



HAL
open science

Évolution du sulfate de calcium dans le traitement des défauts osseux

Marc Giacalone

► **To cite this version:**

Marc Giacalone. Évolution du sulfate de calcium dans le traitement des défauts osseux. Sciences du Vivant [q-bio]. 2020. dumas-03278330

HAL Id: dumas-03278330

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03278330>

Submitted on 5 Jul 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



AVERTISSEMENT

Cette thèse d'exercice est le fruit d'un travail approuvé par le jury de soutenance et réalisé dans le but d'obtenir le diplôme d'État de docteur en chirurgie dentaire. Ce document est mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt toute poursuite pénale.

Code de la Propriété Intellectuelle. Articles L 122.4

Code de la Propriété Intellectuelle. Articles L 335.2 - L 335.10



UNIVERSITÉ DE PARIS

UFR D'ODONTOLOGIE - MONTROUGE

Année 2020

N° M102

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le : 16 décembre 2020

Par

Marc GIACALONE

**Évolution du sulfate de calcium dans le traitement des défauts
osseux**

Dirigée par le Docteur Thông Nguyen

JURY

Mme le Professeur Loredana Radoï

Président

Mme le Professeur Sibylle Vital

Assesseur

M. le Professeur Benjamin Salmon

Assesseur

M. le le Docteur Thông Nguyen

Assesseur

Mme le Docteur Aurore Blanc

Invité



Tableau des enseignants de l'UFR

DÉPARTEMENTS	DISCIPLINES	PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS	MAÎTRES DE CONFÉRENCES
1. DÉVELOPPEMENT, CROISSANCE ET PRÉVENTION	ODONTOLOGIE PÉDIATRIQUE	Mme DURSUN Mme VITAL	Mme BONNET M. COURSON Mme SMAIL-FAUGERON Mme VANDERZWALM
	ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE	Mme LE NORCY	Mme BENAHMED M. DUNGLAS Mme KAMOUN
	PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ ET ODONTOLOGIE LÉGALE	M. PIRNAY	Mme GERMA
2. CHIRURGIE ORALE, PARODONTOLOGIE, BIOLOGIE ORALE	PARODONTOLOGIE	Mme COLOMBIER Mme GOSSET	M. BIOSSE DUPLAN M. BRUN (MCU associé) M. GUEZ
	CHIRURGIE ORALE	M. MAMAN Mme RADOÏ	Mme EJEIL M. GAULTIER M. HADIDA M. MOREAU M. NGUYEN Mme TAÏHI
	BIOLOGIE ORALE	Mme CHAUSSAIN M. GOGLY Mme SÉGUIER Mme POLIARD	Mme ANDRIQUE (MCU associée) M. ARRETO Mme BARDET (MCF) M. BOUCHET (MCF) Mme CHARDIN M. FERRE M. LE MAY
3. RÉHABILITATION ORALE	DENTISTERIE RESTAURATRICE ENDODONTIE	Mme BOUKPESSI Mme CHEMLA	Mme BERÈS Mme BESNAULT M. BONTE Mme COLLIGNON M. DECUP Mme GAUCHER
	PROTHÈSES	Mme WULFMAN	M. CHEYLAN M. DAAS M. DOT M. DUPAGNE (MCU associé) M. EID Mme FOUILLOUX-PATEY Mme GORIN M. RENAULT M. RIGNON-BRET M. TRAMBA
	FONCTION-DYSFONCTION, IMAGERIE, BIOMATÉRIAUX	M. SALMON	M. ATTAL Mme BENBELAÏD Mme BENOÎT A LA GUILLAUME (MCF) M. BOUTER M. CHARRIER M. CHERRUAU M. FLEITER Mme FRON CHABOUIS Mme MANGIONE Mme TILOTTA
	PROFESSEURS ÉMÉRITES	M. BÉRENHOLC Mme BRION Mme FOLLIGUET M. LASFARGUES M. LAUTROU	M. LEVY M. PELLAT M. PIERRISNARD M. SAFFAR Mme WOLIKOW

Liste mise à jour le 06 octobre 2020

Remerciements

À Mme le Professeur Loredana Radoï

Docteur en Chirurgie dentaire

Spécialiste qualifiée en Chirurgie orale

Ancien Interne des Hôpitaux

Docteur de l'Université Paris-Sud

Habilitée à Diriger des Recherches

Professeur des Universités, UFR d'Odontologie - Montrouge

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Qui m'a fait l'honneur de venir présider ce jury de thèse d'exercice. Veuillez trouver ici l'expression de ma profonde et respectueuse reconnaissance pour m'avoir permis de présenter ce jour ma soutenance de Docteur en Chirurgie dentaire. Merci pour le partage de votre savoir et votre bienveillance au cours de toutes ces années à l'hôpital Louis-Mourier.

À Mme le Professeur Sibylle Vital

Docteur en Chirurgie dentaire

Ancien Interne des Hôpitaux

Docteur de l'Université Paris Descartes

Habilitée à Diriger des Recherches

Professeur des Universités, UFR d'Odontologie - Montrouge

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Vice-Doyen de l'UFR d'Odontologie - Montrouge

Pour m'avoir fait l'honneur de siéger au sein de ce jury de thèse, pour la qualité de l'enseignement que vous transmettez aux étudiants, ainsi qu'à l'écoute dont vous faites preuve. Pour votre patience, et la gentillesse que vous avez eue à mon égard. Veuillez trouver ici l'expression de mon admiration et de ma profonde reconnaissance.

À M. le Professeur Benjamin Salmon

Docteur en Chirurgie dentaire

Spécialiste qualifié en Chirurgie orale

Docteur de l'Université Paris Descartes

Habilité à Diriger des Recherches

Professeur des Universités, UFR d'Odontologie - Montrouge

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Vice-Doyen de l'UFR d'Odontologie - Montrouge

Chef de service de l'hôpital Bretonneau

Vous me faites l'honneur de juger ce travail, veuillez trouver ici l'expression de mes sincères remerciements et de mon profond respect. Je vous remercie également pour votre présence.

À M. le Docteur Thông Nguyen

Docteur en Médecine

Spécialiste qualifié en Chirurgie maxillo-faciale et Stomatologie

Spécialiste qualifié en Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique

Ancien Interne des Hôpitaux

Docteur de l'Université Paris-Sud

Maître de Conférences des Universités, UFR d'Odontologie - Montrouge

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Qui me fait le plaisir et l'honneur de diriger cette thèse, pour votre investissement et votre bonne humeur dans nos enseignements cliniques à l'hôpital Louis Mourier, pour votre confiance et votre sympathie. Je vous adresse mes profonds remerciements et toute ma considération.

À Mme le Docteur Aurore Blanc

Docteur en Chirurgie dentaire

Qui me fait le plaisir et l'honneur d'assister à cette thèse. Merci pour votre gentillesse et votre bonne humeur. Veuillez trouver ici l'expression de mes sincères remerciements et de mon profond respect.

À **mes parents**, merci de de m'avoir permis de devenir l'homme que je suis aujourd'hui, d'avoir toujours cru en moi et de me soutenir tous les jours dans cette grande épreuve qu'on appelle la vie. Je ne saurai vous remercier pour tout ce que vous m'avez apporté, vous êtes pour moi les meilleurs parents que j'aurais pu rêver avoir. Je vous aime.

À **mes frères et à ma sœur**, mes complices de toujours, merci de partager ma vie au quotidien. Restez comme vous êtes !

À **Axel**, mon frère depuis le début, merci d'avoir toujours été à mes côtés. On ira jusqu'au bout.

À **Félix**, ma pépète universitaire, tu es devenu bien plus qu'un ami. Merci pour toutes ces folies et celles à venir.

À **Rebecca**, ma binôme, en qui j'ai découvert une personne incroyable et avec qui j'ai passé des moments inoubliables et qui sont loins d'être les derniers. J'ai moi aussi gagné une amie pour la vie.

À **mes amis**, merci de faire partie de ma vie. Vous êtes tous géniaux.

À **mes copains** de la faculté, ils se reconnaîtront, avec qui on a partagé et partage encore de nombreux fous rires. On se retrouvera sur notre île C.

À **Moi**, parce que franchement.

Table des matières

INTRODUCTION	3
1 : DEFAUTS OSSEUX	4
1.1 LES DEFAUTS OSSEUX ET LEUR POTENTIEL DE CICATRISATION	4
1.1.1 <i>Les défauts osseux</i>	4
1.1.2 <i>Classification</i>	5
1.1.3 <i>Etiologie</i>	6
1.2 LA CICATRISATION OSSEUSE PARODONTALE	6
1.2.1 <i>La réparation parodontale</i>	7
1.2.2 <i>La régénération parodontale</i>	7
1.3 LES DIFFERENTS TYPES DE GREFFES.....	7
1.3.1 <i>Cahier des charges du biomatériau idéal</i>	7
1.3.2 <i>Autogreffe</i>	8
1.3.3 <i>Allogreffe</i>	8
1.3.4 <i>Xéno greffe</i>	9
1.3.5 <i>Biomatériaux alloplastiques</i>	10
2 : LE SULFATE DE CALCIUM	12
2.1 GENERALITES	12
2.1.1 <i>Historique</i>	12
2.2 PROPRIETES	13
2.2.1 <i>Propriétés physico-chimiques</i>	13
2.2.2 <i>Propriétés biologiques</i>	13
2.3 INDICATIONS	16
2.3.1 <i>Défauts osseux</i>	17
2.3.2 <i>Comblement post-extractionnel immédiat / Conservation de crête</i>	18
2.3.3 <i>Augmentation de sinus</i>	18
2.3.4 <i>Chirurgie-endodontique</i>	19
2.3.5 <i>Régénération tissulaire guidée (RTG)</i>	21
2.3.6 <i>Comblement de kystes</i>	22
2.3.7 <i>Vecteur d'administration de médicaments</i>	23
3 : EVOLUTION DU SULFATE DE CALCIUM	24

3.1 MATERIAUX COMPOSITES COUPLES AU SULFATE DE CALCIUM	24
3.1.1 Os autogène	24
3.1.2 Os allogène	24
3.1.3 Phosphate de calcium.....	25
3.1.4 Verre bioactif.....	25
3.1.5 Carboxyméthylcellulose (CMC) et acide hyaluronique	25
3.1.6 Gélatine	25
3.1.7 Acide polyactique et acide polyacrilique	25
3.1.8 Plasma riche en plaquettes (PRP).....	26
3.1.9 Hydroxyapatite.....	26
3.2 BOND APATITE.....	26
3.2.1 Composition.....	26
3.2.2 Histologie.....	27
3.3.3 Indications	28
3.3.4 Protocole	28
3.3.5 Avantages et inconvénients.....	28
4 : CAS CLINIQUES	30
4.1 CAS CLINIQUE 1 : EXTRACTION AVEC COMPLEMENT AU BOND APATITE.....	30
4.2 CAS CLINIQUE 2 : ELEVATION DE SINUS PAR VOIE LATERALE AU BOND APATITE	36
CONCLUSION	41
BIBLIOGRAPHIE	43
TABLE DES FIGURES.....	47
TABLE DES TABLEAUX.....	48

Introduction

Aujourd'hui de plus en plus de reconstructions osseuses sont réalisées au sein d'un cabinet dentaire (parodontologie, chirurgie orale). Pour les traiter, le chirurgien-dentiste a à sa disposition un grand nombre de biomatériaux.

Le sulfate de calcium est un matériau synthétique qui est étudié depuis de nombreuses années et mis en application pour le traitement de diverses pathologies. De multiples études ont permis de mettre en évidence ses avantages et ses limites. Elles ont, également, cherché à améliorer ses propriétés par modification ou couplage à d'autres matériaux.

Le but de ces recherches est de mettre en évidence l'évolution du sulfate de calcium au cours du temps dans le traitement des défauts osseux intrabuccaux.

Une première partie permettra de rappeler les notions concernant les défauts osseux et leur potentiel de cicatrisation. Une seconde de décrire le sulfate de calcium dans sa globalité, puis une troisième portera sur l'évolution du sulfate de calcium ainsi que ses couplages en vue d'améliorer ses propriétés. Pour finir, deux cas cliniques concernant un biomatériau composite à base de sulfate de calcium prometteur seront présentés.

1 : Défauts osseux

1.1 Les défauts osseux et leur potentiel de cicatrisation

1.1.1 Les défauts osseux

En 1967, Carlsson et al¹ rappellent la nécessité de combler une alvéole. En effet, une alvéole non comblée entraîne une perte osseuse de 21 à 23 % la première année puis 40 à 60 % l'année suivante.

1.1.1.1 Les lésions intra-osseuses

Deux types de lésions osseuses sont distinguées en 1958 par Goldman et Cohen². D'une part les lésions supra-osseuses ou supra-crestales définies comme ayant le fond de la poche parodontale au-dessus de la crête alvéolaire, d'autre part les lésions infra-osseuses où le fond de la poche est apical par rapport à la crête alvéolaire.

Cette classification va permettre de mettre en place des thérapeutiques distinctes en fonction du type de défaut osseux.

L'alvéolyse horizontale correspond à une perte osseuse horizontale par rapport à la ligne de jonction amélo-cémentaire et se retrouve fréquemment dans la maladie parodontale alors que l'alvéolyse verticale ou angulaire à une atteinte osseuse avec une certaine angulation par rapport à la ligne de jonction amélo-cémentaire.

Les cratères osseux concernent principalement la crête interdentaire.³

1.1.1.2 Les lésions inter-radiculaires

Les lésions inter-radiculaires correspondent à une perte partielle ou totale du système d'ancrage et de l'os alvéolaire au sein de la zone inter-radiculaire. Cette zone est délimitée coronairement par la furcation et latéralement par les surfaces radiculaires jusqu'à l'apex.⁴

¹ Carlsson, Hugoson, et Persson, « Dental abrasion and alveolar bone loss in the white rat. IV. The importance of the consistency of the diet and its abrasive components ».

² Goldman et Cohen, « The Infrabony Pocket ».

³ Dridi et al., *Lésions intra-osseuses et inter-radiculaires : diagnostics et thérapeutiques en parodontie*.

⁴ Dridi et al.

1.1.2 Classification

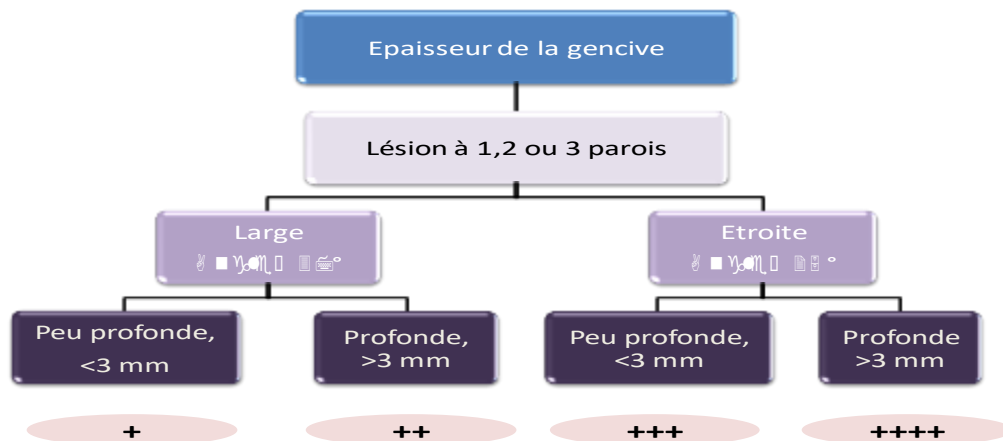
1.1.2.1 Les lésions intra-osseuses

Les lésions intra-osseuses peuvent être classées en fonction de plusieurs critères, notamment le nombre de parois osseuses (1, 2 ou 3) qui vont être source de vascularisation, la largeur (étroite ou large) en fonction de l'angulation ($\leq 25^\circ$ ou $\geq 37^\circ$) et la profondeur de lésion (≤ 3 mm). Ces paramètres vont influencer sur le potentiel de cicatrisation des lésions intra-osseuses.

Plus elles seront profondes (≤ 3 mm), étroites ($\leq 25^\circ$), limitées par des parois osseuses, et moins elles concerneront de face(s) dentaire(s), meilleur sera le potentiel de cicatrisation.

Ce dernier est apporté par le caillot sanguin dont la qualité et la stabilité sont primordiales.⁵

Figure 1 : Classification des lésions intra-osseuses



Source : Gosset et Université Paris Descartes, Cours sur les lésions intra-osseuses, 2017-2018.

1.1.2.2 Les lésions inter-radicales

Les classifications de Hamp⁶ (1975) et Carnevale⁷ (2012) sont utilisées afin de classer les lésions inter-radicales (LIR) et différencient trois catégories de LIR en fonction de leur composante horizontale.

⁵ Gosset et Université Paris Descartes, « Cours sur les lésions intra-osseuses ».

⁶ Hamp, Nyman, et Lindhe, « Periodontal treatment of multirrooted teeth. Results after 5 years ».

⁷ Carnevale et Pontoriero, « Treatment of furcation involved teeth ».

Tableau 1 : Classification des lésions inter-radiculaires

	Classification de Hamp	Classification de Carnevale
LIR de classe I	La composante horizontale n'excède pas 3mm	La composante horizontale n'excède pas le tiers de la largeur de la dent
LIR de classe II	La composante horizontale excède 3mm mais la sonde ne traverse pas de part en part la furcation	La composante horizontale dépasse le tiers de la largeur de la dent mais la furcation n'est pas totalement exposée
LIR de classe III	La sonde traverse de part en part la furcation	La sonde traverse de part en part la furcation

Source : Dridi et al., *Lésions intra-osseuses et inter-radiculaires : diagnostic et thérapeutique en parodontie*, 2017.

La classification de Tarnow et Fletcher⁸ de 1984 complète les précédentes et permet de distinguer trois sous-classes en fonction de la sévérité de la composante verticale :

- Sous-classe A : Composante verticale \leq 3mm
- Sous classe B : Composante verticale entre 4 et 6mm
- Sous-classe C : composante verticale \geq 7 mm

Plus la composante verticale est importante, plus le pronostic est défavorable.

1.1.3 Etiologie

L'étiologie des lésions intra-osseuses et inter-radiculaires peut être parodontale, endodontique, iatrogène ou résulter de la combinaison de ces étiologies.⁹

1.2 La cicatrisation osseuse parodontale

La cicatrisation parodontale va être conditionnée par le type de cellules qui colonisera la surface radiculaire à la suite de la chirurgie parodontale. Si la colonisation se fait par des cellules épithéliales, un épithélium de jonction long sera obtenu. Si cela est fait par des ostéoblastes, il y aura ankylose.

⁸ Tarnow et Fletcher, « Classification of the vertical component of furcation involvement ».

⁹ Dridi et al., *Lésions intra-osseuses et inter-radiculaires : diagnostics et thérapeutiques en parodontie*.

Enfin, si ce sont des cellules issues du desmodonte ou des cellules périvasculaires osseuses, il y aura une régénération parodontale car elles pourront se différencier en de différentes cellules constituant le parodonte. Dans cette compétition cellulaire, les cellules épithéliales migrent le plus rapidement, conduisant à un épithélium de jonction long et empêchant une régénération parodontale.¹⁰

1.2.1 La réparation parodontale

La réparation parodontale correspond à la formation d'un tissu différent en morphologie et/ou fonctionnalité par rapport au tissu original. Il n'y aura donc pas de restitution ad integrum des tissus.

1.2.2 La régénération parodontale

La régénération au sens strict correspond à la restauration à la fois de la fonction et de la forme du tissu altéré, ce qui sous-entend sa restitution ad integrum.¹¹

1.3 Les différents types de greffes

Différents matériaux sont utilisés lors de la réalisation de greffe, à savoir de l'os autogène lors d'autogreffes, de l'os allogène (allogreffe), de l'os d'origine animale hors humains (xénogreffes) et l'utilisation de biomatériaux alloplastiques (matériaux synthétiques). Elle peut être définie comme l'implantation d'un matériau qui va promouvoir la guérison, seul ou en combinaison avec d'autres matériaux.¹²

1.3.1 Cahier des charges du biomatériau idéal

Afin de pouvoir être utilisé comme biomatériau de comblement osseux¹³, celui ci doit répondre à un cahier des charges dont les critères sont les suivants :

- Ostéogénique (ostéoconducteur et/ou ostéo-inducteur)
- Biocompatible
- Biorésorbable
- Capable de fournir un support structural
- Utilisation simple
- Rapport coût/efficacité

¹⁰ Melcher, « Cells of periodontium : their role in the healing of wounds ».

¹¹ Dridi et al., *Lésions intra-osseuses et inter-radicales : diagnostics et thérapeutiques en parodontie*.

¹² Almutairi, « A descriptive analysis of patient's preferences in bone graft therapy in dentistry ».

¹³ Tay, Patel, et Bradford, « Calcium sulfate and calcium phosphate based bone substitutes. Mimicry of the mineral phase of bone ».

1.3.2 Autogreffe

L'os autogène correspond à de l'os prélevé sur un patient puis greffé à ce même patient sur un site anatomique différent.

Il est considéré comme le gold standard des produits de comblement osseux. Ce type d'os a un pouvoir ostéogénique ; il fournit un squelette minéralisé totalement biocompatible qui peut être colonisé par le sang et remanié par les cellules sanguines. C'est également un réservoir de facteurs de croissance actifs dans la cicatrisation osseuse. Un remaniement tissulaire a lieu lors de la résorption du greffon, favorisant une ostéo-induction progressive.

Il faut différencier l'os spongieux de l'os cortical. Le premier a une structure macroporeuse et présente une surface d'échange plus importante avec les fluides. Le second est plus dense avec une structure microporeuse.

Les résultats cliniques en termes de gain d'attache, de réduction de profondeur de poche et gain osseux radiographiques sont souvent significativement en faveur d'une amélioration.¹⁴

1.3.2.1 Avantages et inconvénients

L'os autogène est défini comme le gold standard en matière de greffe osseuse, notamment du fait de son pouvoir ostéogénique à la fois ostéo-inducteur et ostéo-conducteur et de son absence de risque de réponse immunitaire et de transmission de pathologies.

Cependant, lors de ce type de greffe, il est parfois nécessaire de réaliser une anesthésie générale afin de réaliser le prélèvement sur un site anatomique différent. Le manque de disponibilité, un temps opératoire allongé et des hématomes sont également des problèmes rencontrés.¹⁵

1.3.3 Allogreffe

L'os allogénique correspond à un tissu d'origine humaine provenant d'un individu différent de l'hôte. Cet os est prélevé sur un donneur mort ou vivant. Trois types de biomatériaux sont commercialisés sous forme particulière :

- L'os lyophilisé non déminéralisé ou freeze-dried bone allograft (FDDBA)
- L'os lyophilisé déminéralisé ou demineralized freeze-dried bone allograft (DFDBA) qui subit une déminéralisation provoquant l'exposition des protéines d'induction

¹⁴ Dridi et al., *Lésions intra-osseuses et inter-radicales : diagnostics et thérapeutiques en parodontie*.

¹⁵ Oryan et al., « Bone regenerative medicine : classic options, novel strategies, and future directions ».

- L'os délipidé déprotéinisé

Ils sont ostéo-conducteurs et résorbables. Le DFDBA est également ostéo-inducteur.

L'os délipidé déprotéinisé n'a pas fait l'objet de suffisamment d'études pour valider son utilisation. Les autres types d'os allogéniques ont de bons résultats. Cependant, il peut y avoir une réaction immunitaire inappropriée de l'hôte même si le greffon est irradié. Les propriétés d'ostéo-conduction et d'ostéo-induction varient d'un greffon à l'autre en fonction de son origine et des procédures de fabrication.¹⁶

1.3.3.1 Avantages et inconvénients

En plus de son pouvoir ostéogénique, pouvant être ostéo-conducteur et parfois ostéo-inducteur, l'os allogénique est largement disponible. Il peut souvent se mettre en place à l'aide d'une simple anesthésie locale et est facile à manipuler. Néanmoins, de plus en plus de patients refusent les allogreffes du fait de leur provenance et de leur risque de morbidité. Lors du processus de stérilisation, il perd de ses propriétés biologiques et mécaniques en faisant un moins bon matériau de greffe que l'os autogène.¹⁷

1.3.4 Xénogreffe

Les substituts xénogéniques correspondent à de l'os prélevé du milieu animalier, et concernent surtout les espèces bovines et porcines. De nombreux traitements de stérilisation sont réalisés afin de garantir l'élimination de l'ensemble des cellules et de la matrice organique tout en inactivant les micro-organismes et en conservant la fraction inorganique stérilisée par irradiation.¹⁸

1.3.4.1 Avantages et inconvénients

L'os xénogénique présente des propriétés uniquement ostéoconductrices. Du fait de son origine animale, il peut exposer à des risques de transmissions de maladies notamment zoonotiques et être à l'origine de réponses immunitaires non souhaitées.

Certains patients refusent ce type de greffe pour raisons religieuse et/ou diététique.

¹⁶ Dridi et al., *Lésions intra-osseuses et inter-radiculaires : diagnostics et thérapeutiques en parodontie*.

¹⁷ Oryan et al., « Bone regenerative medicine : classic options, novel strategies, and future directions ».

¹⁸ Lallouet, « Les biomatériaux de comblement osseux en parodontologie et implantologie ».

Un de ses avantages est d'être disponible en large quantité. De plus, il a un rapport coût/efficacité favorable.¹⁹

1.3.5 Biomatériaux alloplastiques

Les biomatériaux alloplastiques sont des substituts d'origine purement synthétiques fonctionnant comme des matériaux de comblement (avec une absence de réaction tissulaire et immunitaire).

Les types les plus prévalents d'alloplasts sont des céramiques bioactives comme le phosphate de calcium. Les céramiques (phosphate de calcium, verre bioactif, sulfate de calcium) peuvent être couplés à des facteurs de croissance et des ions afin d'augmenter la densité minérale osseuse et la prolifération ostéoblastique. Leur mode de formation osseuse fonctionne par ostéoconduction.

Lorsqu'implantés, l'ostéoïde est produit directement sur la surface de la céramique par de l'os natif et subit plus tard un remodelage. La taille et la porosité des particules influencent les taux de résorption de ces matériaux ainsi que d'autres propriétés physiques. Les particules les plus grosses ont plus de probabilité de rester sur le site greffé. Une plus grande porosité va entraîner une résorption plus rapide que celle réalisée par les ostéoclastes et permet de pénétrer le greffon plus facilement que les matériaux plus denses. Certaines céramiques peuvent également se dissoudre via la matrice extracellulaire.²⁰

1.3.5.1 Avantages et inconvénients

D'origine purement synthétique, ces matériaux sont disponibles en très large quantité et n'exposent à aucun risque de transmission de pathologies ou de réponses immunitaires ou tissulaires. Ils sont ostéo-conducteurs mais ne sont pas ostéo-inducteurs.

¹⁹ Karalashvili et al., « Bone grafts for reconstruction of bone defect (review) ».

²⁰ Chavda et Levin, « Human studies of vertical and horizontal alveolar ridge augmentation comparing different types of bone graft materials : a systematic review ».

Tableau 2 : Récapitulatif des avantages/inconvénients des matériaux de comblement osseux

	Avantages	Inconvénients
Autogreffe	<ul style="list-style-type: none"> - Recul Clinique - Pouvoir ostéogénique - Ostéo-conducteur/ostéo-inducteur - Absence de risque de transmission de pathologies - Absence de problème immunitaire 	<ul style="list-style-type: none"> - Quantité limitée - Anesthésie générale ? - Autre site de prélèvement - Hématomes - Infections - Temps opératoire allongé - Douleurs au niveau du site prélevé
Allogreffe	<ul style="list-style-type: none"> - Ostéo-conducteur / ostéo-inducteur - Anesthésie locale - Large quantité disponible - Facilité de mise en œuvre 	<ul style="list-style-type: none"> - Manque de pouvoir ostéogénique - Possible réponse immunitaire - Possible transmission de pathologies - Coût - Provenance - Perte de propriétés biologiques et mécaniques
Xéno greffe	<ul style="list-style-type: none"> - Ostéo-conducteur - Faible coût - Large quantité disponible 	<ul style="list-style-type: none"> - Origine animale - Transmission de pathologies zoonotiques - Possible réponse immunitaire
Alloplast	<ul style="list-style-type: none"> - Ostéo-conducteur - Large quantité disponible - Origine synthétique donc contrôlée - Absence de réponse immunitaire et tissulaire - Absence de risque de transmission de pathologies 	<ul style="list-style-type: none"> - Non ostéo-inducteur

Source : Auteur, 2020.

2 : Le sulfate de calcium

2.1 Généralités

2.1.1 Historique

D'abord retrouvé et utilisé sous forme de plâtre dans les anciennes civilisations (egyptienne, grecque ou encore romaine), le sulfate de calcium a fait l'objet de nombreuses recherches dans le domaine médical.

C'est en 1892 que Dressman mentionne l'utilisation du sulfate de calcium à des visées régénératives. Il est alors utilisé dans le traitement de défauts osseux traumatiques et tubéreux.

Bien que le matériau soit tombé dans l'oubli pendant quelques années à la suite de l'utilisation de Dressman, c'est durant le XXème siècle que le sulfate de calcium connaît une réelle avancée médicale.

En 1925, Kofmann d'Odessa rapporte un suivi long de 13 ans d'un patient avec ostéomyélite dont les défauts osseux ont été comblés au Plâtre de Paris (forme hemi-hydratée du sulfate de calcium).²¹

En 1959, Peltier mena des études plus approfondies sur le Plâtre de Paris et démontra des résultats positifs concernant son utilisation dans le comblement de défauts osseux traumatiques et tubéreux.²²

De nombreux chercheurs se sont également intéressés à cette molécule et les études qui s'en suivirent ont permis de mettre en évidence l'utilisation du sulfate de calcium sous forme hemiphase puis biphasé dans le traitement des défauts osseux.²³

²¹ Tay, Patel, et Bradford, « Calcium sulfate and calcium phosphate based bone substitutes. Mimicry of the mineral phase of bone ».

²² Peltier, « The use of plaster of paris to fill large defects in bone : a preliminary report ».

²³ Mazor et al., « Bone repair in periodontal defect using a composite of allograft and calcium sulfate (DentoGen) and a calcium sulfate barrier ».

2.2 Propriétés

2.2.1 Propriétés physico-chimiques

Le sulfate de calcium est un minéral composé de sulfate di-hydraté de calcium de formule chimique $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Egalement appelé gypse, il est extrait directement dans les mines et doit d'abord subir un traitement d'épuration avant de pouvoir être utilisé médicalement.

La forme semi-hydratée se trouve sous 2 formes, α et β qui varient beaucoup en termes de propriétés physiques.

La forme α , solide et insoluble, correspond au plâtre utilisé en dentisterie afin de réaliser des empreintes de diagnostic. Elle est constituée de fibres fragmentées et de cristaux en forme de tiges ou de prismes.

La forme β est représentée par un agrégat de cristaux irréguliers contenant des pores capillaires interstitiels.

Il peut être chauffé par processus de calcination et perd alors son eau devenant une forme semi-hydratée aussi appelée « Plâtre de Paris ».

Dans le sens inverse, la forme héli-hydratée est transformée en forme di-hydratée par ajout d'eau, le tout se faisant par réaction exothermique.²⁴



2.2.2 Propriétés biologiques

Le sulfate de calcium possède des propriétés biologiques intéressantes étayées dans de nombreux articles.

2.2.2.1 Biocompatible et biorésorbable

La biocompatibilité du sulfate de calcium a été une des propriétés *sine qua non* mise en évidence dès ses premières applications en 1892 par Dressman, cité dans l'article de Peltier²⁵ en 1959.

²⁴ Melcher, « Cells of periodontium : their role in the healing of wounds ».

²⁵ Peltier, « The use of plaster of paris to fill large defects in bone : a preliminary report ».

Slater et al²⁶ ont réalisé une augmentation des sinus par apposition de sulfate de calcium. Les échantillons de 7 patients contenant des résidus de biomatériaux ont été examinés, la résorption du sulfate de calcium accompagnée de la précipitation de phosphate de calcium prouvent la biocompatibilité du sulfate de calcium et montrent aussi le remplacement rapide par de l'os humain.

2.2.2.3 Ostéoconducteur

Sidqui et al ont prouvé que le sulfate de calcium sert d'échelle ostéoconductrice, les ostéoblastes se liant au sulfate de calcium et les ostéoclastes peuvent alors résorber la molécule in vitro.^{27,28}

Il est établi²⁹ que le sulfate de calcium peut induire une minéralisation in vitro par la libération d'ions calcium. Cette augmentation ionique dans le milieu extracellulaire induit une différenciation ostéogénique et promeut la minéralisation par des mécanismes de détection du calcium cellulaire et les expressions génétiques ostéogéniques résultantes.

2.2.2.4 Mainteneur d'espace

Peltier³⁰ puis Bahn³¹ ont démontré que le sulfate de calcium une fois mis en place occupe le volume de la dent avulsée et ainsi favorise le processus de guérison osseuse en offrant un support aux cellules locales pour accélérer la formation osseuse.

2.2.2.5 Modification du pH

BKB et al ont rapporté que la dissolution du sulfate de calcium entraînait une modification du pH, le rendant plus acide, limitant ainsi l'activité bactérienne.³²

2.2.2.6 Support pour la migration de fibroblastes et pour la cicatrisation

Payne et al³³ ont voulu déterminer le pouvoir de fibroblastes gingivaux à migrer le long d'un gradient chimiotactique sur trois différentes barrières de RTG in vitro, le polytetrafluoroéthylène (ePTFE), l'acide polyactique et du sulfate de calcium stérile. Il a été démontré que les fibroblastes migrent sur

²⁶ Slater et al., « Back-scattered electron imaging and elemental microanalysis of retrieved bone tissue following maxillary sinus floor augmentation with calcium sulphate ».

²⁷ Sidqui et al., « Osteoblast adherence and resorption activity of isolated osteoclasts on calcium sulphate hemihydrate ».

²⁸ Peters et al., « Biological effects of calcium sulfate as a bone graft substitute in ovine metaphyseal defects ».

²⁹ Das et al., « Calcium sulfate-based bioactive cement for periodontal regeneration : an In Vitro study ».

³⁰ Peltier, « The use of plaster of paris to fill large defects in bone : a preliminary report ».

³¹ Bahn, « Plaster : a bone substitute ».

³² Tay, Patel, et Bradford, « Calcium sulfate and calcium phosphate based bone substitutes. Mimicry of the mineral phase of bone ».

³³ Payne et al., « Migration of human gingival fibroblasts over guided tissue regeneration barrier materials ».

le sulfate de calcium et que cette propriété serait importante dans les cas de réaction tissulaire guidée (RTG) où la cicatrisation primaire ne pourrait être obtenue.³⁴

2.2.2.7 Angiogénèse

Strocchi et al³⁵ ont réalisé une étude sur des lapins afin de vérifier la stimulation angiogénique créée suite à un comblement via du sulfate de calcium. Ils ont alors comparé la mise en place de granules de sulfate de calcium recouverts d'une membrane e-PTFE, de granules de sulfate de calcium seuls et d'os autogène seul. Les animaux ont été sacrifiés à 4 semaines et il y a eu comptage de la densité microvasculaire. Les résultats statistiquement significatifs démontrent un nombre de vaisseaux sanguins supérieurs dans les sites traités par le sulfate de calcium, ce qui atteste de son pouvoir angiogénique.

2.2.2.8 Régulation positive des agents ostéotropes

Lors de la résorption du sulfate de calcium, il est observé une augmentation de calcium dans le milieu local, pouvant affecter la génèse et la fonction des ostéoblastes. Yamauchi et al ont montré que les récepteurs de calcium extracellulaires des ostéoblastes pouvaient entraîner la stimulation de leur prolifération, ainsi que leur différenciation et la modulation ostéoblastique de l'ostéosynthèse. Le récepteur de calcium des ostéoclastes jouerait également un rôle dans l'activité ostéoclastique basée sur la concentration en ions calcium.³⁶

2.2.2.9 Formation affectée en présence de sang et de fluides biologiques

Le sulfate de calcium est un matériau synthétique utilisé depuis de nombreuses années en orthopédie, chirurgie plastique, maxillofaciale et oncologique dans les comblements de défauts osseux. Son utilisation de routine a été compromise due à sa difficulté de mise en oeuvre en milieu aqueux. En 2010, le Dr Amos Yahav a permis une amélioration quant à la formation et la mise en oeuvre du matériau.^{37,38}

³⁴ Melcher, « Cells of periodontium : their role in the healing of wounds ».

³⁵ Strocchi et al., « Bone regeneration with calcium sulfate : evidence for Increased angiogenesis in rabbits ».

³⁶ Yamauchi et al., « Involvement of calcium-sensing receptor in osteoblastic differentiation of mouse MC3T3-E1 cells ».

³⁷ Baranes et Kurtzman, « Biphasic calcium sulfate as an alternative grafting material in various dental applications ».

³⁸ Andreana et al., « Maxillary sinus elevation for implant placement using calcium sulfate with and without DFDBA : six cases ».

En effet il est à l'origine de la modification du sulfate de calcium hemiphasé en la forme biphasée sans modification des propriétés chimiques ni ajout de quelconques additifs, rendant le matériau beaucoup plus tolérant face à la présence de sang et de fluides biologiques. Cette propriété va nettement améliorer les conditions de mise en œuvre du matériau ainsi que ses résultats lui permettant ainsi de durcir en milieu liquide.

Tableau 3 : Récapitulatif des propriétés biologiques du sulfate de calcium

Récapitulatif des propriétés biologiques du sulfate de calcium
<ul style="list-style-type: none"> - Biocompatible - Bio-resorbabilité rapide et totale avec une faible inflammation - Ostéoconducteur - Effet potentiel sur l'angiogénèse - Mainteneur d'espace - Modifie localement le pH, le rendant plus acide → activité bactéricide - Support pour les migrations de fibroblastes in vitro - Facilite la cicatrisation lorsque la cicatrisation primaire ne peut être obtenue - Régulation positive des agents ostéotropes - Formation affectée en présence de sang ou de fluides biologiques, rendue possible sous forme biphasée

Source : Auteur, 2020.

De plus, le sulfate de calcium est un matériau largement disponible, peu coûteux, avec une mise en œuvre simple, sans danger pour le receveur, stérilisé simplement, et radio-opaque.

2.3 Indications

Le sulfate de calcium a largement été employé dans diverses thérapeutiques :

- Défauts osseux (fenestration, déhiscence, cratères)
- Comblement post-extractionnel immédiat / Conservation de crête osseuse
- Augmentation de sinus (par voie latérale et crestale)
- Comblement de kystes
- Chirurgie-endodontique
- Membrane barrière dans des procédures régénératives (RTG)
- Vecteur d'administration de médicaments

2.3.1 Défauts osseux

En 1892, Dressman³⁹ mentionna, le premier, l'utilisation du sulfate de calcium comme matériau régénératif. 8 patients présentant des défauts osseux divers ont été traités par sulfate de calcium avec une solution à 5 % de phénol.

Peltier, en 1961, utilisa des pastilles de sulfate de calcium afin de combler des défauts osseux et kystiques à des localisations variables telles que le tibia (figure 2), le fémur ou encore le métacarpe. Il démontra une consolidation à quelques mois de réévaluation ainsi que la résorbabilité du matériau, sa biocompatibilité et son pouvoir ostéoconducteur.

Figure 2 : Suivi radiographique d'un kyste osseux au niveau du tibia d'un enfant de 10 ans comblé par des palettes de sulfate de calcium



Source: Peltier, « The use of plaster of Paris to fill large defects in bone : a preliminary report », 1961.

Shaffer et App⁴⁰ ont utilisé du sulfate de calcium sur un groupe restreint de personnes présentant des défauts osseux parodontaux comportant moins de 3 parois osseuses. La tolérance au matériau, la résorbabilité ainsi qu'une profondeur de sondage minimum ont été mises en évidence.

³⁹ Peltier, « The use of plaster of paris to fill large defects in bone : a preliminary report ».

⁴⁰ Shaffer et App, « The use of plaster of paris in treating infrabony periodontal defects in humans ».

2.3.2 Comblement post-extractionnel immédiat / Conservation de crête

La cicatrisation d'une alvéole post-extraction est marquée par une diminution de la hauteur et de la largeur de la crête alvéolaire.

Dans une étude conduite par De Tullio et al⁴¹, une comparaison concernant l'efficacité du sulfate de calcium et de nano-hydroxyapatite effrité, utilisés dans une alvéole post-avulsionnelle, a permis de mettre en évidence à la fois histomorphométriquement et au niveau tissulaire que ces deux biomatériaux mènent à une formation osseuse et que la combinaison de ces deux biomatériaux sera plus bénéfique que leur utilisation individuelle.

2.3.3 Augmentation de sinus

Deux approches sont possibles pour une opération d'élévation de sinus, la voie crestale ou la voie latérale.

2.3.3.1 Voie crestale

Baranes et al⁴² ont utilisé du sulfate de calcium couplé à de l'hydroxyapatite afin de réaliser une élévation de sinus en utilisant la technique de Summers. Cette approche reste néanmoins peu développée dans la littérature.

2.3.3.2 Voie latérale

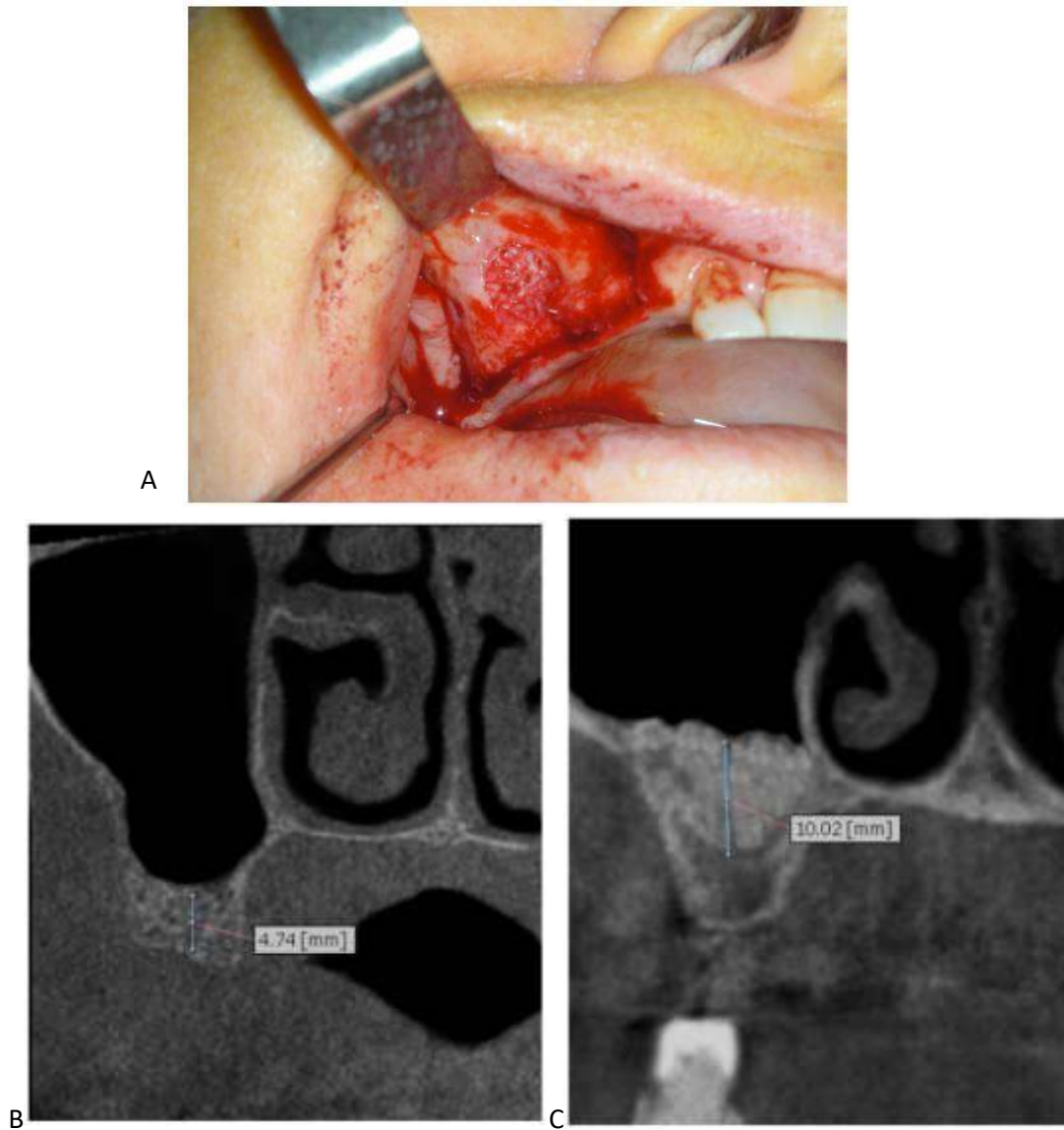
Laino et al⁴³ ont réalisé une étude sur 25 patients sur l'élévation du plancher sinusien par voie latérale à l'aide de sulfate de calcium à la suite d'une perte osseuse maxillaire dans les secteurs postérieurs due à des avulsions. Les résultats sont probants et montrent un réel gain osseux après comparaison et analyse des CBCT pré-opératoires et à 6 mois post-intervention. Les figures suivantes montrent la mise en place du sulfate de calcium lors d'un sinus lift chez un patient par voie latérale (figure A), un cone-beam pré-opératoire montrant une hauteur osseuse verticale de 4.74mm (figure B), et un cone-beam à 6 mois post-opératoire montrant une hauteur osseuse verticale de 10.04mm.

⁴¹ De Tullio et al., « A human clinical and histomorphometrical study on different resorbable and non-resorbable bone substitutes used in post-extractive sites. Preliminary results ».

⁴² Baranes et Kurtzman, « Biphasic calcium sulfate as an alternative grafting material in various dental applications ».

⁴³ Laino et al., « Sinus lift augmentation by using calcium sulphate. A retrospective 12 months radiographic evaluation over 25 treated italian patients ».

Figure 3 : Suivi d'un cas de sinus lift par voie latérale au sulfate de calcium



Source: Laino et al, « Sinus lift augmentation by using calcium sulphate. A retrospective 12 months radiographic evaluation over 25 treated italian patients », 2015.

2.3.4 Chirurgie-endodontique

Pecora et al⁴⁴ ont réalisé une étude sur 20 patients avec des lésions péri-radicales de plus de 10mm de diamètre et absence de corticale osseuse vestibulaire et linguale, visibles radiographiquement. 10 dents ont été traitées par apéctomie, obturation radiculaire et greffe de sulfate de calcium avant réalisation des sutures.

⁴⁴ Pecora et al., « The use of calcium sulphate in the surgical treatment of a through and through periradicular lesion ».

10 autres dents ont reçu le même traitement sans comblement par sulfate de calcium.

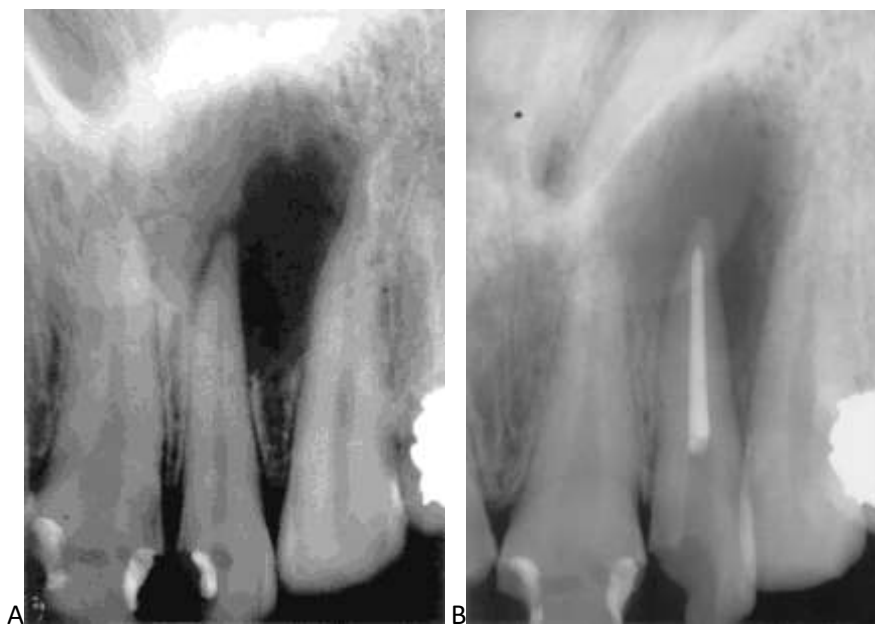
A 6 et 12 mois de suivi, une dent de chaque groupe a été retirée de l'étude pour cause de fracture verticale. Dans le groupe test, 7 dents ont obtenu une guérison complète et 2 une guérison incomplète.

Dans le groupe contrôle, 3 guérisons complètes, 5 incomplètes et 1 insatisfaisant ont été notées.

La greffe de sulfate de calcium semble améliorer les résultats.

Les figures suivantes montrent le suivi radiographique d'un des cas traités par chirurgie-endodontique et mise en place de sulfate de calcium. La figure A est une radiographie montrant une lésion périapicale large sur une incisive latérale maxillaire. La figure B est une radiographie montrant la même lésion 6 mois après traitement endodontique. La figure C est une radiographie post-opératoire après mise en place du CS à l'apex. La figure D est une radiographie du suivi à 24 semaines.

Figure 4 : Suivi radiographique du traitement d'une lésion péri-radulaire par du sulfate de calcium lors d'une chirurgie-endodontique





Source: Pecora et al., « The use of calcium sulphate in the surgical treatment of a ‘through and through’ periradicular lesion », 2015.

2.3.5 Régénération tissulaire guidée (RTG)

Mary E. Aichelmann-Reidy et al⁴⁵ ont réalisé une étude sur l’efficacité clinique du sulfate de calcium di-hydraté appliqué comme barrière lors d’une RTG couplé à de l’os allogène lyophilisé déminéralisé (DFDBA) en le comparant avec une barrière de polytetrafluoroéthylène (ePTFE) dans le traitement de défauts parodontaux.

Deux défauts intra-osseux ont été comparés chez 19 patients atteints de parodontite chronique. Après préparation du site, un lambeau de pleine épaisseur muco-périosté a été levé, les défauts débridés, les racines ont été conditionnées (ultrasons, curetage et conditionnement à la tétracycline). Puis les défauts ont aléatoirement été traités soit par combinaison de DFDBA et de sulfate de calcium, recouvert d’une barrière de sulfate de calcium, soit de DFDBA avec une barrière ePTFR. Les lambeaux ont été repositionnés coronairement pour obtenir une cicatrisation primaire. Les résultats cliniques ont été évalués à 6 mois post-intervention.

En termes de niveau d’attachement, de réduction de profondeur de poche ainsi que de récession gingivale, les résultats de cette étude montrent que lorsqu’il est appliqué en tant que barrière de

⁴⁵ Aichelmann-Reidy, Heath, et Reynolds, « Clinical evaluation of calcium sulfate in combination with demineralized freeze-dried bone allograft for the treatment of human intraosseous defects ».

DFDBA, le sulfate de calcium apporte des améliorations cliniques, ainsi qu'en termes de comblement osseux et de résolution.

2.3.6 Comblement de kystes

Une étude de Peltier et al⁴⁶ sur 26 patients atteints de kystes (unicameral bone cysts) traités avec du sulfate de calcium avec un suivi de 1 à 20 ans a démontré que 24 des patients ont été soignés sans complication et sans chirurgie additionnelle. Seuls deux patients ont présenté des problèmes lors du drainage et les kystes ont récidivé.

Figure 5 : Etude sur 26 patients avec kystes osseux monocaméraux comblés avec des palettes de sulfate de calcium

Case	Age (yrs)	Sex	Location	State of Cyst	Time to Consolidation (mos)	Complications
1	10	M	Humerus	M	3	—
2	2	F	Humerus	I	3	—
3	11	M	Humerus	M	3	—
4	7	M	Humerus	I	—	Partial recurrence
5	7	M	Femur	I	5	—
6	12	M	Humerus	R-I	5	—
7	12	M	Humerus	I	4	—
8	14	M	Calcaneus		3	—
9	12	M	Radius	M	5	—
10	8	M	Humerus	M	3	—
11	2	F	Radius	M	4	—
12	8	M	Humerus	M	3	—
13	6	M	Humerus	M	5	—
14	11	M	Humerus	M	—	Drained (see text)
15	6	M	Humerus	I	3	—
16	9	M	Femur	I	—	Drained (see text)
17	4	F	Humerus	M	2	—
18	10	F	Femur	M	4	—
19	14	F	Humerus	M	3	—
20	10	F	Femur	R	4	—
21	14	M	Humerus	M	3	—
22	8	M	Femur	I	3	—
23	12	M	Femur	I	4	—
24	6	F	Humerus	I	2	Infection (see text)
25	9	M	Femur	I	3	—
26	9	M	Humerus	R	6	—

*I = immature cyst; M = mature cyst; R = recurrent cyst

Source: Peltier et Jones, « Treatment of unicameral bone cysts by curettage and packing with plaster-of-Paris pellets », 1978.

⁴⁶ Peltier et Jones, « Treatment of unicameral bone cysts by curettage and packing with plaster-of-Paris pellets. »

2.3.7 Vecteur d'administration de médicaments

Les os autogènes et allogènes chargés ou imprégnés de solutions antibiotiques ont largement été exploités en chirurgie orthopédique. Les antibiotiques sont alors relargués et maintiennent une activité bactéricide durant une à trois semaines. Le sulfate de calcium peut également servir de vecteur de délivrance d'antibiotiques. Par exemple Markakis et al ont étudié l'élution de vancomycine, gentamicine et clindamycine à partir de perles de sulfate de calcium. Une phase d'élution initiale qui délivre environ 45 % de vancomycine et environ 80 % de gentamycine et de clindamycine dans les premières heures a été mis en évidence. Suivie d'une deuxième phase plus graduelle en délivrance d'antibiotiques durant les 10 jours suivants.

Markakis et al⁴⁷ ont étudié des perles de sulfate de calcium synthétiques résorbables chargés de tobramycine, vancomycine ou les deux en combinaison. Dans une étude, ils ont démontré une haute bioactivité prévenant la colonisation primaire bactérienne et la formation du biofilm par staphylococcus aureus et stapylococcus epidermis.

⁴⁷ Markakis et al., « Local antibiotic delivery systems : current and future applications for diabetic foot infections ».

3 : Évolution du sulfate de calcium

3.1 Matériaux composites couplés au sulfate de calcium

Le sulfate de calcium présente des propriétés intéressantes mais les études ont prouvé qu'une amélioration de ses propriétés pouvait se trouver dans le couplage à d'autres matériaux, permettant ainsi d'obtenir plus de résultats cliniques.

3.1.1 Os autogène

MacNeill et al⁴⁸ ont réalisé une étude comparative chez des lapins. Des ostéotomies ont été réalisées sur des tibias puis comblés soit avec de l'hydroxyapatite soit avec du sulfate de calcium couplé à de l'os autogène. Ce matériau composite montre qu'il permet une néoformation osseuse sur des sites préparés chirurgicalement.

3.1.2 Os allogène

Andreana et al⁴⁹ se sont intéressés à l'élévation des sinus par utilisation de sulfate de calcium seul ou en combinaison avec du DFDBA. Le but de l'étude était de présenter les résultats cliniques et histologiques de l'utilisation de sulfate de calcium seul ou en combinaison avec DFDBA lors d'une élévation de sinus. 6 patients ont été traités en vue de la mise en place d'implants. Des biopsies osseuses ont été réalisées à différents moments entre le 6^{ème} et le 24^{ème} mois. Tous les échantillons ont montré une croissance osseuse avec parfois des restes de DFDBA. Les implants ont été mis en place au 6^{ème} mois post-chirurgical et ont tous été sécurisés par stabilité primaire. Ces cas ont montré que le sulfate de calcium pouvait être utilisé seul ou en combinaison avec DFDBA pour la réalisation de sinus lift et que certains résidus de DFDBA pouvaient être présents.

Lors d'une RTG il a précédemment été prouvé que le couplage de DFDBA et de sulfate de calcium utilisé en tant que barrière permettait des améliorations cliniques non négligeables.

⁴⁸ MacNeill et al., « In vivo comparison of synthetic osseous graft materials ».

⁴⁹ Andreana et al., « Maxillary sinus elevation for implant placement using calcium sulfate with and without DFDBA : six cases ».

3.1.3 Phosphate de calcium

Urban et al⁵⁰ ont utilisé du CaSO₄ couplé à du phosphate de calcium comme matériau synthétique composite pour traiter un défaut osseux sur une canine, en comparaison avec des palettes de sulfate de calcium seules. Les résultats ont montré que la formation osseuse était majorée avec le matériau composite. Le module d'élasticité de l'os formé était également plus élevé avec le matériau composite.

3.1.4 Verre bioactif

Camargo et al⁵¹ ont réalisé des extractions de dents antérieures ou de dents bicuspides, et ont comblé les alvéoles soit avec du verre bioactif soit avec du verre bioactif couplé à du sulfate de calcium. Les résultats démontrent que le couplage permet un maintien significatif des dimensions de la crête alvéolaire.

3.1.5 Carboxyméthylcellulose (CMC) et acide hyaluronique

Lewis et al⁵² ont réalisé une étude visant à modifier les propriétés mécaniques du sulfate de calcium, ainsi que sa maniabilité, en couplant des polymères visqueux type carboxyméthylcellulose et hyaluronan (acide hyaluronique).

Les résultats ont montré une amélioration de la résistance du matériau.

3.1.6 Gélatine

Gao et al⁵³ ont ajouté de la gélatine au sulfate de calcium. Ils ont noté que les cristaux de sulfate de calcium n'ont pas pu migrer en raison de la présence de gélatine réticulée ralentissant le processus de cristallisation qui correspond au passage des particules de sulfate de calcium hémi-hydratées en di-hydratées. Le matériau en résultant est alors composé de sulfate de calcium hémi-hydraté, de sulfate de calcium di-hydraté et de gélatine. En résulte un support poreux pouvant permettre l'infiltration des cellules dans les applications de génie tissulaire.

3.1.7 Acide polyactique et acide polyacrilique

⁵⁰ Urban et al., « Increased bone formation using calcium sulfate-calcium phosphate composite graft ».

⁵¹ Camargo et al., « Influence of bioactive glass on changes in alveolar process dimensions after exodontia ».

⁵² Lewis, Thomas, et Puleo, « Mechanical and degradation behavior of polymer-calcium sulfate composites ».

⁵³ Gao et al., « Characteristics of calcium sulfate/gelatin composite biomaterials for bone repair ».

Mamidwar et al⁵⁴ ont conduit une étude afin de caractériser la dissolution, la morphologie et la composition chimique d'une pastille de sulfate de calcium recouverte d'acide polyactique. Celles-ci ont été placées en immersion dans un fluide corporel artificiel. Le sulfate de calcium a une résorption rapide, l'acide polyactique associé a permis d'allonger le temps de dissolution du sulfate de calcium. Une minéralisation s'est également produite suggérant l'ostéo-conductivité du matériau.

3.1.8 Plasma riche en plaquettes (PRP)

Shi et al⁵⁵ ont couplé du sulfate de calcium à du plasma riche en plaquettes. Ils ont réalisé le comblement d'alvéoles chez des chiens à l'aide de sulfate de calcium couplé à du plasma riche en plaquettes ou avec du sulfate de calcium seul et un témoin sans comblement. Dans les alvéoles qui ont reçu le traitement par combinaison de CS et de PRP il a été montré une réduction de la résorption alvéolaire et une stimulation de la formation osseuse. Il y a eu une amélioration de la régénération osseuse.

3.1.9 Hydroxyapatite

Parsons et al⁵⁶ ont incorporé de l'hydroxyapatite à du sulfate de calcium héli-hydraté afin d'obtenir un produit composite qui pourrait être une alternative à de l'os autogène ou s'utiliser en adjonction. Lorsque de l'eau ou une solution saline est ajoutée, le matériau cristallise. Lors de la résorption du sulfate de calcium, celui-ci laisse une certaine porosité permettant la formation osseuse et la liaison aux particules d'HA non résorbables. Le sulfate de calcium agit ici comme un liant et permettrait d'augmenter les caractéristiques de maniabilité de l'HA.

Un matériau prometteur à base de sulfate de calcium et d'hydroxyapatite nommé Bond Apatite® a été développé et commercialisé chez Augma.

3.2 Bond apatite

3.2.1 Composition

Le Bond apatite est un matériau composite constitué d'une poudre et d'un liquide, la poudre étant composée à 2/3 par du sulfate de calcium à hauteur de 2/3 de particules de sulfate de calcium biphasé et 1/3 de particules de sulfate de calcium héli-phasé et à 1/3 d'hydroxyapatite. Les cristaux

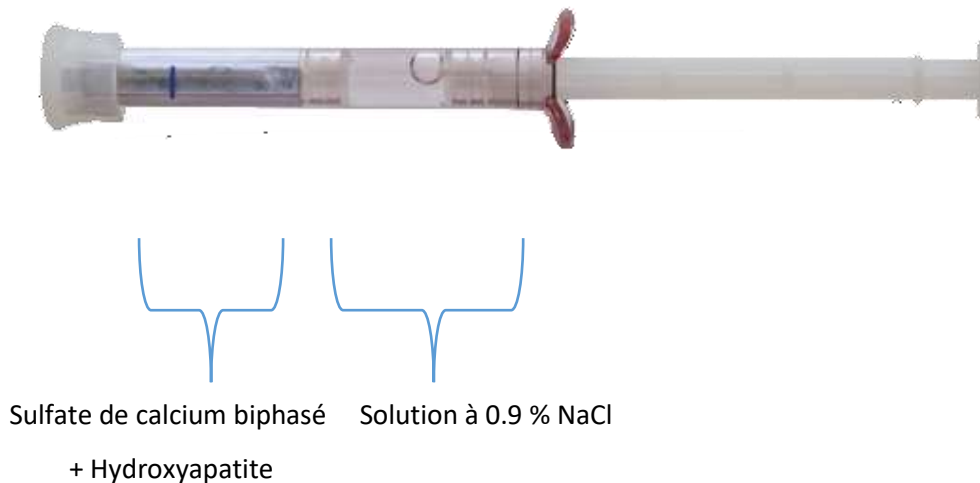
⁵⁴ Mamidwar et al., « In vitro characterization of a calcium sulfate/PLLA composite for use as a bone graft material ».

⁵⁵ Shi et al., « Alveolar ridge preservation prior to implant placement with surgical-grade calcium sulfate and platelet-rich plasma : a pilot study in a canine model ».

⁵⁶ Parsons et al., « Osteoconductive composite grouts for orthopedic use ».

d'hydroxyapatites allant de 0.9microns à 1mm. Le liquide est une solution de sérum physiologique à 0.9 %. L'ensemble est disposé dans une seringue à deux compartiments séparés.

Figure 5 : Seringue de Bond apatite



Source : Augma biomaterials, « Bond apatite », 2020.

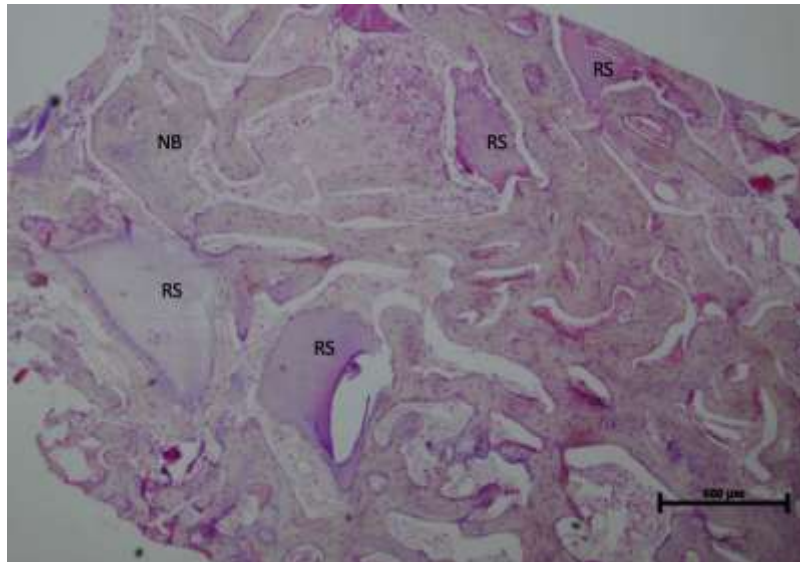
3.2.2 Histologie

Lorsque l'eau pénètre dans les grains de sulfate de calcium, les particules sous forme héli-phasées se transforment en formes biphasées entraînant une cristallisation. Les molécules présentes initialement sous forme biphasées sont déjà cristallisées. La cristallisation secondaire va permettre la mise en place au sein du sang et des liquides biologiques. Les ions sulfate se résorbent et le calcium libéré se lie au phosphate environnant donnant du phosphate de calcium équivalent à de l'hydroxyapatite.

Les cristaux d'hydroxyapatite de petites tailles seront phagocytés et nous retrouverons des gros cristaux en surface de la formation osseuse à 3 mois.⁵⁷

Figure 6 : Coupe histologique d'un échantillon à 3 mois post-comblement au Bond Apatite montrant des résidus de greffe (Residual Graft scaffold - RS) et de l'os nouveau (New Bone - NB)

⁵⁷ Yahav et al., « Bone regeneration : properties and clinical applications of biphasic calcium sulfate ».



Source: Yahav et al, « Bone regeneration properties and clinical application of biphasic calcium sulfate», 2020.

3.3.3 Indications

Le bond apatite possède les mêmes indications que le sulfate de calcium énoncées dans la partie 2.3.

3.3.4 Protocole

Son protocole général d'utilisation⁵⁸, est décrit comme suit :

- Préparer le site osseux en fonction du protocole adapté au déficit
- Activer la seringue en appuyant sur le piston jusqu'à la ligne bleue
- Retirer le bouchon de la seringue et placer le Bond Apatite dans le défaut osseux
- Appuyer fermement avec une compresse sèche et stérile 3 à 4 secondes, et ne surtout pas fouler le matériau de quelque manière que ce soit
- Si le site est étroit, utiliser un instrument pour appuyer sur la compresse puis suturer. Une ouverture de 2mm est tolérée
- Le délai de cicatrisation est de 3 mois

Certaines variations dans le protocole sont possibles en fonction de l'indication.

3.3.5 Avantages et inconvénients

Le Bond Apatite est un matériau dont la mise en œuvre est simple. Suite à l'accès au site il est nécessaire de réaliser une compression à l'aide de la seringue et d'injecter le matériau puis de refermer

⁵⁸ Augma, « Protocole d'utilisation ».

le site à l'aide d'une suture comme décrit dans le protocole (partie 3.3.4). L'utilisation est donc à la portée de l'ensemble des praticiens. Sa tolérance à la mise en place en milieu liquide le rend d'autant plus pratique. Aucune membrane n'est nécessaire pour recouvrir le matériau lors du comblement, ce qui rend son utilisation bien plus simple, jouant ainsi le rôle de barrière et empêchant une invagination par les tissus mous.

Cependant, pour le bon fonctionnement du matériau il est obligatoire d'avoir un saignement (de la vascularisation) au niveau du site à greffer. Si le site est totalement nécrosé, le Bond apatite ne peut alors pas s'utiliser. Il nécessite en effet la présence de phosphate environnant afin que la liaison entre le calcium, suite à la résorption du sulfate et le phosphate local puisse se faire.⁵⁹

⁵⁹ Baranes et Kurtzman, « Biphasic calcium sulfate as an alternative grafting material in various dental applications ».

4 : Cas cliniques

4.1 Cas clinique 1 : Extraction avec comblement au Bond Apatite

Patient de 45 ans en bonne santé générale, non fumeur, consulte pour une douleur sur 46 couronnée depuis 17 ans.

Après examen clinique et radiographique, le diagnostic d'une atteinte du plancher de la dent est posé.

Figure 7 : Radiographie rétro-alvéolaire de diagnostic de 46

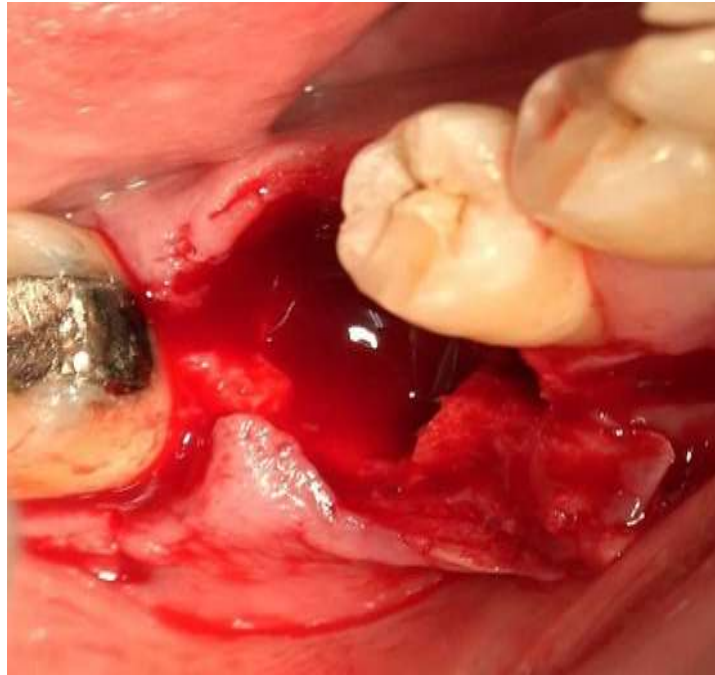


Source: Dr Baranes, 2020.

Le plan de traitement décidé est l'extraction de 46 avec comblement osseux au Bond apatite puis mise en place d'un implant à 3 mois suivi de sa prothèse.

Un lambeau d'épaisseur totale avec incision oblique à appui osseux en mésial de l'alvéole est réalisé, puis le décollement du lambeau est réalisé en vestibulaire en incluant la papille distale.

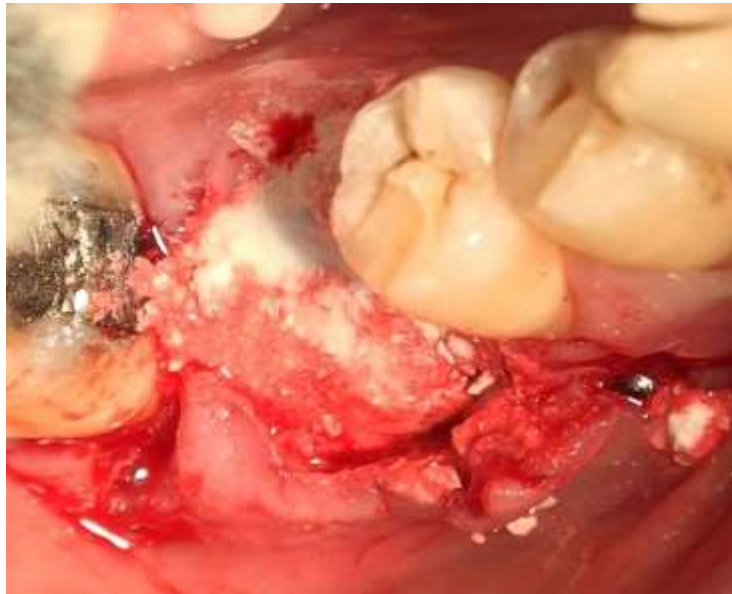
Figure 8 : Photo clinique à la suite de l'extraction de 46



Source: Dr Baranes, 2020.

À la suite de quoi le Bond apatite est mis en place comme dans le protocole indiqué partie 3.3.4 en terminant par appuyer fermement avec une compresse sèche sur le matériau.

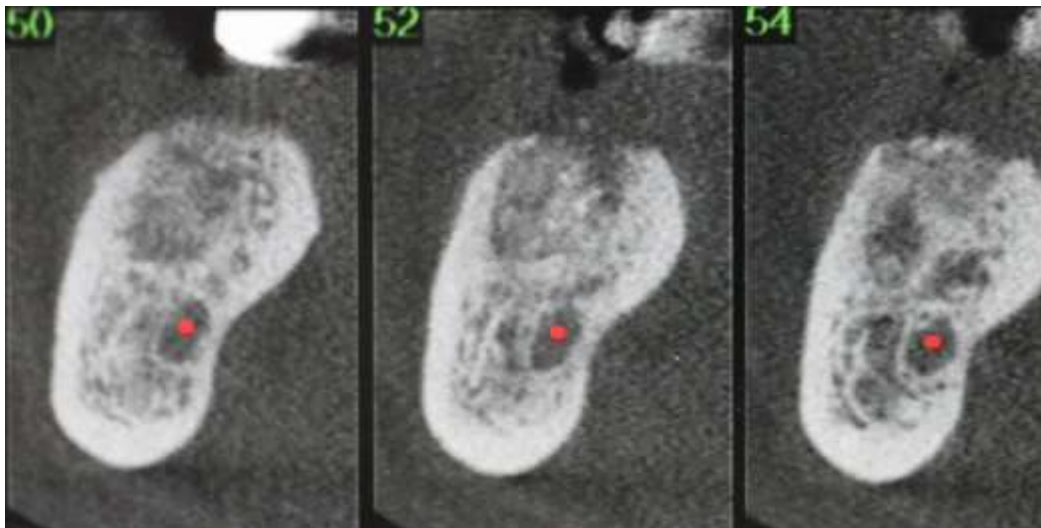
Figure 9 : Mise en place du Bond Apatite dans l'alvéole



Source: Dr Baranes, 2020.

Le lambeau est suturé en tension à l'aide de fil résorbable multifilaments PGArapid 4.0.
3 mois plus tard le CBCT confirme la réussite de la greffe osseuse.

Figure 10 : Cone beam à 3 mois post-greffe au Bond Apatite



Source: Dr Baranes, 2020.

Figure 11 : Réouverture du site opératoire à 3 mois post-intervention



Source: Dr Baranes, 2020.

Lors de la réouverture les cristaux d'hydroxyapatite de grande taille se retrouvent en surface. Les petits et moyens cristaux ont été résorbés.

Un implant de 5 mm de diamètre et de longueur 11.5 mm a été mis en place à 3 mois.

Figure 12 : Photo clinique de l'implant avant mise en place de la couronne



Source: Dr Baranes, 2020.

Puis mise en place d'une couronne céramo-metallique transvissée 3 mois après la pose de l'implant.

Figure 13 : Photo clinique de suivi suite à la pose de la couronne transvissée



Source: Dr Baranes, 2020.

Figure 14 : Radiographie rétro-alvéolaire suite à la mise en place de la couronne céramo-métallique transvissée



Source: Dr Baranes, 2020.

Enfin, une mise charge avec une couronne céramo-mettallique vissée sur l'implant est réalisée à 3 mois post-mise en place implantaire.

Une radiographie rétro-alvéolaire à 4 ans post-greffe montre une stabilité totale du niveau-osseux. La disparition de la lamina dura montrant un parfait remplacement du Bond Apatite par l'os du patient.

Figure 15 : Radiographie de suivi à 4 ans post-opératoire

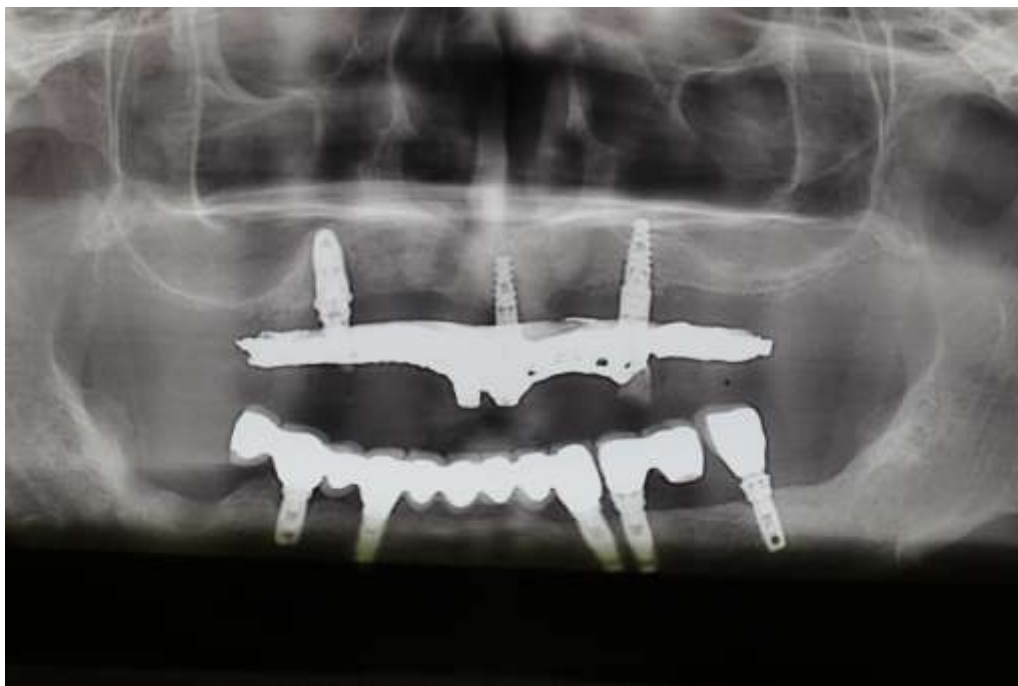


Source: Dr Baranes, 2020.

4.2 Cas clinique 2 : Elévation de sinus par voie latérale au Bond Apatite

Patiente de 60 ans en bonne santé générale, non fumeuse, consulte pour un traitement implantaire au maxillaire. La patiente présente un ancien traitement implantaire dont elle a perdu progressivement quelques piliers. (Les dimensions des crêtes alvéolaires maxillaires nécessitent la réalisation de greffe osseuse en vue d'obtenir un niveau suffisant afin d'envisager la mise en place d'implants.)

Figure 16 : Panoramique pré-opératoire



Source: Dr Baranes, 2020.

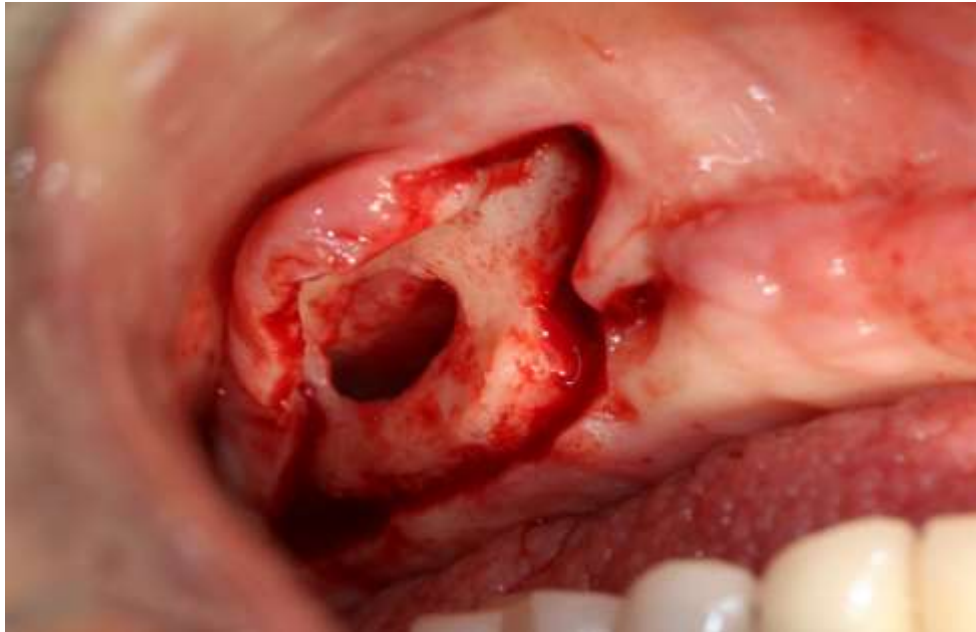
Le plan de traitement final choisi est la dépose totale du bridge implanto-porté maxillaire mis à part l'implant situé en 24 dont l'ancrage et la stabilité permettent sa conservation, et mise en place de 4 implants secteur 1 et de 4 autres implants (en plus de celui déjà présent) secteur 2, à l'aide d'élévation des planchers sinusiens par du Bond Apatite®.

Une prothèse provisoire a été réalisées et vissée sur les implants existants.

Sera présentée ici, la mise en place du Bond apatite secteur 1 par élévation du plancher sinusien par voie latérale ainsi que la pose implantaire. La même technique sera employée pour le coté gauche.

Un lambeau muco-périosté d'épaisseur total est réalisé secteur 1 afin d'avoir accès à la membrane sinusienne.

Figure 17 : Lambeau d'accès pour élévation de sinus droit



Source: Dr Baranes, 2020.

Puis le Bond apatite® est placé en appuyant fermement sur le piston de la seringue dont l'embout est placé au contact de la crête à épaissir.

Figure 18 : Mise en place de Bond Apatite pour l'élévation de sinus droit



Source: Dr Baranes. 2020.

Le matériau est bien appliqué en appuyant fermement avec une compresse sèche durant 3-4 secondes. Il est parfois nécessaire d'utiliser plus d'une seringue afin de combler entièrement le défaut.

Figure 19 : Photo clinique après mise en place du Bond Apatite



Source: Dr Baranes, 2020.

Le site est ensuite refermé en tension l'aide de fil résorbable multifilaments PGArapid 4.0.

Figure 20 : Fermeture du lambeau sous tension

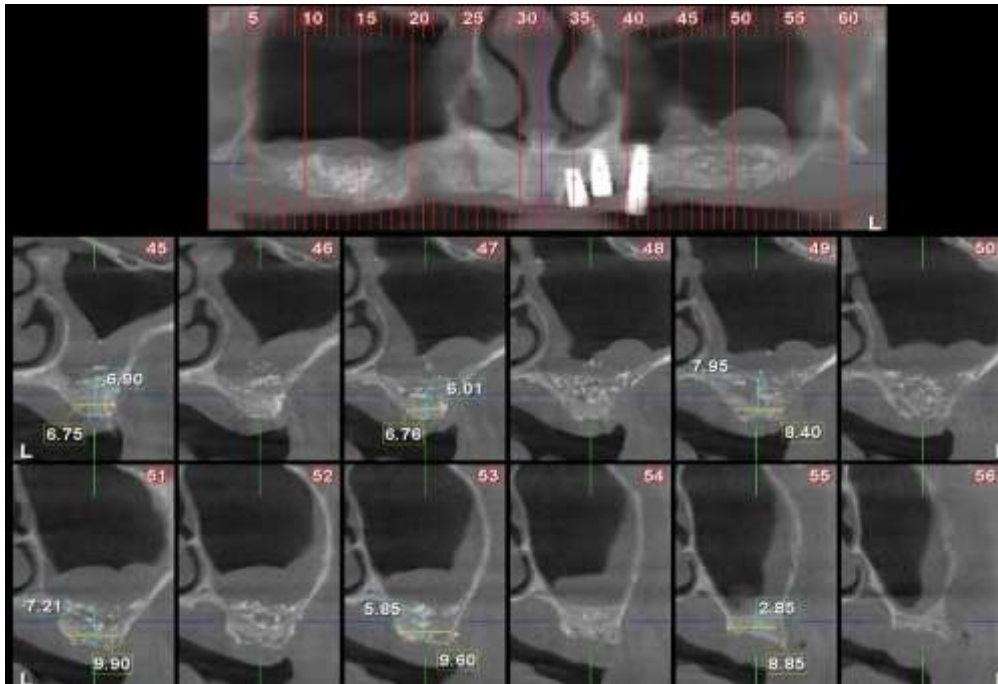


Source: Dr Baranes, 2020.

3 mois plus tard le CBCT confirme la réussite de la greffe osseuse.

Le même traitement a été réalisé secteur 2.

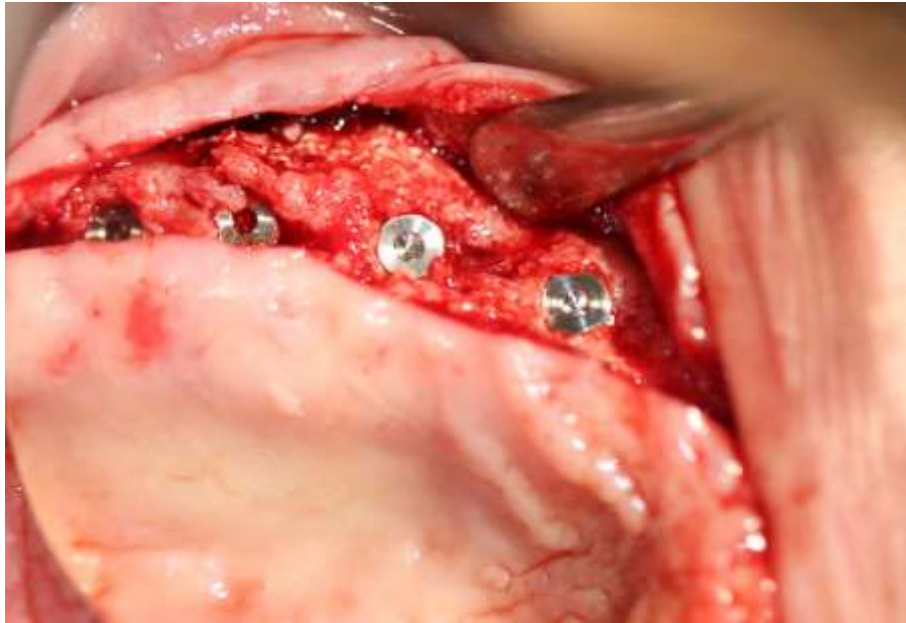
Figure 21 : CBCT à 3 mois post-opératoire



Source: Dr Baranes, 2020.

Suite au CBCT nous pouvons observer que les traitements d'élévation sinusiens à l'aide de Bond apatite ont fonctionné et que le patient a gagné en hauteur et en largeur osseuse permettant ainsi la mise en place d'implants.

Figure 22 : Mise en place de 4 implants après élévation de sinus



Source: Dr Baranes, 2020.

Figure 23 : Panoramique de contrôle après pose implantaire



Source: Dr Baranes, 2020.

Conclusion

Depuis ses premières utilisations en 1892 par Dressman, le sulfate de calcium a suscité beaucoup d'intérêt dans le domaine médical. Son évolution lui a permis d'être aujourd'hui encore un matériau de choix notamment en dentisterie afin de réaliser certains types de comblements osseux.

Son origine purement synthétique fait de lui un matériau pouvant être accessible en grande quantité contrairement à l'os autogénique par exemple. Il est sans aucun risque de transmission de quelconques pathologies comme cela peut encore être le cas avec d'autres types de matériaux de greffes (os allogéniques et xénogéniques). Les matériaux de synthèses sont également plus acceptés par les patients pour la réalisation de comblements osseux. En effet, certains patients refusent de subir des greffes dont l'origine est animale pour raisons religieuses et/ou diététiques, d'autres refusent de recevoir de l'os provenant d'autres personnes (greffe allogénique), et certains refusent de se faire prélever de l'os directement (greffe autogénique) car les interventions peuvent être lourdes et douloureuses. Les matériaux synthétiques sont en grande majorité bien acceptés.

Le couplage du sulfate de calcium à d'autres matériaux composites lui a permis d'améliorer ses propriétés afin d'être utilisé de manière assez simple et efficace par un grand nombre d'opérateurs. Il peut permettre notamment d'éviter la pose d'une membrane, et d'aboutir à une croissance osseuse non négligeable autorisant des traitements implantaires.

Son pouvoir ostéo-conducteur lui permet d'être comparé à certains autres matériaux en termes de gain osseux et sa résorbabilité assez rapide permet d'aboutir à de l'os nouveau.

Le sulfate de calcium qui se retrouve dans le Bond Apatite semble être un matériau de choix pouvant concurrencer les autres matériaux de greffes osseuses aujourd'hui et utilisable par un grand nombre de chirurgien-dentistes dans les cabinets. A la fois simple d'utilisation, sans risque pathologique pour le patient, avec une résorbabilité rapide et permettant d'aboutir à de l'os nouveau, il permet d'entreprendre des plans de traitements implantaires globaux.

Cependant, le manque de comparaison directe entre les différents types de matériaux de comblements osseux et le Bond apatite ne nous permet pas d'affirmer ou non une supériorité ou même équivalence du Bond Apatite par rapport à d'autres matériaux de comblement osseux. Davantage d'études cliniques seront nécessaires dans le futur pour affirmer ou non cette hypothèse.

De plus, dans le futur, d'autres modifications et ajustement de la molécule pourraient améliorer d'autant plus ses propriétés pour permettre une utilisation clinique plus efficace et répandue.

Bibliographie

- Aichelmann-Reidy, M. E., C. D. Heath, et M. A. Reynolds. « Clinical evaluation of calcium sulfate in combination with demineralized freeze-dried bone allograft for the treatment of human intraosseous defects ». *Journal of periodontology* 75, n° 3 (2004): 340-47. <https://doi.org/10.1902/jop.2004.75.3.340>.
- Almutairi, A. S. « A descriptive analysis of patient's preferences in bone graft therapy in dentistry ». *International journal of health sciences* 13, n° 3 (2019): 24-28.
- Andreana, S., R. Cornelini, L. E. Edsberg, et J. R. Natiella. « Maxillary sinus elevation for implant placement using calcium sulfate with and without DFDBA : six cases ». *Implant dentistry* 13, n° 3 (2004): 270-77. <https://doi.org/10.1097/01.id.0000136914.82891.20>.
- Augma. « Protocole d'utilisation ». Augma. Consulté le 2 octobre 2020. <https://www.augma.fr/>.
- Bahn, S. L. « Plaster : a bone substitute ». *Oral surgery, oral Medicine, and oral pathology* 21, n° 5 (1966): 672-81. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(66\)90045-4](https://doi.org/10.1016/0030-4220(66)90045-4).
- Baranes, D., et G M. Kurtzman. « Biphasic calcium sulfate as an alternative grafting material in various dental applications ». *The journal of oral implantology* 45, n° 3 (2019): 247-55. <https://doi.org/10.1563/aaid-joi-D-18-00306>.
- Camargo, P. M., V. Lekovic, M. Weinlaender, P. R. Klokkevold, E. B. Kenney, B. Dimitrijevic, M. Nedic, S. Jancovic, et M. Orsini. « Influence of bioactive glass on changes in alveolar process dimensions after exodontia ». *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontology* 90, n° 5 (2000): 581-86. <https://doi.org/10.1067/moe.2000.110035>.
- Carlsson, G. E., A. Hugoson, et G. Persson. « Dental abrasion and alveolar bone loss in the white rat. IV. The importance of the consistency of the diet and its abrasive components ». *Odontologisk revy* 18, n° 3 (1967): 263-68.
- Carnevale, G., et R. Pontoriero. « Treatment of furcation involved teeth ». In *Diagnosis and treatment of furcation-involved teeth*, édité par J. Lindhe, N. Lang, et P. Carrington, 5th Ed. Oxford : Blackwell munksgaard, 2012.
- Chavda, S., et L. Levin. « Human studies of vertical and horizontal alveolar ridge augmentation comparing different types of bone graft materials : a systematic review ». *The journal of oral implantology* 44, n° 1 (2018): 74-84. <https://doi.org/10.1563/aaid-joi-D-17-00053>.
- Das, E. C., T. V. Kumary, P. R. Anil Kumar, et M. Komath. « Calcium sulfate-based bioactive cement for periodontal regeneration : an In Vitro study ». *Indian journal of dental research* 30, n° 4 (2019): 558-67. https://doi.org/10.4103/ijdr.IJDR_12_18.

- De Tullio, I., S. Caputi, G. Perfetti, L. Mavriqi, D. Wismeijer, et T. Traini. « A human clinical and histomorphometrical study on different resorbable and non-resorbable bone substitutes used in post-extractive sites. Preliminary results ». *Materials* 12, n° 15 (2019). <https://doi.org/10.3390/ma12152408>.
- Dridi, S. M., C. Bisson-Boutelliez, A. Blanc, et M. Chousterman. *Lésions intra-osseuses et interradiculaires : diagnostics et thérapeutiques en parodontie*. Paris : Espace ID, 2017.
- Gao, C., S. Huo, X. Li, X. You, Y. Zhang, et J. Gao. « Characteristics of calcium sulfate/gelatin composite biomaterials for bone repair ». *Journal of biomaterials science* 18, n° 7 (2007): 799-824. <https://doi.org/10.1163/156856207781367710>.
- Goldman, H. M., et D. W. Cohen. « The infrabony pocket : classification and treatment ». *The journal of periodontology* 29, n° 4 (1958): 272-91. <https://doi.org/10.1902/jop.1958.29.4.272>.
- Gosset, M., et Université Paris Descartes. « Cours sur les lésions intra-osseuses », 2018 2017.
- Hamp, S. E., S. Nyman, et J. Lindhe. « Periodontal treatment of multirrooted teeth. Results after 5 years ». *Journal of clinical periodontology* 2, n° 3 (1975): 126-35. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051x.1975.tb01734.x>.
- Karalashvili, L., A. Kakabadze, M. Uhryn, H. Vyshnevskya, K. Ediberidze, et Z. Kakabadze. « Bone grafts for reconstruction of bone defect (review) ». *Georgian medical news*, n° 282 (2018): 44-49.
- Laino, L., G. Troiano, G. Giannatempo, U. Graziani, D. Ciavarella, M. Dioguardi, L. Lo Muzio, F. Lauritano, et M. Ciccù. « Sinus lift augmentation by using calcium sulphate. A retrospective 12 months radiographic evaluation over 25 treated italian patients ». *The open dentistry journal* 9 (2015): 414-19. <https://doi.org/10.2174/1874210601509010414>.
- Lallouet, D. « Les biomatériaux de comblement osseux en parodontologie et implantologie ». Thèse d'exercice, Université Paris Descartes, 2009.
- Lewis, K. N., M. V. Thomas, et D. A. Puleo. « Mechanical and degradation behavior of polymer-calcium sulfate composites ». *Journal of materials science : materials in medicine* 17, n° 6 (2006): 531-37. <https://doi.org/10.1007/s10856-006-8936-0>.
- MacNeill, S. R., C. M. Cobb, J. W. Rapley, A. G. Glaros, et P. Spencer. « In vivo comparison of synthetic osseous graft materials ». *Journal of clinical periodontology* 26, n° 4 (1999): 239-45. <https://doi.org/10.1034/j.1600-051X.1999.260407.x>.
- Mamidwar, S. S., C. Arena, S. Kelly, H. Alexander, et J. Ricci. « In vitro characterization of a calcium sulfate/PLLA composite for use as a bone graft material ». *Journal of biomedical materials research* 81, n° 1 (2007): 57-65. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.30636>.
- Markakis, K., A. R. Faris, H. Sharaf, B. Faris, S. Rees, et F. L. Bowling. « Local antibiotic delivery systems : current and future applications for diabetic foot infections ». *The international journal of lower extremity wounds* 17, n° 1 (2018): 14-21. <https://doi.org/10.1177/1534734618757532>.

- Mazor, Z., S. Mamidwar, J. L. Ricci, et N. M. Tovar. « Bone repair in periodontal defect using a composite of allograft and calcium sulfate (DentoGen) and a calcium sulfate barrier ». *Journal of oral implantology* 37, n° 2 (2010): 287-92. <https://doi.org/10.1563/AAID-JOI-D-10-00006.1>.
- Melcher, A. H. « Cells of periodontium : their role in the healing of wounds ». *Annals of the royal college of surgeons of England* 67, n° 2 (1985): 130-31.
- Oryan, A., S. Alidadi, A. Moshiri, et N. Maffulli. « Bone regenerative medicine : classic options, novel strategies, and future directions ». *Journal of orthopaedic surgery and research* 9, n° 1 (2014): 18. <https://doi.org/10.1186/1749-799X-9-18>.
- Parsons, J. R., J. L. Ricci, H. Alexander, et P. K. Bajpai. « Osteoconductive composite grouts for orthopedic use ». *Annals of the new york academy of sciences* 523 (1988): 190-207. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1988.tb38512.x>.
- Payne, J. M., C. M. Cobb, J. W. Rapley, W. J. Killoy, et P. Spencer. « Migration of human gingival fibroblasts over guided tissue regeneration barrier materials ». *Journal of periodontology* 67, n° 3 (1996): 236-44. <https://doi.org/10.1902/jop.1996.67.3.236>.
- Pecora, G., D. D Leonardis, N. Ibrahim, M. Bovi, et R. Cornolini. « The use of calcium sulphate in the surgical treatment of a through and through periradicular lesion ». *International endodontic journal* 34, n° 3 (2001): 189-97. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2001.00369.x>.
- Peltier, L. F., et R. H. Jones. « Treatment of unicameral bone cysts by curettage and packing with plaster-of-Paris pellets. » *Clinical orthopaedics and related research*, n° 422 (2004): 145-47. <https://doi.org/10.1097/01.blo.0000131645.68869.6e>.
- Peltier, Leonard F. « The use of plaster of paris to fill large defects in bone : a preliminary report ». *The american journal of surgery* 97, n° 3 (1959): 311-15. [https://doi.org/10.1016/0002-9610\(59\)90305-8](https://doi.org/10.1016/0002-9610(59)90305-8).
- Peters, C. L., J. L. Hines, K. N. Bachus, M. A. Craig, et R. D. Bloebaum. « Biological effects of calcium sulfate as a bone graft substitute in ovine metaphyseal defects ». *Journal of biomedical materials research* 76, n° 3 (2006): 456-62. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.30569>.
- Shaffer, C. D., et G. R. App. « The use of plaster of paris in treating infrabony periodontal defects in humans ». *Journal of periodontology* 42, n° 11 (1971): 685-90. <https://doi.org/10.1902/jop.1971.42.11.685>.
- Shi, B., Y. Zhou, Y. N. Wang, et X. R. Cheng. « Alveolar ridge preservation prior to implant placement with surgical-grade calcium sulfate and platelet-rich plasma : a pilot study in a canine model ». *The international journal of oral & maxillofacial implants* 22, n° 4 (2007): 656-65.
- Sidqui, M., P. Collin, C. Vitte, et N. Forest. « Osteoblast adherence and resorption activity of isolated osteoclasts on calcium sulphate hemihydrate ». *Biomaterials* 16, n° 17 (1995): 1327-32. [https://doi.org/10.1016/0142-9612\(95\)91048-4](https://doi.org/10.1016/0142-9612(95)91048-4).

- Slater, N., A. Dasmah, L. Sennerby, M. Hallman, A. Piattelli, et R. Sammons. « Back-scattered electron imaging and elemental microanalysis of retrieved bone tissue following maxillary sinus floor augmentation with calcium sulphate ». *Clinical oral implants research* 19, n° 8 (2008): 814-22. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2008.01550.x>.
- Strocchi, R., G. Orsini, G. Iezzi, A. Scarano, C. Rubini, G. Pecora, et A. Piattelli. « Bone regeneration with calcium sulfate : evidence for Increased angiogenesis in rabbits ». *Journal of oral implantology* 28, n° 6 (2002): 273-78. [https://doi.org/10.1563/1548-1336\(2002\)028<0273:BRWCSE>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1563/1548-1336(2002)028<0273:BRWCSE>2.3.CO;2).
- Tarnow, D., et P. Fletcher. « Classification of the vertical component of furcation involvement ». *Journal of periodontology* 55, n° 5 (1984): 283-84. <https://doi.org/10.1902/jop.1984.55.5.283>.
- Tay, B. K., V. V. Patel, et D. S. Bradford. « Calcium sulfate and calcium phosphate based bone substitutes. Mimicry of the mineral phase of bone ». *The orthopedic clinics of North America* 30, n° 4 (1999): 615-23. [https://doi.org/10.1016/s0030-5898\(05\)70114-0](https://doi.org/10.1016/s0030-5898(05)70114-0).
- Urban, R. M., T. M. Turner, D. J. Hall, N. Inoue, et S. Gitelis. « Increased bone formation using calcium sulfate-calcium phosphate composite graft ». *Clinical orthopaedics and related research* 459 (2007): 110-17. <https://doi.org/10.1097/BLO.0b013e318059b902>.
- Yahav, A., G. Kurtzman, M. Katzap, D. Dudek, et D. Baranes. « Bone regeneration : properties and clinical applications of biphasic calcium sulfate ». *Dental clinics of North America* 64, n° 2 (2020): 453-72. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2019.12.006>.
- Yamauchi, M., T. Yamaguchi, H. Kaji, T. Sugimoto, et K. Chihara. « Involvement of calcium-sensing receptor in osteoblastic differentiation of mouse MC3T3-E1 cells ». *American journal of physiology. endocrinology and metabolism* 288, n° 3 (2005): E608-616. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00229.2004>.

Table des figures

Figure 1 : Classification des lésions intra-osseuses	5
Figure 2 : Suivi radiographique d'un kyste osseux au niveau du tibia d'un enfant de 10 ans comblé par des palettes de sulfate de calcium	17
Figure 3 : Suivi d'un cas de sinus lift par voie latérale au sulfate de calcium	19
Figure 4 : Suivi radiographique du traitement d'une lésion péri-radriculaire par du sulfate de calcium lors d'une chirurgie-endodontique	20
Figure 5 : Etude sur 26 patients avec kystes osseux monocaméraux comblés avec des palettes de sulfate de calcium.....	22
Figure 5 : Seringue de Bond apatite	27
Figure 6 : Coupe histologique d'un échantillon à 3 mois post-comblement au Bond Apatite montrant des résidus de greffe (Residual Graft scaffold - RS) et de l'os nouveau (New Bone - NB)	27
Figure 7 : Radiographie rétro-alvéolaire de diagnostic de 46	30
Figure 8 : Photo clinique à la suite de l'extraction de 46	31
Figure 9 : Mise en place du Bond Apatite dans l'alvéole.....	32
Figure 10 : Cone beam à 3 mois post-greffe au Bond Apatite	32
Figure 11 : Réouverture du site opératoire à 3 mois post-intervention	33
Figure 12 : Photo clinique de l'implant avant mise en place de la couronne	34
Puis mise en place d'une couronne céramo-metallique transvissée 3 mois après la pose de l'implant.	34
Figure 13 : Photo clinique de suivi suite à la pose de la couronne transvissée	34
Figure 14 : Radiographie rétro-alvéolaire suite à la mise en place de la couronne céramo-métallique transvissée.....	35
Figure 15 : Radiographie de suivi à 4 ans post-opératoire.....	35
Figure 16 : Panoramique pré-opératoire.....	36
Figure 17 : Lambeau d'accès pour élévation de sinus droit	37
Figure 18 : Mise en place de Bond Apatite pour l'élévation de sinus droit	37
Figure 19 : Photo clinique après mise en place du Bond Apatite.....	38
Figure 20 : Fermeture du lambeau sous tension.....	38
Figure 21 : CBCT à 3 mois post-opératoire.....	39
Figure 22 : Mise en place de 4 implants après élévation de sinus	40
Figure 23 : Panoramique de contrôle après pose implantaire	40

Table des tableaux

Tableau 1 : Classification des lésions inter-radiculaires	6
Tableau 2 : Récapitulatif des avantages/inconvénients des matériaux de comblement osseux.....	11
Tableau 3 : Récapitulatif des propriétés biologiques du sulfate de calcium.....	16

Vu, le Directeur de thèse

Vu, le Doyen de l'UFR d'Odontologie - Montrouge

Docteur Thông NGUYEN

Professeur Louis MAMAN

Vu, le Président d'Université de Paris

Professeur Christine CLERICI

Pour le Président et par délégation,

Le Doyen Louis MAMAN

Évolution du sulfate de calcium dans le traitement des défauts osseux

Résumé :

Ce travail porte sur l'évolution du sulfate de calcium dans le traitement des défauts osseux. Utilisé depuis très longtemps dans ces traitements, notamment dans le cadre de la tuberculose, le matériau a été transformé et adapté à une utilisation orale. Son rôle ostéo-conducteur est étayé par de nombreuses publications. Modifié et couplé au fil des années, il est à ce jour toujours employé lors de la réalisation de comblements osseux et présente de nombreuses indications lui permettant de faire partie d'un panel de biomatériaux de choix au vu d'une augmentation osseuse notamment pour envisager des plans de traitements implantaires. Nous nous intéresserons d'abord aux diverses lésions intra-osseuses susceptibles d'être traitées par comblement, puis nous aborderons le sulfate de calcium dans sa globalité suivi de son évolution, les modifications qui lui ont été apportées et les couplages à d'autres matériaux en vue d'améliorer ses propriétés et donc son utilisation clinique. Il s'agira enfin de présenter deux cas cliniques d'un matériau à base de sulfate de calcium prometteur utilisé par de nombreux praticiens aujourd'hui et de conclure sur la légitimité de son recours sur le marché des biomatériaux de traitements de défauts osseux disponibles.

Discipline :

Matériaux dentaires

Mots clés français (fMeSH et Rameau) :

Maladies osseuses -- Dissertation universitaire ; Substituts osseux -- Dissertation universitaire ; Sulfate de calcium -- Thèses et écrits académiques ; Biomateriaux -- Thèses et écrits académiques

English keywords (MeSH) :

Bone Diseases -- Academic Dissertation ; Bone Substitutes -- Academic Dissertation

Université de Paris
UFR d'Odontologie - Montrouge
1, rue Maurice Arnoux
92120 Montrouge