseuse dans les canaux, pores, surfaces.

Elle est caractérisée par la mise en place d'échafaudages créant des structures réceptrices à la migration des cellules osseuses sous-jacentes.

### **III.2.2.2. Matériaux**

Après avoir vu les propriétés nécessaires, nous allons étudier les différents types de matériaux disponibles.

#### **III.2.2.2.1. Autogreffe**

Le principe de l'autogreffe osseuse est la transplantation d'un prélèvement osseux en fonction d'un besoin de comblement, le fragment prélevé est adapté à la demande que ce soit en qualité (forme, taille) et en quantité.

Le prélèvement se fait à partir d'un second site opératoire, il induit une morbidité du site donneur ainsi qu'une augmentation du risque infectieux (121). La partie comblée nécessite une vascularisation importante pour être viable (121).

C'est la technique « de référence » utilisée pour reconstruire et combler les défauts osseux grâce à l'absence de réaction immunogène (118).

Elle présente les propriétés ostéoconductrices grâce aux trabécules osseuses permettant l'adhérence et la différenciation des cellules ostéogéniques. Les propriétés ostéoinductrices sont apportées via les facteurs de croissances et les cellules ostéoprogénitrices assurant la continuité tissulaire (122).

L'inconvénient majeur de cette technique est la forte résorption et les propriétés mécaniques faibles (123) avec un taux variable de résorption de 29% à 90% dès trois mois (124). Ce taux de résorption dépend beaucoup du site de prélèvement (125).

Il comprend l'os autogène, qui est le seul à être ostéo-inducteur par sa matrice extracellulaire contenant les cellules spécialisées : ostéoblastes, ostéoclastes, ostéocytes, ainsi que les protéines : Facteurs de Croissance, BMP, collagène (102) ; ostéoconducteur par la structure minérale servant d'échafaudage. Le prélèvement peut se faire au niveau intra-oral au niveau de la tubérosité maxillaire, de la symphyse mandibulaire ou au niveau ramique, mais également en extra-oral au niveau iliaque ou pariétal.

Si le greffon est de même origine embryologique que le site receveur, l'intégration est meilleure (126). L'os iliaque présente une ossification endochondrale à partir d'une matrice cartilagineuse tandis que les os du crâne (mandibule, maxillaire, pariétal) ont la même formation embryologique membranaire par métaplasie d'un tissu conjonctif indifférencié (126).

La stabilité de ces greffons de même origine embryologique est majorée (127) sans être plus dense (128), la revascularisation du greffon est plus rapide (129).

D'après Matsumoto et al (130), la qualité du greffon d'origine intra-buccale est meilleure et plus propice à la pose d'implant, il faut nuancer ces propos car les groupes d'études sont de faible nombre. L'os autogène est le matériau de référence pour les greffes osseuses, cependant, il se résorbe de façon importante et entraîne une morbidité au niveau du site de prélèvement.

Le Platelet Rich Fibrin (PRF) est une matrice naturelle autogène prélevée sur le patient et composée d'un caillot de fibrine contenant les facteurs de croissance ainsi que les plaquettes (131).

Cette fibrine est transformée en tissu de granulation puis tissu conjonctif mature par les cellules de l'inflammation, les cellules endothéliales et les fibroblastes (132).

Il est utilisé directement sur le site opératoire pour favoriser la cicatrisation (133). Il apporterait une diminution de la sensation douloureuse post-opératoire (24).

L'utilisation de ce matériau est controversée car les études ont été effectuées par la même équipe composée principalement du Dr Choukroun et du Dr Dohan. Ces praticiens font également les formations et vendent l'ensemble du matériel nécessaire à son utilisation.

De plus, les études menées ont vu leurs résultats extrapolés et rectifiés par la SFPIO (134) qui « ne peut, pour le moment, recommander l'utilisation du PRF ».

### **III.2.2.2. Allogreffe**

Les matériaux utilisés sont des greffes d'origine humaine, l'os est distribué par des banques de tissus soumis à des « prérequis réglementairement opposables » : l'autorisation de procédé, l'autorisation d'établissement, et l'autorisation d'importation.

Ces matériaux peuvent être congelés minéralisés (Fresh-Frozen Bone Allograft - FFBA), cryogénisés (Freeze Dried Bone Allograft - FDDBA) ou cryogénisés et déminéralisés (Demineralized Freeze Dried Bone Allograft - DFDBA). Ils sont ostéoconducteurs.

Le principe de l'allogreffe est de prélever le greffon sur un individu « donneur » différent du patient « receveur ».

Les sites de prélèvement varient : articulations, os longs, etc... La forme du greffon est ensuite façonnée pour correspondre à la forme du défaut : blocs, poudres, morceaux.

La matrice osseuse déminéralisée (MOD) provenant de l'os cortical est utilisée depuis longtemps et a été décrite en 1909 par Macewen (135).

Des traitements chimiques et thermiques sont effectués sur ces greffons pour les rendre utilisables. La déshydratation, stérilisation et suppression des agents immunogènes sont nécessaires afin d'éliminer les cellules osseuses, vasculaires, hématopoïétiques et cartilagineuses ainsi que les glycoprotéines membranaires immunogènes (136). L'inconvénient de ces traitements est la diminution des propriétés ostéoconductrices et ostéoinductrices du greffon.

L'allogreffe est une alternative à l'autogreffe lors de pertes importantes de tissu osseux mais aussi lors de manque d'os autogène au niveau du patient receveur. Elle ne nécessite pas un second site opératoire mais est moins utilisée car présente un risque de transmission de maladies immunogènes.

Les greffes allogéniques présentent des risques, mais sont toujours utilisées dans le cadre de reconstruction de pertes de substance osseuse de grand volume telles que l'exérèse de tumeur (137).

Le FDDBA est un os congelé et lyophilisé, la trame organique et le squelette osseux sont conservés avec élimination de la moelle osseuse et des cellules osseuses spécialisées.

Le potentiel ostéoinducteur est freiné par la mise en place tardive des protéines matricielles lors de la cicatrisation osseuse, ces protéines ne peuvent pas s'exprimer avant le remodelage de l'os et la résorption ostéocalcique. Ces protéines ont donc plus un potentiel ostéoconducteur (138).

En plus d'être congelé et lyophilisé, le DFDBA est déminéralisé, il est de composition similaire au FDDBA mais il est déminéralisé avec de l'acide chlorhydrique éliminant la trame minérale.

Le DFDBA doit avoir une fraction minérale inférieure à 8% pour être considéré en tant que tel. La diminution de la fraction minérale diminue la résistance mécanique, augmente la malléabilité. Il présente un potentiel ostéoconducteur (139).

### **III.2.2.2.3. Xénogreffe**

Les xénogreffes ont des origines animales (os bovin) ou corallienne, le matériau doit être sécurisé avant toute utilisation.

Les inconvénients sont similaires à l'allogreffe (risque de contamination, risque immunogène, etc..), des traitements thermiques (1200-1300°C) et chimiques sont nécessaires afin de les rendre plus fiables. La réaction immunologique peut aboutir à une formation de tissu fibreux cerclant le greffon (140).

Le Bio-Oss® est un dérivé de la partie minérale de l'os bovin, il est similaire à l'os humain grâce à sa surface interne, sa porosité, et sa composition chimique (Phosphate de Calcium). Les tissus osseux d'origine sont extraits au niveau des extrémités des os, sans prions, et provenant de pays sûrs concernant le risque potentiel d'encéphalopathie spongiforme bovine.

Il existe sous forme de particules fines de différentes dimensions afin de combler les défauts de petites tailles ou en particules larges pour les plus grandes étendues (141). Berglundh et Lindhe (142) ont montré sur le chien que le Bio-Oss avait une bonne intégration et entraînait une néoformation osseuse.

Le traitement thermique de l'os bovin permet de calciner la matrice organique et de conserver la phase minérale, conférant une porosité similaire à l'os trabéculaire et fournissant une source importante d'hydroxyapatite.

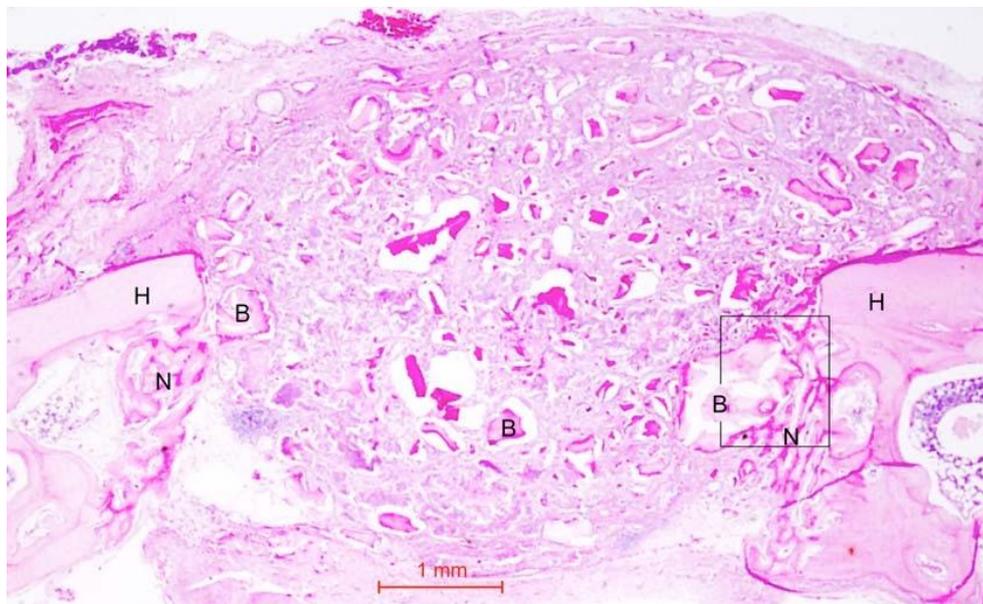


Figure 5 : Microphotographie montrant la cicatrisation osseuse avec comblement au Bio-Oss® à J+14. Du nouvel os (N) peut être vu proche des bords du défaut. Le Bio-Oss® (B) remanié est au centre du défaut H = Os de l'hôte (143).

#### **III.2.2.2.4. Matériaux synthétiques**

Le développement des matériaux synthétiques de substitution osseuse est motivé par les limitations des autogreffes, allogreffes et xéno-greffes vues précédemment.

Ils sont facilement disponibles, ne provoquent pas de réactions immunogènes et sont bien tolérés.

Leurs propriétés biologiques sont similaires à celles des greffes osseuses (144). Les formules de ces matériaux sont prévues pour maintenir l'ostéconduction (145). Les matériaux à base de céramiques phosphocalciques sont utilisés dans le comblement osseux, ils sont ostéoconducteurs, biocompatibles voire ostéoinducteurs (144,146).

Les céramiques phosphocalciques sont utilisées depuis les années 1980 en orthopédie et chirurgie dentaire pour la reconstruction (147).

Ces céramiques servent d'échafaudage pour la trame osseuse, elles ne possèdent pas de propriétés mécaniques importantes ce qui impose de les placer en zone recevant peu de contraintes (148).

Pouvant se trouver naturellement dans l'os ou être synthétisé, le phosphate tricalcique ( $\beta$ -TCP) est très soluble et peu cristallin. Il se résorbe rapidement et reste souvent trop peu longtemps au niveau du site greffé (149).

L'Hydroxy-Apatite (HA) est composé naturellement d'apatite de calcium et se présente sous différentes formes en fonction de sa porosité. Sa structure est plus solide que l'HA synthétique car elle présente des cristaux de taille plus importante et d'organisation plus homogène. Cette structure entraîne une résorption plus lente (149).

Au vu des propriétés des deux matériaux précédents, il semble intéressant de les mélanger, leurs différentes proportions influent sur le résultat final. En effet, plus la proportion de  $\beta$ -TCP est importante, plus le matériau est résorbable. A l'inverse, plus il y a d'HA, plus le matériau est résistant et bioactif (150).

### **III.3. Indications**

La ROG présente différentes indications cliniques qu'elle soit avec ou sans apport de biomatériaux :

- Défauts résiduels intra-osseux péri-implantaires.
- Gestion des défauts osseux au niveau de futurs sites d'implantation empêchant soit la mise en place d'un implant, soit sa mise en place dans un axe convenable pour l'esthétique et la fonction de la prothèse à venir.
- Présence de fenestration ou déhiscence implantaire.
- Correction des défauts osseux en parodontologie (déhiscence, fenestration, poches parodontales...).
- Gestion des sites d'implantation post-extractionnels (151).
- Augmentation localisée verticale de la crête alvéolaire inférieure à 3 mm.
- Augmentation localisée horizontale de la crête alvéolaire inférieure à 3 mm (152).

### **III.4. Contre-indications**

L'état général, l'hygiène, la motivation, la situation locale et les habitudes nocives telles que le tabagisme ou la consommation importante d'alcool sont des contre-indications à la régénération tissulaire guidée (105,153).

L'ensemble de ces facteurs influence négativement la cicatrisation et donc la bonne utilisation de la ROG.

## IV. Analyse Bibliographique - Méthode de recherche

Après ces rappels, nous avons réalisé une analyse de la littérature quant à l'implication de la régénération tissulaire guidée dans le cadre de la chirurgie endodontique afin de déterminer si elle était, ou non, pertinente.

Pour cela, une recherche bibliographique a été effectuée de façon électronique sur la base Medline-Pubmed.

Les termes « Guided Tissue Regeneration Endodontic Surgery » ont été recherchés dans PubMed, les résultats ont donné 135 articles de 1991 à 2019.

La sélection des Articles s'est faite à partir de critères d'inclusion et de non-inclusion suivant :

Critères d'inclusion	Critères de non-inclusion
<ul style="list-style-type: none"><li>- Etudes animales</li><li>- Etudes humaines</li><li>- Articles traitant de l'utilisation de biomatériaux ou de membrane lors de la chirurgie endodontique</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Articles ne traitant pas de la chirurgie endodontique</li><li>- Articles traitant de la chirurgie apicale sans rétro-obturation</li><li>- Articles n'utilisant pas de régénération tissulaire guidée après une chirurgie endodontique.</li><li>- Case Report ou Case Series</li></ul>

Tableau 3 : « Critères d'inclusion et de non-inclusion »

Après lecture des titres et résumés, 43 articles ont été sélectionnés, puis la lecture complète a entraîné une sélection de 11 articles jugés pertinents. Allant de 1995 à 2016, les publications sont majoritairement concentrées depuis les années 2010. (1 dans les années 90, 5 entre 2000 et 2009, 5 entre 2010 et 2016)

Le jugement de la pertinence de ces articles a été récapitulé en un tableau. (Annexe 1)

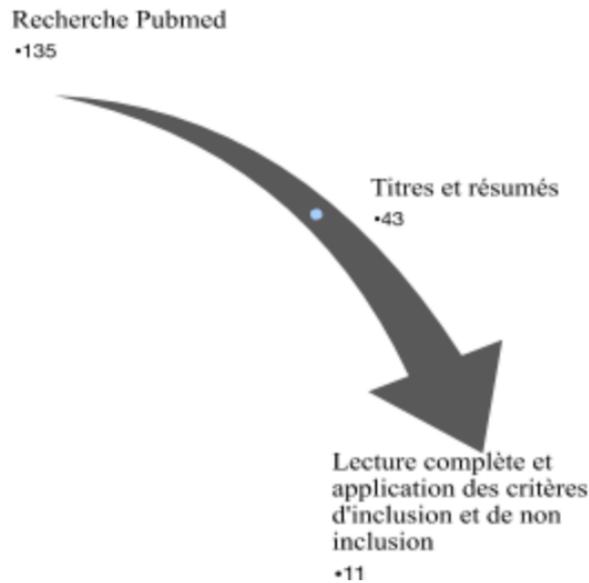


Figure 6 : Sélection après prise en compte des critères d'inclusion.

## **IV.1 Cicatrisation**

Avant de nous intéresser à la manière dont la régénération tissulaire influence la cicatrisation, nous allons faire quelques rappels fondamentaux quant au processus de cicatrisation d'une lésion péri-apicale car, comme évoqué plus tôt, c'est un des principaux facteurs d'évaluation du succès de nos thérapeutiques endodontiques.

### **IV.1.1 Principe de la cicatrisation**

La destruction tissulaire induite par une maladie parodontale et la destruction tissulaire provenant d'une parodontite apicale proviennent de la même réponse de l'hôte qui est le déclenchement de l'immunité innée et adaptative. Les cellules et molécules associées à la régénération des tissus péri-apicaux, du ciment, du LAD, de l'os alvéolaire après chirurgie endodontique ne sont pas complètement connues (154).

Le principe de cicatrisation parodontale et péri-apicale est cependant différent. La cicatrisation péri-apicale post chirurgie endodontique est semblable à celle des tissus conjonctifs. Cet « événement programmé » suit la séquence suivante (155,156) :

- Hémostase et coagulation, phase inflammatoire.
- Phase de prolifération.
- Phase de régénération ou de réparation.
- Phase de remodelage ou de maturation.

La cicatrisation entraîne le recrutement et la différenciation des cellules souches en cellules engagées dans le tissu (157). La cicatrisation fibreuse peut être induite par la présence de TGF- $\beta$ , par les myofibroblastes produisant du collagène, ainsi que par le taux de métalloprotéinases matricielles (155,158).

La régénération des tissus péri-apicaux post-chirurgie endodontique nécessite (154) :

- Le recrutement des cellules souches/progénitrices pour se différencier en ostéoblastes, en cellules du Ligament Alvéolo-Dentaire et en cémentoblastes.
- Les molécules permettant l'adhérence au niveau local.
- Des facteurs de croissance nécessaires à la réception du signal pour la différenciation, migration et prolifération et l'attachement de ces cellules souches.

L'ensemble de ces facteurs permettra la régénération, le manque d'un d'entre eux entraînerait une réparation de type fibreuse. Dans les petits défauts, les ostéoblastes locaux, les cellules du LAD et les cémentoblastes peuvent à eux seuls restaurer les tissus péri-apicaux endommagés. Néanmoins, dans le cas de lésions larges, il faudra recruter des cellules souches/progénitrices pour se différencier en ostéoblastes, cellules du LAD et cémentoblastes. Les cellules souches présentes dans le ligament alvéolo-dentaire peuvent se différencier en cellules de type LAD, type ostéoblastes ou type cémentoblastes (159,160). Les cellules mésenchymateuses de la moelle osseuse (161) et les cellules ostéoprogénitrices du périoste (162) sont capables de se différencier en ostéoblastes. Cependant, il faut garder à l'esprit que la cicatrisation est un processus multifactoriel qui intéresse plusieurs groupes de molécules interagissant les uns avec les autres (154).

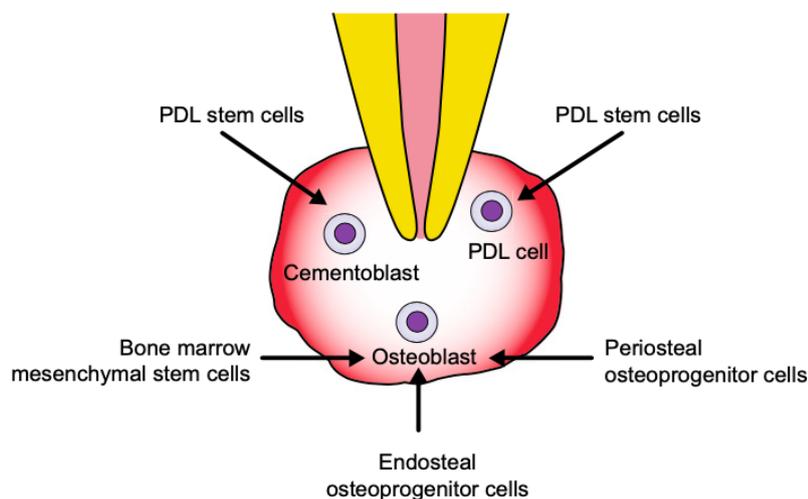


Figure 7 : Schéma illustrant le recrutement et la différenciation des cellules progénitrices/souches en ostéoblastes, cellules du LAD et cémentoblastes lors de la cicatrisation péri-apicale (154).

## IV.1.2 Evaluation de la cicatrisation

Plusieurs classifications existent afin d'évaluer le succès de nos thérapeutiques.

Les « Molven's Criteria » (163) sont des critères radiographiques en deux dimensions permettant une évaluation de la cicatrisation après une chirurgie endodontique.

Les « Modified PENN 3D Criteria » sont des critères d'évaluation radiographiques en trois dimensions après interprétation de clichés issus d'un CBCT (164).

Pour les deux méthodes, après évaluation des critères, nous pouvons classer la situation selon quatre résultats de cicatrisation :

- Cicatrisation complète.
- Cicatrisation incomplète (cicatrice).
- Cicatrisation incertaine.
- Cicatrisation insatisfaisante.

Les critères de décision diffèrent selon les classifications. Le « RAC Index » est proposé par Von Arx et coll. (165), après évaluation de clichés tridimensionnels, il est possible de donner des scores en fonction de la qualité de la cicatrisation. Plus le score est élevé, meilleure est la cicatrisation.

Les critères RAC sont complétés par l'indice B, combinant les indices A et C.

Il est défini comme suit :

- Score B-0 : Absence de remplissage des tissus durs de l'ancien site de l'ancienne lésion /site de l'ostéotomie sans néo-formation de la corticale trépanée.
- Score B-1 : Toute situation non attribuée à B-0 ou B-2.
- Score B-2 : Remplissage complet des tissus durs (« trabécules osseuses ») du site de l'ancienne lésion/ site de l'ostéotomie, et formation d'une corticale intacte de forme anatomiquement correcte.

Index	Définition	Score 0	Score 1	Score 2
R	Surface réséquée (Face radiculaire réséquée)	Pas de dépôt osseux (absence de formation d'espace ligamentaire)	Dépôt osseux partiel, (formation partielle de l'espace ligamentaire)	Dépôt osseux complet (formation complète de l'espace ligamentaire de taille normale)
A	Zone apicale (Ancien défaut osseux)	Pas de formation osseuse apparente	Formation osseuse partielle	Formation osseuse complète
C	Corticale osseuse (Face osseuse d'accès)	Pas de rétablissement de la corticale	Rétablissement de la corticale, mais concave.	Rétablissement plat de la corticale

Tableau 5 : RAC Index (165)

### IV.1.3 Classification des lésions

Afin d'évaluer les taux de succès des traitements envisagés, il est intéressant d'analyser les types de lésion.

#### IV.1.3.1 Classification des lésions

Von Arx (166) propose une classification des lésions péri-apicales, elle permet d'informer sur le rôle qu'aura la membrane. Selon Von Arx, dans la classe 1, elle servira à régénérer les tissus péri-apicaux. Dans la classe 2, elle a pour but de régénérer à la fois les tissus péri-apicaux et la lésion marginale. Dans la classe 3, elle permettra de régénérer les tissus péri-apicaux avec ou sans les tissus marginaux.

Classe 1 : Défaut osseux péri-apical sans lésion marginale.

1a : Corticales palatines/linguales non atteintes.

1b : Corticales palatines/linguales atteintes (Avec une approche vestibulaire, le défaut osseux est transfixiant).

Classe 2 : Lésion péri-apicale (avec ou sans érosion de la corticale linguale) associée à une lésion marginale.

2a : Absence de communication entre les deux lésions.

2b : Communication apico-marginale ou lésion endo-parodontale.

Classe 3 : Atteinte de furcation ou lésion latérale (avec ou sans lésion marginale).

3a : Absence de communication avec la crête alvéolaire/parodonte marginal.

3b : Communication avec la crête alvéolaire/ parodonte marginal.

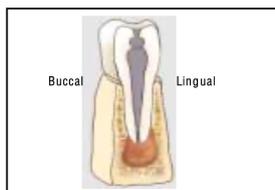


Fig 3 Class Ia lesion (bone defect confined to periapical region).

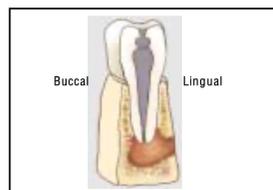


Fig 4 Class Ib lesion (periapical bone defect with erosion of lingual cortical plate).

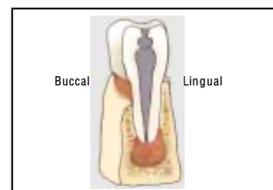


Fig 5 Class IIa lesion (periapical and concomitant marginal lesion without communication).

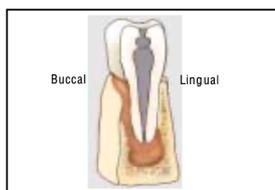


Fig 6 Class IIb lesion (periapical and concomitant marginal lesion with communication).

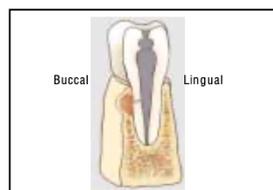


Fig 7 Class IIIa lesion (lateral juxt radicular lesion).

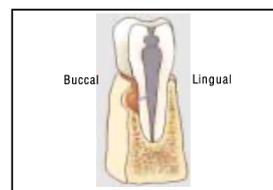


Fig 8 Class IIIb lesion (lateral juxt radicular lesion with communication to marginal lesion).

Figure 8 : Classification de Von Arx (166) : Classification des lésions péri-apicales avec ou sans implications marginales.

## **IV.2 Intérêts en fonction du défaut**

Lors de l'analyse bibliographique et afin de permettre une orientation thérapeutique dès la consultation pré-opératoire, il a été jugé intéressant d'aborder les lésions en fonction du type de défaut osseux.

### **IV.2.1. Généralités**

L'intérêt d'application de la RTG diffère selon les auteurs, sans indication sur le type de lésion les résultats sont difficilement comparables. L'utilisation de biomatériaux a entraîné des bénéfices dans certaines études (167–169), alors que pour certains auteurs il n'y a pas de différence (170–174).

La revue systématique de Lin et ses collaborateurs en 2010 (154) nous donne des indications et propose l'application d'une membrane dans le cas des lésions avec implications du parodonte marginal. Aucune différence significative n'est notée si application lors d'absence de ce type de lésion.

Utiliser une membrane permet d'entraîner une migration sélective et de faciliter la migration sélective des cellules progénitrices du parodonte dans les zones de notre choix. S'il y a perte de l'os alvéolaire et communication de la lésion avec la cavité buccale, l'application d'une membrane adaptée au défaut empêche la migration de certaines cellules dans la zone du défaut (154).

Concernant le PRF : la revue Cochran de 2016 (24), analysant les études de Del Fabbro (175) et Angerame (176), oriente l'utilisation de ce matériau comme limitant les douleurs post-opératoires. Sinon, comme l'affirme Dhiman (177), l'utilisation n'apporte aucune efficacité supplémentaire sur le mécanisme de cicatrisation.

Nous retiendrons donc que hors cas spécifique ou lésion avec implication du parodonte marginal, l'utilisation de la RTG n'apporte pas de bénéfice dans la cicatrisation. Le confort du patient en post-opératoire peut être amélioré soit par l'adjonction de PRF en per-opératoire, soit par des antalgiques de palier 2.

## **IV.2.2 Lésions de taille supérieure à 10mm**

La taille de la lésion semble être un facteur important influençant sa cicatrisation. Selon Pecora (178), l'application d'une membrane e-PTFE entraîne une cicatrisation plus rapide avec une quantité d'os régénéré plus importante. Le résultat au bout de 12 mois est similaire néanmoins. Cette étude est ancienne, l'amélioration des techniques chirurgicales ainsi qu'une meilleure compréhension du processus de guérison, notamment sur la réponse cellulaire, entraîne des résultats plus probants dans les études plus récentes.

Certains cliniciens placent une membrane en regard de lésions de grande taille afin de prévenir la prolifération fibroblastique pouvant entraîner la formation d'un tissu cicatriciel (178–182). D'après Tsesis (183), la RTG peut être bénéfique pour le traitement des défauts de grande taille supérieure ou égale à 10 mm et c'est ce que nous retiendrons comme indication.

Après avoir étudié la lésion en fonction de sa taille, nous allons nous intéresser au type de lésion intra-osseuse.

## **IV.2.3 Défaut à 4 parois**

Les défauts à 4 parois représentent la majorité des séquelles des lésions à traiter. Les corticales sont intactes et l'accessibilité à la lésion en vestibulaire entraîne 4 parois après ablation de la lésion.

Les études ont également des résultats différents, selon Taschieri (172), il n'y a pas de différence significative de succès entre les groupes témoins et les groupes test tant dans l'utilisation de matériau de comblement (Os bovin déprotéiné) que dans l'utilisation de membrane (résorbable collagénique) (184).

Selon Sanchez Torres (185), l'utilisation de matériau de comblement et de membrane augmente significativement le succès dans les lésions à 4 parois.

D'après la méta-analyse de Tsesis (183), il n'y a pas d'intérêt à l'utilisation de membrane ou de biomatériaux dans ces types de défauts et c'est ce que nous retiendrons comme indication.

#### **IV.2.4 Lésions transfixiantes**

Les lésions transfixiantes entraînent des défauts à 2 parois, les corticales vestibulaires et palatines/linguales sont atteintes. Ces lésions présentent d'elles-mêmes un pronostic plus défavorable du fait de leur situation initiale, selon Hirsh (186), il y a une corrélation entre la destruction osseuse préexistante et le taux de succès (25% pour les lésions transfixiantes contre 50% sur les corticales intactes).

Du point de vue du type de cicatrisation, les études histologiques (167,179) donnent des résultats différents des études de Pecora (178) et Taschieri (172). Les études histologiques montrent la formation d'un tissu fibreux cicatriciel.

Certains cliniciens placent par ailleurs une membrane en regard de lésions transfixiantes afin de prévenir là encore la prolifération fibroblastique pouvant entraîner la formation de ce tissu fibreux cicatriciel (178–182). Sur l'amélioration de la cicatrisation, il y a également un désaccord entre les auteurs. Selon Parmar, étude la plus récente de 2019 (187), il n'existe pas de différence significative dans la cicatrisation des lésions transfixiantes entre le groupe témoin et le groupe test-RTG, tant par l'objectivation 2D que 3D.

D'après Taschieri (172,180), l'utilisation de membrane dans les lésions transfixiantes apporte un bénéfice dans la cicatrisation.

Selon Sanchez Torres (184), l'utilisation de matériau de comblement et de membrane augmente significativement le succès dans les lésions transfixiantes. Ils proposent une recommandation de grade B pour l'utilisation de la RTG dans les lésions à 4 parois et transfixiantes afin d'augmenter le taux de succès.

Pour Tsesis (183), l'utilisation d'une membrane résorbable est conseillée pour traiter les lésions transfixiantes, elles apporteraient un bénéfice dans la cicatrisation.

Nous retiendrons que pour les lésions transfixiantes, l'utilisation d'une membrane seule apporte un bénéfice, tandis que l'apport de matériau de comblement n'est pas significatif.

#### **IV.2.5 Lésions avec implication du parodonte marginal**

Selon Lin (154), l'utilisation d'une membrane apporte un bénéfice significatif en cas de défaut apico-marginal osseux, ou de lésions endo-parodontales (162), ou si il y a des défauts larges communiquant avec la crête alvéolaire (111), tandis que l'utilisation de biomatériau de comblement osseux n'entraîne pas de bénéfice dans la régénération péri-apicale (154).

Selon Corbella (188), après étude de la littérature, il n'existe pas de différence significative entre l'utilisation des techniques de RTG ou non dans le succès clinique et radiographique des lésions péri-radicaux avec ou sans implication du parodonte marginal.

Les études concordent pour indiquer l'application d'une membrane dans les cas où la lésion présente une composante parodontale marginale.

### IV.3 Proposition d'arbre décisionnel

D'après les éléments récoltés lors de cette revue bibliographique, nous avons souhaité synthétiser les conclusions au sein du diagramme décisionnel ci-dessous.

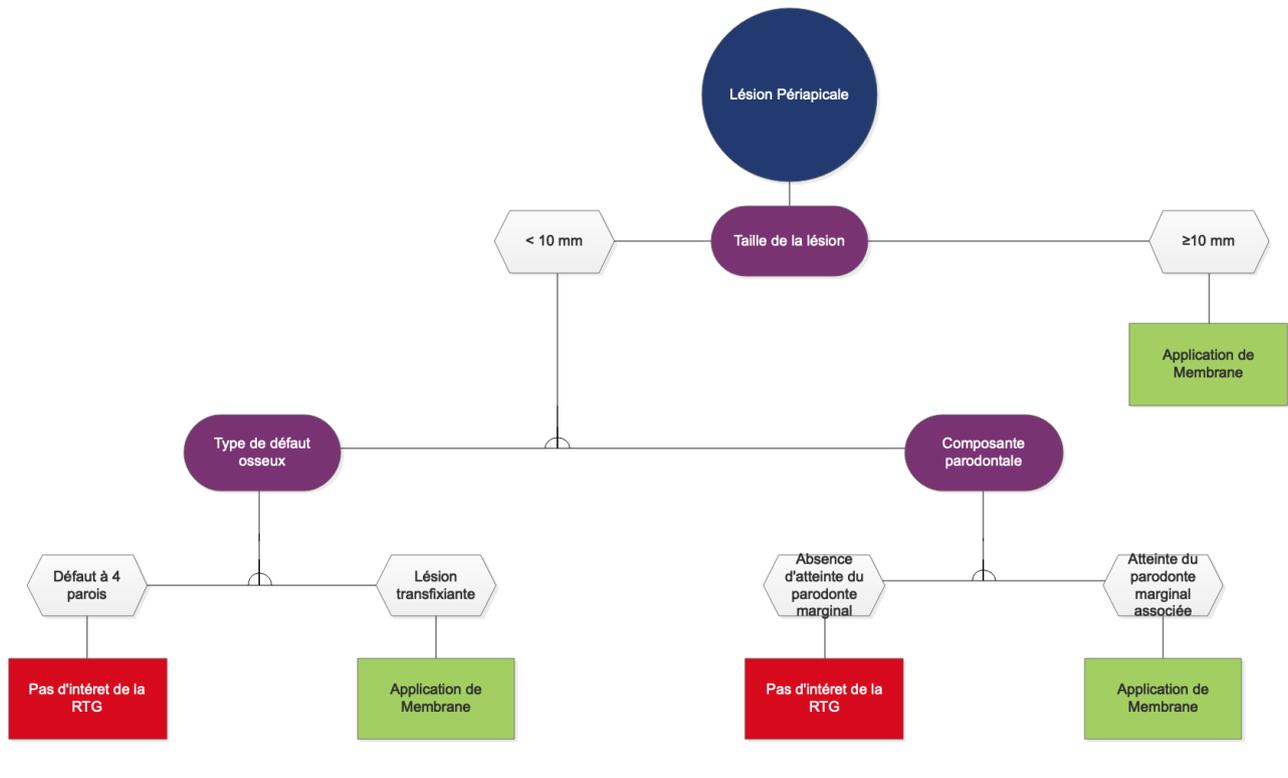


Figure 9 : Proposition d'arbre décisionnel en fonction de la situation clinique.

## V. Cas clinique

Nous allons vous présenter un cas tiré de la littérature sur une lésion de taille supérieure à 10 mm (189).

Après découverte fortuite d'une LIPOE de taille 7x7mm sur dent 31, le TEI est réalisé.



*Radiographie après TEI de la dent numéro 31*

A 4 mois, la taille de la lésion augmente et est de 17 X 10mm. Les TEI sont effectués sur les dents 41 et 32, toutes deux nécrosées.



*Radiographie à 4 mois*

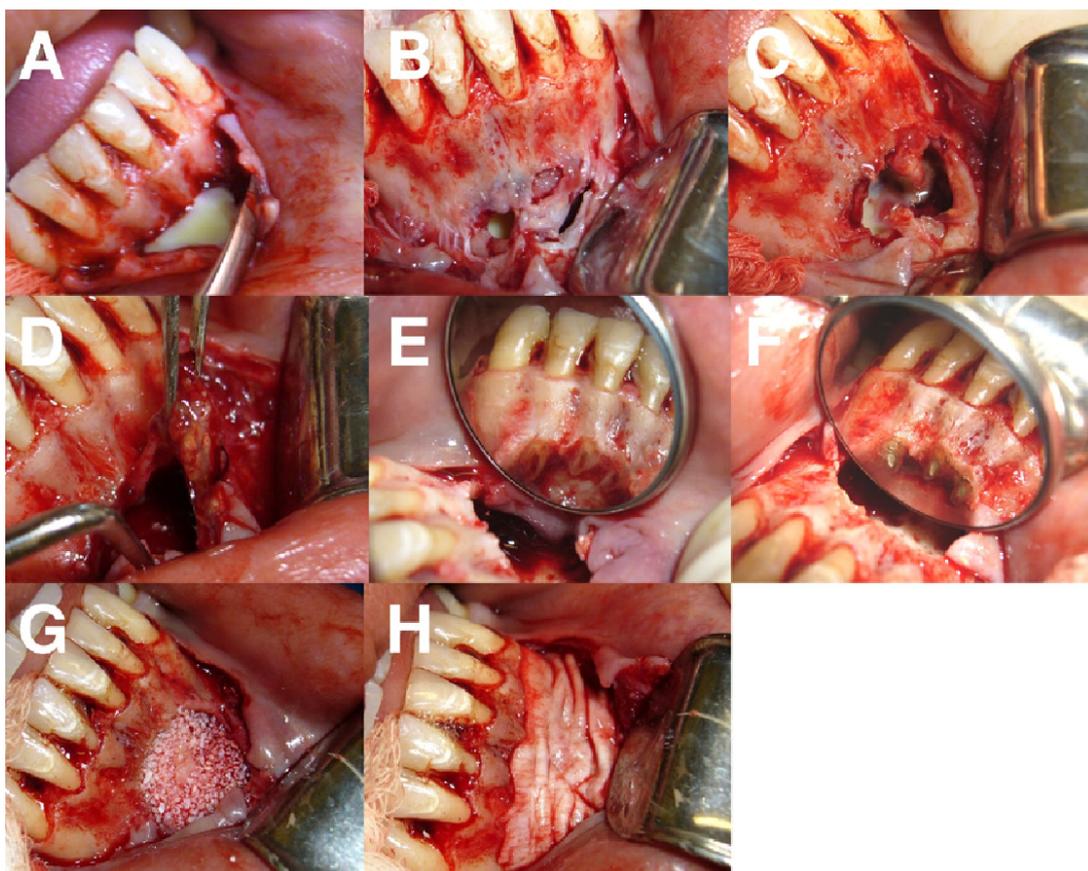


*Radiographie après TEI des dents 32 et 41*

A 7 jours, la patiente consulte avec des douleurs à la pression au niveau du menton, les auteurs décident de réaliser la chirurgie endodontique.

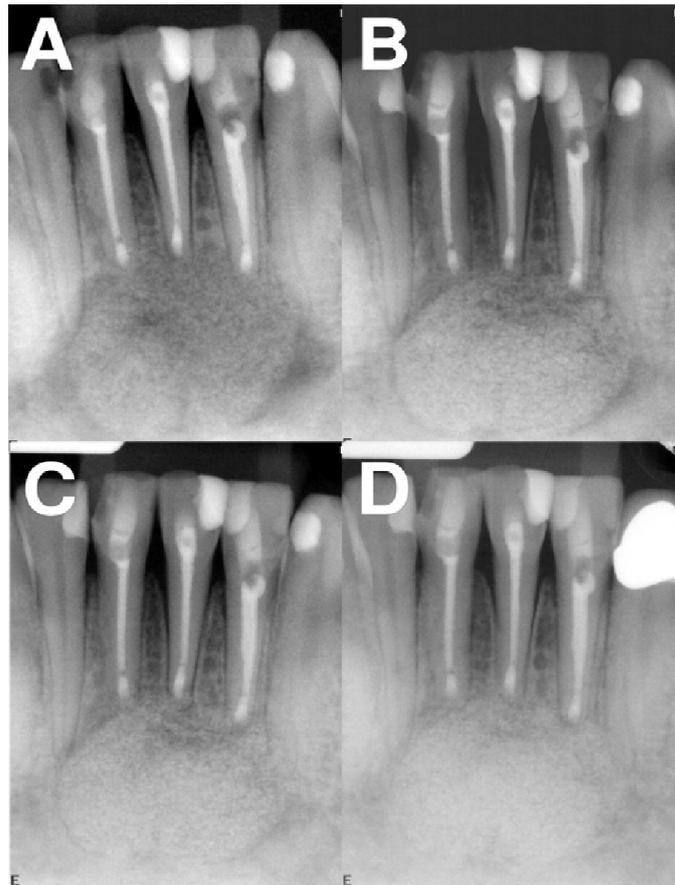
Après lever du lambeau, un exsudat purulent est observé, ainsi qu'une déhiscence vestibulaire. Les dimensions du tissu de granulation appendu à l'apex de la dent 31 sont de 10 x 8 x 4 mm.

La préparation *a retro* est effectuée après résection apicale, les apex obturés au ProRoot MTA, la crypte osseuse comblée de BioOss® et une membrane résorbable Bio-Gide recouvre le comblement avant suture.



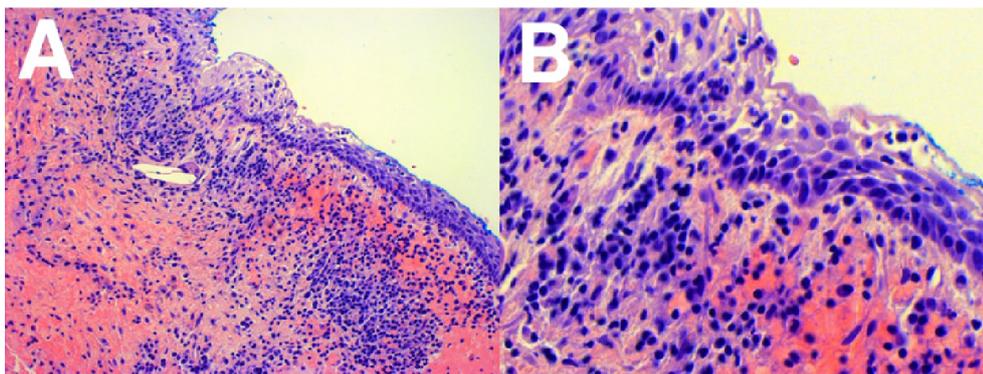
*Chirurgie endodontique des dents 41-31-32. A : Exsudat purulent en regard des dents en cause. B : Périoste enflammé C : Lésion périradiculaire. D : Biopsie du tissu en regard de l'apex de la dent 31 pour analyse histopathologique. E : Préparation radiculaire a rétro. F : Obturation a retro au MTA. G : Mise en place de Bio-Oss® dans la crypte osseuse. H : Mise en place d'une membrane Bio-Gide®.*

Lors des réévaluations, les symptômes ont disparu; le succès clinique et radiographique est obtenu à 2 ans.



*A : Radiographie immédiate post chirurgie. B : Suivi à 6 mois. C : Suivi à 1 an. D : Suivi à 2 ans.*

Les résultats de la biopsie ont rapporté un kyste associé à un abcès apical du fait du pus présent au niveau du site opératoire.



*Coupe histologique du tissu biopsié révélant un kyste délimité par un épithélium pavimenteux stratifié non kératinisé. A : Grossissement X 10. B : Grossissement X 40*

Dans le cas présent, la persistance de la lésion après traitement par voie orthograde est due à la présence d'un kyste péri-apical associé à un abcès péri-apical. Après 2 ans de suivi, la cicatrisation est très bonne avec le maintien asymptomatique des 3 dents sur l'arcade.

## **VI. Conclusion**

La chirurgie endodontique correspond au dernier rempart avant l'extraction dentaire lors de pathologies péri-radicales persistantes. Menée à bien, elle présente des taux de succès suffisamment élevés et se doit d'être envisagée.

La régénération tissulaire guidée permet par le principe d'exclusion tissulaire de sélectionner la migration des tissus de notre choix pour permettre une réattache ligamentaire et dans notre cas, empêcher la prolifération épithélio-conjonctive.

L'utilisation de la régénération tissulaire guidée en chirurgie endodontique est controversée. Bien que de nombreux cliniciens aient recours à différents matériaux, la littérature n'a pas tranché sur l'indication réelle en fonction de la situation.

Quelques tendances ressortent néanmoins : dans le cas de lésion de taille supérieure à 10mm, lors de lésions transfixiantes ainsi que lors d'atteinte parodontale associée, il semble que l'utilisation d'une membrane apporte des bénéfices dans la cicatrisation.

Des études à plus grande échelle sont cependant nécessaires pour compléter et confirmer les indications.

## **VII. Table des illustrations**

Figure 1 : Représentation Schématique des principales réactions induites dans la pulpe dentaire et les tissus péri-apicaux par une exposition bactérienne.

Figure 2 : Résumé des critères influençant significativement la réussite d'une chirurgie endodontique.

Figure 3 : Représentation Schématique de la classification de Kim et Kratchman.

Figure 4 : Cone Beam Computed Tomography PeriApical Index Score.

Figure 5 : Microphotographie montrant la cicatrisation osseuse avec comblement au Bio-Oss® à J+14.

Figure 6 : Sélection après prise en compte des critères d'inclusion.

Figure 7 : Schéma illustrant le recrutement et la différenciation des cellules progénitrices/souches en ostéoblastes, cellules du LAD et cémentoblastes lors de la cicatrisation péri-apicale.

Figure 8 : Classification de Von Arx.

Figure 9 : Proposition d'arbre décisionnel en fonction de la situation clinique.

Tableau 1 : Contre-indications et risques de la chirurgie endodontique.

Tableau 2 : Type de lambeau en fonction de la situation clinique.

Tableau 3 : Avantages et inconvénients des membranes résorbables et non résorbables.

Tableau 4 : « Critères d'inclusion et de non-inclusion ».

Tableau 5 : RAC Index.

## VIII. Bibliographie

1. Friedman S, Mor C. The Success of Endodontic Therapy. Healing and Functionality. J Calif Dent Assoc. 2004;32(6):493-503:11.
2. Friedman S, Abitbol S, Lawrence HP. Treatment Outcome in Endodontics: The Toronto study. Phase 1: Initial Treatment. J Endod. 2003;29(12):787-93.
3. Song M, Kim H-C, Lee W, Kim E. Analysis of the Cause of Failure in Nonsurgical Endodontic Treatment by Microscopic Inspection during Endodontic Microsurgery. J Endod. 2011;37(11):1516-9.
4. Ng Y-L, Mann V, Rahbaran S, Lewsey J, Gulabivala K. Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature Part 2. Influence of clinical factors. Int Endod J. 2008;41(1):6-31.
5. Ng Y-L, Mann V, Gulabivala K. A prospective study of the factors affecting outcomes of nonsurgical root canal treatment part 1: periapical health. Int Endod J. 2011;44(7):583-609.
6. Salehrabi R, Rotstein I. Epidemiologic Evaluation of the Outcomes of Orthograde Endodontic Retreatment. J Endod. 2010;36(5):790-2.
7. Kang M, In Jung H, Song M, Kim SY, Kim H-C, Kim E. Outcome of nonsurgical retreatment and endodontic microsurgery: a meta-analysis. Clin Oral Investig. 2015;19(3):569-82.
8. Setzer FC, Shah SB, Kohli MR, Karabucak B, Kim S. Outcome of Endodontic Surgery: A Meta-analysis of the Literature. Part 1: Comparison of Traditional Root-end Surgery and Endodontic Microsurgery. J Endod. 2010;36(11):1757-65.
9. Song M, Shin S-J, Kim E. Outcomes of Endodontic Micro-resurgery: A Prospective Clinical Study. J Endod. 2011;37(3):316-20.
10. Harty FJ, Chong BS. Harty's endodontics in clinical practice. 6th ed ; New York: Churchill Livingstone, /Elsevier; 2010.
11. Bergenholtz G, Hørsted-Bindslev P, Reit C. Textbook of Endodontology, 2nd Ed. Oxford : Wiley-Blackwell, 2013.
12. Ørstavik D. Time-course and risk analyses of the development and healing of chronic apical periodontitis in man. Int Endod J. 1996;29(3):150-5.
13. Stashenko P, Wang CY, Riley E, Wu Y, Ostroff G, Niederman R. Reduction of infection-stimulated periapical bone resorption by the biological response modifier PGG glucan. J Dent Res. 1995;74(1):323-30.
14. Ricucci D, Pascon EA, Pitt Ford TR, Langeland K. Epithelium and bacteria in periapical lesions. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2006;101(2):239-49.
15. Ramachandran Nair PN, Pajarola G, Schroeder HE. Types and incidence of human periapical lesions obtained with extracted teeth. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 1996;81(1):93-102.
16. de Oliveira Rodini C, Lara VS. Study of the expression of CD68+ macrophages and CD8+ T cells in human granulomas and periapical cysts. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2001;92(2):221-7.

17. Nair PNR. On the causes of persistent apical periodontitis: a review. *Int Endod J*. 2006;39(4):249-81.
18. Siqueira Jr JF, Rôças IN. Bacterial pathogenesis and mediators in apical periodontitis. *Braz Dent J*. 2007;18(4):267-80.
19. Trowbridge HO. Immunological aspects of chronic inflammation and repair. *J Endod*. 1990;16(2):54-61.
20. Hakkou F, Chbicheb S, Achour I, Wady WE. Kystes inflammatoires des maxillaires : mise au point. *Actual Odontostomatol*. 2012;260:301-11.
21. Nair PNR. Apical periodontitis: a dynamic encounter between root canal infection and host response. *Periodontol 2000*. 1997;13(1):121-48.
22. Lasfargues J-J, Machtou P. Pathogénèse des lésions périapicales. *Réal Clin*. 2001;12(2):139-48.
23. Simon S, Pertot PM Willy. *Endodontie*. Rueil-Malmaison : Editions CdP, Initiatives Sante; 2015. 1347 p.
24. Fabbro MD, Corbella S, Sequeira-Byron P, Tsisis I, Rosen E, Lolato A, et al. Endodontic procedures for retreatment of periapical lesions. *Cochrane Database Systematic Review Rev* Disponible sur <https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD005511.pub3/full>
25. Song M, Kim SG, Lee S-J, Kim B, Kim E. Prognostic Factors of Clinical Outcomes in Endodontic Microsurgery: A Prospective Study. *J Endod*. 2013;39(12):1491-7.
26. Penarrocha M, Garcia B, Marti E, Balaguer J. Pain and Inflammation After Periapical Surgery in 60 Patients. *J Oral Maxillofac Surg*. 2006;64(3):429-33.
27. Von Arx T, Kurt B. Root-end cavity preparation after apicoectomy using a new type of sonic and diamond-surfaced retrotip: A 1-year follow-up study. *J Oral Maxillofac Surg*. 1999;57(6):656-61.
28. Kim S, Kratchman S. Modern Endodontic Surgery Concepts and Practice: A Review. *J Endod*. 2006;32(7):601-23.
29. Kim E, Song J-S, Jung I-Y, Lee S-J, Kim S. Prospective Clinical Study Evaluating Endodontic Microsurgery Outcomes for Cases With Lesions of Endodontic Origin Compared with Cases with Lesions of Combined Periodontal–Endodontic Origin. *J Endod*. 2008;34(5):546-51.
30. Estrela C, Bueno MR, Azevedo BC, Azevedo JR, Pécora JD. A New Periapical Index Based on Cone Beam Computed Tomography. *J Endod*. 2008;34(11):1325-31.
31. Armengol V, Dupas C, Hyon I, Gaudin A. Endodontie et patients à risques. *Réal Clin*. 25 (n°1) :14.
32. HAS. Tomographie volumique à faisceau conique de la face (cone beam computerized tomography) Disponible sur : [https://www.has-sante.fr/jcms/c\\_899074/fr/tomographie-volumique-a-faisceau-conique-de-la-face-cone-beam-computerized-tomography](https://www.has-sante.fr/jcms/c_899074/fr/tomographie-volumique-a-faisceau-conique-de-la-face-cone-beam-computerized-tomography)

33. Patel S, Brown J, Semper M, Abella F, Mannocci F. European Society of Endodontology position statement: Use of cone beam computed tomography in Endodontics. *Int Endod J*. 2019;52(12):1675-8.
34. Special Committee to Revise the Joint AAE/AAOMR Position Statement on use of CBCT in Endodontics. AAE and AAOMR Joint Position Statement: Use of Cone Beam Computed Tomography in Endodontics 2015 Update. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2015;120(4):508-12.
35. Estrela C, Bueno MR, Leles CR, Azevedo B, Azevedo JR. Accuracy of Cone Beam Computed Tomography and Panoramic and Periapical Radiography for Detection of Apical Periodontitis. *J Endod*. 2008;34(3):273-9.
36. Ahn S-Y, Kim N-H, Kim S, Karabucak B, Kim E. Computer-aided Design/Computer-aided Manufacturing-guided Endodontic Surgery: Guided Osteotomy and Apex Localization in a Mandibular Molar with a Thick Buccal Bone Plate. *J Endod*. 2018;44(4):665-70.
37. Giacomino CM, Ray JJ, Wealleans JA. Targeted Endodontic Microsurgery: A Novel Approach to Anatomically Challenging Scenarios Using 3-dimensional-printed Guides and Trepine Burs – A Report of 3 cases. *J Endod*. 2018;44(4):671-7.
38. Wijk AJV, Hoogstraten J. Reducing fear of pain associated with endodontic therapy. *Int Endod J*. 2006;39(5):384-8.
39. LOI n° 2002-303 du 4 mars 2002 relative aux droits des malades et à la qualité du système de santé. 2002-303 mars 4, 2002. *JORF* du 5 mars 2002. Disponible sur <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000227015&categorieLien=id#JORFSCTA000000905073>
40. Peñarrocha-Diago M, Maestre-Ferrín L, Peñarrocha-Oltra D, Gay-Escoda C, von-Arx T, Peñarrocha-Diago M. Pain and swelling after periapical surgery related to the hemostatic agent used: Anesthetic solution with vasoconstrictor or aluminum chloride. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2012;17(4):e594-600.
41. Lindeboom J a. H, Frenken JWH, Valkenburg P, Akker HPV. The role of preoperative prophylactic antibiotic administration in periapical endodontic surgery: a randomized, prospective double-blind placebo-controlled study. *Int Endod J*. 2005;38(12):877-81.
42. Witherspoon DE, Gutmann JL. Haemostasis in periradicular surgery. *Int Endod J*. 1996;29(3):135-49.
43. Kim S, Rethnam S. Hemostasis in endodontic microsurgery. *Dent Clin North Am*. 1997;41(3):499-511.
44. Malamed S. *Handbook of Local Anesthesia*. 7th Edition. Los Angeles : Mosby ; 2019.
45. *Guide to Clinical Endodontics* [Internet]. American Association of Endodontists. Disponible sur: <https://www.aae.org/specialty/clinical-resources/guide-clinical-endodontics/>
46. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1984;58(5):589-99.

47. Villa-Machado PA, Botero-Ramírez X, Tobón-Aroyave SI. Retrospective follow-up assessment of prognostic variables associated with the outcome of periradicular surgery. *Int Endod J*. 2013;46(11):1063-76.
48. Garip H, Garip Y, Oruçoğlu H, Hatipoğlu S. Effect of the angle of apical resection on apical leakage, measured with a computerized fluid filtration device. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology*. 2011;111(3):e50-5.
49. Arx TV, Jensen SS, Hänni S, Schenk RK. Haemostatic agents used in periradicular surgery: an experimental study of their efficacy and tissue reactions. *Int Endod J*. 2006;39(10):800-8.
50. Jensen SS, Yazdi PM, Hjørtning-Hansen E, Bosshardt DD, Arx TV. Haemostatic effect and tissue reactions of methods and agents used for haemorrhage control in apical surgery. *Int Endod J*. 2010;43(1):57-63.
51. Lemon RR, Steele PJ, Jeansonne BG. Ferric sulfate hemostasis: Effect on osseous wound healing. I. Left in situ for maximum exposure. *J Endod*. 1993;19(4):170-3.
52. Jeansonne BG, Boggs WS, Lemon RR. Ferric sulfate hemostasis: effect on osseous wound healing. II. With curettage and irrigation. *J Endod*. 1993;19(4):174-6.
53. Menéndez-Nieto I, Cervera-Ballester J, Maestre-Ferrín L, Blaya-Tárraga JA, Peñarrocha-Oltra D, Peñarrocha-Diago M. Hemostatic Agents in Periapical Surgery: a Randomized Study of Gauze Impregnated in Epinephrine versus Aluminum Chloride. *J Endod*. 2016;42(11):1583-7.
54. Peñarrocha-Oltra D, Menéndez-Nieto I, Cervera-Ballester J, Maestre-Ferrín L, Peñarrocha-Diago M, Peñarrocha-Diago M. Aluminum Chloride versus Electrocauterization in Periapical Surgery: A Randomized Controlled Trial. *J Endod*. 2019;45(2):89-93.
55. Tawil PZ, Saraiya VM, Galicia JC, Duggan DJ. Periapical Microsurgery: The Effect of Root Dentinal Defects on Short- and Long-term Outcome. *J Endod*. 2015;41(1):22-7.
56. Wang N, Knight K, Dao T, Friedman S. Treatment Outcome in Endodontics. The Toronto Study. Phases I and II: Apical Surgery. *J Endod*. 2004;30(11):751-61.
57. Gartner AH, Dorn SO. Advances in endodontic surgery. *Dent Clin North Am*. 1992;36(2):357-78.
58. Bruce GR, McDonald NJ, Sydiskis RJ. Cytotoxicity of retrofill materials. *J Endod*. 1 juin 1993;19(6):288-92.
59. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD. Cytotoxicity of four root end filling materials. *J Endod*. 1 oct 1995;21(10):489-92.
60. Keiser K, Johnson CC, Tipton DA. Cytotoxicity of Mineral Trioxide Aggregate Using Human Periodontal Ligament Fibroblasts. *J Endod*. 2000;26(5):288-91.
61. Torabinejad M, Corr R, Handysides R, Shabahang S. Outcomes of Nonsurgical Retreatment and Endodontic Surgery: A Systematic Review. *J Endod*. 2009;35(7):930-7.
62. Torabinejad M, Lee S-J, Hong C-U. Apical marginal adaptation of orthograde and retrograde root end fillings: A dye leakage and scanning electron microscopic study. *J Endod*. 1994;20(8):402-7.
63. Fogel HM, Peikoff MD. Microleakage of Root-End Filling Materials. *J Endod*. 2001;27(7):456-8.

64. Saatchi M, Shadmehr E, Talebi SM, Nazeri M. A prospective clinical study on blood mercury levels following endodontic root-end surgery with amalgam. *Iran Endod J.* 2013;8(3):85-8.
65. Civjan S, Huget EF, Wolfhard G, Waddell LS. Characterization of zinc oxide-eugenol cements reinforced with acrylic resin. *J Dent Res.* 1972;51(1):107-14.
66. Dorn SO, Gartner AH. Retrograde filling materials: A retrospective success-failure study of amalgam, EBA, and IRM. *J Endod.* 1990;16(8):391-3.
67. Oynick J, Oynick T. A study of a new material for retrograde fillings. *J Endod.* 1978;4(7):203-6.
68. Crooks WG, Anderson RW, Powell BJ, Kimbrough WF. Longitudinal evaluation of the seal of IRM root end fillings. *J Endod.* 1994;20(5):250-2.
69. Wälivaara D-Å, Abrahamsson P, Fogelin M, Isaksson S. Super-EBA and IRM as root-end fillings in periapical surgery with ultrasonic preparation: a prospective randomized clinical study of 206 consecutive teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011;112(2):258-63.
70. Zhu Q, Safavi KE, Spangberg LSW. Cytotoxic evaluation of root-end filling materials in cultures of human osteoblast-like cells and periodontal ligament cells. *J Endod.* 1999;25(6):410-2.
71. Rubinstein RA, Kim S. Short-term observation of the results of endodontic surgery with the use of a surgical operation microscope and super-EBA as root-end filling material. *J Endod.* 1999;25(1):43-8.
72. Rubinstein RA, Kim S. Long-Term Follow-Up of Cases Considered Healed One Year After Apical Microsurgery. *J Endod.* 2002;28(5):378-83.
73. Torabinejad M, Watson TF, Pitt Ford TR. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root end filling material. *J Endod.* 1993;19(12):591-5.
74. Wang Z. Bioceramic materials in endodontics. *Endod Top.* 2015;32(1):3-30.
75. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral Trioxide Aggregate: A Comprehensive Literature Review. Part I: Chemical, Physical, and Antibacterial Properties. *J Endod.* 2010;36(1):16-27.
76. Torabinejad M, Parirokh M. Mineral Trioxide Aggregate: A Comprehensive Literature Review. Part II: Leakage and Biocompatibility Investigations. *J Endod.* 2010;36(2):190-202.
77. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral Trioxide Aggregate: A Comprehensive Literature Review. Part III: Clinical Applications, Drawbacks, and Mechanism of Action. *J Endod.* 2010;36(3):400-13.
78. Baek S-H, Plenck H, Kim S. Periapical Tissue Responses and Cementum Regeneration with Amalgam, SuperEBA, and MTA as Root-End Filling Materials. *J Endod.* 2005;31(6):444-9.
79. Camilleri J, Sorrentino F, Damidot D. Investigation of the hydration and bioactivity of radiopacified tricalcium silicate cement, Biodentine and MTA Angelus. *Dent Mater.* 2013;29(5):580-93.
80. Camilleri J. Investigation of Biodentine as dentine replacement material. *J Dent.* 2013;41(7):600-10.

81. Lee B-N, Lee K-N, Koh J-T, Min K-S, Chang H-S, Hwang I-N, et al. Effects of 3 Endodontic Bioactive Cements on Osteogenic Differentiation in Mesenchymal Stem Cells. *J Endod.* 2014;40(8):1217-22.
82. Setbon HM, Devaux J, Iserentant A, Leloup G, Leprince JG. Influence of composition on setting kinetics of new injectable and/or fast setting tricalcium silicate cements. *Dent Mater.* 2014;30(12):1291-303.
83. Shinbori N, Grama AM, Patel Y, Woodmansey K, He J. Clinical Outcome of Endodontic Microsurgery That Uses EndoSequence BC Root Repair material as the Root-end Filling Material. *J Endod.* 2015;41(5):607-12.
84. Shokouhinejad N, Nekoofar MH, Ashoftehyazdi K, Zahraee S, Khoshkhounejad M. Marginal Adaptation of New Bioceramic Materials and Mineral Trioxide Aggregate: A Scanning Electron Microscopy Study. *Iran Endod J.* 2014;9(2):144-8.
85. Nair U, Ghattas S, Saber M, Natera M, Walker C, Pileggi R. A comparative evaluation of the sealing ability of 2 root-end filling materials: an in vitro leakage study using *Enterococcus faecalis*. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011;112(2):e74-7.
86. Ma J, Shen Y, Stojicic S, Haapasalo M. Biocompatibility of Two Novel Root Repair Materials. *J Endod.* 2011;37(6):793-8.
87. Hirschman WR, Wheeler MA, Bringas JS, Hoen MM. Cytotoxicity Comparison of Three Current Direct Pulp-capping Agents With a New Bioceramic Root Repair Putty. *J Endod.* 2012;38(3):385-8.
88. AlAnezi AZ, Jiang J, Safavi KE, Spangberg LSW, Zhu Q. Cytotoxicity evaluation of endosequence root repair material. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2010;109(3):e122-5.
89. Lovato KF, Sedgley CM. Antibacterial activity of endosequence root repair material and ProRoot MTA against clinical isolates of *Enterococcus faecalis*. *J Endod.* 2011;37(11):1542-6.
90. Aukhil I. Biology of wound healing. *Periodontol 2000.* 2000;22(1):44-50.
91. Sortino F, Lombardo C, Sciacca A. Silk and polyglycolic acid in oral surgery: A comparative study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008;105(3):e15-8.
92. Selvig KA, Biagiotti GR, Leknes KN, Wikesjö UM. Oral tissue reactions to suture materials. *Int J Periodont Restor Dent.* 1998;18(5):474-87.
93. Melcher AH. Role of the periosteum in repair of wounds of the parietal bone of the rat. *Arch Oral Biol.* 1969;14(9):1101-1109
94. Melcher AH. On the Repair Potential of Periodontal Tissues. *J Periodontol.* 1976;47(5):256-60.
95. Listgarten MA, Rosenberg MM. Histological Study of Repair Following New Attachment Procedures in Human Periodontal Lesions. *J Periodontol.* 1979;50(7):333-44.
96. Centrella M, Canalis E. Local regulators of skeletal growth: a perspective. *Endocr Rev.* 1985;6(4):544-51.
97. Hammarström L, Alatlí I, Fong CD. Origins of cementum. *Oral Dis.* 1996;2(1):63-9.

98. Gottlow J, Nyman S, Karring T, Lindhe J. New attachment formation as the result of controlled tissue regeneration. *J Clin Periodontol.* 1984;11(8):494-503.
99. Isaka J, Ohazama A, Kobayashi M, Nagashima C, Takiguchi T, Kawasaki H, et al. Participation of Periodontal Ligament Cells With Regeneration of Alveolar Bone. *J Periodontol.* 2001;72(3):314-23.
100. Nyman S, Gottlow J, Karring T, Lindhe J. The regenerative potential of the periodontal ligament. *J Clin Periodontol.* 1982;9(3):257-65.
101. Nyman S, Lindhe J, Karring T, Rylander H. New attachment following surgical treatment of human periodontal disease. *J Clin Periodontol.* 1982;9(4):290-6.
102. Tulasne J-F, Andreani J-F. Les greffes osseuses en implantologie. Collection Réussir. Paris : Quintessence International. 2014.
103. Scantlebury TV. 1982-1992: A Decade of Technology Development for Guided Tissue Regeneration. *J Periodontol.* 1993;64(11S):1129-37.
104. Inserm iPubli Maladies parodontales : Thérapeutiques et prévention. Rapport d'expertise collective. Paris : es éditions Inserm, 1999.  
<http://hdl.handle.net/10608/194>
105. Gottlow J. Guided Tissue Regeneration Using Bioresorbable and Non-Resorbable Devices: Initial Healing and Long-Term Results. *J Periodontol.* 1993;64(11S):1157-65.
106. Kronenthal RL. Biodegradable Polymers in Medicine and Surgery. In: Kronenthal RL, Oser Z, Martin E, éd. *Polymers in Medicine and Surgery.* Collection Polymer Science and Technology. Boston: Springer US; 1975 : 119-37.
107. GUIDOR bioresorbable matrix barrier [Internet]. [cité 25 févr 2020]. Disponible sur: <https://www.guidor.com/global/matrix-barrier.html>
108. Quteish D, Singh G, Dolby AE. Development and testing of a human collagen graft material. *J Biomed Mater Res.* 1990;24(6):749-60.
109. Quteish D, Singrao S, Dolby AE. Light and electron microscopic evaluation of biocompatibility, resorption and penetration characteristics of human collagen graft material. *J Clin Periodontol.* 1991;18(5):305-11.
110. Quteish D, Dolby AE. The use of irradiated-crosslinked human collagen membrane in guided tissue regeneration. *J Clin Periodontol.* 1992;19(7):476-84.
111. Rankow HJ, Krasner PR. Endodontic applications of guided tissue regeneration in endodontic surgery. *J Endod.* 1996;22(1):34-43.
112. Polson AM, Southard GL, Dunn RL, Polson AP, Yewey GL, Swanbom DD, et al. Periodontal healing after guided tissue regeneration with Atrisorb barriers in beagle dogs. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 1995;15(6):574-89.
113. Friedenstein AJ, Piatetzky-Shapiro II, Petrakova KV. Osteogenesis in transplants of bone marrow cells. *Development.* 1966;16(3):381-90.
114. Urist MR. Bone: Formation by Autoinduction. *Science.* 1965;150(3698):893-9.

115. Urist MR, Silverman BF, Buring K, Dubuc FL, Rosenberg JM. The bone induction principle. *Clin Orthop*. août 1967;53:243-83.
116. Urist MR, DeLange RJ, Finerman GA. Bone cell differentiation and growth factors. *Science*. 1983;220(4598):680-6.
117. Brunsvold MA, Mellonig JT. Bone grafts and periodontal regeneration. *Periodontol* 2000. 1993;1(1):80-91.
118. Damien CJ, Parsons JR. Bone graft and bone graft substitutes: A review of current technology and applications. *J Appl Biomater*. 1991;2(3):187-208.
119. Davies J. Mechanisms of Endosseous Integration. *Int J Prosthodont*. 1998;11(5):391-401.
120. Albrektsson T, Johansson C. Osteoinduction, osteoconduction and osseointegration. *Eur Spine J*;10 (Suppl 2):S96-101.
121. Berengo M, Bacci C, Sartori M, Perini A, Della Barbera M, Valente M. Histomorphometric evaluation of bone grafts harvested by different methods. *Minerva Stomatol*. 2006;55(4):189-98.
122. Desai BM. Osteobiologics. *Am J Orthop Belle Mead NJ* 2007;36(4 Suppl):8-11.
123. Bruyn PPH de, Kabisch WT. Bone formation by fresh and frozen, autogenous and homogenous transplants of bone, bone marrow and periosteum. *Am J Anat*. 1955;96(3):375-417.
124. Zizelmann C, Schoen R, Metzger MC, Schmelzeisen R, Schramm A, Dott B, et al. Bone formation after sinus augmentation with engineered bone. *Clin Oral Implants Res*. 2007;18(1):69-73.
125. Thorwarth M, Srour S, Felszeghy E, Kessler P, Schultze-Mosgau S, Schlegel KA. Stability of autogenous bone grafts after sinus lift procedures: A comparative study between anterior and posterior aspects of the iliac crest and an intraoral donor site. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2005;100(3):278-84.
126. Colombier M-L, Lesclous P, Tulasne J-F. La cicatrisation des greffes osseuses. *Rev Stomatol Chir Maxillofac*. 2005;106(3):157-65.
127. Zins JE, Whitaker LA. Membranous versus endochondral bone: implications for craniofacial reconstruction. *Plast Reconstr Surg*. 1983;72(6):778-85.
128. Wilkes GH, Kernahan DA, Christenson M. The long-term survival of onlay bone grafts--a comparative study in mature and immature animals. *Ann Plast Surg*. 1985;15(5):374-8.
129. Kusiak JF, Zins JE, Whitaker LA. The early revascularization of membranous bone. *Plast Reconstr Surg*. 1985;76(4):510-6.
130. Matsumoto MA, Filho HN, Francischone Carlos E, Consolaro A. Microscopic analysis of reconstructed maxillary alveolar ridges using autogenous bone grafts from the chin and iliac crest. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2002;17(4):507-16.
131. Dohan S, Choukroun J, Dohan A, Donsimoni JM, Gabrieleff D, Fioretti F, et al. Platelet Rich Fibrin (PRF) : un nouveau biomatériau de cicatrisation: biotechnologies et fibrine, plaquettes et cytokines, aspects immunitaires, implications thérapeutiques. 1re partie : biotechnologies et fibrine. *Implantodontie*. 2004;13(2):87-97.
132. Clark R a. F. Fibrin and Wound Healing. *Ann N Y Acad Sci*. 2001;936(1):355-67.

133. Choukroun J, Simonpieri A, Girard M-O, Fioretti F, Dohan S, Dohan D. Platelet Rich Fibrin (PRF) : un nouveau biomatériau de cicatrisation: Biotechnologies et fibrine, plaquettes et cytokines, aspects immunitaires, implications thérapeutiques. 4e partie : implications thérapeutiques. *Implantodontie*. 2004;13(4):229-35.
134. Société Française de Parodontologie et d'implantologie orale, Nisand D. Position de la SFPIO sur le PRF [Internet]. [cité 16 déc 2019]. Disponible sur: <https://www.sfpio.com/informations-praticiens/les-recommandations-de-la-sfpio/position-de-la-sfpio-sur-le-prf.html>
135. Macewen W. I. Intrahuman Bone Grafting and Reimplantation of Bone. *Ann Surg*. 1909;50(6):959-68.
136. Chappard D, Zhioua A, Grizon F, Basle M, Rebel A. Biomaterials for bone filling: comparisons between autograft, hydroxyapatite and one highly purified bovine xenograft. *Bull Assoc Anat (Nancy)*. 1994;77:59-65.
137. Petite H. La bio-ingénierie de la régénération osseuse. *méd/sci*. 2002;18(10):995-1002.
138. Committee on Research, Science and Therapy of the American Academy of Periodontology. Position Paper; Tissue Banking of Bone Allografts Used in Periodontal Regeneration. *J Periodontol*. 2001;72(6):834-8.
139. Gajiwala AL, Kumar BD, Chokhani P. Evaluation of demineralised, freeze-dried, irradiated bone allografts in the treatment of osseous defects in the oral cavity. *Cell Tissue Bank*. 2007;8(1):23-30.
140. Tuominen T, Jämsä T, Tuukkanen J, Marttinen A, Lindholm TS, Jalovaara P. Bovine bone implant with bovine bone morphogenetic protein in healing a canine ulnar defect. *Int Orthop*. 2001;25(1):5-8.
141. Geistlich Pharma. Geistlich Bio-Oss® : avantages. | Substitut osseux. [Internet]. [cité 2 janv 2020]. Disponible sur: <https://www.geistlich.fr/fr/dentaire/substituts-osseux/bio-oss/avantages/>
142. Berglundh T, Lindhe J. Healing around implants placed in bone defects treated with Bio-Oss®. An experimental study in the dog. *Clin Oral Implants Res*. 1997;8(2):117-24.
143. Wong RWK, Rabie ABM. Effect of Bio-Oss® collagen and collagen matrix on bone formation. *Open Biomed Eng J*. 2010;4:71-6.
144. Giannoudis PV, Dinopoulos H, Tsiridis E. Bone substitutes: An update. *Injury*. 2005;36(3Suppl.):S20-7.
145. Fellah BH, Weiss P, Gauthier O, Rouillon T, Pilet P, Daculsi G, et al. Bone repair using a new injectable self-crosslinkable bone substitute. *J Orthop Res*. 2006;24(4):628-35.
146. Habibovic P, Groot K de. Osteoinductive biomaterials, properties and relevance in bone repair. *J Tissue Eng Regen Med*. 2007;1(1):25-32.
147. Bohner M. Calcium orthophosphates in medicine: from ceramics to calcium phosphate cements. *Injury*. 2000;31:D37-47.

148. Bouler J-M, Trécant M, Delécrin J, Royer J, Passuti N, Daculsi G. Macroporous biphasic calcium phosphate ceramics: Influence of five synthesis parameters on compressive strength. *J Biomed Mater Res.* 1996;32(4):603-9.
149. Van der Stok J, Van Lieshout EMM, El-Massoudi Y, Van Kralingen GH, Patka P. Bone substitutes in the Netherlands. – A systematic literature review. *Acta Biomater.* 2011;7(2):739-50.
150. Yamada S, Heymann D, Bouler J-M, Daculsi G. Osteoclastic resorption of calcium phosphate ceramics with different hydroxyapatite/ $\beta$ -tricalcium phosphate ratios. *Biomaterials.* 1997;18(15):1037-41.
151. Buser D, Dula K, Belser U, Hirt HP, Berthold H. Localized ridge augmentation using guided bone regeneration. 1. Surgical procedure in the maxilla. *Int J Periodon Restor Dent.* 1993;13(1):29-45.
152. Tinti C, Parma-Benfenati S. Treatment of peri-implant defects with the vertical ridge augmentation procedure: a patient report. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2001;16(4):572-7.
153. Abramowitz PN, Rankow H, Trope M. Multidisciplinary approach to apical surgery in conjunction with the loss of buccal cortical plate. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1994;77(5):502-6.
154. Lin L, Chen MY-H, Ricucci D, Rosenberg PA. Guided Tissue Regeneration in Periapical Surgery. *J Endod.* 2010;36(4):618-25.
155. Clark RAF. *The molecular and cellular biology of wound repair.* 2nd ed. New York : Plenum Press; 1996.
156. Witte MB, Barbul A. General Principles of Wound Healing. *Surg Clin North Am.* 1997;77(3):509-28.
157. Gurtner GC, Werner S, Barrandon Y, Longaker MT. Wound repair and regeneration. *Nature.* mai 2008;453(7193):314-21.
158. Mutsaers SE, Bishop JE, McGrouther G, Laurent GJ. Mechanisms of tissue repair: from wound healing to fibrosis. *Int J Biochem Cell Biol.* 1 janv 1997;29(1):5-17.
159. Ivanovski S, Gronthos S, Shi S, Bartold PM. Stem cells in the periodontal ligament. *Oral Dis.* 2006;12(4):358-63.
160. Bartold PM, Shi S, Gronthos S. Stem cells and periodontal regeneration. *Periodontol 2000.* 2006;40(1):164-72.
161. Pittenger MF, Mackay AM, Beck SC, Jaiswal RK, Douglas R, Mosca JD, et al. Multilineage potential of adult human mesenchymal stem cells. *Science.* 1999;284(5411):143-7.
162. Bari CD, Dell'Accio F, Vanlauwe J, Eyckmans J, Khan IM, Archer CW, et al. Mesenchymal multipotency of adult human periosteal cells demonstrated by single-cell lineage analysis. *Arthritis Rheum.* 2006;54(4):1209-21.
163. Molven O, Halse A, Grung B. Observer strategy and the radiographic classification of healing after endodontic surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 1987;16(4):432-9.

164. Schloss T, Sonntag D, Kohli MR, Setzer FC. A Comparison of 2- and 3-dimensional Healing Assessment After Endodontic Surgery Using Cone-beam Computed Tomographic Volumes or Periapical Radiographs. *J Endod.* 2017;43(7):1072-9.
165. von Arx T, Janner SFM, Hänni S, Bornstein MM. Evaluation of New Cone-Beam Computed Tomographic Criteria for Radiographic Healing Evaluation After Apical Surgery: Assessment of Repeatability and Reproducibility. *J Endod.* 2016;42(2):236-42.
166. von Arx T, Cochran DL. Rationale for the application of the GTR principle using a barrier membrane in endodontic surgery: a proposal of classification and literature review. *Int J Periodont Restor Dent.* 2001;21(2):127-39.
167. Pecora G, Andreana S, Margarone JE, Covani U, Sottosanti JS. Bone regeneration with a calcium sulfate barrier. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1997;84(4):424-9.
168. Saad AY, Abdellatif E-SM. Healing assessment of osseous defects of periapical lesions associated with failed endodontically treated teeth with use of freeze-dried bone allograft. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1991;71(5):612-7.
169. Yoshikawa G, Murashima Y, Wadachi R, Sawada N, Suda H. Guided bone regeneration (GBR) using membranes and calcium sulphate after apicectomy: a comparative histomorphometrical study. *Int Endod J.* 2002;35(3):255-63.
170. Beck-Coon RJ, Newton CW, Kafrawy AH. An in vivo study of the use of a nonresorbable ceramic hydroxyapatite as an alloplastic graft material in periapical surgery. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1991;71(4):483-8.
171. Apaydin ES, Torabinejad M. The Effect of Calcium Sulfate on Hard-Tissue Healing After Periradicular Surgery. *J Endod.* 2004;30(1):17-20.
172. Taschieri S, Del Fabbro M, Testori T, Weinstein R. Efficacy of Xenogeneic Bone Grafting With Guided Tissue Regeneration in the Management of Bone Defects After Surgical Endodontics. *J Oral Maxillofac Surg.* 2007;65(6):1121-7.
173. Stassen LFA, Hislop WS, Moos KF, Still DM. Use of anorganic bone in periapical defects following apical surgery a prospective trial. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 1994;32(2):83-5.
174. Britain SK, Arx T von, Schenk RK, Buser D, Nummikoski P, Cochran DL. The Use of Guided Tissue Regeneration Principles in Andodontic Surgery for Induced Chronic Periodontic-Endodontic Lesions: A Clinical, Radiographic, and Histologic Evaluation. *J Periodontol.* 2005;76(3):450-60.
175. Del Fabbro M, Ceresoli V, Lolato A, Taschieri S. Effect of Platelet Concentrate on Quality of Life after Periradicular Surgery: A Randomized Clinical Study. *J Endod.* 2012;38(6):733-9.
176. Angerame D, De Biasi M, Kastrioti I, Franco V, Castaldo A, Maglione M. Application of platelet-rich fibrin in endodontic surgery: a pilot study. *G Ital Endodonzia.* 2015;29(2):51-7.
177. Dhiman M, Kumar S, Duhan J, Sangwan P, Tewari S. Effect of Platelet-rich Fibrin on Healing of Apicomarginal Defects: A Randomized Controlled Trial. *J Endod.* 2015;41(7):985-91.
178. Pecora G, Kim S, Celletti R, Davarpanah M. The guided tissue regeneration principle in endodontic surgery: one-year postoperative results of large periapical lesions. *Int Endod J.* 1995;28(1):41-6.

179. Dahlin C, Linde A, Gottlow J, Nyman S. Healing of bone defects by guided tissue regeneration. *Plast Reconstr Surg.* 1988;81(5):672-6.
180. Taschieri S, Testori T, Azzola F, Del Fabbro M, Valentini P. Régénération tissulaire guidée en chirurgie endodontique. *Rev Stomatol Chir Maxillofac.* 2008;109(4):213-7.
181. Baek S-H, Kim S. Bone repair of experimentally induced through-and-through defects by Gore-Tex, Guidor, and Vicryl in ferrets: A pilot study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* 2001;91(6):710-4.
182. Taschieri S, Corbella S, Tsesis I, Bortolin M, Del Fabbro M. Effect of guided tissue regeneration on the outcome of surgical endodontic treatment of through-and-through lesions: a retrospective study at 4-year follow-up. *Oral Maxillofac Surg.* 2011 Sep;15(3):153-9.
183. Tsesis I, Rosen E, Tamse A, Taschieri S, Del Fabbro M. Effect of Guided Tissue Regeneration on the Outcome of Surgical Endodontic Treatment: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Endod.* 2011;37(8):1039-45.
184. Garrett K, Kerr M, Hartwell G, O'Sullivan S, Mayer P. The effect of a bioresorbable matrix barrier in endodontic surgery on the rate of periapical healing: an *in vivo* study. *J Endod.* 1 juill 2002;28(7):503-6.
185. Sánchez-Torres A, Sánchez-Garcés MÁ, Gay-Escoda C. Materials and prognostic factors of bone regeneration in periapical surgery: a systematic review. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2014;19(4):e419-425.
186. Hirsch J-M, Ahlström U, Henrikson P-Å, Heyden G, Peterson L-E. Periapical surgery. *Int J Oral Surg.* 1979;8(3):173-85.
187. Parmar PD, Dhamija R, Tewari S, Sangwan P, Gupta A, Duhan J, et al. 2D and 3D radiographic outcome assessment of the effect of guided tissue regeneration using resorbable collagen membrane in the healing of through-and-through periapical lesions, a randomized controlled trial. *Int Endod J.* 2019;52(7):935-48.
188. Corbella S, Taschieri S, Elkabbany A, Del Fabbro M, von Arx T. Guided Tissue Regeneration Using a Barrier Membrane in Endodontic Surgery. *Swiss Dent J.* 2016;126(1):13-25.
189. Komabayashi T, Jiang J, Zhu Q. Apical infection spreading to adjacent teeth: a case report. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011;111(6):e15-20.

## IX. Annexes

Auteurs	Type d'étude	Objectif	Nombre de groupes	Effectifs par groupe	Randomisation	Aveugle	Analyse statistique	Biais	Résultats	Grade
<b>Pecora G. et coll 1995</b>	Étude clinique prospective	Comparaison de la cicatrisation de lésions péri-apicales de taille > 10 mm. Obturation: Super-EBA, Amalgame, Gutta Percha. Technique de RTG : Membrane e-PTFE.	2	10	Oui avec groupes parallèles.	Evaluation en ouvert, nombre d'évaluateurs non spécifié. Résultats binaires : Cicatrisation complète ou incomplète.	Prévalence seule sans information du type de test.	Effectifs faibles, pas d'aveugle, puissance statistique peu évidente.	- Cicatrisation plus rapide lors de l'utilisation d'une membrane. - Qualité et quantité d'os supérieures avec application de membrane.	B
<b>Von Arx T. et Cochran 2001</b>	Revue de la littérature	Revue de littérature en fonction de la classification des lésions péri-apicales proposée.							- L'utilisation de membrane dans le cas des lésions la n'apporte pas de bénéfice. Elle ne semble pas en apporter dans le cas des lésions de type II. Elle peut apporter un bénéfice dans les lésions 1b. Il n'y a pas assez d'étude pouvant statuer sur le bénéfice pour les lésions de types III.	B
<b>Garrett K. 2002</b>	Étude clinique prospective	Comparaison de la cicatrisation de lésions péri-apicales Obturation: Non spécifiée. Technique de RTG : Membrane Guidor	2	25 et 13	Oui	Évaluation aveugle simple (patient). Pas de mention du nombre d'évaluateur.	Clairement définie : test ANOVA.	Effectifs faibles, Biais d'attrition car 12 patients n'ont pas pu être évalués jusqu'à la fin de l'étude.	Le placement d'une membrane résorbable n'entraîne pas de bénéfice significatif sur la cicatrisation des défauts osseux à 4 parois.	C

<b>Britain S. et coll. 2005</b>	Étude animale clinique prospective	Comparaison de la cicatrisation des lésions endo-parodontales chroniques induites chez le chien. Après nécrose pulpaire induite. Obturation : MTA. Technique de RTG : Membrane collagénique porcine et comblement avec de l'os bovin déprotéiné.	3	4	Non	Évaluation en ouvert avec plusieurs variables évaluées.	Clairement définie : test ANOVA	Effectifs très faibles	L'application d'un biomatériau en plus d'une membrane n'apporte pas de bénéfice sur la cicatrisation qu'une membrane seule. L'application d'une membrane peut améliorer la cicatrisation des lésions endo-parodontales.	C
<b>Taschieri S. et coll. 2007</b>	Étude clinique prospective	Comparaison de la cicatrisation des lésion péri-apicales avec ou sans comblement osseux pour des lésions > 10mm. Obturation : Super-EBA. Technique de RTG : Bio-Oss ®	2	24 pour le groupe test et 35 pour le groupe contrôle	Oui avec groupes parallèles.	Evaluation en ouvert avec 2 évaluateurs pour les 4 groupes. Résultats binaires : succès vs échec	Clairement définie : test de Fisher.	Effectifs faibles, pas d'aveugle. Biais d'attrition car 3 patients n'ont pas pu être évalués.	Absence de différence significative dans l'utilisation de la RTG dans les classes 1a et 1b de Von Arx et Cochran (2001).	B
<b>Taschieri S. et coll. 2008</b>	Étude clinique longitudinale	Comparaison de la cicatrisation des lésion péri-apicales avec ou sans comblement osseux pour des lésions > 10mm. Obturation : Super-EBA. Technique de RTG: Bio-Oss ®	2	33 groupe test et 33 groupe témoin	Oui	Evaluation en ouvert avec 2 évaluateurs pour les 4 groupes. Résultats binaires : succès vs échec	Clairement définie : test de Fisher.	Effectifs faibles, pas d'aveugle.	L'application de la RTG semble apporter un bénéfice dans les lésions transfixiantes, pas pour les lésions à 4 parois.	C

<b>Tsesis, Rosen 2011</b>	Revue systématique et Méta-Analyse	Evaluation de l'influence de la RTG sur les résultats des traitements par chirurgie endodontique.						Clairement définie		La RTG peut améliorer la régénération osseuse après une chirurgie endodontique dans les lésions larges et transfixiantes. L'utilisation d'une membrane résorbable est souhaitable.	A
<b>Taschieri S. et coll 2011</b>	Étude rétrospective	Évaluation du succès des chirurgies endodontiques à 4 ans sur des lésions de taille >10 mm Obturation : Super-EBA. Technique de RTG : membrane résorbable et xéno greffe bovine	1	43	Non	Evaluation ouverte, Résultats ternaires : succès, doute, échec	Clairement définie : test de Fisher.	Biais d'attrition : 6 pertes.	Pas de différence significative selon le genre, l'âge du patient, le type de dents, l'arcade, la présence ou non de restauration.	C	
<b>Sánchez-Torres A. et coll 2014</b>	Revue systématique	Analyse de l'efficacité de différents matériaux et techniques de RTG utilisés en chirurgie endodontique pour les défauts à 4 parois et les lésions transfixiantes								La RTG permet d'obtenir de meilleurs taux de réussite dans les lésions à 4 parois et transfixiantes comparés à des groupes témoins. Proposition d'un grade B de recommandations pour l'utilisation de la RTG dans les défauts à 4 parois et transfixiants.	A

<b>Dhiman, Kumar, Duhan, Sangwan, Tewari 2015</b>	Essai clinique randomisé prospectif	Évaluation de la cicatrisation des lésions apico-marginales après chirurgie endodontique par application de PRF comparés à des groupes sans application de PRF.	2	15 et 15	Oui	Évaluation en double aveugle,	Clairement définie : $\chi^2$ , Mann-Whitney et Wilcoxon	Effectifs faibles, biais d'attrition car 2 patients n'ont pu être évalués.	L'application du PRF n'augmente pas le taux de succès de la thérapeutique.	B
<b>Corbella S. et coll. 2016</b>	Revue systématique	Proposer une mise au point sur l'application de la RTG en chirurgie endodontique ainsi que proposer les axes pour les futures recherches.							Impossibilité de démontrer l'influence des techniques de GTR sur le succès clinique et radiologique.	A

**BOBEAU (Antoine).** – Régénération tissulaire guidée et chirurgie endodontique. – 76f. ; ill. ; tabl. ; 189 ref. ; 30cm (Thèse Chir. Dent. ; Nantes ; 2020)

#### RÉSUMÉ :

Les lésions péri-radicaire d'origine endodontique sont des réactions inflammatoires résultant de la persistance de micro-organismes dans les canaux radicaire ainsi que dans le péri-apex.

Une résection apicale associée à l'obturation canalaire par voie rétrograde est la dernière solution pour conserver la dent asymptomatique sur l'arcade.

Ces lésions créent des défauts intra-osseux après résection dont le type de cicatrisation est incertain.

Les taux de succès de cette thérapeutique retrouvés dans la littérature sont élevés. Peuvent-ils être encore améliorés par des techniques de régénération tissulaire guidée ?

**RUBRIQUE DE CLASSEMENT :** Odontologie Conservatrice - Endodontie

#### MOTS CLES MESH

Chirurgie endodontique – Endodontic surgery

Endodontie – Endodontics

Traitement de canal radicaire – Root canal treatment

Régénération tissulaire guidée – Guided tissue regeneration

#### JURY

Président : Professeur Pérez F.

Assesseur : Professeur. Badran Z.

Directeur : Docteur Armengol V.

Co-Directeur : Docteur Sarkissian L-E.

Membre invité: Docteur Remaud M.

#### ADRESSE DE L'AUTEUR

16 rue de la margelle - 86190 Quinçay.

antoine.bobea@gmail.com