



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

Creative commons : Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale
- Pas de Modification 4.0 France (CC BY-NC-ND 4.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>

UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD-LYON 1

U.F.R D'ODONTOLOGIE

Année 2025

THESE N° 2025 LYO1D 015

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le :

13 mars 2025

Par

Matthieu GOUJON

Né le 03/10/1998 à LYON

**Le comblement osseux après une
chirurgie apicale : quels intérêts ?**

JURY

Monsieur le Professeur Jean-Christophe MAURIN

Président

Monsieur le Professeur Cyril VILLAT

Assesseur

Monsieur le Professeur Olivier ROBIN

Assesseur

Monsieur le Docteur Thibault JACQUES-GAGET

Assesseur

Monsieur le Docteur Mawuene SOSSAH

Invité

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON I

Administrateur Provisoire de l'Université	Luc JOHANN
Président du Conseil Académique et de la Commission Recherche	Hamda BEN HADID
Vice-Président du Conseil d'Administration	Philippe CHEVALIER
Vice-Présidente de la Commission Formation	Céline BROCHIER
Vice-Président Relations Hospitalo-Universitaires	Jean François MORNEX
Directeur général des services	Pierre ROLLAND

SECTEUR SANTE

Doyen de l'UFR de Médecine Lyon-Est	Gilles RODE
Doyen de l'UFR de Médecine et de Maïeutique Lyon Sud - Charles Mérieux	Philippe PAPAREL
Doyen de l'Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques (ISPB)	Claude DUSSART
Doyen de l'UFR d'Odontologie	Jean-Christophe MAURIN
Directeur de l'Institut des Sciences & Techniques de Réadaptation (ISTR)	Jacques LUAUTÉ
Présidente du Comité de Coordination des Études Médicales	Carole BURILLON

SECTEUR SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Directrice de l'UFR Biosciences	Kathrin GIESELER
Directeur de l'UFR Faculté des Sciences	Bruno ANDRIOLETTI
Directeur de l'UFR Sciences & Techniques des Activités Physiques et Sportives (STAPS)	Guillaume BODET
Directeur de Polytech Lyon	Emmanuel PERRIN
Directeur de l'Institut Universitaire de Technologie Lyon 1 (IUT)	Michel MASSENZIO
Directeur de l'Institut des Science Financière & Assurances (ISFA)	Nicolas LEBOSNE

13 février 2025



Directeur de l'Observatoire de Lyon

Bruno GUIDERDONI

Directeur de l'Institut National Supérieur
du Professorat & de l'Éducation (INSPÉ)

Pierre CHAREYRON

Directrice du Département-composante Génie Électrique & des
Procédés (GEP)

Rosaria FERRIGNO

Directrice du Département-composante Informatique

Saida BOUAZAK
BRONDEL

Directeur du Département-composante Mécanique

Marc BUFFAT

13 février 2025

FACULTE D'ODONTOLOGIE DE LYON

Doyen : Pr. Jean-Christophe MAURIN, Professeur des Universités-Praticien hospitalier

Vice-Doyens : Pr. Maxime DUCRET, Professeur des Universités - Praticien hospitalier
Pr. Brigitte GROSGOGEAT, Professeure des Universités - Praticien hospitalier
Pr. Cyril VILLAT, Professeur des Universités - Praticien hospitalier

SOUS-SECTION 56-01 : ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE ET ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

Professeur Emérite des Universités-PH : M. Jean-Jacques MORRIER,
Professeure des Universités-PH : Mme Béatrice THIVICHON-PRINCE
Maîtres de Conférences-PH : Mme Sarah GEBEILE-CHAUTY, Mme Claire PERNIER
Mme Guillemette LIENHART

SOUS-SECTION 56-02 : PREVENTION – EPIDEMIOLOGIE ECONOMIE DE LA SANTE - ODONTOLOGIE LEGALE

Professeur des Universités-PH : M. Denis BOURGEOIS
Maître de Conférences-PH : M. Bruno COMTE
Maître de Conférences Associé : M. Laurent LAFOREST

SOUS-SECTION 57-01 : CHIRURGIE ORALE – PARODONTOLOGIE – BIOLOGIE ORALE

Professeurs des Universités-PH : M. Jean-Christophe FARGES, Mme Kerstin GRITSCH
M. Arnaud LAFON

Maîtres de Conférences-PH : Mme Doriane CHACUN, M. Thomas FORTIN
Mme Kadiatou SY, M. François VIRARD

SOUS-SECTION 58-01 : DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHESE, FONCTION-DYSFONCTION, IMAGERIE, BIOMATERIAUX

Professeure Émérite des Universités-PH : Mme Dominique SEUX

Professeurs des Universités-PH : M. Maxime DUCRET, M. Pierre FARGE,
Mme Brigitte GROSGOGEAT, M. Christophe JEANNIN
M. Jean-Christophe MAURIN, Mme Catherine MILLET
Mme Sarah MILLOT, M. Olivier ROBIN, M. Cyril VILLAT

Maîtres de Conférences-PH : Mme Marie-Agnès GASQUI DE SAINT-JOACHIM
Mme Marion LUCCHINI, M. Raphaël RICHERT,
M. Thierry SELLI, Mme Sophie VEYRE, M. Stéphane VIENNOT

Professeur Associé M. Hazem ABOUELLEIL-SAYED

Maîtres de Conférences Associés Mme Marjorie FAURE, Mme Ina SALIASI, Mme Marie TOHME

12 novembre 2024

À notre Président de Jury,

Monsieur le Professeur Jean-Christophe MAURIN

Professeur des Universités à l'UFR d'Odontologie de Lyon - Praticien Hospitalier

Docteur en Chirurgie Dentaire

Maîtrise en Sciences Biologiques et Médicales

Diplôme d'Etudes Approfondies

Docteur de l'Université Claude Bernard Lyon 1

Habilité à Diriger des Recherches

Doyen de l'UFR d'Odontologie de Lyon

C'est avec toute notre gratitude que nous vous remercions d'avoir accepté de présider notre jury de thèse. Vous avez toujours été fidèle à vous-même, fidèle à votre bonne humeur, dans la faculté mais aussi dans les quelques moments partagés en dehors.

A travers ce travail, veuillez trouver l'expression de notre respectueuse considération.

A notre directeur de thèse,

Monsieur le Docteur Thibault JACQUES GAGET

Praticien-Hospitalier

Docteur en Chirurgie Dentaire

Je vous remercie d'avoir tout de suite accepté de nous encadrer. Vos compétences et votre engagement envers les étudiants nous ont amené vers vous pour ce travail de thèse et nous avons eu la chance de bénéficier de votre accompagnement. Votre présence attentive, votre disponibilité et vos conseils avisés ont été des soutiens précieux tout au long de cette recherche. Soyez assuré, par ces quelques mots, de notre sincère reconnaissance.

A nos membres du Jury,

Monsieur le Professeur Cyril VILLAT

Professeur des Universités à l'UFR d'Odontologie de Lyon - Praticien Hospitalier

Docteur en Chirurgie Dentaire

Ancien Interne en Odontologie

Docteur de l'Ecole Centrale Paris

Habilitation à Diriger des Recherches

Vice-Doyen à l'UFR d'Odontologie de Lyon

Responsable du département pédagogique de Dentisterie Restauratrice – Endodontie

Nous tenons à vous remercier pour votre constante bienveillance envers les étudiants et votre rigueur qui nous ont guidés depuis notre première année dans cette faculté. Vous avez su nous encadrer avec patience et exigence mais aussi avec humanité dans nos moments difficiles, nous ne l'oublieront pas. Veuillez trouver ici l'expression de notre profonde reconnaissance et du respect que nous vous portons.

Monsieur le Professeur Olivier ROBIN

Professeur des Universités à l'UFR d'Odontologie de Lyon - Praticien-Hospitalier

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur d'Etat en Odontologie

Doyen Honoraire de l'UFR d'Odontologie de Lyon

Habilité à Diriger des Recherches

Nous vous exprimons notre plus sincère gratitude pour avoir accepté de faire partie de notre jury de thèse. Votre engagement exemplaire, tant auprès des patients que des étudiants, témoigne d'un dévouement sans faille et d'une passion pour notre discipline. Votre sérénité, votre rigueur et votre bienveillance sont une source d'inspiration précieuse. Soyez assuré de notre profond respect et de notre reconnaissance la plus sincère.

A notre membre invité,

Monsieur le Docteur Mawuene SOSSAH

Docteur en Chirurgie Dentaire

Attaché des Hospices Civils de Lyon

Je vous remercie pour le temps que vous nous avez consacré et pour le soutien précieux que vous nous avez apporté, en particulier lors des périodes les plus difficiles de ce travail. Votre engagement s'est imposé comme une évidence, sans même que nous ayons à formuler de requête, et votre disponibilité, notamment lors de nos échanges du lundi soir, a été d'une aide inestimable.

Pour tout cela, nous vous remercions sincèrement.

Table des matières

I.	INTRODUCTION.....	1
II.	RAPPELS.....	2
A.	OBJECTIFS DE LA CHIRURGIE APICALE	2
1.	<i>Ostéotomie.....</i>	2
2.	<i>Apicectomie</i>	2
3.	<i>Préparation canalaire</i>	3
4.	<i>Obturation du système canalaire.....</i>	3
5.	<i>Cicatrisation osseuse apicale</i>	4
B.	INDICATIONS DU TRAITEMENT ENDODONTIQUE CHIRURGICAL.....	4
1.	<i>Présence de douleurs à la suite d'un traitement ou retraitement satisfaisant</i>	5
2.	<i>Présence de douleurs à la suite d'un traitement ou retraitement insatisfaisant</i>	5
3.	<i>Échec d'une précédente chirurgie.....</i>	6
4.	<i>Facteurs anatomiques ou iatrogéniques.....</i>	6
5.	<i>Traitement de première intention uniquement par voie chirurgicale.....</i>	6
C.	CONTRE-INDICATIONS.....	6
1.	<i>Contre-indications médicales</i>	6
2.	<i>Contre-indications locales.....</i>	7
III.	LES BIOMATERIAUX DE COMPLEMENT OSSEUX	8
A.	COMPLEMENT OSSEUX AUTOLOGUE, UTILISATION DU PRF ET SES DERIVES.....	9
1.	<i>Description du PRF et ses dérivés.....</i>	10
a)	Définition et composition	10
b)	Technique de préparation	12
c)	Méthode d'application	14
2.	<i>Avantages et inconvénients du PRF et ses dérivés</i>	15
a)	Avantages	15
b)	Inconvénients.....	15
3.	<i>Intérêt dans la chirurgie endodontique du PRF et ses dérivés : résultats d'études.....</i>	15
a)	Qualité de vie.....	16
b)	Cicatrisation osseuse.....	17
B.	HYDROXYAPATITE – COMPLEMENT OSSEUX SYNTHETIQUE, ALLOGENIQUE OU XENOGENIQUE	20
1.	<i>Les différents matériaux de comblement osseux à base d'hydroxyapatite.....</i>	22
a)	Les matériaux de comblement à base d'hydroxyapatite synthétique	22
(1)	Description	22
(2)	Synthèse de l'hydroxyapatite	23
(3)	Résultats d'étude	24
b)	Les matériaux de comblement à base d'hydroxyapatite d'origine xénogénique.....	26
(1)	Substitut osseux à base d'hydroxyapatite extraite de corail : résultats d'études.....	27
(2)	Substitut osseux à base d'hydroxyapatite extraite d'os bovin : résultats d'étude	28
c)	Les matériaux de comblement à base d'hydroxyapatite d'origine allogénique.....	33

(1) Description	33
(2) Résultats d'études	33
2. <i>Avantages et inconvénients des matériaux à base d'hydroxyapatite</i>	34
a) Avantages	34
b) Inconvénients	34
3. <i>Intérêt de l'hydroxyapatite dans la chirurgie endodontique</i>	34
IV. DISCUSSION	36
V. CONCLUSION	39
VI. BIBLIOGRAPHIE	40

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Photo d'un volet de corticale osseuse remplacé après l'intervention (2).....	2
Figure 2 : Photo peropératoire d'une chirurgie apicale (2).....	3
Figure 3 : Schéma d'une dent montrant la complexité du système canalaire apical (3).....	3
Figure 4 : Système Endo Success, inserts ultrasonores de 3, 6 et 9mm (2).	3
Figure 5 : Radiographies retroalvéolaires avant l'opération, après l'opération et 2 ans post-opératoire (2).....	4
Figure 6 : Photo d'un canal en "C".	5
Figure 7 : Sinus interposé entre les racines ; emplacement de l'artère palatine ; prémolaire et sa proximité avec le foramen mentonnier.....	7
Figure 8 : Photo de PRF sous forme solide après extraction du tube (34).....	11
Figure 9 : Photos de la préparation de sticky bone avec le i-PRF (34).	12
Figure 10 : Photo d'une centrifugeuse (34).	13
Figure 11 : Schéma présentant les différentes phases du sang après centrifugation (26).	14
Figure 12 : Illustration de la taille des pores (flèches noires) et interconnexions entre les pores (flèches rouges) dans la structure de l'hydroxyapatite (55).	21
Figure 13 : Matériau de comblement osseux à base d'hydroxyapatite synthétique sous forme de granules.	23

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Résultats de qualité de vie des études concernant le PRF.....	18
Tableau 2 : Résultats de cicatrisation osseuse des études concernant le PRF.....	19
Tableau 3 : Résumé des résultats de l'étude de S.I. Tobón et Al.	25
Tableau 4 : Résumé des résultats de l'étude de S. Taschieri et Al.....	29
Tableau 5 : Résumé des résultats de la 2ème étude de S. Taschieri et Al.....	30
Tableau 6 : Résumé des résultats de l'étude de M. Dominiak et Al.	32
Tableau 7 : Récapitulatif des études concernant les matériaux à base d'hydroxyapatite.	35
Tableau 8 : Pertinence de chacun des matériaux étudiés pour différents critères.....	38

I. Introduction

L'endodontie vise à éliminer les lésions périapicales et à restaurer la santé des tissus péri-radicaux. En cas d'échec de cette première procédure, plusieurs alternatives sont à envisager pour soigner et guérir la ou les lésions. La résection apicale est une technique chirurgicale complétant les possibilités de traitement des échecs de l'endodontie par voie orthograde. La mise en place de cette procédure nécessite une connaissance des techniques chirurgicales solide mais aussi une connaissance des biomatériaux à disposition pour maximiser les chances de succès.

Au fil des années, l'évolution des pratiques en chirurgie orale a introduit des techniques de régénération osseuse dans ce domaine, suscitant des interrogations sur leur nécessité, leur efficacité et le choix optimal des matériaux utilisés. Nous nous consacrerons à l'examen approfondi de ces questions cruciales liées aux matériaux de substitution osseuse dans les chirurgies apicales.

Ces régénérations, qu'elles soient guidées par des membranes ou non, permettent de reconstruire des volumes osseux qui ont disparu, dans notre cas, à cause de parodontites apicales. Ces régénérations permettent de maximiser le soutien de la dent à court terme en accélérant la guérison osseuse et en protégeant le site de cicatrisation. Nous allons alors étudier deux types de substitut osseux, qui sont parmi les plus utilisés dans ce domaine.

Le premier type de substitut osseux possède de multiples facettes dans l'utilisation que l'on peut en faire, il s'agit du PRF (Platelet Rich Fibrin) et ses dérivés. Nous examinerons son rôle, son efficacité et son importance dans divers contextes cliniques.

Les matériaux du deuxième type sont des comblements osseux à base d'hydroxyapatite, évaluant leur pertinence, leur impact sur la guérison, et les avantages et inconvénients de diverses options disponibles.

Enfin, nous concluons en offrant une perspective sur les avantages inhérents à l'application des techniques de régénération dans le contexte des chirurgies apicales. Pour finir, nous examinerons les implications qui découlent de la mise en œuvre de ces techniques, mettant en lumière leur pertinence et leur impact dans le domaine des procédures chirurgicales apicales.

II. Rappels

La présence d'une lésion radioclaire à l'apex d'une dent traitée endodontiquement peut mettre jusqu'à 4 ans à disparaître et ne signifie pas forcément la nécessité d'une intervention (1). Afin de valider l'indication d'une technique de chirurgie apicale, il est nécessaire de connaître ses objectifs et ses contre-indications.

A. Objectifs de la chirurgie apicale

1. Ostéotomie

Il s'agit de l'élimination de la corticale osseuse pour accéder à la partie apicale de la racine à traiter. Il est possible de prélever la corticale osseuse si cette dernière est intacte et la conserver dans du sérum physiologique pendant la durée de l'opération puis de remettre le volet osseux à sa place initiale pour améliorer la cicatrisation (2).

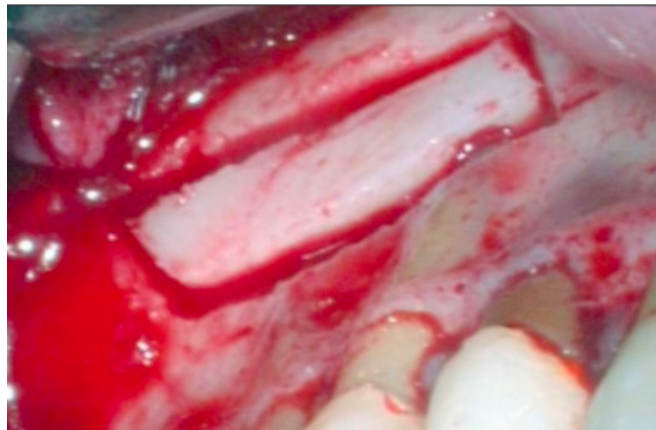


Figure 1 : Photo d'un volet de corticale osseuse replacé après l'intervention (2).

2. Apicectomie

Aussi appelée résection apicale, elle permet de mettre en évidence les canaux ainsi que les éventuels isthmes qui les rejoignent. Les trois derniers millimètres de la racine sont le siège de la majorité des variations anatomiques (canaux accessoires, bifurcations, isthmes...)(3)(4). L'apicectomie permet donc de les éliminer et d'accéder au système canalaire principal.



Figure 2 : Photo peropératoire d'une chirurgie apicale (2)



Figure 3 : Schéma d'une dent montrant la complexité du système canalaire apical (3).

3. Préparation canalaire

Les objectifs sont les mêmes que lors d'un traitement endodontique conventionnel : l'élimination de l'ancien matériau et de la dentine infectée puis la désinfection canalaire. Il convient de préparer les derniers millimètres apicaux à l'aide d'inserts ultrasonores.

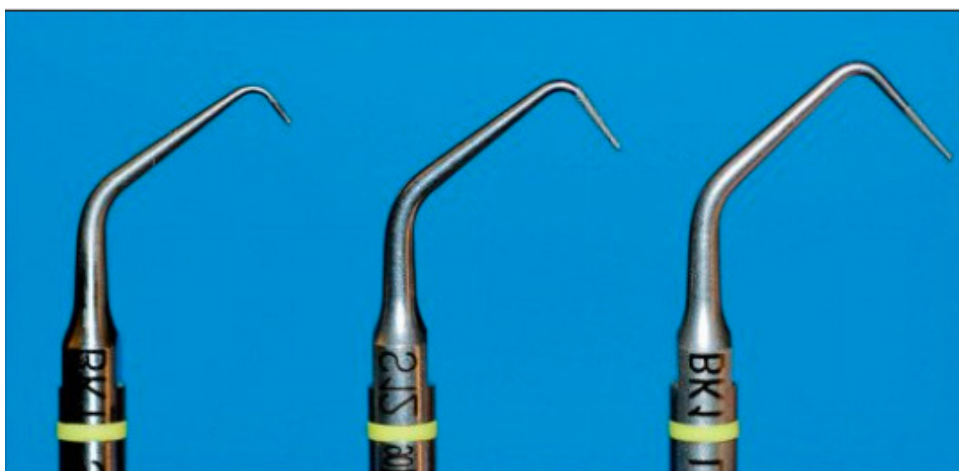


Figure 4 : Système Endo Success, inserts ultrasonores de 3, 6 et 9mm (2).

4. Obturation du système canalaire

Les matériaux les plus utilisés sont les ciments oxydes de zinc eugénol renforcés : IRM (Intermediate Restorative Material), Super EBA (Ethoxy Benzoic Acid) et/ou les biocéramiques : Biodentine, MTA (Mineral Trioxide Aggregate), TotalFill Putty. A ce jour, il semble qu'aucun matériau ne donne de taux de succès supérieur aux autres (5)(6). Il revient alors à l'opérateur de privilégier le matériau qu'il connaît et maîtrise le mieux (2).

5. Cicatrisation osseuse apicale

Le taux de succès de la chirurgie endodontique varie de 79% à 100% (7).

B. Indications du traitement endodontique chirurgical

L'étanchéité de la restauration coronaire est tout aussi importante que le traitement canalaire (8). En cas d'infiltration bactérienne coronaire, le traitement peut être compromis.

En présence d'une dent couronnée pour laquelle l'esthétique, l'adaptation marginale et la reconstitution corono-radicaire sont satisfaisantes, il peut être envisagé de passer par voie rétrograde et de traiter la partie apicale des racines.

Les indications sont :

- Présence de douleurs à la suite d'un traitement ou retraitement satisfaisant
- Douleurs à la suite d'un traitement ou retraitement insatisfaisant
- Échec d'une précédente chirurgie
- Facteurs anatomiques ou iatrogéniques
- Traitement de première intention uniquement par voie chirurgicale



Figure 5 : Radiographies retroalvéolaires avant l'opération, après l'opération et 2 ans post-opératoire (2).

1. Présence de douleurs à la suite d'un traitement ou retraitement satisfaisant

- A cause des limites du traitement endodontique conventionnel : isthmes et canaux accessoires apicaux (9) non accessibles par l'instrumentation classique (10).
- Infection extra-radulaire (11) : ces micro-organismes (cocci, bacilles) ne sont pas accessibles par voie orthograde.
- Kystes vrais : ils représentent 15% des lésions apicales (12). Ils ne peuvent souvent pas être éliminés par un traitement endodontique classique (10).

2. Présence de douleurs à la suite d'un traitement ou retraitement insatisfaisant

- Retraitement trop soumis aux aléas : des butées et perforations diminuent le taux de succès du retraitement endodontique.
- Retraitement impossible : l'anatomie canalaire ne permet pas d'accéder à la totalité du canal (canal en C, par exemple).

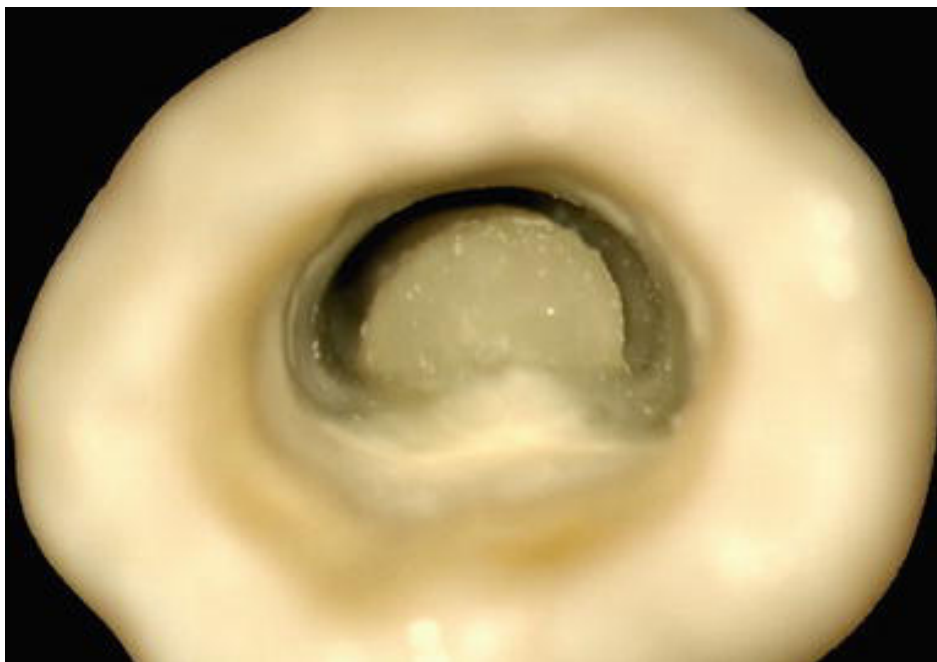


Figure 6 : Photo d'un canal en "C".

3. Échec d'une précédente chirurgie

- Chirurgie incomplète : nous pouvons refaire la chirurgie avec un protocole récent et en validant chaque étape.
- Chirurgie sans guérison : il est possible de faire une deuxième chirurgie endodontique, le taux de succès est identique à la première (13), c'est-à dire de 79 à 100% (7).

4. Facteurs anatomiques ou iatrogéniques

- Canaux minéralisés : risque accru de perforation, la chirurgie est plus conservatrice (1).
- Double courbure : risque de fracture d'instrument.
- Instrument fracturé apicalement à une courbure.

5. Traitement de première intention uniquement par voie chirurgicale

- Dens in dente : souvent les incisives latérales maxillaires (14).
- Dent permanente immature : si la dent a réalisé au moins 2/3 de son édification radiculaire et que les parois apicales sont suffisamment épaisses (15).

C. Contre-indications

1. Contre-indications médicales

- Risque infectieux : patient à haut risque d'endocardite infectieuse (16) ou immunodépression à évaluer par le praticien (17).
- Risque d'ostéochimionécrose : bisphosphonates, anti RANK-L. La contre-indication peut être absolue ou relative.
- Risque d'ostéoradionécrose : si la dose reçue sur l'os concerné est de plus de 35Gy.
- Hypertension artérielle systolique supérieure à 150mmHg et diastolique supérieure à 120mmHg (2).

2. Contre-indications locales

- Trop faible ouverture buccale.
- Épaisseur osseuse trop importante à traverser : souvent pour les deuxième molaires mandibulaires.
- Anatomiques : artère palatine, foramen mentonnier, sinus.
- Parodontale : rapport couronne / racine défavorable (18,19)
- Histologique : en cas de lésion différente des lésions d'origine endodontique habituelles, réaliser un examen approfondi (améloblastomes par exemple).

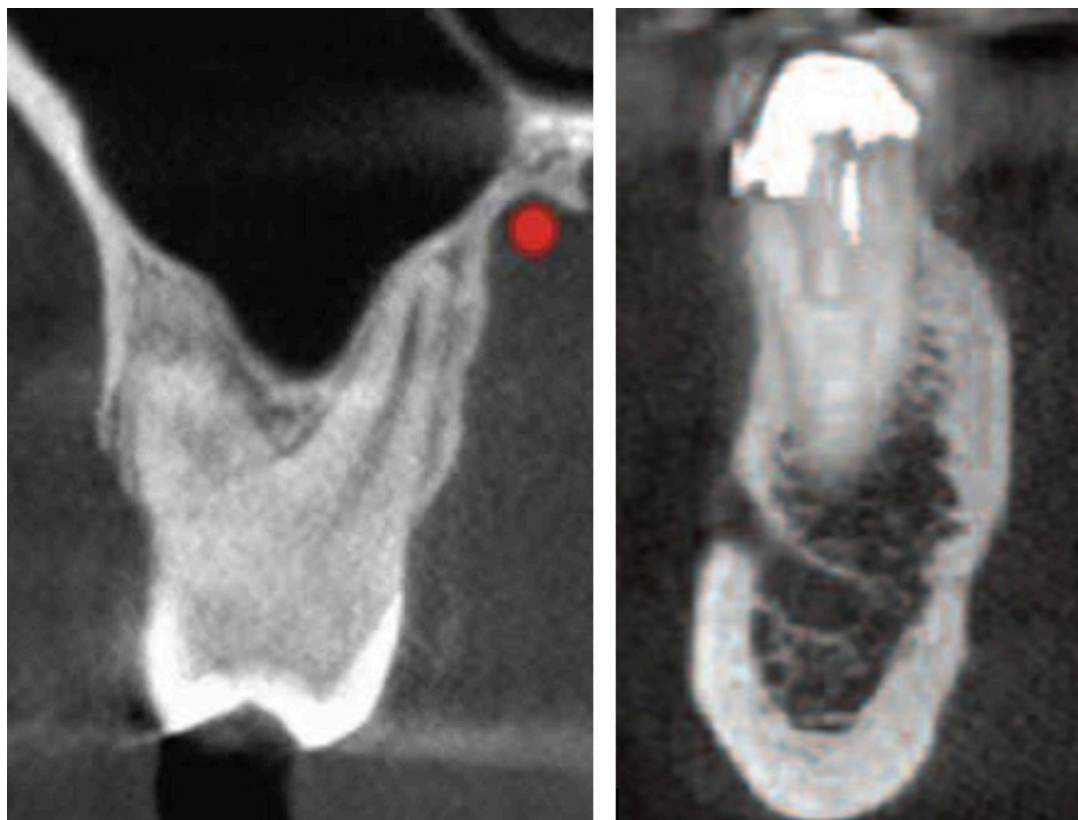


Figure 7 : Sinus interposé entre les racines ; emplacement de l'artère palatine ; prémolaire et sa proximité avec le foramen mentonnier

III. Les biomatériaux de comblement osseux

Selon l'INSERM (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale) : « Les biomatériaux sont des matériaux, synthétiques ou vivants, utilisables à des fins médicales pour remplacer une partie ou une fonction d'un organe ou d'un tissu. Ils doivent respecter plusieurs obligations :

- Être bien tolérés par le receveur, c'est à dire ne pas provoquer d'infection, d'inflammation, d'allergie, voire de réaction de rejet s'il s'agit de matériel vivant
- Ne pas contenir de substance toxique, comme des perturbateurs endocriniens ou des agents cancérogènes
- Répondre à des contraintes mécaniques pour s'adapter aux pressions exercées par l'environnement » (20).

Un comblement osseux est le fait d'utiliser un substitut osseux afin de combler un défaut, c'est-à-dire un volume initialement rempli d'os. Selon la HAS (Haute Autorité de Santé), un substitut osseux est un matériau synthétique ou vivant, résorbable ou non, utilisable à des fins médicales dans le but de restaurer une perte de substance osseuse (21).

Ce matériau agira alors comme un échafaudage permettant ainsi aux cellules osseuses de recoloniser ce volume.

Il y a 4 grandes catégories de types de greffes, qui sont les suivantes : greffe autologue, allogreffes, xéno greffe et greffe de biomatériau synthétique. Chaque type sera défini dans la partie qui lui correspond. Les substituts osseux les plus utilisés dans chaque famille de greffe seront étudiés.

Le matériau de greffe autologue choisi est le PRF car il est de plus en plus utilisé et très étudié (22), comme par exemple ces deux revues systématiques de la littérature parues en 2023 (23,24). Le PRF semble plus pertinent à étudier par rapport aux prélèvements d'os autologue (ramique par exemple), car il sera presque toujours nécessaire de soulever un autre lambeau pour accéder au site donneur. Cela peut alors engendrer des douleurs supplémentaires. Pour une chirurgie apicale, les lésions sont la plupart du temps petites et il n'y a souvent pas d'accès à une zone privilégiée de prélèvement d'os.

Pour les 3 autres types de greffe (synthétique, xénogénique et allogénique), nous nous pencherons uniquement sur les hydroxyapatites. En effet, ce sont les matériaux à base d'hydroxyapatite qui sont les plus utilisés dans chacune de ces catégories avec par exemple le Bio-Oss pour les xénogreffes, OsteoGen en biomatériau synthétique ou encore BioBank pour les greffes allogéniques.

Pour les comparaisons entre les différents biomatériaux de comblement, nous considérons que l'apicectomie et l'obturation à retro ont été effectuées. En effet, les études que nous citerons par la suite partent de ce principe afin d'avoir une cohérence dans les résultats et d'étudier les matériaux de comblement osseux, toutes choses étant les plus égales possibles par ailleurs.

Selon une étude de Yin Tang et Al. (5), il semblerait que le choix du matériau d'obturation à retro entre IRM et MTA (parmi les plus utilisés) n'a pas d'impact significatif sur la réussite de la chirurgie endodontique. Il en va de même entre le MTA et TotalFill (6). Cependant, les résultats obtenus sont significativement meilleurs qu'en obturant à rétro avec de l'amalgame ou de la Gutta-Percha (5).

Les résultats d'une étude de Karan et Aricioglu (25) indiquent aussi que l'apicectomie et l'obturation sont les éléments les plus importants pour la réussite du traitement. Notre objectif est alors de voir si les matériaux de comblement osseux peuvent apporter une plus-value, soit en confort de vie, soit dans la cicatrisation osseuse.

A. Comblement osseux autologue, utilisation du PRF et ses dérivés

Les greffes autologues, qui utilisent les propres tissus du patient, sont souvent privilégiées en chirurgie et en médecine pour plusieurs raisons essentielles. Tout d'abord, elles offrent une compatibilité immunologique maximale (26). Étant issus du corps du patient lui-même, ces tissus ne provoquent généralement aucune réaction immunitaire indésirable, réduisant ainsi considérablement le risque de rejet.

1. Description du PRF et ses dérivés

a) Définition et composition

Le Plasma Riche en Fibrine (PRF) est un sous-produit du sang obtenu par centrifugation d'un prélèvement sanguin. C'est un concentré de plaquettes sanguines ou thrombocytes autologues. Le PRF a une action inductrice de la différenciation des ostéoblastes et des fibroblastes qui est sensée accélérer la cicatrisation. Ceci est permis grâce à la libération de facteurs de croissance (27).

Le PRF contient plusieurs facteurs de croissance clés, dont le TGF- β , l'IGF-1 et le VEGF, qui jouent un rôle essentiel dans la régénération tissulaire. De plus, il libère des cytokines immunitaires comme l'IL-1 β , l'IL-6, l'IL-4 et le TNF- α , augmentant ainsi sa capacité à stimuler la réponse immunitaire et à favoriser la cicatrisation (28).

Nous décrivons l'utilité des principaux facteurs de croissance :

- TGF- β (Transforming Growth Factor- β) : Inhibe la formation des ostéoclastes et la dégénérescence osseuse ; Stimule l'angiogenèse, la production de fibronectine et de collagène ; empêche la dégradation du collagène ; induit la chimiotaxie des fibroblastes et des cellules immunitaires (29).
- VEGF (Vascular Endothelial Growth Factor) : Initie l'angiogenèse, améliore la perméabilité des vaisseaux, induit la prolifération et la migration des cellules endothéliales (28).
- IGF-1 (Insuline Growth Factor-1) : Stimule la chimiotaxie et l'activation des ostéoblastes ainsi que la formation osseuse, induit la différenciation et la mitogenèse des cellules mésenchymateuses (30).

Le PRF existe en plusieurs variantes avec des propriétés différentes. Nous citons les plus récentes et les plus utilisées :

- Le L-PRF (Leucocyte Platelet Rich Fibrin), décrit par Joseph Choukroun, se présente sous forme solide. On l'obtient en centrifugeant le sang à 2700 tr/min pendant 12 min. Il est l'évolution du premier PRF et est plus riche en leucocytes (31).
- Le A-PRF+ (Advanced Platelet Rich Fibrin), également sous forme solide, est obtenu par centrifugation du sang à 1300 tr/min pendant 8 min (32). Une vitesse de centrifugation plus faible permet de réduire la perte de cellules, ce qui enrichit le A-PRF en leucocytes par rapport au L-PRF. Le A-PRF contient un plus grand nombre de cellules viables, notamment des neutrophiles, des lymphocytes et des plaquettes, optimisant ainsi son potentiel de régénération tissulaire (33).



Figure 8 : Photo de PRF sous forme solide après extraction du tube (34).

Le i-PRF (Injectable Platelet Rich Fibrin), est quant à lui sous forme liquide et nécessite une centrifugation à 700 à 800 tr/min pendant 3 min (28)(35). Sa forme liquide lui permet d'être utilisé dans d'autres domaines : en dermatologie esthétique, il est injecté dans la peau pour stimuler le collagène et rajeunir la peau du visage. Dans le cadre de traitements articulaires, des injections sont utilisées pour réduire l'inflammation et régénérer les tissus, notamment dans l'arthrose.

Il peut être mélangé à un autre matériau de comblement osseux à base d'hydroxyapatite pour former le Sticky Bone, plus facile à manipuler et sensé améliorer ses propriétés par la présence d'un deuxième matériau.



Figure 9 : Photos de la préparation de sticky bone avec le i-PRF (34).

b) Technique de préparation

La première étape est de prélever du sang veineux au patient et le stocker dans des tubes de 10 mL. Contrairement à son prédécesseur le PRP, il n'y a pas d'ajout d'agent anticoagulant ce qui lui permet d'éviter toutes les restrictions des lois françaises liées à la réimplantation de ce qui pourrait être considéré comme un dérivé de produit sanguin (36).

La deuxième étape consiste à centrifuger le sang du patient selon les paramètres établis en fonction du type de PRF souhaité.



Figure 10 : Photo d'une centrifugeuse (34).

On obtient alors 3 phases séparées (cf. figure 11). Au fond du tube, le culot d'hématies. La couche supérieure est constituée d'un plasma acellulaire et entre ces deux nous avons le caillot de PRF, qui est la partie qui nous intéresse.

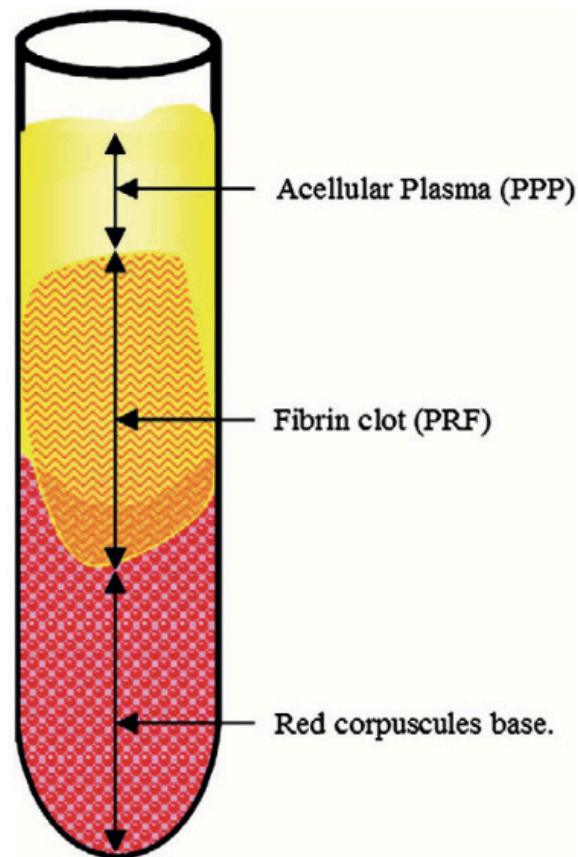


Figure 11 : Schéma présentant les différentes phases du sang après centrifugation (26).

Pour le PRF sous forme solide, on le prélève à l'aide d'une précelle et on le sépare du culot d'hématies avec des ciseaux. Il est aussi possible de l'aplatir entre deux compresses stériles et de s'en servir comme membrane (26).

Le i-PRF, sous forme liquide, est prélevé dans le tube à l'aide d'une seringue stérile et est utilisé seul ou est mélangé à un substitut osseux ou de l'os autogène pour former du « Sticky Bone » (34).

c) *Méthode d'application*

Le PRF est simplement déposé dans la cavité osseuse afin d'en combler le volume, et le lambeau préalablement soulevé est remplacé et suturé par-dessus (26).

2. Avantages et inconvénients du PRF et ses dérivés

a) Avantages

- C'est une greffe autologue et provient donc du patient lui-même. Il n'existe alors pas de risque de rejet (26).
- Le coût d'achat est moindre par rapport au Bio-Oss.
- C'est un matériau bioactif grâce aux facteurs de croissance qu'il concentre sur la zone opératoire.

b) Inconvénients

- Il faut faire accepter la prise de sang au patient. Certains patients peuvent être réticents. L'explication donnée par le praticien est alors primordiale.
- Le PRF doit être centrifugé rapidement après le prélèvement afin de ne pas coaguler.
- Il y a un temps de latence entre la prise de sang et l'application dû au temps de centrifugation et de préparation : environ 4 à 6 minutes pour le i-PRF et 12 à 15 minutes pour le PRF solide.

Il peut alors être intéressant de former l'assistant(e) à ces techniques. De ce fait, si la prise de sang est réalisée en début de séance, l'assistant(e) se charge directement de centrifuger le sang, d'extraire du tube la partie qui nous intéresse, et même de créer le Sticky Bone si nécessaire. Cette organisation permet d'éviter certains des inconvénients du PRF cités ci-dessus.

3. Intérêt dans la chirurgie endodontique du PRF et ses dérivés : résultats d'études

Le PRF a déjà fait ses preuves sur la cicatrisation des plaies et des tissus mous (37). Mais qu'en est-il de ses effets sur la réussite du traitement endodontique chirurgical ? La réussite d'une chirurgie endodontique repose sur la disparition des symptômes cliniques et la cicatrisation osseuse apicale.

Nous avons choisi 2 revues systématiques de la littérature pour analyser les effets de l'utilisation de PRF sur les symptômes cliniques et la cicatrisation osseuse après chirurgie endodontique.

La première revue systématique a été faite par Sinha et Al. (23) et la deuxième par Di Lauro et Al. (24). Elles proposent toutes deux une compilation de différentes études portant sur la quantification de la douleur post-opératoire mais aussi sur la cicatrisation osseuse apicale évaluée radiologiquement. La revue systématique de Lauro a décidé d'intégrer dans l'étude tous les APC (Autologous platelet concentrate) et non seulement le PRF. Nous excluons de nos résultats toutes les études qui traitent d'un autre APC que le PRF.

a) Qualité de vie

La qualité de vie et les symptômes cliniques sont majoritairement évalués par la douleur et l'œdème post-opératoire. D'autres critères sont parfois pris en compte par certaines études mais nous garderons principalement ces 2 critères afin de garder une cohérence dans les résultats. Parmi les études sélectionnées par l'une ou l'autre de ces revues systématiques :

- 4 ont conclu que l'utilisation de PRF permettait de réduire significativement les douleurs post-opératoires ainsi que l'œdème (38)(39)(40)(41). Une étude parmi ces 4 compare le PRF à l'hydroxyapatite et ne comporte pas de groupe témoin (40).
- 2 études n'ont pas pu démontrer de différence significative concernant la douleur post-opératoire par rapport au groupe témoin (42)(43). Pour l'une des deux, les résultats étaient significatifs pour la fonction de la parole et du sommeil (42). Cependant, la méta-analyse de ces deux études a révélé une différence significative de la douleur post-opératoire entre le groupe traité avec PRF et le groupe témoin (23).

b) Cicatrisation osseuse

Parmi ces 2 mêmes revues systématiques (23)(24), 8 études analysent la cicatrisation osseuse apicale des sites traités avec le PRF à l'aide de radiographies :

- 2 seulement ont conclu que l'utilisation de PRF permettait d'accélérer significativement la cicatrisation (44)(40). L'une d'entre elles compare le PRF à un matériau à base d'hydroxyapatite (non précisé) et au CERAMENT® mais ne compare pas leur efficacité à un groupe témoin (40).
- 6 études ont conclu à l'absence de différence significative entre le groupe PRF et le groupe témoin (45)(46)(25)(47)(48)(41). Parmi celles-ci, deux études ont montré une différence significative entre le groupe traité par PRF + hydroxyapatite et le groupe témoin (45)(46), mais pas entre le groupe PRF et le groupe témoin.

Étude	Nombre de patients	Type d'étude	Durée de l'étude	Différence significative douleurs	Différence significative œdème	Autre différence significative	Information supplémentaire
Del Fabbro et Al. 2012	N = 36	RCT	7 jours	Oui	Oui	Oui , activités fonctionnelles	
Taschieri et Al. 2013	N = 20 - PRF = 8 - Témoins = 12	Rétrospective	7 jours	Oui , les 6 premiers jours	Oui	Oui , haleine/goutt et activités fonctionnelles	Que des cas de membrane du sinus perforé
Singh et Al. 2020	N = 126 - Hydroxyapatite = 42 - Cerament = 42 - PRF = 42	RCT sans témoins	1 an	Oui	Oui		
Angerame et Al. 2015	N = 11 - PRF = 7 - Témoins = 4	RCT	7 jours	Oui , les 6 heures qui suivent la chirurgie.	Oui , les 5 premiers jours		
Soto-Peñaloza et Al. 2019	N = 50	RCT	7 jours	Non	Non	Oui Haleine/Goutt, saignements, parole	A-PRF+ utilisé en membrane et non en matériau de comblement
Meschi et Al. 2018	N = 50	RCT	7 jours	Non	Non	Non	L-PRF

Tableau 1 : Résultats de qualité de vie des études concernant le PRF.

Études	Nombre de patients	Type d'étude	Durée de l'étude	Différence significative de cicatrisation	Méthode d'analyse	Autre information
Monga et AL. 2016	<u>n</u> = 30	RCT	9 mois	Oui	Mesure de surface sur radio rétro	<u>3 groupes</u> : témoin, hydroxyapatite, PRF
Singh et AL. 2020	<u>n</u> = 126	RCT	1 an	Oui	Mesure de surface sur radio rétro	<u>3 groupes</u> : hydroxyapatite, Cerament, PRF. Pas de groupe témoin.
Thanikasolam et AL. 2018	<u>n</u> = 15	NRCT	6 mois	Non PRF vs témoin Oui PRF + hydroxyapatite vs témoin	Radio rétro, analyse DICOM Viewer.	- Grosses lésions = PRF - Lésions traversantes = PRF + hydroxyapatite - Petites lésions = témoins
Tiwari et AL. 2020	<u>n</u> = 20	RCT	1 an	Non	CBCT, mesure 3 plus grandes dimensions puis calcul	Uniquement sinus perforé et lésions >5mm
Karan et Aricioglu 2020	<u>n</u> = 40	RCT	1 an	Non	CBCT, Mimics Software Program	- G1 : Apicectomie seule - G2 : MTA seul - G3 : PRF seul - G4 : MTA + PRF
Meschi et AL. 2020	<u>n</u> = 44	RCT	1 an	Non	CBCT	
Dhiman et AL. 2015	<u>n</u> = 30	RCT	1 an	Non		PRF utilisé en membrane, que des cas de LEP avec suppuration.
Angerame et AL. 2015	<u>n</u> = 11	RCT	1 an	Oui sur les 3 premiers mois Non ensuite	Mesure de surface sur radio rétro	

Tableau 2 : Résultats de cicatrisation osseuse des études concernant le PRF.

B. Hydroxyapatite – Comblement osseux synthétique, allogénique ou xénogénique

Les matériaux céramiques sont constitués de matières telles que les oxydes ou les silicates, traitées à des degrés divers par un effet de pression associé à un processus thermique (frittage). Ce sont des solides inorganiques et non métalliques, essentiellement cristallisés.

L'hydroxyapatite appartient à la famille des céramiques de phosphate de calcium, dans laquelle nous avons par exemple les phosphates tricalciques, qui sont eux aussi utilisés dans le milieu biomédical (49).

L'hydroxyapatite peut être purement synthétique, c'est-à-dire qu'elle est synthétisée en laboratoire, mais elle peut aussi être extraite de ressources naturelles, par exemple, d'os bovin, porcin, équin ou encore de coraux et de coquillages. Nous en parlerons dans leur partie respective.

Les hydroxyapatites, de formule chimique $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ sont des structures très importantes en biologie. En effet, elles sont le premier constituant minéral des os, de l'émail et de la dentine.

L'os est constitué à 70% d'une phase minérale, dont une grande majorité d'hydroxyapatite (50). Les 30% restants représentent la matrice organique, composée notamment de collagène, de glycoprotéines et de sialoprotéines.

Les cristaux d'hydroxyapatite ont une forme allongée et aplatie, en quelques sortes de plaques et comptent parmi les plus petits cristaux biologiques connus, mesurant entre 30 et 50 nm de long, 20 à 25 nm de large, et 1,5 à 4 nm d'épaisseur, selon les études.

Dans les premières recherches, des aiguilles d'apatite ont été observées, mais des études plus récentes suggèrent que les plaquettes sont la morphologie dominante et que les apparentes aiguilles sont probablement des plaquettes vues de profil (51).

Leur intérêt réside dans leur structure qui est proche de la phase minérale de l'os humain. En tant que minéraux bioactifs et ostéoconducteurs (52), leur action repose sur la libération d'ions calcium et phosphate à leur surface. Ces ions interagissent avec ceux présents sur le site pour former un précipité d'apatites carbonatées, essentiel à l'apposition directe de l'os (50).

Les propriétés mécaniques de l'hydroxyapatite, mais aussi sa capacité à stimuler l'angiogenèse et l'ostéogénèse, dépendent de plusieurs facteurs tels que la surface spécifique mais aussi la taille des pores, leur distribution et leur volume total.

En effet, un matériau céramique présentant des pores de grande taille, une distribution inhomogène de ceux-ci et une grande surface spécifique aura tendance à présenter une faible résistance mécanique (53). Ainsi, en réduisant la porosité et ses différents paramètres, on peut améliorer la résistance de la céramique (54).

A contrario, le fait d'augmenter la taille des pores et tubules dans le matériau entraîne une néovascularisation significativement plus importante, ainsi qu'un dépôt de fibres de collagène plus élevé. Par ailleurs, des pores plus larges ont montré une régulation à la hausse de BMP 2 et des interleukines 4 et 1, donc une meilleure ostéogénèse.

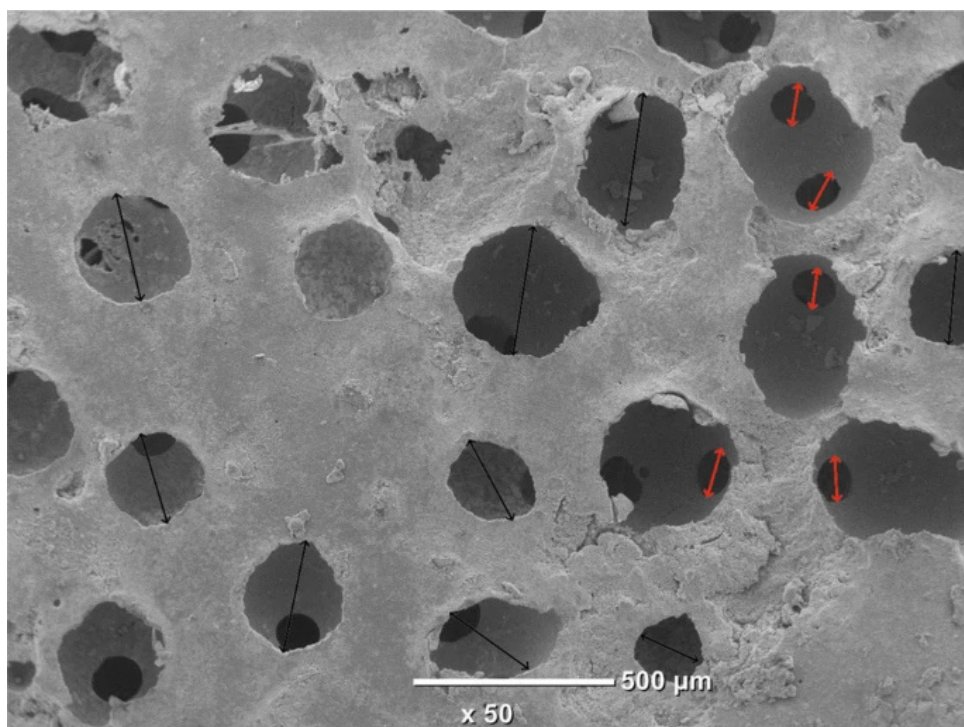


Figure 12 : Illustration de la taille des pores (flèches noires) et interconnexions entre les pores (flèches rouges) dans la structure de l'hydroxyapatite (55).

L'optimisation de ces paramètres est cruciale pour améliorer les performances des biomatériaux dans les applications de régénération osseuse, où une combinaison d'ostéoconductivité et de résistance mécanique est nécessaire.

Cela fait l'objet de recherches depuis de nombreuses années et diverses options sont exploitées pour trouver des solutions (56) :

- Mélange avec d'autres matériaux pour améliorer ses caractéristiques mécaniques et biologiques.
- Amélioration des techniques de fabrication pour mieux contrôler la porosité et la texture et la rendre plus résistante.
- Chargement avec des facteurs de croissance pour stimuler la régénération osseuse.
- Co-culture avec des cellules de régénération osseuse pour stimuler la vascularisation, essentielle à la régénération osseuse.

1. Les différents matériaux de comblement osseux à base d'hydroxyapatite

a) Les matériaux de comblement à base d'hydroxyapatite synthétique

(1) Description

L'hydroxyapatite présente certaines faiblesses, telles qu'une faible résistance à la fracture et une faible rigidité. Les recherches récentes montrent que malgré la similarité des caractéristiques chimiques, il existe encore une différence significative entre les propriétés du tissu osseux naturel et celles de l'hydroxyapatite synthétique (57).

Cependant, les limites des autogreffes et des allogreffes ont poussé à la création de solutions alternatives pour les greffes osseuses. Leur utilisation clinique généralisée a été limitée en raison de plusieurs problèmes importants, tels que la morbidité du site donneur et la disponibilité restreinte.

Les matériaux de comblement osseux à base d'hydroxyapatite synthétique se présentent sous forme de granules de différents diamètres. Le conditionnement peut être des boîtes comme montré dans la figure 15, ou encore en seringue sous forme liquide ou gélatineuse.



Figure 13 : Matériau de comblement osseux à base d'hydroxyapatite synthétique sous forme de granules.

(2) Synthèse de l'hydroxyapatite

Il existe différentes techniques pour synthétiser l'hydroxyapatite (52) : la précipitation, l'hydrolyse, la méthode sol-gel, les techniques assistées par micro-ondes, la méthode du sel fondu et la synthèse hydrothermale.

Les conditions de synthèse, telles que les concentrations en précurseurs, le pH, la température et le temps de maturation, varient selon les besoins pour obtenir le produit final souhaité (58).

(3) Résultats d'étude

(a) Étude de S.I. Tobón et Al. (59)

Cette étude a pour objectif de démontrer l'efficacité de deux matériaux pour la régénération osseuse lors de la chirurgie apicale et leurs effets sur la guérison des tissus périapicaux. Il s'agit des membranes GoreTex non résorbables ainsi que d'OsteoGen, un matériau de comblement osseux synthétique à base d'hydroxyapatite.

30 sites chirurgicaux (28 patients) ont été sélectionnés et répartis en trois groupes. Groupe A : pas de membrane ni matériau de comblement ; Groupe B : membrane ; Groupe C : membrane et comblement osseux. Des évaluations cliniques et radiologiques ont été réalisées immédiatement avant la chirurgie, une semaine après, puis tous les trois mois jusqu'à 12 mois. Deux évaluations histologiques ont été effectuées (au début et à 12 mois).

- Groupe A : guérison radiographique complète observée dans 4 des 9 cas, incomplète dans 4 cas et 1 cas a échoué, avec des preuves de granulome dans 4 des 8 cas, de tissu cicatriciel dans 2 cas et d'os trabéculaire dans 2 cas.
- Groupe B : guérison radiographique complète pour 6 des 9 cas, une guérison incomplète dans 1 cas et incertaine dans 2 cas, avec des preuves histologiques d'os trabéculaire dans 5 des 8 cas, de tissu cicatriciel dans 1 cas et de granulome dans 2 cas.
- Groupe C : guérison clinique et radiographique complète pour les 8 cas du groupe C, avec des preuves histologiques d'os trabéculaire dans tous les cas.

La conclusion indique que la technique classique sans membrane ni comblement osseux présentait une réponse de guérison moins prévisible au cours des 12 mois de cette étude. En revanche, l'utilisation de ces matériaux de régénération osseuse (OsteoGen + membrane GoreTex) a permis d'améliorer la prévisibilité de la guérison clinique, radiographique et histologique.

Cette étude n'analyse pas OsteoGen seul mais l'utilise toujours avec une membrane en GoreTex. Il est donc difficile d'établir un lien entre la réussite du traitement et OsteoGen seul. Pour autant, la membrane utilisée seule n'apportait pas d'amélioration significative de la cicatrisation contrairement à la combinaison OsteoGen + membrane.

Résumé des résultats de l'étude de S.I. Tobón et Al. (59)	
Généralités	- Étude prospective - Éléments étudiés : membrane GoreTex non résorbable et OsteoGen
Patients inclus	N = 30 (28 patients)
Groupe(s)	Groupe A : témoin Groupe B : membrane Groupe C : membrane + comblement
Durée de l'étude	1 an. - Analyses histologiques au début et à 12 mois - Analyses cliniques et radiologiques avant la chirurgie puis J7, 3m, 6m, 9m, 1 an.
Résultats	<u>Groupe A :</u> - Clinique / radio : Guérison 4/9, incomplet 4/9, échec 1/9 - Histo : Granulome 4/8, tissu cicatriciel 2/8, os trabéculaire 2/8 <u>Groupe B :</u> - Clinique / radio : guérison 6/9, incomplet 1/9, incertain 2/9 - Histo : granulome 2/8, os trabéculaire 5/8, tissu cicatriciel 1/8 <u>Groupe C :</u> - Clinique / radio : guérison 8/8 - Histo : os trabéculaire 8/8
Différence significative	Résultats significativement plus prédictibles en combinant membrane GoreTex et comblement OsteoGen par rapport au groupe témoin

Tableau 3 : Résumé des résultats de l'étude de S.I. Tobón et Al.

(b) Autres études

Il y a très peu d'études sur les matériaux à base d'hydroxyapatite d'origine synthétique dans le cas précis des chirurgies apicales. Une étude de RA. Canuto et Al. (60) étudie de l'hydroxyapatite en seringue (Ostim®) dans des alvéoles après extraction et analyse l'expression des facteurs de croissance.

Il semblerait que Ostim® favorise un environnement anti-inflammatoire propice à la cicatrisation et stimule l'angiogenèse via l'expression augmentée de VEGF. Ce mécanisme favorise donc la cicatrisation.

b) Les matériaux de comblement à base d'hydroxyapatite d'origine xénogénique

Une xéno greffe est une greffe dans laquelle le donneur et le receveur ne sont pas de la même espèce. Dans notre cas, il ne s'agit pas d'un organe entier mais d'un biomatériau, de provenance animale.

La majorité de l'hydroxyapatite xénogénique est extraite des os des bovins, mais peut aussi être prélevée sur les porcs, les chevaux ou encore les coraux. Les fragments d'os sont ensuite déprotéinés par traitement thermique afin d'éliminer toute matière organique et ainsi protéger le receveur d'éventuelles maladies et problèmes de compatibilité.

Les propriétés que leur confère leur structure respective sont analysées afin d'optimiser leur utilisation. Les xéno greffes sont étudiées pour les mêmes raisons que les greffes de matériau synthétique, c'est-à-dire pour éviter les problèmes liés à la morbidité du site donneur et la disponibilité limitée.

Les matériaux issus de sources naturelles peuvent présenter des avantages considérables en termes de quantité de ressources mais aussi au niveau de leurs propriétés mécaniques et leur architecture poreuse. De plus, leur structure naturelle en fait des supports particulièrement adaptés pour transporter et libérer de manière ciblée des facteurs de croissance ou des médicaments.

○ Description hydroxyapatite d'origine corallienne

Ce biomatériau présente une porosité très similaire à celle de l'os humain. Les excellentes interconnexions entre ces porosités permettent de maximiser la formation d'une nouvelle circulation sanguine. Il possède aussi des bonnes propriétés mécaniques et ostéoconductrices et est biorésorbable.

Également, la présence de carbonate de calcium dans l'exosquelette du corail entraîne sa dissolution trop précoce pendant le processus de cicatrisation, ce qui empêche la formation d'os et limite donc son utilisation clinique (61).

- Description hydroxyapatite d'origine bovine

Parmi les hydroxyapatites d'origine xénogéniques, la bovine est sans doute la plus utilisée dans les techniques de régénération osseuses. En effet, sa dissolution plus lente permet de laisser le temps nécessaire au corps pour la formation du nouvel os. Il permet ainsi, dans le cas de greffes de volume plus importants, d'apporter un meilleur soutien aux tissus environnants, pendant une période plus longue.

- (1) Substitut osseux à base d'hydroxyapatite extraite de corail : résultats d'études

Très rares sont les études qui apparaissent dans la littérature concernant l'utilisation d'hydroxyapatite d'origine corallienne dans le cas précis des comblement osseux après chirurgie apicale. Mais nous pouvons tout de même citer deux études, qui peuvent nous donner des pistes de réflexion.

La première, de Yang et Al. (62), analyse cliniquement, histologiquement et radiologiquement les effets d'un comblement alvéolaire après extraction avec un matériau à base d'hydroxyapatite corallienne. 30 patients ont été sélectionnés et répartis aléatoirement. Ces résultats suggèrent que l'utilisation d'hydroxyapatite corallienne est utile pour conserver le volume osseux mais qu'il reste des résidus du biomatériaux à 3-4 mois et que l'os est de moins bonne qualité.

La deuxième, de Bing Du et Al. (63), analyse l'efficacité de l'hydroxyapatite en blocs de corail imprégnés d'un facteur de croissance, le VEGF, comparé aux mêmes blocs mais sans facteurs de croissance. Les analyses ont révélé que les blocs poreux de VEGF/HA/corail ont encouragé la formation de nouveaux vaisseaux sanguins dans les premiers stades de la cicatrisation osseuse, mais n'ont pas montré de progrès significatifs en termes de formation osseuse.

Par ailleurs, les blocs d'hydroxyapatite de corail peuvent être avantageux pour maintenir l'espace et reconstruire le volume osseux. Cependant, la formation osseuse avec ces blocs présente une capacité ostéogénique inférieure à celle des particules. Actuellement, les blocs autogènes et les particules xénogènes sont plus utilisés que les blocs xénogènes dans la restauration des défauts alvéolaires de grande taille. Par conséquent, l'ostéogénèse des greffes de blocs reste un problème clé pour les dentistes.

(2) Substitut osseux à base d'hydroxyapatite extraite d'os bovin : résultats d'étude

(a) Étude de S. Taschieri et Al. (64)

Cette étude analyse la cicatrisation des grandes lésions apicales (>10 mm), après réalisation d'une chirurgie apicale avec obturation canalaire rétrograde. Une technique de régénération tissulaire guidée (RTG) ainsi qu'un comblement osseux à base d'hydroxyapatite d'origine bovine (Bio-Oss) sont utilisés sur l'un des deux groupes de l'étude tandis que l'autre est un groupe témoin pour lequel seule l'obturation canalaire est réalisée et ni comblement osseux ni membrane ne sont utilisés.

Du Bio-Oss est étudié en matériau de comblement et des membranes de collagène résorbable sont mises en place sur le défaut osseux du groupe test.

59 dents (39 maxillaires et 20 mandibulaires) sont incluses dans cette étude et des réévaluations par radiographies retroalvéolaires orthocentrées sont effectuées à 3, 6 et 12 mois post-opératoire. La cicatrisation osseuse est évaluée seulement à 12 mois et non avant car le Bio-Oss est radio-opaque et le modèle de résorption et de remplacement progressif par du nouvel os, selon différentes conditions cliniques, reste un sujet de controverse.

Sur les dents évaluées après un an, 21 cas concernaient des lésions traversantes. À un an de suivi, 46 dents (78%) ont guéri avec succès, 10 ont montré une guérison incertaine, et 3 ont été classées comme des échecs de traitement. Les cas classés comme guérison incertaine ont été programmés pour un suivi supplémentaire trois ans plus tard.

Les chercheurs n'ont pas trouvé de différence qui soit statistiquement significative dans les résultats entre les patients traités avec GTR (succès de 83,3 %) et ceux sans utilisation de GTR (succès de 74,3 %) ($P = 0,09$). Aucune différence n'a non plus été notée selon la localisation de la dent ($P = 0,07$).

En revanche, les résultats des défauts à quatre parois (cas avec ou sans GTR) étaient significativement meilleurs que ceux des lésions traversantes ($P = 0,03$).

Mais cette étude ne compare pas, dans le cas de lésions traversantes, le groupe témoin avec le groupe traité par GTR, ce qui aurait pu être une donnée intéressante.

Résumé des résultats de l'étude de S. Taschieri et Al. (64)	
Généralités	- Étude prospective - Uniquement des grandes lésions (>10mm)
Patients inclus	- N = 59 ; 39 dents maxillaires et 20 mandibulaires - 21 lésions traversantes et 38 lésions à 4 parois
Groupes	- Groupe témoin (uniquement apicectomie et obturation rétrograde) - Groupe test, traité par Bio-Oss et membrane de collagène résorbable
Durée de l'étude	- 1 an. - Évaluation à 3, 6 et 12 mois. - Cicatrisation radiologique analysée seulement à 12 mois.
Méthode d'analyse	Radiographie rétroalvéolaires orthocentrée
Différence significative	- 46 succès (78%), 10 guérisons incertaines (16,9%), 3 échecs (5%) - GTR = 83,3% succès. Sans GTR = 74,3% succès. - Pas de différence significative (p=0,09)
Autres informations	Différence significative des résultats entre les lésions à 4 parois et les lésions traversantes.

Tableau 4 : Résumé des résultats de l'étude de S. Taschieri et Al.

(b) Deuxième étude de S. Taschieri et Al. (65)

C'est une étude prospective. Son but était d'évaluer les résultats de la chirurgie périapicale avec ou sans régénération tissulaire guidée (RTG) pour le traitement des lésions traversantes. 34 dents ont été incluses dans l'étude.

Dans le groupe test utilisant la RTG, après obturation à retro du système canalaire, les défauts osseux ont été comblés avec de l'os bovin inorganique (Bio-Oss) et recouverts d'une membrane de collagène résorbable. La guérison a été évaluée selon des critères spécifiques et classée comme réussie, douteuse ou échouée.

Dans le groupe témoin, ni greffe ni membrane n'ont été utilisés. Après un an, 31 dents ont été évaluées : 22 (71 %) ont guéri avec succès, 6 (19 %) ont montré une guérison douteuse, et 2 ont été enregistrées comme des échecs. Les résultats des défauts traités avec la RTG (88 % de succès) étaient significativement meilleurs que ceux du groupe témoin (57 % de succès).

Cette étude montre que l'utilisation de la RTG associée au Bio-Oss dans le traitement des lésions traversantes peut positivement influencer le processus de guérison. Cependant, il est difficile de tirer des conclusions sur l'efficacité de l'os bovin inorganique seul sur la cicatrisation osseuse après une chirurgie apicale, car cette étude l'utilise toujours avec une membrane de collagène résorbable. Il nous est alors impossible d'imputer la réussite de cicatrisation à l'un ou l'autre des éléments testés.

Résumé des résultats de la 2 ^{ème} étude de S. Taschieri et Al. (65)	
Généralités	- Étude prospective - Uniquement des lésions traversantes
Patients inclus	N = 34 dents incluses
Groupe	- <u>Groupe témoin</u> : uniquement apicectomie + obturation retro - <u>Groupe test</u> : apicectomie + obturation retro + RTG (Bio-Oss + membrane collagène résorbable)
Durée de l'étude	1 an
Résultats	Sur les 31 dents évaluées : - 22 (71 %) succès ; 6 (19 %) guérison douteuse ; 2 échecs - Groupe test : 84% de succès - Groupe témoin : 54% de succès.
Différence significatives	Résultat significativement plus prédictif avec la RTG utilisant Bio-Oss + membrane collagène par rapport au groupe témoin.

Tableau 5 : Résumé des résultats de la 2^{ème} étude de S. Taschieri et Al.

(c) Étude de M. Dominiak et Al. (66)

Cette étude analyse les différences cliniques et radiologiques de la cicatrisation d'une lésion apicale après une chirurgie endodontique entre le groupe témoin et 3 groupes d'étude, à 6 et 12 mois postopératoire.

106 patients en bonne santé ont été inclus dans l'étude. Toutes les dents sont classées Ia dans la classification de Von Arx (pas de lésion traversantes) et n'ont pas de poches parodontales supérieures à 4mm. Les dimensions moyennes des défauts périapicaux étaient : largeur de 8,38 mm, hauteur de 9 mm et profondeur de 8,40 mm.

Les obturations orthogrades sont effectuées par condensation latérale à froid de Gutta-Percha et les obturations rétrogrades avec du CVI.

Le groupe 1 (BG) (N=26) ne recevra pas de comblement osseux mais uniquement une membrane de collagène résorbable Bio-Gide ; le groupe 2 (BOC) (N=30) recevra un comblement osseux avec du Bio-Oss xénogénique ; le groupe 3 (BOC/PRP) (N=25) recevra un comblement osseux avec ce même Bio-Oss en combinaison avec du PRP ; le groupe 4 (témoin) (N=25) recevra uniquement les obturations endodontiques orthogrades et rétrogrades

L'évaluation radiologique se fait par radiographie retro-alvéolaire orthocentrée ainsi que par une analyse densitométrique, comparant la densité du nouvel os formé à la densité de l'os normal adjacent. Elle est réalisée par plusieurs évaluateurs dans des pièces différentes avant une mise en commun des résultats. Les résultats radiologiques sont rangés en 2 catégories : succès (N = os normal) ou échec (PA = parodontite apicale).

L'évaluation clinique des symptômes subjectifs et douleurs spontanées comprend un interrogatoire et des tests de percussion et palpation apicale. Le résultat est binaire : présence ou absence.

En combinant ces deux catégories, les patients sont rangés dans 3 catégories représentant le résultat final : S (success) = os normal et pas de symptômes cliniques ; D (doubt) = échec clinique ou radiologique ; F (failure) = échec clinique et radiologique. Les patients du groupe S sont considérés guéris (H) et ceux des groupes D et F comme non guéris (N).

A 6 mois, l'analyse des indices radiologiques de cicatrisation n'a pas révélé de différences statistiquement significatives entre les méthodes de traitement évaluées. Cependant, une analyse prenant en compte les indices cliniques et radiologiques (S/D/F et H/N) a révélé des différences statistiquement significatives entre les résultats de cicatrisation pour les défauts du groupe témoin par rapport à tous les groupes d'étude.

En revanche, aucune différence statistiquement significative n'a été observée entre les groupes ayant utilisé des méthodes de régénération.

A 12 mois, une différence significative est observée seulement pour le groupe BOC/PRP par rapport au groupe témoin.

Résumé des résultats de l'étude de M. Dominiak et Al. (66)	
Généralités	- Uniquement des dents classe 1a de Von Arx - Poches parodontales < 4mm - Obturations orthogrades par condensation latérale à froid de GP - Obturations rétrogrades CVI - Volume moyen des défauts osseux : 634 mm³ (8,38 x 9 x 8,4 mm)
Patients inclus	N = 106 (sans pathologies)
Groupes	Groupe 1 (N = 26) : membrane collagène Bio-Gide Groupe 2 (N = 30) : Bio-Oss Groupe 3 (N = 25) : Bio-Oss + PRP Groupe 4 (N = 25) : témoin (traitement endodontique sans régénération)
Durée de l'étude	1 an. Analyse à 6 et 12 mois.
Méthode d'analyse	- <u>Radiologique</u> : Rétro-alvéolaire orthocentrée et analyse densitométrique - <u>Clinique</u> : interrogatoire et tests de percussion et palpation apicale
Résultats	<u>A 6 mois</u> : - Indice radio : différence non significative - Indice clinique + radio : différence significative entre groupe témoin et les 3 autres groupes. <u>A 12 mois</u> : - Différence significative seulement pour le groupe 3 (BO + PRP) par rapport au groupe témoin.

Tableau 6 : Résumé des résultats de l'étude de M. Dominiak et Al.

(d) Autre étude à propos du Bio-Oss

Une autre étude (essai clinique randomisé) réalisée en 2024 et incluant 56 patients, analyse l'effet de la combinaison de différents matériaux bioactifs de remplissage radiculaire (MTA et TotalFill) avec une greffe osseuse composite (xénogénique mélangée à des fragments d'os autogène) sur le processus de guérison des tissus péri-apicaux après une microchirurgie endodontique.

Il semble difficile d'obtenir des résultats sur le Bio-Oss utilisé ici car il n'est jamais utilisé seul mais est associé avec de l'os autologue. Il n'en reste pas moins vrai que cette étude ne met pas en évidence de différence significative dans le taux de succès de la chirurgie endodontique entre le groupe témoin (uniquement l'obturation à rétro) et le groupe ayant reçu le comblement osseux.

c) Les matériaux de comblement à base d'hydroxyapatite d'origine allogénique

(1) Description

Une allogreffe est une greffe pour laquelle le donneur et le receveur sont de la même espèce. Cela nécessite donc soit de récupérer des fragments d'os sur des cadavres, soit de les prélever sur des donneurs vivants.

Les fragments prélevés sont déprotéinés par traitement thermique, de la même manière que les échantillons xénogéniques, afin de supprimer toute matière organique et ainsi éviter tout risque d'incompatibilité et donc de rejet. Les échantillons sont conservés dans des banques avec une traçabilité stricte.

(2) Résultats d'études

Les études sur les matériaux de comblement allogéniques à base d'hydroxyapatites dans le cas de chirurgies apicales sont introuvables en ligne. Il semble que la communauté scientifique ne se soit pas penchée sur la question. En effet, les comblements osseux étant très peu pratiqués après les chirurgies endodontiques, les matériaux étudiés sont donc les plus utilisés, par exemple le Bio-Oss.

2. Avantages et inconvénients des matériaux à base d'hydroxyapatite

a) Avantages

- Les matériaux à base d'hydroxyapatite sont plus faciles à mettre en place par rapport au PRF ou aux greffes d'os autologue. En effet, ils évitent le temps lié à la prise de sang ou le prélèvement osseux.
- La résorption est plus lente donc le soutien des structures environnantes dure plus longtemps.

b) Inconvénients

- Résistance mécanique médiocre s'il est utilisé sans membrane
- Onéreux par rapport au PRF ou à une greffe d'os autologue
- Pas de bioactivité contrairement au PRF et ses facteurs de croissance

3. Intérêt de l'hydroxyapatite dans la chirurgie endodontique

L'intérêt de l'utilisation des biomatériaux à base d'hydroxyapatite dans les chirurgies apicales semble limité. En effet, dans le cas des lésions osseuses apicales simples (4 parois) qui n'ont pas particulièrement une grande étendue, les bénéfices apportés ne sont pas significatifs dans la plupart des études.

Cependant, dans le cas des lésions traversantes, il semblerait qu'il y ait un avantage à utiliser ces matériaux conjointement à une membrane.

Étude	Généralités	Matériaux	Groupes d'étude	Autres informations	Différences significatives
Sl. Tobón et AL. (59)	N = 30 Durée : 1 an Prospective	-OsteoGen -Membrane non résorbable GoreTex	Groupe A : témoin Groupe B : membrane Groupe C : membrane + OsteoGen	Évaluation histologique : vérification de la présence d'os trabéculaire.	Oui , entre groupe A et C
S. Taschieri et AL. (64)	N = 59 Durée : 1 an Prospective	-BioOss + membrane collagène résorbable	Groupe 1 : témoin Groupe 2 : Bio-Oss + membrane	Dents maxillaires (39) Dents mandibulaires (20) Lésions à 4 parois (38) Lésions transversantes (21)	Non , pas entre groupes 1 et 2. Oui , entre lésions transversantes et lésions à 4 parois
S. Taschieri et AL. (65)	N = 34 Durée : 1 an Prospective	-BioOss + membrane collagène résorbable	Groupe 1 : témoin Groupe 2 : BioOss + membrane	Uniquement des lésions transversantes	Oui . Pourcentage de succès : -Groupe 1 = 54% -Groupe 2 = 84%
M. Dominiak et AL. (66)	N = 106 Durée : 1 an Prospective	-Membrane collagène résorbable BioGide -Bio-Oss -PRP	Groupe 1 : membrane collagène Groupe 2 : Bio-Oss Groupe 3 : Bio-Oss + PRP Groupe 4 : témoin	Uniquement des dents : -Dents classe 1a de Von Arx -Poches paro < 4mm -Obturation rétro avec CVI	<u>6 mois</u> : oui , tous les groupes <u>1 an</u> : oui , seulement pour le groupe 3

Tableau 7 : Récapitulatif des études concernant les matériaux à base d'hydroxyapatite.

IV. Discussion

La réalisation de ce travail de thèse sur les comblements osseux dans le cadre des chirurgies apicales soulève plusieurs questions et met en lumière certaines limites à considérer dans l'interprétation des résultats.

Tout d'abord, il convient de noter que la plupart des études ne précisent pas clairement l'utilisation d'une obturation à rétro dans leur protocole (39–43,46,47,59,66). Ceux qui le font utilisent majoritairement le MTA (25,38,44,48). Cette absence de précision rend la comparaison des résultats plus complexe et pourrait influencer les conclusions sur l'efficacité du comblement osseux.

En ce qui concerne l'utilisation du PRF (Plasma Riche en Fibrine), la diversité des types disponibles complique les comparaisons inter-études. Le type exact de PRF utilisé n'est pas toujours mentionné (25,38–41,44,45,48), ce qui limite la reproductibilité et la généralisation des résultats.

Malgré tout, les résultats des études sur le PRF nous montrent globalement un confort de vie amélioré pour les patients sur la première semaine post-opératoire, autant par rapport au groupe témoin (38,39,41) que par rapport aux matériaux de comblement à base d'hydroxyapatite (40).

Par ailleurs, certaines études associent l'usage de membranes aux matériaux de comblement (47,59,64,65) notamment le Bio-Oss (64,65), ce qui rend difficile l'évaluation de l'efficacité du matériau seul. La contribution spécifique de la membrane au processus de cicatrisation reste ainsi incertaine dans ces mêmes cas où les deux sont utilisés conjointement.

L'emploi de matériaux à base d'hydroxyapatite nécessite également une interprétation prudente des résultats radiographiques à court et moyen terme. Leur opacité radiologique peut masquer l'évolution réelle du processus de régénération osseuse, et leur modèle de résorption progressif reste sujet à controverse (64).

Malgré leur faible résistance mécanique, ces matériaux semblent adaptés aux chirurgies endodontiques où les défauts osseux présentent souvent 4 à 5 parois. En cas de besoin de soutien supplémentaire, l'ajout d'une membrane apporte de la rigidité et semble prometteur pour améliorer la cicatrisation osseuse, notamment dans le cas de lésions traversantes (65).

En effet, l'association de Bio-Oss et d'une membrane semble bénéfique dans les cas de lésions traversantes (65), bien qu'il soit difficile de déterminer l'impact du Bio-Oss seul dans de telles situations.

Les matériaux xénogéniques d'origine bovine offrent un meilleur soutien des structures environnantes sur une période prolongée, favorisant ainsi la régénération de volumes osseux plus importants. D'autre part, les matériaux extraits des coraux laissent parfois des résidus indésirables (62).

Enfin, de nombreuses variables influencent le pronostic du traitement chirurgical, notamment les procédures opératoires, les matériaux utilisés, les évaluations cliniques et radiographiques, l'état de santé général des patients, le type de dent traité, ainsi que la qualité des traitements endodontiques et des restaurations coronaires précédentes. De plus, l'absence de critères standardisés de réussite et d'échec rend les comparaisons entre études plus complexes.

Enfin, il reste à déterminer si une cicatrisation osseuse plus rapide offre un réel avantage clinique. Si les symptômes disparaissent généralement en quelques jours, l'intérêt d'une régénération accélérée pourrait être limité. L'exemple de l'étude de M. Dominiak et Al. (66) illustre ce point : une différence significative de cicatrisation osseuse a été observée à six mois entre le Bio-Oss et le groupe témoin, mais cette différence s'est estompée à douze mois.

De même, bien que quatre études menées entre 2012 et 2020 aient montré que le PRF améliore le confort de vie post-opératoire (38–41), une seule a rapporté une différence significative de cicatrisation osseuse (40). Compte tenu des coûts et des contraintes liées à l'utilisation du PRF, son intégration systématique dans le protocole chirurgical mérite d'être discutée.

Nous pouvons proposer ce tableau, qui indique la pertinence de chacun des matériaux étudiés pour différents critères. La douleur correspond au confort post-opératoire dans les jours qui suivent l'opération. L'intégration prend en compte la résorption du matériau, et s'il laisse des résidus sur le long terme. Et enfin, la colonne cicatrisation sert à indiquer si le matériau est pertinent pour améliorer ou accélérer la cicatrisation.

	Douleur	Intégration	Cicatrisation
PRF	+++	+++	+
Xénogénique	+	+	++
Synthétique	-	-	-
PRF + xénogénique	+++	+	++

Tableau 8 : Pertinence de chacun des matériaux étudiés pour différents critères.

V. Conclusion

En conclusion, le comblement osseux semble ne pas influencer significativement le succès du traitement endodontique. Il pourrait tout de même avoir plusieurs autres utilités.

La première concerne le PRF qui, utilisé en comblement alvéolaire après une chirurgie endodontique améliorerait le confort post-opératoire du patient (38–41). Plusieurs questions se posent : doit-on systématiser la mise en place de PRF dans l'alvéole pour optimiser le confort post-opératoire ? Le rapport coûts/bénéfices est-il favorable, autant pour le patient que pour le praticien ? Serait-il possible par exemple de cibler nos patients les plus sensibles à la douleur, par exemple les enfants et les personnes âgées ?

Deuxièmement, les matériaux à base d'hydroxyapatite et notamment le Bio-Oss (65) permettent d'augmenter la rapidité de régénération de l'os. La question qui subsiste est alors : quel intérêt y-a-t-il à accélérer la néoformation d'os si cliniquement, rien ne change en cas de cicatrisation plus lente ? Est-ce que le peu de bénéfices d'une telle mise en place contrebalancent les coûts ?

Ces hypothèses méritent toutefois d'être davantage explorées à travers des études cliniques à plus haut niveau de preuve scientifique, réalisées à plus grande échelle, avec des critères de réussite et d'échec communs à plusieurs centres d'étude afin de permettre une mise en commun des résultats et ainsi augmenter la puissance de l'étude.

VI. Bibliographie

1. Khayat B, Jouanny G. La chirurgie endodontique tout simplement. Edition l'information dentaire ; 2015. 198p. id; 198 p.
2. Simon S, Machtou P, Pertot W-J. Endodontie. Edition CdP ; 2012. 508p.
3. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. Oral Surg Oral Med Oral Pathol. 1984 Nov;58(5):589-99. doi: 10.1016/0030-4220(84)90085-9. PMID: 6595621.
4. Peters O. Current Challenges and Concepts in the Preparation of Root Canal Systems: A Review. J Endod. août 2004;30(8):559-67.
5. Tang Y, Li X, Yin S. Outcomes of MTA as root-end filling in endodontic surgery: a systematic review. Quintessence Int Berl Ger 1985. 2010;41(7):557-66.
6. Salah HM, Hashem AAR, Mustafa T, Soliman AH, Khallaf M, Haddadeen H. The impact of root end filling material type and the application of bone graft on healing of periapical tissues after endodontic microsurgery (a clinical randomized controlled trial). Sci Rep. 25 oct 2024;14(1):25378.
7. Pinto D, Marques A, Pereira JF, Palma PJ, Santos JM. Long-Term Prognosis of Endodontic Microsurgery—A Systematic Review and Meta-Analysis. Medicina (Mex). 3 sept 2020;56(9):447.
8. Gillen BM, Looney SW, Gu LS, Loushine BA, Weller RN, Loushine RJ, et al. Impact of the Quality of Coronal Restoration versus the Quality of Root Canal Fillings on Success of Root Canal Treatment: A Systematic Review and Meta-analysis. J Endod. juill 2011;37(7):895-902.
9. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. Oral Surg Oral Med Oral Pathol. nov 1984;58(5):589-99.
10. Nair PNR. On the causes of persistent apical periodontitis: a review. Int Endod J. avr 2006;39(4):249-81.
11. Leonardo M, Rossi M, Silva L, Ito I, Bonifacio K. EM Evaluation of Bacterial Biofilm and Microorganisms on the Apical External Root Surface of Human Teeth. J Endod. déc 2002;28(12):815-8.
12. Ramachandran Nair PN, Pajarola G, Schroeder HE. Types and incidence of human periapical lesions obtained with extracted teeth. Oral Surg Oral Med Oral Radiol Endodontology. janv 1996;81(1):93-102.
13. Kim D, Kim S, Song M, Kang DR, Kohli MR, Kim E. Outcome of Endodontic Microsurgery: A Retrospective Study Based on Propensity Score-matched Survival Analysis. J Endod. nov 2018;44(11):1632-40.
14. Alani A, Bishop K. Dens invaginatus. Part 1: classification, prevalence and aetiology. Int Endod J. déc 2008;41(12):1123-36.
15. Wikström A, Brundin M, Lopes MF, El Sayed M, Tsilingaridis G. What is the best long-term treatment modality for immature permanent teeth with pulp necrosis and apical periodontitis? Eur Arch Paediatr Dent. 1 juin 2021;22(3):311-40.
16. Haute Autorité de Santé - Prise en charge bucco-dentaire des patients à haut risque d'endocardite infectieuse. 2024 [Internet]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/jcms/p_3301328/fr/prise-en-charge-bucco-dentaire-des-patients-a-haut-risque-d-endocardite-infectieuse
17. Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de santé. Prescription des antibiotiques en pratique bucco-dentaire. Recommandations de bonne pratique. 2021 [Internet]. Disponible sur: <https://ansm.sante.fr/uploads/2021/02/04/reco-prescription-des-antibiotiques-en-pratique-buccodentaire-septembre2011.pdf>
18. Penny RE, Kraal JH. Crown-to-root ratio: Its significance in restorative dentistry. J Prosthet Dent. juill 1979;42(1):34-8.

19. Grossmann Y, Sadan A. The prosthodontic concept of crown-to-root ratio: A review of the literature. *J Prosthet Dent.* juin 2005;93(6):559-62.
20. Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale. L'ingénierie au secours du corps humain. 2017 [Internet]. Disponible sur: <https://www.inserm.fr/dossier/biomateriaux/>
21. Haute Autorité de Santé. Substituts osseux. Révision de catégories homogènes de dispositifs médicaux. 2013 [Internet]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/rapport_devaluation_des_substituts_osseux.pdf
22. Information Dentaire - Quelle place pour le PRF en chirurgie orale, 2023. 20 sept 2023;p.10-12.
23. Sinha A, Jain AK, Rao RD, Sivasailam S, Jain R. Effect of platelet-rich fibrin on periapical healing and resolution of clinical symptoms in patients following periapical surgery: A systematic review and meta-analysis. *J Conserv Dent Endod.* 2023;26(4):366-76.
24. Di Lauro AE, Valletta A, Aliberti A, Cangiano M, Dolce P, Sammartino G, et al. The Effectiveness of Autologous Platelet Concentrates in the Clinical and Radiographic Healing after Endodontic Surgery: A Systematic Review. *Materials.* 16 nov 2023;16(22):7187.
25. Karan NB, Aricioğlu B. Assessment of bone healing after mineral trioxide aggregate and platelet-rich fibrin application in periapical lesions using cone-beam computed tomographic imaging. *Clin Oral Investig.* févr 2020;24(2):1065-72.
26. Rakotoarison RA, Rakotoarivony AE, Rakotoarisoa AHN, Razakatiana A, Rakoto Alson S, Rakoto Alson OA. Le PRF en implantologie dentaire : une technique prometteuse à Madagascar ? *Médecine Buccale Chir Buccale.* juill 2013;19(3):161-6.
27. Miron RJ, Fujioka-Kobayashi M, Hernandez M, Kandalam U, Zhang Y, Ghanaati S, et al. Injectable platelet rich fibrin (i-PRF): opportunities in regenerative dentistry? *Clin Oral Investig.* nov 2017;21(8):2619-27.
28. Pavlovic V, Ciric M, Jovanovic V, Trandafilovic M, Stojanovic P. Platelet-rich fibrin: Basics of biological actions and protocol modifications. *Open Med.* 22 mars 2021;16(1):446-54.
29. Massagué J, Sheppard D. TGF- β signaling in health and disease. *Cell.* sept 2023;186(19):4007-37.
30. Li X, Yao J, Wu J, Du X, Jing W, Liu L. Roles of PRF and IGF-1 in promoting alveolar osteoblast growth and proliferation and molecular mechanism. *Int J Clin Exp Pathol.* 2018;11(7):3294-301.
31. Dohan Ehrenfest DM, Rasmusson L, Albrektsson T. Classification of platelet concentrates: from pure platelet-rich plasma (P-PRP) to leucocyte- and platelet-rich fibrin (L-PRF). *Trends Biotechnol.* mars 2009;27(3):158-67.
32. Fujioka-Kobayashi M, Miron RJ, Hernandez M, Kandalam U, Zhang Y, Choukroun J. Optimized Platelet-Rich Fibrin With the Low-Speed Concept: Growth Factor Release, Biocompatibility, and Cellular Response. *J Periodontol.* janv 2017;88(1):112-21.
33. Ghanaati S, Booms P, Orlowska A, Kubesch A, Lorenz J, Rutkowski J, et al. Advanced Platelet-Rich Fibrin: A New Concept for Cell-Based Tissue Engineering by Means of Inflammatory Cells. *J Oral Implantol.* 1 déc 2014;40(6):679-89.
34. Hadziabdic N. PRF and Sticky Bone as Regenerative Materials in Oral Surgery. In: İşik Aslan B, Şibar S, éditeurs. *Craniofacial Surgery - Recent Advances, New Perspectives and Applications* [Internet]. IntechOpen; 2023 [cité 21 sept 2024]. Disponible sur: <https://www.intechopen.com/chapters/84935>
35. Miron RJ, Gruber R, Farshidfar N, Sculean A, Zhang Y. Ten years of injectable platelet-rich fibrin. *Periodontol 2000.* févr 2024;94(1):92-113.
36. Dohan S, Choukroun J, Dohan A, Donsimoni J., Gabrieleff D, Fioretti F, et al. Platelet Rich Fibrin (PRF): un nouveau biomatériau de cicatrisation. *Implantodontie.* avr 2004;13(2):87-97.

37. Miron RJ, Fujioka-Kobayashi M, Bishara M, Zhang Y, Hernandez M, Choukroun J. Platelet-Rich Fibrin and Soft Tissue Wound Healing: A Systematic Review. *Tissue Eng Part B Rev.* févr 2017;23(1):83-99.
38. 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.* juin 2012;38(6):733-9.
39. Taschieri S, Corbella S, Tsesis I, Del Fabbro M. Impact of the use of plasma rich in growth factors (PRGF) on the quality of life of patients treated with endodontic surgery when a perforation of sinus membrane occurred: A comparative study. *Oral Maxillofac Surg.* mars 2014;18(1):43-52.
40. Singh R, Ismail PMS, Kambli V, Kumar R, Singh KD, Kochhar AS, et al. Evaluation of Hydroxyapatite Granules, CERAMENT™, and Platelet-rich Fibrin in the Management of Endodontic Apical Surgery. *J Contemp Dent Pract.* 1 mai 2020;21(5):554-7.
41. 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.* nov 2015;29(2):51-7.
42. Soto-Peñaloza D, Peñarrocha-Diago M, Cervera-Ballester J, Peñarrocha-Diago M, Tarazona-Alvarez B, Peñarrocha-Oltra D. Pain and quality of life after endodontic surgery with or without advanced platelet-rich fibrin membrane application: a randomized clinical trial. *Clin Oral Investig.* mai 2020;24(5):1727-38.
43. Meschi N, Fieuws S, Vanhoenacker A, Strijbos O, Van Der Veken D, Politis C, et al. Root-end surgery with leucocyte- and platelet-rich fibrin and an occlusive membrane: a randomized controlled clinical trial on patients' quality of life. *Clin Oral Investig.* juill 2018;22(6):2401-11.
44. Monga P, Grover R, Mahajan P, Keshav V, Singh N, Singh G. A comparative clinical study to evaluate the healing of large periapical lesions using platelet-rich fibrin and hydroxyapatite. *Endodontology.* 2016;28(1):27.
45. Thanikasalam, Monika; Ahamed, Shafie; Narayana, Sai Sathya; Bhavani, S; Rajaraman, G. Evaluation of healing after periapical surgery using platelet-rich fibrin and nanocrystalline hydroxyapatite with collagen in combination with platelet-rich fibrin. Disponible sur: https://journals-lww-com.docelec.univ-lyon1.fr/eddt/fulltext/2018/30010/Evaluation_of_healing_after_periapical_surgery.6.aspx
46. Tiwari U, Chandra R, Tripathi S, Jain J, Jaiswal S, Tiwari R. Comparative analysis of platelet-rich fibrin, platelet-rich fibrin with hydroxyapatite and platelet-rich fibrin with alendronate in bone regeneration: A cone-beam computed tomography analysis. *J Conserv Dent.* 2020;23(4):348.
47. Meschi N, Vanhoenacker A, Strijbos O, Camargo Dos Santos B, Rubbers E, Peeters V, et al. Multi-modular bone healing assessment in a randomized controlled clinical trial of root-end surgery with the use of leukocyte- and platelet-rich fibrin and an occlusive membrane. *Clin Oral Investig.* déc 2020;24(12):4439-53.
48. 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.* juill 2015;41(7):985-91.
49. C.Combes et C.Rey. Techniques de l'ingénieur - Biomatériaux à base de phosphates de calcium. 2013. 10 avr 2013; Disponible sur: <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/ceramiques-applications-42695210/biomateriaux-a-base-de-phosphates-de-calcium-n4950/>
50. Palmer LC, Newcomb CJ, Kaltz SR, Spoerke ED, Stupp SI. Biomimetic Systems for Hydroxyapatite Mineralization Inspired By Bone and Enamel. *Chem Rev.* 12 nov 2008;108(11):4754-83.

51. Traub W, Arad T, Weiner S. Three-dimensional ordered distribution of crystals in turkey tendon collagen fibers. *Proc Natl Acad Sci.* déc 1989;86(24):9822-6.
52. Szterner P, Biernat M. The Synthesis of Hydroxyapatite by Hydrothermal Process with Calcium Lactate Pentahydrate: The Effect of Reagent Concentrations, pH, Temperature, and Pressure. *Mendoza-Diaz G, éditeur. Bioinorg Chem Appl.* janv 2022;2022(1):3481677.
53. Li J, Zhi W, Xu T, Shi F, Duan K, Wang J, et al. Ectopic osteogenesis and angiogenesis regulated by porous architecture of hydroxyapatite scaffolds with similar interconnecting structure in vivo. *Regen Biomater.* oct 2016;3(5):285-97.
54. Chen PY, Wang SF, Chien RR, Tu CS, Feng KC, Chen CS, et al. Evolution of the microstructural and mechanical properties of hydroxyapatite bioceramics with varying sintering temperature. *Ceram Int.* sept 2019;45(13):16226-33.
55. Panseri S, Montesi M, Hautcoeur D, Dozio SM, Chamary S, De Barra E, et al. Bone-like ceramic scaffolds designed with bioinspired porosity induce a different stem cell response. *J Mater Sci Mater Med.* janv 2021;32(1):3.
56. Niu Y, Chen L, Wu T. Recent Advances in Bioengineering Bone Revascularization Based on Composite Materials Comprising Hydroxyapatite. *Int J Mol Sci.* 6 août 2023;24(15):12492.
57. Radulescu DE, Vasile OR, Andronescu E, Fikai A. Latest Research of Doped Hydroxyapatite for Bone Tissue Engineering. *Int J Mol Sci.* 24 août 2023;24(17):13157.
58. Šimková L, Šulcová P. Characterization and thermal behavior of hydroxyapatite prepared by precipitation. *J Therm Anal Calorim.* oct 2019;138(1):321-9.
59. Tobon SI, Arismendi JA, Marin ML, Mesa AL, Valencia JA. Comparison between a conventional technique and two bone regeneration techniques in periradicular surgery. *Int Endod J.* juill 2002;35(7):635-41.
60. Canuto RA, Pol R, Martinasso G, Muzio G, Gallesio G, Mozzati M. Hydroxyapatite paste O stim[®], without elevation of full-thickness flaps, improves alveolar healing stimulating BMP - and VEGF -mediated signal pathways: an experimental study in humans. *Clin Oral Implants Res.* août 2013;24(A100):42-8.
61. Nandi SK, Kundu B, Mukherjee J, Mahato A, Datta S, Balla VK. Converted marine coral hydroxyapatite implants with growth factors: In vivo bone regeneration. *Mater Sci Eng C.* avr 2015;49:816-23.
62. Yang W, Zhou W, Li N, Huang Y, Cheng X, Shuai B, et al. A Clinical Study of Early Intervention with Coralline Hydroxyapatite on Fresh Extraction Sockets. *J Nanosci Nanotechnol.* 1 nov 2019;19(11):6956-60.
63. Zhou L, Du B, Liu W, Deng Y, Li S, Liu X, et al. Angiogenesis and bone regeneration of porous nano-hydroxyapatite/coralline blocks coated with rhVEGF165 in critical-size alveolar bone defects in vivo. *Int J Nanomedicine.* mars 2015;2555.
64. 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.* juin 2007;65(6):1121-7.
65. Taschieri S, Del Fabbro M, Testori T, Saita M, Weinstein R. Efficacy of guided tissue regeneration in the management of through-and-through lesions following surgical endodontics: a preliminary study. *Int J Periodontics Restorative Dent.* juin 2008;28(3):265-71.
66. Dominiak M, Lysiak-Drwal K, Gedrange T, Zietek M, Gerber H. Efficacy of healing process of bone defects after apicectomy: results after 6 and 12 months. *J Physiol Pharmacol Off J Pol Physiol Soc.* déc 2009;60 Suppl 8:51-5.

2025 LYO1D 015	
GOUJON Matthieu Le comblement osseux après une chirurgie apicale : quels intérêts ?	
<u>Résumé</u> : La chirurgie apicale est une intervention chirurgicale visant à traiter les échecs des traitements endodontiques classiques ou en première intention dans certains cas. L'objectif est d'évaluer dans quelle mesure l'utilisation de biomatériaux pourrait apporter une valeur ajoutée à la procédure et améliorer les résultats de cicatrisation et de confort post-opératoire. Après avoir rappelé les objectifs, les indications et contre-indications de la chirurgie apicale, deux grands types de matériaux principaux ont été étudiés : le PRF (Platelet Rich Fibrin) et les matériaux à base d'hydroxyapatite (xénogénique et synthétique). Leurs avantages et inconvénients respectifs ont été analysés. Le PRF, greffe autologue issue du patient, offre plusieurs avantages tels que l'absence de rejet et la libération de facteurs de croissance sur le site opératoire. Cependant, son utilisation nécessite une prise de sang et sa préparation est chronophage, ce qui peut limiter son intégration systématique en clinique. Les études montrent des bénéfices sur la douleur post-opératoire et une cicatrisation osseuse potentiellement accélérée, bien que les résultats soient encore hétérogènes. L'hydroxyapatite est un biomatériau ostéoconducteur utilisé pour la régénération osseuse, synthétique ou d'origine xénogénique (corail, os bovin). Sa porosité et sa composition influencent sa résistance mécanique et sa capacité à stimuler l'ostéogenèse et l'angiogenèse. Certaines études montrent une rapidité de cicatrisation améliorée quand d'autres ne mettent pas de différence significative en évidence. Enfin, nous avons analysé les résultats d'études afin de tirer des conclusions sur leur utilité réelle dans le cas des chirurgies endodontiques. Cela a aussi permis de mettre en lumière les lacunes qu'il reste en matière d'étude dans ce domaine. En conclusion, l'utilisation de ces biomatériaux présente des avantages, mais leurs coûts et bénéfices doivent être évalués au cas par cas. De nouvelles études à plus grande échelle et mieux standardisées sont nécessaires pour confirmer leur rôle et définir des protocoles optimisés en chirurgie endodontique.	
<u>Mots-clés</u> : Chirurgie apicale Chirurgie endodontique Comblement osseux Platelet Rich Fibrin (PRF) Hydroxyapatite	
<u>Jury</u> : Président Monsieur le Professeur Jean-Christophe MAURIN Assesseur Monsieur le Professeur Cyril VILLAT Monsieur le Professeur Olivier ROBIN <u>Monsieur le Docteur Thibault JACQUES-GAGET</u> Invité Monsieur le Docteur Mawuene SOSSAH	
<u>Adresse de l'auteur</u> : Matthieu GOUJON, 16 rue Casimir Périer, 69002 LYON	