

Année 2012

N° 017

**UTILISATION PER-OPERATOIRE DES
PHOSPHATES DE CALCIUM DE SYNTHÈSE EN
IMPLANTOLOGIE**

**THESE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR
EN CHIRURGIE DENTAIRE**

Présentée et soutenue publiquement par

Claire MACON

Née le 22 Juin 1985

Le 28/Février/2012 devant le jury ci-dessous :

Président : M. le Professeur Bernard GIUMELLI

Assesseur : M. le Docteur Alain HOORNAERT

Assesseur : M. le Docteur Laurent LE GUEHENNEC

Directeur de thèse : M. le Professeur Yves AMOURIQ

1	INTRODUCTION.....	5
2	LES BIOMATERIAUX, LES PHOSPHATES DE CALCIUM.....	10
2.1	LES BIOMATERIAUX DE SUBSTITUTION OSSEUSE.....	10
2.1.1	Définition, propriétés.....	10
2.1.2	Aspects réglementaires.....	10
2.1.3	Classification des biomatériaux de substitution osseuse.....	11
2.1.4	Propriétés des biomatériaux de substitution osseuse.....	11
2.2	LES PHOSPHATES DE CALCIUM.....	12
2.2.1	Définition.....	12
2.2.2	La cicatrisation osseuse en présence d'un biomatériau.....	12
2.2.2.1	La réactivité biologique des biomatériaux.....	13
2.2.2.2	L'implantation.....	13
2.2.2.3	Réaction tissulaire, cellulaire et moléculaire.....	13
2.2.3	Les propriétés des phosphates de calcium :.....	14
2.2.4	Les différentes formes de phosphate de calcium.....	15
2.2.5	Les céramiques phosphocalciques.....	15
2.2.5.1	L'hydroxyapatite (HA).....	16
2.2.5.2	Le phosphate de calcium tricalcique β (β -TCP).....	17
2.2.5.3	Les céramiques phosphocalciques biphasées (BCP).....	17
2.2.5.4	Les hydroxyapatites d'origine biologique.....	18
2.2.6	Les ciments phosphocalciques (CPCs).....	19
2.2.7	Les ciments composites.....	19
2.2.8	Les suspensions granulaires phosphocalciques injectables.....	20
2.3	LES MEMBRANES.....	22
2.3.1	Définition.....	22
2.3.2	Rôle des membranes.....	22
2.3.3	Les membranes non résorbables.....	22
2.3.4	Les membranes résorbables.....	22
2.3.4.1	Les membranes collagéniques.....	23
2.3.4.2	Les membranes synthétiques.....	23
2.3.4.3	Le concept membranaire PRF (platelet rich fibrin).....	23
2.3.5	Conclusion.....	24

3	POSE D'IMPLANT AVEC UTILISATION DE PHOSPHATES DE CALCIUM EN PER-OPERATOIRE	25
3.1	POSE D'IMPLANT AVEC COMPLEMENT DE SINUS PAR UN PHOSPHATE DE CALCIUM	28
3.1.1	Pose d'implant avec comblement de sinus par un phosphate de calcium par abord latéral	31
3.1.1.1	Premier paramètre : le nombre d'interventions	31
3.1.1.2	Deuxième paramètre : les phosphates de calcium comme matériau de comblement	34
3.1.1.3	Troisième paramètre : importance de la présentation du phosphate de calcium	37
3.1.1.4	Quatrième paramètre : les phosphates de calcium comparés au Bio-Oss® comme matériau de comblement.....	38
3.1.1.5	Cinquième paramètre : élévation de la membrane sinusienne sans matériau de comblement	39
3.1.2	Pose d'implant avec comblement de sinus par un phosphate de calcium par abord crestal	43
3.2	POSE D'IMPLANT IMMEDIATEMENT APRES EXTRACTION AVEC UTILISATION DE PHOSPHATES DE CALCIUM.....	51
3.2.1	Sélection du site à implanter :	51
3.2.2	Définition du défaut osseux péri-implantaire	52
3.2.3	Indications de l'implantation immédiate	52
3.2.4	Comblement de défaut osseux alvéolaire lors d'une extraction/ implantation immédiate	53
3.2.4.1	Les phosphates de calcium d'origine synthétique :	54
3.2.4.2	Le Bio-Oss® :	56
3.2.4.3	L'utilisation des membranes :	57
3.2.4.4	Les « autres » techniques permettant de limiter la résorption osseuse.	58
3.3	POSE D'IMPLANT AVEC COMPLEMENT DE DEFAUTS OSSEUX ALVEOLAIRES PAR UN PHOSPHATE DE CALCIUM.....	61
3.3.1	La cicatrisation spontanée des défauts osseux alvéolaires	61
3.3.2	Pose d'implant avec comblement de défauts alvéolaires aux phosphates de calcium...	68
3.3.2.1	Complements osseux péri implantaire au niveau de tibia, chez l'animal :	68
3.3.2.2	Pose d'implants avec comblement lors de distraction osseuse :	70
3.3.2.3	Comblement de défauts osseux péri-implantaires avec des phosphates de calcium chez le chien	72
3.3.2.4	Les études cliniques humaines	76
4	APPLICATIONS CLINIQUES	81

5 CONCLUSION.....	87
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	91
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	99
LES ANNEXES.....	103

1 INTRODUCTION

L'implantologie orale est devenue depuis quelques années un outil thérapeutique incontournable dont la finalité n'est autre que la réhabilitation prothétique fonctionnelle et esthétique. Les bons résultats des traitements implantaires incitent à en augmenter continuellement les indications. Même s'il est difficile de quantifier selon la Haute Autorité de Santé ⁽⁴³⁾ (2008) l'activité d'implantologie en France, *Millénium Research Group* estime de 7500 et 15000 le nombre de professionnels pratiquant l'implantologie en France. Les experts estiment à 243000 le nombre d'implants posés en France en 2007. Il y aurait en moyenne 2 à 3 implants par patient soit environ 100000 patients concernés par l'implantologie en France, en un an. Le traitement implantaire est donc une technique en plein essor dont les indications sont perpétuellement élargies.

Le problème le plus souvent rencontré en implantologie est le déficit de volume osseux. La résorption est selon Atwood un phénomène irréversible, chronique et cumulatif. Le 1/4 de cette résorption s'effectue pendant les 3 mois suivants l'extraction. La résorption est généralement plus marquée à la mandibule qu'au maxillaire ⁽⁵⁸⁾. La présence de déhiscence, fenestration, faible hauteur maxillaire, défauts osseux à 3 murs ou un manque de quantité osseuse peuvent contre-indiquer l'insertion ou compromettre le succès à long terme de l'implant.

Afin de permettre la pose d'implant malgré le déficit osseux, la première possibilité est la greffe d'os autogène. Les prélèvements sont soit extra-oraux : au niveau de l'os coxal, de la calvaria, soit intra-oraux, avec comme sites principaux la symphyse mentonnière ou la branche montante de la mandibule. Cette technique cependant accompagnée de risque de morbidité, d'infection du site prélevé, d'une douleur plus importante et plus invalidante pour le patient (Cordaro et *coll.* 2008). Des banques d'organes ont permis d'obtenir des greffons sans site d'intervention. Les capacités de ce greffon déprotéinisé et stérilisé sont très diminuées par rapport à l'os autogène. Les allogreffes présentent également un risque potentiel de transmission d'infection même s'il est minimisé par le traitement subi par l'os. Les xénogreffes constituées, elles, par les phases minérales d'os d'origine animale, présentent une troisième possibilité même si elles véhiculent toujours le risque de transmission de maladies (Christian et *coll.* 2008). Une alternative à l'utilisation de greffes d'os autogène est possible avec les phosphates de calcium synthétiques que l'on retrouve sous différentes formes et associations.

Nous allons voir dans un premier temps quelles sont les propriétés, les capacités ainsi que les diverses formes de phosphates de calcium actuellement commercialisées. Nous ferons également un rappel sur l'utilisation des membranes participant très largement au processus de régénération tissulaire guidée et souvent associées aux biomatériaux.

Puis nous analyserons la littérature scientifique concernant l'utilisation des phosphates de calcium en implantologie lors de la mise en place d'implant. Comme la sphère oro-buccale est constituée de différents organes ayant chacun leurs particularités anatomiques et physiologiques, nous diviserons l'étude de la pose d'implant nécessitant un comblement osseux avec des phosphates de calcium en 3 grandes parties.

Nous commencerons par étudier la mise en place d'implant au maxillaire postérieur. La résorption alvéolaire et la pneumatisation du sinus entraînent une perte importante de volume osseux sous sinusien. Pour obtenir la stabilité primaire de l'implant un rehaussement du plancher sinusien est souvent nécessaire. L'accès au sinus maxillaire peut être réalisé par abord latéral ou abord crestal. Nous verrons successivement ces 2 techniques en détaillant les modalités de choix, les impératifs et les indications de chacune d'elles. Nous comparerons au travers de la littérature, les résultats permis par les différents phosphates de calcium et leurs bénéfices par rapport à l'utilisation d'os autogène.

Dans un second temps, nous nous focaliserons sur un cas particulier de la chirurgie implantaire, l'implantation immédiatement après l'extraction dentaire. Nous verrons dans quelles mesures les phosphates de calcium interviennent dans cette technique après en avoir défini les particularités physiologiques et mécaniques.

Nous verrons dans une troisième partie le comblement de défauts osseux péri-implantaires regroupant les déhiscences, les fenestrations, les déficits osseux verticaux et horizontaux. Nous commencerons par analyser la cicatrisation des défauts osseux péri-implantaires sans comblement de manière à évaluer les bénéfices apportés par les phosphates de calcium en tant que matériaux de comblement.

A l'issue de ces analyses, nous illustrerons l'utilisation des phosphates de calcium par un cas clinique. Puis nous pourrions discuter et conclure sur les bénéfices issus de l'utilisation des phosphates de calcium, leurs capacités à remplacer l'os autogène en chirurgie implantaire ainsi que les perspectives permises par l'ingénierie tissulaire.

***Notion de niveau de preuve et gradation des recommandations (HAS 2000)⁽⁴²⁾**

Pour étudier l'intérêt de l'utilisation des phosphates de calcium en implantologie dentaire, nous nous sommes appuyés sur la littérature scientifique actuelle. Mais pour analyser cette littérature et comparer les résultats obtenus dans différentes études, il faut évaluer les articles publiés en fonction de leur niveau de preuve scientifique.

La notion de niveau de preuve scientifique doit être formalisée. Des propositions ont été faites par différents auteurs (Sackett par exemple) pour graduer la force des recommandations en fonction de la preuve scientifique.

Dans les classifications actuellement publiées, 3 notions apparaissent :

- Le niveau de preuve scientifique
- L'évidence scientifique après synthèse des études disponibles
- Le grade de recommandations produites par un groupe d'experts à partir de la littérature.

Le niveau de preuve d'une étude caractérise la capacité de l'étude à répondre à la question posée. Cette capacité juge la correspondance de l'étude au cadre de travail et les caractéristiques suivantes : l'adéquation entre le protocole et la question posée, l'existence de biais importants et la puissance de l'étude (la taille de l'échantillon).

A l'issue du recueil de ces données, nous pouvons déterminer à quel niveau de preuve appartiennent nos études :

- **Un fort niveau de preuve** : protocole adapté à la question posée, pas de biais majeur et puissance suffisante
- **Un niveau preuve intermédiaire** : protocole similaire mais avec moins de puissance et parfois des anomalies
- **Un faible niveau de preuve** : attribué aux autres types d'études.

L'évidence scientifique est appréciée lors de la synthèse des résultats de l'ensemble des études sélectionnées. Elle constitue la conclusion des tableaux de synthèse.

Le grade des recommandations est fonction des données fournies par la littérature et de l'avis des professionnels.

Niveau de preuve scientifique fourni par la littérature	Grade des recommandations
Niveau 1 : - essais comparatifs randomisés de forte puissance ; - méta analyses d'essais comparatifs randomisés ; - analyse de décision basée sur des études bien menées	A preuve scientifique établie
Niveau 2 : - essais comparatifs randomisés de faible puissance ; - études comparatives non randomisés bien menées ; - étude de cohorte	B présomption scientifique
Niveau 3 : études cas témoins Niveau 4 : - études comparatives comportant des biais importants ; - études rétrospectives ; - séries de cas ; - études épidémiologique descriptives	C faible niveau de preuve scientifique

Tableau 1: Grade des recommandations

En l'absence de précision, les recommandations proposées ne correspondent qu'à un accord professionnel.

L'appréciation de la force des recommandations repose donc sur le niveau d'évidence scientifique, l'interprétation des experts.

L'analyse de la littérature permet rarement de répondre à toutes les questions posées. Les recommandations doivent explicitement distinguer les réponses soutenues par une évidence scientifique et de celles qui ne le sont pas.

***Intérêt de l'évaluation osseuse des sites pré implantaires.**

L'organisation du plan de traitement implantaire est très importante. Les étapes en amont de la phase chirurgicale conditionnent le succès du traitement. Avant de mettre en place l'implant, il est nécessaire de recueillir des données notamment anatomiques, telles que : la situation anatomique de l'édentement, la quantité et la qualité osseuse du site, puis la place de la restauration prothétique...

La quantité et la qualité osseuse sont des éléments indispensables à connaître et à évaluer car elles conditionnent le protocole chirurgical, la stabilité primaire de l'implant et son ostéointégration.

En 2010, Ribeiro-Rotta et *coll.* publient une étude sur l'intérêt et la nécessité de déterminer les caractéristiques osseuses dans le plan de traitement implantaire. L'étude ⁽⁶⁸⁾ est une enquête sur les définitions et les méthodes utilisées pour caractériser le tissu osseux lors de traitement implantaire. Sur les 488 titres issus d'une première sélection, 108 sont retenus et dans 2/3 des publications la classification osseuse utilisée est celle de Lekholm et Zarb 1985. Le même résultat est obtenu par Turkylmaz et *coll.* Dans son étude ⁽⁸¹⁾ de niveau 3, le but est de montrer l'intérêt du scanner (computerized axial tomographic (CAT) en examinant la corrélation entre la densité osseuse déterminée par CAT et la stabilité implantaire qui inclut le torque, la fréquence de résonance et le taux de survie implantaire. D'après cette étude, le CAT, méthode non invasive permet de déterminer la qualité osseuse et il y a une corrélation significative entre la qualité osseuse et la stabilité primaire. L'utilisation du CAT est en accord avec les résultats de l'étude de Ribeiro ⁽⁶⁸⁾. L'intérêt de l'évaluation du tissu osseux pour le traitement implantaire est double : c'est un outil diagnostique pour évaluer si le tissu osseux est en quantité suffisante et c'est un outil pronostic pour connaître la probabilité d'échec ou de succès implantaire.

Les deux études s'accordent sur l'importance de la détermination des caractéristiques osseuses que ce soit avec le CAT ou en s'appuyant sur une classification répandue et d'ailleurs les deux se complètent. Le CAT permettrait d'affiner la classification osseuse. Donc quel que soit la méthode choisie, elle doit être strictement suivie, et dans l'ordre, pour permettre des comparaisons, des méta-analyses avec les résultats de différentes études. Ces deux systèmes demandent à être approfondis en affinant les classifications. Il faut également travailler dans l'objectif de ne pas surcharger les patients d'exams tout en augmentant la fiabilité du traitement implantaire.

2 LES BIOMATERIAUX, LES PHOSPHATES DE CALCIUM

2.1 LES BIOMATERIAUX DE SUBSTITUTION OSSEUSE

2.1.1 Définition, propriétés

La définition du biomatériau est complexe et évolutive

La plus satisfaisante semble être celle soumise en 1982 lors de la conférence de consensus de consensus de l'Institut National de la Santé (NIH) aux Etats Unis :

Un biomatériau est un matériau d'origine naturelle ou synthétique, utilisé seul ou combiné à un principe actif, comme partie intégrante d'un dispositif, pour le traitement, l'accroissement ou le remplacement de tissu, d'organes, sans causer de dommage aigu ou chronique à son hôte, tout en assurant son efficacité biologique et/ou physique prévue, pendant sa durée de vie *in-vivo*⁽⁸⁵⁾.

2.1.2 Aspects réglementaires

Le biomatériau de substitution osseuse est un dispositif médical ou en fait partie.

Le dispositif médical regroupe tous les instruments, appareils, matériaux ou autres articles, utilisé seul ou en association, destiné à être utilisé exclusivement ou principalement chez l'homme à des fins : diagnostiques, préventives, de contrôle, et de traitement.

Les biomatériaux sont classés en plusieurs catégories : I, IIa, IIb, III, en fonction de la durée et de la nature du contact ainsi que de l'origine chimique du biomatériau. En fonction de ce classement, les biomatériaux n'auront pas à subir les mêmes tests.

Les biomatériaux de substitution osseuse appartiennent à la classe III (marquage CE). Ce sont des dispositifs médicaux invasifs à long terme de la sphère oro-pharyngée⁽²¹⁾.

La classification des biomatériaux est régie par la directive européenne 93/42, est obligatoire pour tous les acteurs, elle définit les exigences pour le produit et le fabricant en fonction de la classe.

2.1.3 Classification des biomatériaux de substitution osseuse

Les biomatériaux de substitution osseuse peuvent être classés selon leurs caractéristiques ⁽⁷⁹⁾ :

- Classement en fonction de leur mise en œuvre
 - Les matériaux non-durcissants :
 - Poudres, granules brutes, blocs
 - Pâtes non-durcissantes prêtes à l'emploi
 - Matériaux auto durcissants (ciments)
 - Ciments non préparés (poudre + liquide de gâchage)
 - Ciments prêts à l'emploi (pâte conditionnée en dispositif d'application)
- Classement selon leurs caractéristiques d'utilisation
 - Injectabilité, ouvrabilité
 - Prise et durcissement
 - Résorbabilité, ostéoconductivité
- Classement selon leur composition chimique
 - Carbonate de calcium
 - Céramiques phosphocalciques
 - Ciments phosphocalciques
 - Polymères
 - Bioverres
 - Sulfate de calcium
- Classement selon leur origine
 - Produits d'origine naturelle (les dérivés osseux et les carbonates de calcium)
 - Produits synthétiques (les céramiques phosphocalciques, les polymères, les bioverres et les sulfates de calcium).

2.1.4 Propriétés des biomatériaux de substitution osseuse

Les biomatériaux de substitution osseuse possèdent un certain nombre des propriétés inhérentes à leur fonction⁽²¹⁾. Les biomatériaux de substitution osseuse destinés à être implantés doivent permettre un maintien de la santé des tissus environnants, voire une amélioration de celle-ci.

Leur intégration biologique au sein d'un organisme vivant nécessite des qualités telles que :

- L'absence de toxicité
- La résorption en milieu biologique
- La promotion de la néoformation osseuse au détriment du matériau en cours de résorption.

Le biomatériau⁽²⁸⁾ nécessite également des qualités conditionnant la mise en place telle que :

- Le fait d'être en phase plastique avant la mise en place
- La consolidation spontanée une fois mis en place
- La stabilité mécanique.

2.2 LES PHOSPHATES DE CALCIUM

2.2.1 Définition

Le phosphate de calcium est un élément majoritaire dans la fabrication de composés destinés au comblement osseux. Les matériaux à base de phosphate de calcium sont de plus en plus employés.

Le phosphate de calcium est bien connu pour ses propriétés d'ostéoconduction, pour son aptitude à fournir un échafaudage pour l'extension des cellules et sa capacité à se dissoudre de façon plus ou moins complète. (Daculsi G et coll, 1999).

Les phosphates de calcium sont les éléments prépondérants des substituts osseux du fait de leur biocompatibilité *in vivo* et *in vitro*, leur innocuité microbiologique, la proximité chimique et structurale avec le tissu substitué, la qualité des échanges et intégration ionique ainsi que la physiosorption de molécules actives. Un greffage chimique se produit. La synthèse de cet élément est maîtrisée.

2.2.2 La cicatrisation osseuse en présence d'un biomatériau

Contrairement à la présence osseuse naturelle, elle se fait selon un mode endomembranaire au contact et/ou à distance du biomatériau⁽⁷⁹⁾.

La séquence de réparation tissulaire a été décrite par Schwartz et Bayen en 1994.

En première intention, le biomatériau est recouvert par les protéines, des ions, des sucres, des lipides et des cytokines.

Par la suite, l'intérieur des pores est comblé par un caillot fibrino plaquettaire remplacé au fur et à mesure par un cal d'implantation.

La minéralisation du tissu ostéide commence entre le 6^{ième} et le 11^{ième} jour. A partir du 21^{ième} jour, des ostéoclastes sont recrutés ce qui signe le remodelage de l'os néoformé.

La qualité de la réparation osseuse dépend de trois paramètres : la réactivité biologique des biomatériaux, l'implantation et la réaction cellulaire, tissulaire et moléculaire.

2.2.2.1 La réactivité biologique des biomatériaux

Idéalement, le matériau de substitution devrait être totalement résorbé et remplacé par de l'os. Ses composants sont ensuite disponibles pour favoriser la cicatrisation osseuse.

En fonction de leur réactivité⁽⁷⁹⁾ dans l'environnement biologique, il y a des matériaux biorésorbables (disparaissent plus ou moins rapidement), des matériaux bioactifs qui interagissent avec les tissus biologiques et des matériaux bioinertes sans interaction avec l'environnement biologique.

Quel que soit le mécanisme du processus, **la vitesse de résorption** d'un substitut osseux dépendra de la nature chimique (la solubilité) du substitut, de la composition chimique exacte du milieu physiologique et de l'étendue de l'interface entre le substitut et le milieu physiologique.

Quand la résorption est passive, la vitesse de résorption du substitut est d'autant plus grande que le rapport surface/volume est élevé.

En présence d'une résorption active, le processus sera en outre favorisé par l'aménagement, dans la masse du substitut, d'un réseau de pores interconnectés.

2.2.2.2 L'implantation

Elle conditionne la réparation dans la mesure où la réaction inflammatoire primaire est liée au traumatisme opératoire. De plus, il doit exister un bon calage du substitut pour éviter la formation d'une interface fibreuse⁽⁷⁹⁾.

2.2.2.3 Réaction tissulaire, cellulaire et moléculaire

Les interactions entre le matériau et les différents acteurs biologiques conditionnent la qualité de la réparation. Les relations entre la réponse tissulaire et le matériau sont à double sens : la réponse tissulaire modifie le matériau et le matériau modifie la réponse cellulaire⁽⁷⁹⁾.

- L'influence de la réaction tissulaire sur le matériau :

Après implantation en site biologique, le matériau va subir des modifications de surface et de structure. Les paramètres biologiques influençant la dégradation viennent essentiellement des ostéoclastes. Il a été démontré que des modifications de matériaux par greffage covalent de peptides RGD, élément de la matrice extracellulaire, favorisait *in vivo* l'attachement des ostéoblastes

- Les paramètres inhérents au matériau influençant la réparation osseuse.

La réponse tissulaire à un matériau dépend d'une multitude de paramètres tels que :

- ✓ La composition chimique responsable d'une adsorption plus ou moins sélective
- ✓ La rugosité qui faciliterait la formation du tissu osseux
- ✓ Le module d'élasticité qui doit être adapté à celui de l'os
- ✓ La porosité qui doit être interconnectée.

2.2.3 Les propriétés des phosphates de calcium :

Les phosphates de calcium possèdent des propriétés biologiques fondamentales ; telles que:

- ❖ **La biocompatibilité** : propriété de ne pas entraîner de réaction tissulaire inflammatoire, aiguë ou chronique et de ne pas empêcher une différenciation correcte des tissus environnant l'implant ⁽⁷⁹⁾.
- ❖ **La biofonctionnalité** : est la capacité à remplir la fonction du tissu substitué ⁽⁸⁾.
- ❖ **La bioactivité** : est la capacité du matériau à induire une réaction biologique spécifique favorable. Concept décrit pour la première fois en 1989 par DACLUSI⁽⁶³⁾.
- ❖ **L'ostéoconduction** : d'après Davies 1998, c'est un processus par lequel l'os est dirigé dans la structure du matériau (pores, canaux) ou la diffusion de l'os à partir de la surface du matériau précédé de cellules ostéogéniques différenciées ⁽⁸⁾. Cette intégration spécifique de la surface d'un substitut par liaison directe avec l'os sans interposition d'un tissu fibreux, est l'ostéogénèse de liaison. Un substitut osseux est efficace s'il peut être dégradé par les cellules osseuses et remplacé par de l'os. Il faut pour cela une porosité adaptée. Les biomatériaux présentent une microporosité (diamètre des pores inférieur à 10µm ce qui permet la diffusion des fluides biologiques et les échanges ioniques) et une macroporosité (avec des pores de plus de 100µm de diamètre permettant la colonisation cellulaire). La macroporosité conditionne donc la biodégradation du substitut⁽⁶²⁾.

Ils sont disponibles sous forme de granules, blocs, d'enduit pour les implants dentaires notamment.

La propriété la plus importante du phosphate de calcium est probablement sa solubilité dans l'eau car celle-ci permet de prédire son comportement *in vivo*. (Bohner M, 2000)

2.2.4 Les différentes formes de phosphate de calcium

Il existe un nombre important de phosphate de calcium⁽⁶²⁾. Ceux utilisés en implantologie orale sont :

- **Le phosphate dicalcique dihydraté (DCPD)**, $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, est le plus facile à synthétiser, est biocompatible, biodégradable et ostéoconducteur.
- **Le phosphate octocalcique (OCP)**, $\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, précurseur de la formation de phosphate de calcium d'apatite dans les dents. Il est biocompatible, biodégradable et ostéoconducteur. (Brown W et al, 1962)
- **Le phosphate tricalcique β (β -TCP)**, $\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, obtenu par mélange équimolaire de DCPD et de PHA.
- **Le phosphate tricalcique α (α -TCP)**, $\alpha\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, de même composition que le β -TCP mais possède une structure cristalline différente ce qui le rend plus soluble. Il est biocompatible et plus biodégradable que le β -TCP.
- **Le phosphate de calcium biphasé (BCP)**, formé par l'association de β -TCP et HA, est obtenu par calcination de PHA.
- **L'hydroxyapatite (HA)**, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ est la forme la plus cristalline, la plus stable et la plus biocompatible en solution aqueuse.
- **Le phosphate tétracalcique (TTCP)**, $\text{Ca}_4(\text{PO}_4)_2\text{O}$, est obtenu par mélange de DCP et de CaCO_3 en quantité équimolaires. Il est le principal composant de plusieurs ciments, est biocompatible et peu biodégradable.

Les phosphates de calcium les plus utilisés en chirurgie implantaire sont les céramiques phosphocalciques et les matériaux composites tels que les ciments, auxquels nous nous limiterons.

2.2.5 Les céramiques phosphocalciques

Elles sont parfaitement biocompatibles (Bohner, 1981 ; LeGeros et *coll.* 1988). Leurs caractéristiques physico-chimiques leur confèrent la bioactivité. En effet, des échanges permanents sont permis entre la céramique implantée et les tissus environnants.

Elles sont également ostéoconductrices, leur structure sert d'échafaudage pour permettre la colonisation par les cellules, les fluides et les ions.

L'ostéoconduction est généralement le résultat d'une structure poreuse, dont les macropores font plus de 200µm (ce qui permet la colonisation par les cellules) et les micropores moins de 10µm de diamètre (permettant le passage des ions, des protéines, des facteurs de croissance).⁽⁸⁾

Les céramiques phosphocalciques utilisées en réparation osseuse sont : l'hydroxyapatite synthétique, le phosphate de calcium tricalcique α , le phosphate tricalcique β , la céramique phosphocalcique biphasée.

2.2.5.1 L'hydroxyapatite (HA)

L'hydroxyapatite est sur le plan chimique le phosphate de calcium qui se rapproche le plus de la phase minérale de l'os. Il est le moins soluble de tous les phosphates de calcium synthétiques car il possède une cinétique de résorption lente avec un ratio Ca/P de 1,67. Cette faible dissolution, peu enclin à une néoformation osseuse à son dépend, le rend cependant favorable pour supporter l'ostéoconduction, propriété nécessaire à la colonisation osseuse.⁽⁵⁰⁾

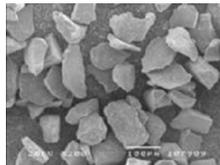


Figure 1 : hydroxyapatite phosphocalcique (Teknimed)

Parmi les formes commercialisées, nous avons :

- ❖ **Osbone**[®] $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ou $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})$ (Curasan, Allemagne) est une hydroxyapatite de synthèse indiquée pour les comblements osseux, les augmentations de crêtes alvéolaires, les comblements de sinus... Ce biomatériau est obtenu par frittage de céramique et fait de grains d'environ 10µm qui permettent aussi bien la microporosité que l'interconnexion. Sa porosité est de 80% et sa pureté de phase de plus de 95%, ce qui en fait un matériau homogène et lui confère une stabilité structurelle pendant la phase de cicatrisation. Sa vitesse de dégradation dépend de sa solubilité et de son homogénéité.
- ❖ **Ostim**[®] (Heraeus Kultzer, Allemagne) est composé de nanoparticules d'hydroxyapatites en solution aqueuse.

2.2.5.2 Le phosphate de calcium tricalcique β (β -TCP)

Le phosphate tricalcique β , au ratio Ca/P égal à 1,5, présente sous forme pure une importante solubilité⁽⁵³⁾. Cette propriété participe à l'augmentation locale des concentrations en ions calcium et phosphate qui entraîne des phénomènes de saturation permettant la reprécipitation d'apatite carbonatée. L'élévation de concentration de ces ions entraîne également une diminution de l'activité ostéocalcique et la stimulation du remodelage osseux⁽¹¹⁾.

- ❖ **Cerasorb**[®] (Curasan, Allemagne) est une des formes commercialisées de β -TCP. Il se présente sous forme de granules de 50 à 200 μm de diamètre dont 32% de son volume est poreux. Ce biomatériau est dissous chimiquement *in vivo* en 6 à 8 mois.

2.2.5.3 Les céramiques phosphocalciques biphasées (BCP)

Les céramiques phosphocalciques biphasées sont les biocéramiques les plus récentes qui allient les propriétés de l'hydroxyapatite et celles du phosphate tricalcique β . Grâce aux caractéristiques d'ostéoconduction et de biodissolution, les BCP permettent au tissu osseux de progresser des berges du défaut vers l'intérieur de l'implant. Les propriétés, en particulier la bioactivité des BCP, peuvent être contrôlées en faisant varier les proportions HA et β TCP. Ce ratio permet également de faire varier la solubilité du BCP⁽⁴⁰⁾. La dissolution de ce biomatériau favorise la libération d'ions calcium et phosphate dans le milieu biologique.

Cependant les propriétés mécaniques initiales ainsi que la biofonctionnalité et la colonisation osseuse en profondeur demeurent incomplètes.

Le BCP a fait l'objet de nombreuses études pour tester ses capacités dans la formation osseuse ainsi que sa résorption par le remodelage osseux. Jensen et *coll.* en 2010 utilisent ce biomatériau⁽⁴⁴⁾ pour obtenir une élévation du plancher sinusien. Le BCP **Strauman**[®] **Bone Ceramic** (Straumann, Suisse) est dans cette indication biocompatible, ostéoconducteur, bioactif et résorbable.

Ce test s'appuie sur les propriétés des BCP précédemment mises en évidence par Daculsi et *coll.* en 2003. Cette forme commerciale à 90% poreuse est composée à d'HA et de β -TCP. Elle se présente sous forme de granules de différents diamètres (100 à 500 micromètres).

- ❖ **MBCP[®]** (Biomatlante, France) est une autre forme commerciale de BCP composé de 40% de β -TCP et 60% d'HA et présentant 70% de porosité.

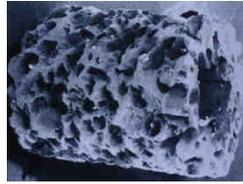


Figure 2 : Bloc de MBCP[®] vu au microscope électronique (Biomatlante, France)



Figure 3 : granules de MBCP[®] (Biomatlante, France)

2.2.5.4 Les hydroxyapatites d'origine biologique

Les HA d'origines biologiques telles que **Bio-Oss[®]** (Geistlich, Allemagne) sont issues de la matrice d'os anorganique bovin subissant une série de traitements, notamment la céramisation qui se réalise à environ 1200° C. Suite à ces traitements, les biomatériaux issus d'hydroxyapatites biologiques ne possèdent plus aucun élément vivant ou pathogène. Le Bio-Oss[®] peut donc être considéré comme un phosphate de calcium synthétique car sa sureté d'utilisation a été établie⁽⁹⁻⁷⁴⁾

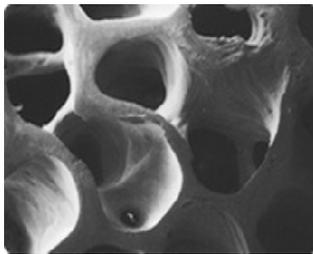


Figure 4 : Bio-Oss[®] (Geistlich, suisse) SEM *50

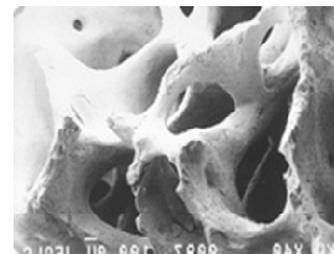


Figure 5 : structure macroporeuse osseuse SEM*50

2.2.6 Les ciments phosphocalciques (CPCs)

Le développement de ciments phosphocalciques est assez récent afin de répondre à la demande des praticiens. Le concept du ciment apatitique en phosphate de calcium a été présenté la première fois par LeGeros et *coll.* en 1982. ⁽⁸³⁾

Ce sont théoriquement des matériaux prometteurs : injectables, aux propriétés mécaniques élevées, macroporeux, radiopaques, biocompatibles, résorbables, ostéogéniques.

Dans la pratique leur utilisation reste délicate.

Les CPCs sont des ciments hydrauliques (premier brevet déposé par Brown et Chow en 1982), obtenus par une réaction A-B dans l'eau ou une solution aqueuse entre deux phosphates de calcium ; l'un acide, l'autre plus basique. Cette réaction de prise est isothermique éliminant le risque de nécrose osseuse. Leur nature chimique proche de la partie minérale de l'os les rend compatibles et ostéoconducteurs ⁽⁵⁶⁾.

Il existe deux groupes de CPCs définis selon leur vitesse de résorption : les ciments apatitiques et les ciments burshites (résorption : HA < apatitique < burshite).

In vivo la burshite perd vite ses propriétés mécaniques, dégradation rapide compensée par une néoformation osseuse précoce.

- ❖ **ICPC** le ciment à base de phosphate de calcium injectable (ICPC) fabriqué par Augmentech, (Wetzlar, Allemagne). Il est composé d'une poudre (TCP, magnésium, strontium) et d'un liquide : diammonium hydrogen phosphate.

2.2.7 Les ciments composites

Les ciments composites sont des matériaux composés contenant un ciment acrylique, additionné à une phase céramique de phosphate de calcium.

Globalement, la fraction acrylique permet d'atteindre des propriétés mécaniques proches de l'os et la céramique fournit la bioactivité permettant l'ostéointégration du matériau. Des études ont confirmé la bioactivité, la biocompatibilité de ces composites ⁽³⁹⁾.

Parmi les formes commercialisées et utilisées en implantologie orale, nous avons le **Bio-Oss® Collagène** (Geistlich Pharma AG, Suisse). C'est une association de granules de minéral osseux et de fibre de collagène, sous forme de bloc, stérilisée par rayon gamma.

2.2.8 Les suspensions granulaires phosphocalciques injectables

Les suspensions sont composées de 2 phases : une continue, la « matrice » et une non continue, les granules de phosphates de calcium. Les suspensions granulaires constituent une alternative aux ciments osseux traditionnels. Ils sont faciles à manipuler et prêts à l'emploi. Il s'agit de suspensions, composées de granules de céramique dans une solution aqueuse ou dans un polymère d'origine synthétique. Les propriétés mécaniques initiales sont faibles mais les espaces entre les granules permettent une colonisation en profondeur par les cellules osseuses et donc une néoformation osseuse rapide. ⁽³⁹⁾

D'après une étude ⁽⁸⁴⁾ réalisée par Weiss et *coll.* en 2010, une classification de ces suspensions a pu être proposée. Les suspensions granulaires constituent la classe 1 et en fonction des propriétés mécaniques, cette classe est divisée en deux groupes :

- Ia ; suspension granulaire dans une matrice non durcissante.
- Ib ; suspension granulaire dans une matrice durcissante qui peut être d'origine biologique ou minérale.

Les suspensions granulaires phosphocalciques ont des très bonnes propriétés d'interconnexion. Leur inconvénient est l'absence de propriétés mécaniques initiales ⁽⁸⁴⁾. En faisant varier les composés de la suspension granulaire, nous favorisons soit la néoformation osseuse rapide soit les propriétés mécaniques initiales.

Lors de précédentes études ⁽⁸⁾ sur les suspensions granulaires de phosphate de calcium, 3 sortes de substituts osseux basés sur l'association de granules phosphocalcique à des polymères d'origines variées ont été dénombrés, deux d'entre eux étant commercialisés :

- La première génération de substituts osseux injectables (Injectable Bone Substitute 1, IBS1), le MBCP Gel[®] (Biomatlante SAS, France) est un matériau non durcissant. Il s'agit d'une suspension associant des granules de BCP à un polymère hydrophile composé d'hydroxypropyl methyl cellulose (HMPC). L'IBS 1 possède des propriétés mécaniques et une présentation lui permettant le comblement de cavités osseuses de forme complexe. La néoformation osseuse est rapide, se propage entre les granules par ostéoconduction permettant un rétablissement rapide des propriétés mécaniques naturelles de l'os.
- Le second matériau injectable IBS 2 est un composite auto-durcissant. Les granules de céramiques de BCP sont associés à un hydrogel silanisé HMPC-Si. Avant réticulation, IBS2 est sous la forme d'un liquide visqueux injectable qui durcit *in situ*. La bioactivité et l'ostéoconduction sont promues par les granules de BCP espacées par le gel.

- Le troisième matériau injectable est un mélange basé sur l'association de biocéramique et de colle de fibrine. La manipulation n'est pas facile. Le composite est obtenu en mélangeant le fibrinogène et la thrombine (Tissel[®], Baxter BioSciences Biosurgery) aux granules de BCP (TricOs[®], Biomatlante). Le ratio Tissel/TricOs est de 1/2. De nombreuses études précliniques ont été réalisées chez le lapin, la chèvre dans des modèles de biocompatibilité et de biofonctionnalité d'augmentation du plateau sinusien et de comblement d'os longs⁽⁵⁴⁻⁵⁵⁾.

L'injectabilité et la rhéologie de ces matériaux peuvent être adaptées en faisant varier le taux de charge, la granulométrie, la forme particulière et/ou les propriétés de la phase continue.

➤ Actuellement, un nouveau matériau est en test.

New Gel est un projet basé sur les propriétés de réticulation par irradiation de l'association d'un polymère HMPC à un autre polymère ionique. La réticulation par rayonnement permet en même temps de stériliser le matériau. Après de nombreuses études animales, ce composite New Gel apparaît comme un matériau injectable et moulable facile à manipuler. Les études *in vivo* et *in vitro* montrent que le biomatériau est biocompatible et qu'il possède des propriétés ostéogéniques apportées par le BCP. Il donne les mêmes résultats que les autres biomatériaux. Il possède en plus la propriété de gonflement qui permet le remplissage complet de la zone concernée ainsi que la stimulation des cellules ostéoprogénitrices par compression des parois.⁽⁸⁾

Pour conclure, les phosphates de calcium sont à la base de nombreux biomatériaux de comblement osseux. Leur structure très proche de celle de la phase minérale osseuse et les adjuvants parfois associés leur apportent des capacités supplémentaires dans le but d'optimiser leur fonction pour les comblements de sinus, ainsi que les défauts osseux alvéolaires de manière à favoriser, voire permettre la pose d'implants.

La recherche sur les phosphates de calcium est toujours en essor et de nouveaux produits seront commercialisés apportant de nouvelles performances au niveau de la manipulation du produit et de sa résorption, permettant ainsi d'élargir l'éventail d'indications.

2.3 LES MEMBRANES

2.3.1 Définition

La membrane est une barrière physique qui prévient de la perte de matériau, empêche les fibroblastes de pénétrer dans le défaut osseux et donne aux cellules osseuses le temps nécessaire à la régénération osseuse⁽⁴⁶⁾.

2.3.2 Rôle des membranes

- Garantir le maintien de l'espace tant en volume que en hauteur.
- Permettre l'intégration tissulaire, l'imperméabilité cellulaire, et la biocompatibilité.
- Optimiser la régénération osseuse, afin que les conditions fonctionnelles et esthétiques soient remplies.

Il en existe deux grands types : les membranes résorbables et les membranes non résorbables.

2.3.3 Les membranes non résorbables

- Elles sont occlusives aux cellules épithéliales et conjonctives, perméables aux facteurs de croissance⁽⁴⁶⁾.
- Elles maintiennent l'espace.
- Elles stabilisent le caillot.

Elles doivent rester en place 4 à 6 semaines sans infection ou exposition.

Parmi le grand nombre de membranes qu'il existe, en voici quelques exemples :

- ψ **Les filtres membranes millipores**, à base d'acétate et de nitrate de cellulose pur, elles sont hydrophiles avec des pores de 0,025 à 10 µm.
- ψ **Les filtres membranes nucléopores**, à base de polycarbonate avec des pores de 0,015 à 12 µm.
- ψ **Les membranes titane**, rigides et non poreuses
- ψ **Les membranes biorane**, synthétiques avec 2 couches comportant du collagène.
- ψ **Les membranes en téflon (GORE TEX®)**, renforcées en titane. Leur microporosité est asymétrique, elle laisse passer les fluides d'origine vasculaire mais pas les cellules épithélio-conjonctives.

2.3.4 Les membranes résorbables

Les avantages des membranes résorbables sont l'absence de chirurgie de retrait et la simplification de la procédure chirurgicale avec la diminution du risque de complications.

Mais elles ne permettent pas le contrôle de la durée de leur fonction de barrière. Elles risquent d'interférer entre la résorption, la cicatrisation et la régénération osseuse. De plus, elles nécessitent un matériau de support. ⁽⁴⁶⁾

L'évolution de la membrane après la pose se fait en 4 étapes : hydratation, déformation, dégradation et résorption.

2.3.4.1 Les membranes collagéniques

Leurs intérêts sont l'hémostase, le chimiotactisme, la manipulation aisée et une bonne tolérance.

Le collagène est d'origine animale ou humaine ou encore synthétique, en voici quelques exemples.

ψ **La membrane Ossix[®] Plus (3i[®])**, d'origine porcine elle conserve sa fonction 6 mois et se résorbe en 8 à 10 mois.

ψ **Les membranes Biomed[®] et Biomend Extent[®]**, d'origines bovines se résorbent en 8 semaines et fonctionnent 4 à 7 semaines

ψ **Les membranes bi-couches :**

Bio-Gide[®] (Geistlich, Biomaterials, Wolhuser, Suisse), Hypro-sorb[®] sont en collagène pur. Elles comportent : une surface poreuse ou rugueuse (face à l'os) : faite de collagène à disposition libre. Elle permet la stabilisation du caillot sanguin et la croissance des cellules osseuses.

L'autre surface dense ou lisse (face aux tissus mous) : empêche la croissance de tissu fibreux.

Il existe une variante, la membrane BioGide Perio[®], qui se caractérise par une surface plus lisse et un temps d'imprégnation allongé.

2.3.4.2 Les membranes synthétiques

Il en existe différents modèles dont :

ψ **Les membranes vicryl[®]** biodégradables produites à partir de polyglactine 910 contenant des pores de moins de 2 mm de diamètre.

ψ **La membrane Résolut[®]** est faite à partir de polymères lactiques et glycoliques.

2.3.4.3 Le concept membranaire PRF (platelet rich fibrin)

C'est une membrane de fibrine autologue, elle concentre les leucocytes, des plaquettes et des molécules de cicatrisation et de l'immunité. La fibrine sert de support, permet l'angiogénèse et le contrôle immunitaire.

2.3.5 Conclusion

La membrane sera choisie en fonction du cas clinique et de la technique du praticien. Ces biomatériaux représentent une alternative aux membranes périostées qui sont des greffes autogènes de périoste pris au niveau palatin.

Les membranes doivent répondre aux exigences de la norme ISO22803, 2004.

3 POSE D'IMPLANT AVEC UTILISATION DE PHOSPHATES DE CALCIUM EN PER-OPERATOIRE

La mise en place d'implant dans le but de remplacer un organe dentaire, nécessite une analyse clinique et radiographique des structures osseuses. La perte ou l'extraction de dents s'accompagne d'une résorption osseuse qui selon les antécédents, la technique d'extraction est plus ou moins active. Des classifications osseuses ont été élaborées de manière à qualifier l'os et à organiser un plan de traitement adapté.

- Plusieurs auteurs ont proposés des classifications comme Mish et Judy en 1981, Siebert en 1983, Allen et *coll.* en 1985, mais la plus utilisée reste celle de Lekholm et Zarb 1985 : reposant sur la qualité osseuse :

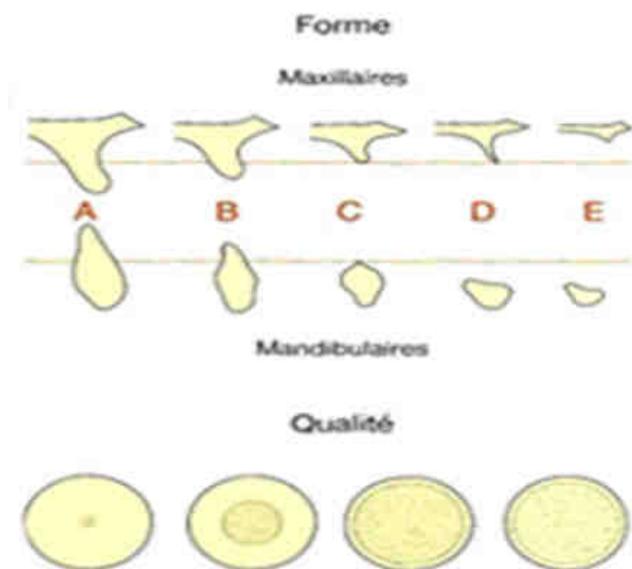


Figure 6: Schéma de la classification osseuse Lekholm et Zarb Quintessence(1985)

Il existe d'autres classifications comme celle de Jensen qui est plus spécifique au maxillaire et propose un traitement adapté à chaque classe.

En 1996, Lindhe et *coll.* ont proposé une classification de l'os spongieux en 3 catégories à partir de radiographies rétroalvéolaires. Bien que les classifications soient déjà nombreuses, Tinti propose en 2003 une classification ⁽⁸⁰⁾ des défauts osseux en 5 catégories : Le défaut post-extractionnel, la fenestration, la déhiscence, la déficience de la hauteur alvéolaire horizontale et la déficience de la hauteur alvéolaire verticale avec, pour chaque défaut, différents niveaux évaluant le niveau osseux et les thérapeutiques adaptées. Cette classification a pour but de standardiser le défaut osseux et de permettre des décisions thérapeutiques. Mais cette classification n'est pas souvent retrouvée dans la littérature scientifique par rapport à celle de Lekholm et Zarb ou celle de Misch ⁽⁸³⁾.

En 2006, Park et *coll.* ont présenté une étude ⁽³²⁾ sur l'intérêt de l'utilisation de la tomographie pour le classement des défauts osseux en 3D. Le but est d'établir un plan de traitement permettant le positionnement de l'implant. Son étude de niveau 2 est réalisée à partir d'images scanner du département des restaurations implantaire de l'université dentaire de New-York (NYUCD). Elle concerne 55 patients, 144 images sont utilisées. A chaque fois, il mesure : la position de l'implant, son angulation et son inclinaison par rapport à la dent adjacente et les mesures sont toutes faites par 2 expérimentateurs différents. Cette étude a un faible risque de biais, mais les critères de sélection éliminent de nombreux cas car le modèle de classification se limite au maxillaire antérieur avec au moins 2 dents manquantes et la présence d'une dent adjacente visible à la radio. A l'issue de l'analyse, 81% des cas nécessitent des procédures d'augmentation. Pourtant 30% des cas examinés sont en classe I qui regroupe les échantillons ne nécessitant pas de modifications des structures osseuses. Cette classification est issue d'images 3D dont l'élaboration nécessite une irradiation plus importante des patients (alors que 20% d'entre eux auraient pu l'éviter puisqu'ils n'ont pas besoin d'augmentation osseuse). Cette différence montre le faible apport de la tomographie systématique pour les cas. De plus cette classification repose sur une analyse rigoureuse et précise mais ne doit être utilisée qu'une fois le déficit osseux mis en évidence pour limiter les rayonnements sur les patients.

Une fois la perte de substance évaluée, nous devons prévoir le comblement au moment de la pose de l'implant dans le respect des impératifs physiologiques, mécaniques, fonctionnels et esthétiques.

L'ostéointégration, condition absolue à la pérennité implantaire est objectivée par le maintien de l'os en place ainsi que la formation d'os nouveau ⁽¹⁷⁾ au contact de l'implant.

Lors de l'intervention chirurgicale, l'utilisation des substituts osseux tels que les phosphates de calcium permet d'augmenter le volume osseux adjacent à l'implant et sans entraver son ostéointégration. Ces matériaux de comblement n'ont pas la capacité de garantir la stabilité primaire. Le volume osseux résiduel doit permettre la stabilité implantaire, sinon la mise en place d'implant n'est pas envisageable.

Nous allons voir les différentes situations cliniques où la mise en place d'implants nécessite l'utilisation de phosphates de calcium pour le comblement de défauts osseux.

Nous distinguons 3 grandes situations cliniques.

- La pose d'implants au maxillaire postérieur avec comblement de sinus par des phosphates de calcium. La mise en place d'implants dans un même temps opératoire que le comblement osseux sera développée selon 2 techniques. D'une part, l'utilisation d'une fenêtre latérale pour réaliser l'augmentation du plancher sinusien (cette technique est le plus souvent utilisée lors de thérapeutique en 2 temps), d'autre part, l'abord par voie crestale (technique moins invasive mais réalisée à l'aveugle).
- L'extraction implantation immédiate : les phosphates de calcium présentent alors un intérêt pour le comblement du défaut entre l'alvéole et l'implant.
- La faiblesse du volume osseux résiduel : la résorption osseuse est la cause d'un amincissement et d'une diminution de la hauteur de la crête alvéolaire. La perte de volume osseux peut compromettre l'enfouissement de l'implant, les phosphates de calcium peuvent pallier aux défauts osseux alvéolaires et permettre l'ostéointégration des implants qu'ils soient utilisés seuls ou associés à des membranes.

Suite à l'analyse de la littérature scientifique, nous définirons les indications des phosphates de calcium lors de la pose d'implant. Nous aborderons les limites de ces matériaux en les comparant avec d'autres biomatériaux et des membranes.

Les mécanismes permettant la néoformation osseuse avec ou sans phosphates de calcium seront également traités dans le but de comprendre les mécanismes de cicatrisation osseuse péri-implantaire spontanée ou associée.

Nous verrons lors de ces situations cliniques la dimension, la localisation, la forme des défauts osseux pouvant être comblés avec des phosphates de calcium dans le but de permettre une réhabilitation prothétique implanto-portée.

3.1 POSE D'IMPLANT AVEC COMPLEMENT DE SINUS PAR UN PHOSPHATE DE CALCIUM

Le recours aux implants pour remplacer un organe dentaire au maxillaire postérieur, doit être précédé d'une évaluation de la quantité ainsi que de la qualité osseuse dans les 3 plans de l'espace. La perte osseuse à ce niveau est due à 2 processus physiologiques : la résorption alvéolaire suite à la perte de dents et la pneumatisation du sinus (Smiler DG et *coll.* 1952).

La faible hauteur osseuse au niveau prémolaire et molaire au maxillaire ne permet pas toujours la mise en place d'implant, une hauteur minimale de 5 mm étant nécessaire pour assurer la stabilité initiale implantaire ⁽⁷³⁾. Aussi, des techniques de comblement du sinus ont été développées dès les années 1980 par Boyne et *coll.* afin de corriger le déficit osseux cortical en créant un nouveau plancher sinusien plus haut par élévation de la membrane de Schneider ⁽⁷³⁾.

Différentes techniques permettent le comblement sinusal et la pose simultanée d'implants, les plus fréquentes étant par abord latéral ou par ostéotomie crestale.

Pour le comblement de sinus, l'os autogène reste le meilleur matériau pour le comblement de sinus du fait de ses propriétés ostéoconductive et ostéoinductive (Jensen et *coll.* 1998). Cependant l'utilisation de ce matériau présente des inconvénients tels que la nécessité d'un deuxième site opératoire avec les risques d'infection, les problèmes de cicatrisation ainsi que de l'inconfort pour le patient. Pour ces raisons, l'utilisation de substituts osseux synthétiques dont les phosphates de calcium prend tout son sens ⁽³⁷⁾. Ces biomatériaux peuvent être utilisés seuls ou en association avec d'autres biomatériaux.

L'utilisation des phosphates de calcium en comblement sinusien par différentes techniques a été décrite par de nombreux auteurs. L'étude de Froum et *coll.* est représentative et permet de mettre en évidence de façon générale l'intérêt des phosphates de calcium en comblement de sinus.

En 2008, Froum et *coll.*, ont comparé l'utilisation d'un phosphate de calcium biphasique : Straumann® Bone Ceramic (Straumann, Suisse) et de l'os anorganique bovin : Bio-Oss® (Geistlich, Suisse) en comblements de sinus. Cet essai clinique ⁽³⁸⁾ est randomisé et contrôlé. Chaque patient

reçoit les 2 biomatériaux : un par sinus, d'où une excellente comparaison des résultats. Stuart note une absence de différence significative entre les 2 biomatériaux quant à leur capacité à permettre la formation de noyaux) d'ossification (11 noyaux d'ossification sont formés avec le Bio-Oss® (Geistlich, Suisse) et 10 avec le SBC. L'ossification en présence de SBC est cependant plus tardive qu'avec le Bio-Oss®, sur un délai de 6 à 8 mois. Ces 2 matériaux peuvent donc être utilisés en tant que substituts osseux pour des comblements de sinus.

Les résultats de cette étude de niveau 2 restent limités, car ils ne sont basés que sur 12 cas et ne comparent pas les deux biomatériaux avec le matériau de référence un comblement à base d'os autogène. De plus le suivi de l'essai n'est pas suffisamment long pour avoir les résultats après la pose des implants.

Le but de cette étude était de mettre en évidence la capacité de ces biomatériaux à provoquer la formation d'os vital. Même si cela peut être mis en corrélation avec la survie des implants, il ne s'agit que d'un indicateur précis d'évaluation et de comparaison du potentiel cicatriciel des matériaux. Des notions sur la résorption des biomatériaux, leurs rôles dans la néoformation osseuse ainsi que sur les différentes phases du remplacement manquent encore. La seule certitude à l'issue de cet essai est la différence de cinétique de résorption entre les 2 biomatériaux.

Le comblement peut être réalisé par abord latéral ou par abord crestal. Le choix de la technique peut être aiguillé par la classification de Jensen ⁽⁷²⁾ ou plus récemment celle de Chiapasco ⁽²⁾ qui inclut l'axe prothétique dans le choix de la reconstruction. Ces classifications permettent d'orienter le choix thérapeutique, bien qu'il n'y ait aucun consensus qui associe un volume sinusien à un greffon donné.

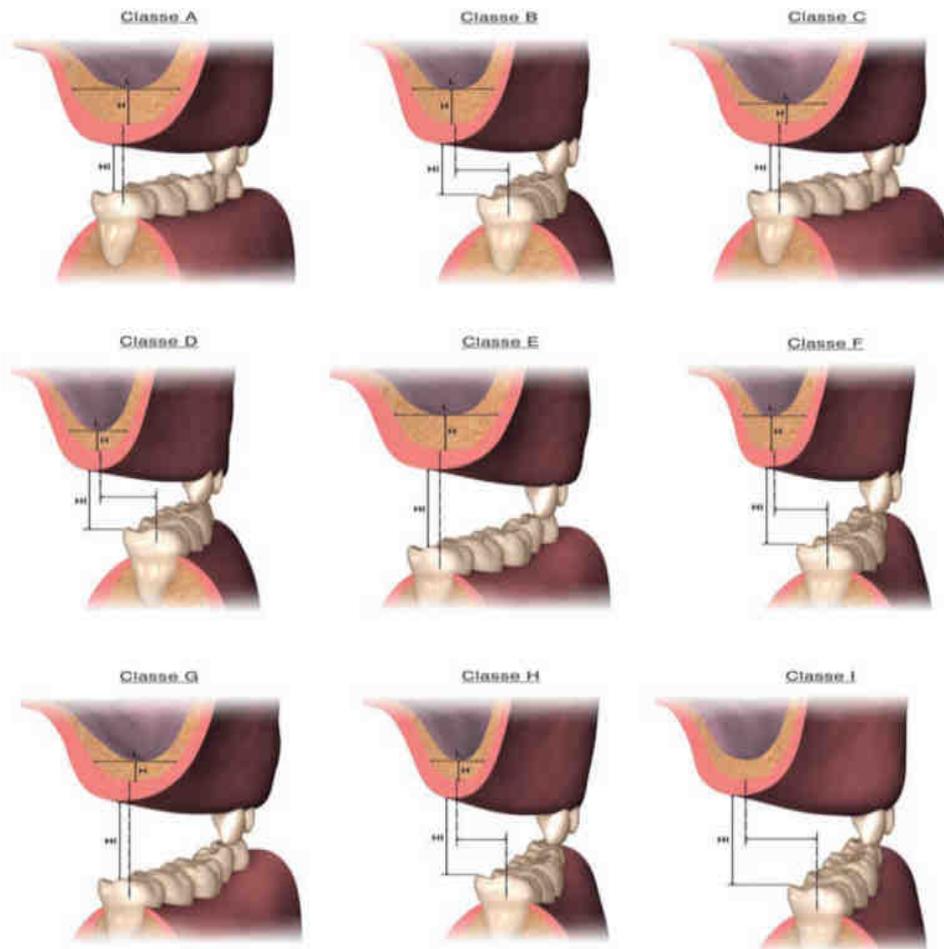


Figure 7 : Illustration de la classification Chiapasco (ANTOUN H)

H : hauteur osseuse infra sinusienne

L : largeur osseuse infra sinusienne

HI : hauteur inter arcades

Classe A : $L \geq 5 \text{ mm}$; H 4 à 8 mm ; HI conservée

Classe B : $L < 5 \text{ mm}$; H 4 à 8 mm ; HI conservée

Classe C : $L \geq 5 \text{ mm}$; $H < 4 \text{ mm}$; HI conservée

Classe D : $L < 5 \text{ mm}$; $H < 4 \text{ mm}$; HI conservée

Classe E : $L \geq 5 \text{ mm}$; H 4 à 8 mm ; HI plus importante

Classe F : $L < 5 \text{ mm}$; H 4 à 8 mm ; HI plus importante

Classe G : $L \geq 5 \text{ mm}$; $H < 4 \text{ mm}$; HI plus importante

Classe H : $L < 5 \text{ mm}$; $H < 4 \text{ mm}$; HI plus importante

Classe I : décalage transversal important

Nous allons développer maintenant de façon plus spécifique l'utilisation des phosphates de calcium dans les comblements de sinus selon les 2 grandes techniques de comblement : par abord latéral et par abord crestal.

3.1.1 Pose d'implant avec comblement de sinus par un phosphate de calcium par abord latéral

Cette technique nécessite la création sur la face latérale du sinus d'une fenêtre qui permet d'accéder au plancher du sinus pour déposer le matériau de comblement après avoir rehaussé la membrane de Schneider (technique décrite par Tatum, 1977).

Pour réaliser un comblement de sinus par abord latéral et la pose d'implant simultanée, il faut au minimum trois millimètres de hauteur osseuse (Fagozzotto et Vlasses, 1999). Cet impératif est à mettre en corrélation avec la qualité osseuse, l'épaisseur de la corticale et l'épaisseur de la crête alvéolaire.

Le comblement de sinus par abord latéral avec la pose d'implant simultanée a fait l'objet de nombreuses études ayant des niveaux de preuve de A à C. Elles testent différents matériaux de comblement tels que α -TCP⁽⁷³⁾, BCP⁽³⁰⁻³⁷⁾ ainsi que le β -TCP⁽⁷⁶⁾. Ces études mettent en évidence un taux de réussite du traitement implantaire supérieur à 90%. Mais au moins quatre paramètres diffèrent selon les études et sont à prendre en compte pour l'interprétation des résultats.

3.1.1.1 Premier paramètre : le nombre d'interventions

Le premier paramètre concerne le nombre d'interventions permettant le comblement osseux ainsi que la pose d'implants. Covani et *coll.* en 2010, caractérisent la pose d'implants dans des sinus préalablement ou simultanément comblés avec du Straumann® Bone Céramic (Straumann, Suisse). Le matériau est mis en place par un abord latéral après soulèvement de la membrane sinusienne chez les patients dont la hauteur alvéolaire entre le sommet de la crête et le sinus ne permet pas la stabilité primaire de l'implant. La pose de l'implant est différée. Cette étude⁽³⁰⁾ est d'un niveau 3 car elle ne comporte que 15 patients et 40 implants. Les résultats offrent de bonnes perspectives à ce phosphate de calcium même si le nombre de patients inclus est limité. Il n'y a pas de suivi pour évaluer la pérennité du complexe implanto-prothétique. Cette même démarche expérimentale est reprise par Frenken et *coll.* en 2010⁽³⁷⁾. Le Straumann® Bone Ceramic (Straumann, Suisse) est utilisé en comblement sinusien avec implantation différée. Les 13 implants de l'étude sont ostéointégrés. Les résultats de cette étude de niveau 2 nous montrent la présence de tissu ostéoïde autour des particules de SBC à 6 mois. SBC n'est pas complètement résorbé et remplacé par du tissu osseux à 6 mois. Les

résultats histologiques et radiographiques valident l'utilité du SBC pour l'augmentation de la hauteur osseuse du maxillaire postérieur. Le suivi sur 3 ans met en évidence une légère résorption osseuse entre la 1^{ère} et la 3^{ème} année. Il faut donc un suivi plus long pour déterminer si la résorption se poursuit et pour une meilleure analyse des phénomènes de résorption. Nous manquons aussi de relevés sur la cinétique osseuse.

Ces études cliniques nous permettent de conclure que tant le Bio-Oss® (Geistlich, Suisse) que le SBC (Straumann, Suisse) sont des biomatériaux permettant le comblement de sinus et la formation d'os vital nécessaire à l'ostéointégration des implants.

L'étude de Ji Hun Lee et *coll.* ⁽⁵²⁾ de niveau 2 effectuée sur 130 implants avec un suivi de un an, teste le BCP (MBCP) associé à une membrane collagénique. Le protocole chirurgical est prévu en 2 temps alors que la hauteur d'os résiduelle est en moyenne de 6 mm (ce qui va à l'encontre des résultats de Fugazzotto en 1999 qui énonçait que 3 mm de hauteur osseuse sous sinusienne suffisait pour la pose d'implant avec comblement de sinus en un temps par abord latéral) et le taux de survie implantaire est de 98,5% à un an. L'étude de Cordora et *coll.* ⁽²⁹⁾ de niveau 2 réalise la même procédure expérimentale mais avec du Bio-Oss® (Geistlich, Suisse) et là tous les implants sont ostéointégrés. Mais en 2006, une étude réalisée par Sùba et *coll.* ⁽⁷⁶⁾ de niveau 3, teste le comblement de sinus avec du Cérasorb® (β-TCP) (Curasan, Allemagne). La pose d'implant est différée car la hauteur osseuse moyenne est de 1,9 mm et donc ne permet pas la stabilité primaire de l'implant. Les résultats montrent un gain osseux significatif permettant la mise en place d'implant leur offrant une stabilité primaire. Les différents phosphates de calcium utilisés donnent de très bons résultats quant au taux de survie des implants. Aucun échec implantaire n'est constaté, tous les implants s'étant ostéointégrés, mais cela est-il dû au protocole en deux temps ou à l'utilisation des phosphates de calcium ?

Lundgren (1997) nous apporte un élément de réponse quant à ce protocole en 2 temps par le fait que lors de la pose d'implant l'opérateur peut réaliser des biopsies lui permettant d'analyser la densité, la qualité et la néoformation osseuse suite au comblement et donc l'intérêt du biomatériau. Cliniquement, l'étude des matériaux de comblement ne peut être réalisée autrement sur les humains. Les biopsies os implants ne sont réalisées que sur les animaux euthanasiés.

Nous pouvons donc conclure, à l'issue des résultats des études cliniques analysées, sur la capacité des phosphates de calcium synthétiques à permettre le comblement de sinus pré-implantaire et à obtenir un volume osseux assurant le maintien des implants mis en place.

La revue randomisée de la Cochrane Library réalisée par Esposito et *coll.* ⁽³⁴⁾ sur l'efficacité des procédures d'augmentation osseuse pour la mise en place d'implants rassemble de nombreuses RCT (randomized controlled trial). Certaines concernent l'augmentation osseuse verticale au niveau du maxillaire postérieur et donc le comblement de sinus. Suite à l'analyse des résultats du taux de survie implantaire, aucune différence statistiquement significative des traitements en un ou deux

temps opératoires n'est mise en évidence à partir du moment où la stabilité primaire de l'implant est assurée (Wannifor et coll. 2000). Cette étude est de niveau 2. Seulement il existe un biais car les études analysées n'ont pas toutes la même mise en œuvre, le même biomatériau, le même modèle implantaire. L'étude ⁽⁶¹⁾ de Nkenke et coll. de 2009 d'un niveau 2 montre également une absence de différence significative entre les protocoles en un et deux temps. Le travail repose sur l'analyse de 159 articles avec une hauteur osseuse moyenne du plancher sinusien de 6 mm. D'après l'ensemble de ces résultats, le traitement en un ou deux temps n'influence donc pas l'ostéointégration quel que soit le biomatériau. Tawil et Mawla (2001) ont comparé les protocoles en un temps et en deux temps ; leurs conclusions vont aussi dans le sens d'une préférence pour le protocole en un temps si la stabilité primaire de l'implant peut être assurée. Mais leur réflexion ne prend en considération que la hauteur osseuse, c'est le paramètre le plus important permettant de déterminer la procédure chirurgicale mais pas le seul.

➤ *Pour conclure sur le nombre d'étapes :*

Lors des interventions, le facteur le plus important est la hauteur osseuse résiduelle sous sinusienne. Dans un but scientifique un grand nombre d'études sont faites en 2 temps afin de pouvoir réaliser des biopsies osseuses. Le principe de précaution joue aussi un rôle évident car les expérimentations sont réalisées chez l'Homme pour l'ensemble des études. Les résultats des études en un temps apportent de plus les mêmes conclusions que les études en 2 temps.

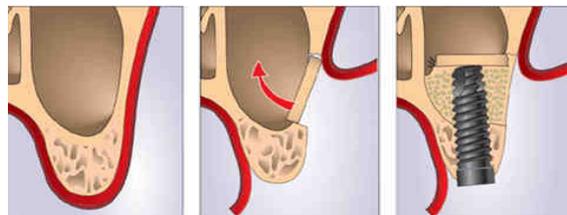


Figure 8 : Schéma du protocole d'élévation de la membrane sinusienne et de la pose d'implant en un temps. (Davarpanah)

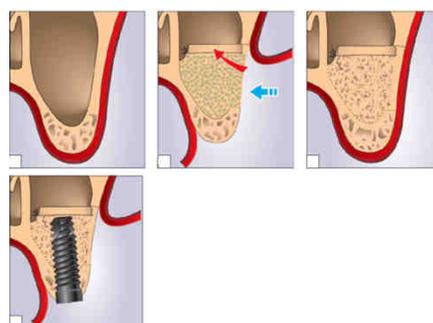


Figure 9 : Schéma du protocole d'élévation de la membrane sinusienne et de la pose d'implant en deux temps. (Davarpanah)

3.1.1.2 Deuxième paramètre : les phosphates de calcium comme matériau de comblement

3.1.1.2.1 *Le TCP*

En 2005, Séban A réalise une étude ⁽⁷³⁾ sur 15 patients. Il teste le comblement sinusien avec de l' α -TCP avec pose en simultané d'implants. La qualité osseuse est évaluée selon la classification de Jensen. Les patients en classe B de Jensen (7 à 9 mm ou plus d'os sont présents en sous sinusien) reçoivent un comblement par abord latéral. Ils sont suivis pendant un an et durant cette période aucun échec ni problème infectieux n'a été recensé. Le seul point négatif est la résorption lente de l' α -TCP dont certaines particules sont encore présentes à un an au sein du tissu néoformé. Cette expérimentation montre que l' α -TCP a permis un comblement osseux assurant l'ostéointégration des implants mais cette étude n'est que de niveau 3 et est donc à étayer avec un plus grand nombre de patients et un suivi plus long après la mise en fonction de la prothèse d'usage. De plus, seule une étude complémentaire d'imagerie permettrait de déterminer la cinétique de résorption de l' α -TCP qu'il faudrait pouvoir comparer avec celle de β -TCP et de l'os autogène. Les résultats de cette étude ne sont pas généralisables car les critères d'inclusion des patients ne donnent pas une population représentative.

En 2005, Szabo et coll. ⁽⁷⁷⁾ comparent le β -TCP (Cerasorb[®]) (Curasan, Allemagne) et l'os autologue pour le comblement de sinus. Chaque patient a un sinus comblé avec le phosphate de calcium synthétique et l'autre sinus avec de l'os autologue. Les deux matériaux sont donc exactement dans les mêmes conditions expérimentales ce qui donne encore plus de valeur à la comparaison de cette étude de niveau 2. Les résultats ne montrent pas de différence significative du taux de survie des implants quel que soit le matériau de comblement. Il en est de même pour le taux d'ossification. Cette expérimentation ne comprend que 20 patients et le protocole est réalisé en 2 temps. De plus les analyses radiologiques en 2 et 3 dimensions sont issues de seulement 8 biopsies sur 20. Les résultats sont en accord avec ceux de l'étude ⁽⁷⁶⁾ de niveau 2 réalisée par Subà en 2006 testant le Cérasorb[®] (Curasan, Allemagne) sur 17 patients également en 2 temps. La proximité expérimentale des 2 études apporte plus de valeur aux résultats, même si elles ne sont pas suffisamment similaires pour superposer les résultats. Il faudrait des analyses plus rapprochées pour comparer la cinétique de résorption entre les 2 matériaux de comblement ainsi que leur colonisation par le nouvel os formé.

➤ *En conclusion sur l'utilisation du TCP :*

Le β -TCP apparaît comme un bon matériau de comblement osseux péri-implantaire. L'utilisation de α -TCP reste discutée au vu des résultats car nous ne connaissons pas la durée exacte de sa résorption et si celle-ci est complète. D'après l'analyse de Seban l' α -TCP ne permet pas de retrouver une structure osseuse aussi parfaite que l'os autogène.



Figure 10 : A gauche, particules de β -TCP et à droite, blocks de β -TCP (Fabher medical)

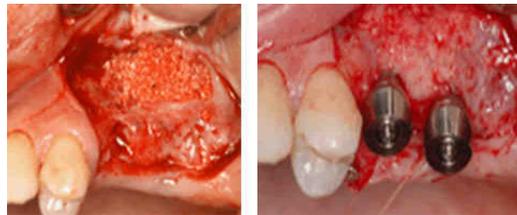
3.1.1.2.2 L'hydroxyapatite

En 2007, Browaeys et coll. ⁽¹⁹⁾ publient les résultats d'études animales regroupant des essais de 1995 à 2004, le comblement de sinus avec de l'hydroxyapatite (HA) est comparé à celui réalisé avec de l'os autologue avec la pose d'implants simultanée. L'échantillon testé est très important quantitativement mais il y a des différences de mise en œuvre entre les protocoles expérimentaux de chaque étude. Le niveau de preuve n'est donc que de 2. L'ensemble des résultats permet quand même de dire qu'il n'y a pas de différence significative entre les 2 comblements pour permettre l'ostéointégration des implants. Donc l'HA permet d'obtenir d'aussi bons résultats que le matériau de référence de greffe à l'heure actuelle. Cette analyse s'étend sur 9 ans de travaux et met en évidence que l'HA peut être aussi efficace que l'os autologue. Ces résultats donnent une validité non négligeable aux phosphates de calcium en tant que matériaux de substitution osseuse. Ils assurent la cicatrisation osseuse et contribuent en même temps à l'ostéointégration des implants.

3.1.1.2.3 Le BCP :

Covani et coll. (2010) ⁽³⁰⁾ et de Frenken et coll. (2010) ⁽³⁷⁾ ont testé un autre phosphate de calcium ; le BCP (association de 40% de β -TCP et 60% HA). Cette céramique biphasée commercialisée sous le nom Straumann® Bone Ceramic (Straumann, Suisse) a été testée pour le comblement de sinus. Lors de ces deux essais, la pose d'implant a été différée en raison de la quantité

et de la qualité osseuse. Le suivi des patients dure 3 à 5 ans et dans les 2 cas, sur les 40 et les 13 implants, le taux d'ostéointégration après mise en charge est de 90%. Le BCP permet donc de recréer une structure osseuse favorable à l'ostéointégration des implants et un support suffisant permettant d'assumer les forces transmises par la prothèse. Lors de la pose des implants, les biopsies récupérées, ont montré, la résorption de la céramique ainsi que la présence de nouveaux foyers d'ossification au sein du biomatériau. Le BCP met en évidence ses propriétés d'ostéoconduction ainsi que sa capacité à stimuler la croissance osseuse (Daculsi 2003). Donc malgré la présence de quelques particules de BCP 6 mois après sa mise en place, il rentre dans la catégorie du substitut osseux idéal selon Lewis (2006). Ces résultats sont à relativiser car, ils manquent de recul et l'échantillon est faible : le niveau est donc de 3. De plus, le taux de survie implantaire de l'étude de Frenken n'est pas donné et celui de Covanni n'est donné qu'à un an (92,5%), ce qui est un recul trop peu important.



*Figure 11 : A gauche, mise en place du Straumann® BoneCeramic par la fenêtre latérale et
À droite, mise en place des implants Straumann 6 mois après (Frenken, 2010)*

La céramique biphasée, issue de l'association de HA et de β -TCP a également été testée par Lee et coll. (2008) ⁽⁵²⁾, Nkenke et coll. (2009) ⁽⁶¹⁾ et Esposito et coll. (2010) ⁽³⁵⁾ dans des expérimentations de niveau 1 et 2. Ils ont mis en évidence la capacité des céramiques biphasées en tant que substitut osseux de comblement à participer l'ostéointégration des implants. Les résultats à un an donnent un taux de survie des implants supérieur à 95% dans les 3 études. Globalement il n'y a pas de différence significative avec les résultats obtenus lors de greffes d'os autologue. Ces études, notamment celle de Esposito dont les résultats sont issus d'un grand nombre d'essais randomisés et contrôlés, privilégient les phosphates de calcium en tant que matériau de comblement par rapport à l'os autogène. Ces résultats sont cependant à nuancer car toutes les études ne sont pas menées de façon identique d'où la création de biais.

Trois méta-analyses (Esposito en 2006⁽³⁷⁾, Jensen en 2009 ⁽⁴⁴⁾ et Chiapasco en 2009 ⁽²⁶⁾) se consacrent à l'analyse des augmentations de plancher des sinus maxillaires en comparant les matériaux de comblement utilisés, l'intérêt des procédures en 1 temps par rapport à celles en deux temps et les alternatives au comblement avec les minis implants. .

Ces « méga » analyses concluent sur le fait que les phosphates de calcium possèdent les propriétés nécessaires à la substitution osseuse et permettent des comblements de sinus par abord latéral avec d'aussi bons résultats que l'os autologue en ce qui concerne le taux de survie des implants mis en place dans les sinus comblés. Ces méta-analyses répertorient des études avec des variables différentes d'une étude à l'autre, d'où un niveau de preuve de niveau 2 seulement.

➤ *Conclusion sur l'utilisation de BCP :*

Selon ces études de faible niveau de preuve, le BCP constitue un matériau de choix pour le comblement osseux de sinus pré-implantaire. Il se résorbe en plus de 6 mois, avec une cinétique proche de celle de l'os naturel. Il constitue un échafaudage pour la colonisation cellulaire et est toléré au contact de l'implant sans réaction inflammatoire. Son temps de résorption exacte reste à définir tout comme les propriétés mécaniques de l'os néoformé.

➤ *En conclusion, sur le TCP, l'hydroxyapatite et le BCP :*

Nous pouvons dire que les phosphates de calcium tels que l'HA, le β -TCP et le BCP permettent une ostéointégration similaire d'implants au maxillaire postérieur (après élévation de la membrane sinusienne) à celle obtenue avec l'os autologue. Leurs avantages sur les greffes d'os autologue sont l'absence d'un deuxième site d'intervention et une résorption plus lente permettant un maintien de l'espace plus longtemps. Leur principal inconvénient demeure la maîtrise de la durée et de la cinétique de résorption. De plus, la mise en place de ces matériaux ne présente pas encore un recul clinique significatif pour valider la qualité de l'os néoformé.

3.1.1.3 Troisième paramètre : importance de la présentation du phosphate de calcium

L'étude ⁽⁸²⁾ réalisée par Wallace et coll. (2003) de niveau 2 regroupe les résultats de comblement de sinus avec des blocs d'os autogène et des blocs de phosphates de calcium ou avec les mêmes matériaux sous forme de particules. Ces dernières permettent un meilleur taux d'ostéointégration implantaire que les blocs. La présentation du matériau apparaît donc plus importante que sa composition ? Les résultats de l'étude sont à modérer car beaucoup d'analyses

différentes sont regroupées avec un risque important de biais du fait de différences de porosité des blocs, de tailles, des granules utilisées pour les substituts, de la dimension des blocs d'os autogène et de la quantité de greffon utilisée à chaque fois.

Seule une méta-analyse ⁽¹⁾ d'Aghaloo et *coll.* (2007) regroupe et analyse la littérature concernant le matériau de comblement de sinus permettant le meilleur support des implants. L'étude, de niveau 1, montre que les matériaux à base de phosphate de calcium donnent un taux de survie implantaire de 81% lorsque ce taux est de 92% avec de l'os autogène seul ou associé à des matériaux composites. Cette importante différence entre les résultats qui n'est pas significative du fait du nombre de variables qui diffèrent d'une étude à l'autre. Cette analyse est quand même de niveau 1 car elle regroupe les analyses de 5128 implants avec un suivi de 12 à 102 mois. Même si les résultats sont discutables, du fait de l'association de données issues d'études différentes, ils vont à l'encontre des précédents résultats qui énoncent une similitude entre l'os autogène et les phosphates de calcium ainsi que l'importance de la présentation du matériau plutôt que son contenu.

➤ *Conclusion sur l'importance de la présentation :*

A l'issue de l'analyse de Wallace de niveau 2, nous constatons que le biomatériau de comblement est plus efficace, quelle que soit sa composition, pour le taux de survie implantaire. Mais l'étude d'Alghaloo, de niveau 1, obtient une différence importante de taux de survie implantaire en fonction de la nature du matériau utilisé. Pour lui, l'os autologue reste supérieur. Arbitrairement ce serait la composition du matériau qui serait le critère le plus important. Mais la méta-analyse d'Alghaloo regroupe de nombreuses études ayant des paramètres différents et ne permettant pas de conclure de façon aussi catégorique. Il faudrait de nouvelles études et réitérer les protocoles avec différents biomatériaux et pour chacun, plusieurs présentations.

3.1.1.4 Quatrième paramètre : les phosphates de calcium comparés au Bio-Oss® comme matériau de comblement

En 2008, Coradoro et *coll.* ⁽²⁹⁾ a comparé le SBC (Straumann® Bone Ceramic ; Straumann, Suisse) et le Bio-Oss® (Geistlich, Suisse) pour l'élévation du plancher du sinus, chez 37 patients : 54 implants sont mis en place dans du Bio-Oss® et 55 dans du SBC. Après 8 mois de cicatrisation, lors de la pose des implants, des prélèvements osseux sont faits. Ils ne constatent pas de différence

significative entre les deux biomatériaux. Des noyaux d'ossification sont présents avec les 2 biomatériaux : 11 avec le Bio-Oss[®] et 10 avec le SBC, la densité osseuse étant très proche pour les 2 comblements. Comme nous pouvons le voir sur les figures 9 et 10, il existe une différence de structure osseuse entre la zone greffée et l'os hôte après 8 mois de cicatrisation.



Figure 12 : Section de la biopsie montrant le contact os naturel et SBC (CORDARO L.)



Figure 13 : Section de la biopsie montrant le contact entre l'os naturel et le Bio-Oss[®] (CORDARO L.)

Les résultats sont en accord avec ceux de Froum⁽³⁸⁾ qui avait aussi testé dans les mêmes conditions ces 2 biomatériaux. Cette nouvelle étude de niveau 2 nous permet de confirmer la capacité des phosphates de calcium à substituer l'os autogène avec des caractéristiques variable d'un biomatériau à l'autre. Le SBC se résorbe moins rapidement que le Bio-Oss[®] par exemple.

➤ *Conclusion sur le Bio-Oss[®] :*

Ces deux études le Bio-Oss[®] et les céramiques biphasées permettent la néoformation au contact de l'implant mais leurs compositions différentes leur confèrent des cinétiques de dégradation différentes. Ces deux biomatériaux peuvent donc se compléter pour les indications différentes.

3.1.1.5 Cinquième paramètre : élévation de la membrane sinusienne sans matériau de comblement

Cricchio et coll.⁽³²⁾ publient en 2010, une étude sur une nouvelle technique de pose d'implants au maxillaire supérieur avec élévation simultanée de la membrane sans comblement osseux. L'étude

réalisée sur 84 patients, 239 implants sont mis en place, la hauteur résiduelle du maxillaire postérieur étant comprise entre 0 et 8mm. Cette technique va à l'encontre des précédents paradigmes car pour Fugazzotto et Vlasses, la stabilité primaire d'un implant ne peut être assurée avec moins de 3mm de hauteur osseuse. L'étude de Cricchio annonce cependant un taux de réussite d'environ 98,1% à un an que 6 ans après la pose.

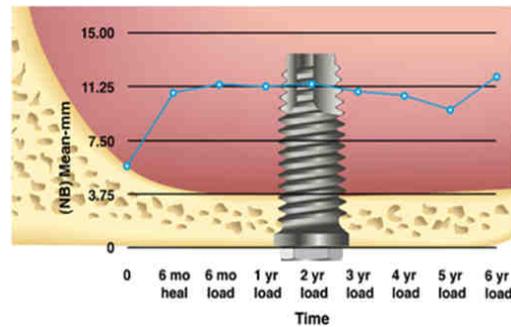


Figure 14 : Schéma représentant l'élévation du niveau osseux après la mise en place d'implants ayant au moins 4 mm en intra sinusien (CRICCHIO G.)

Cette étude de niveau 1, s'appuie sur les travaux de Thor et coll. en 1997 qui avait déjà montré que plus il persiste un espace entre le plancher de sinus et la membrane sinusienne et plus il y a formation osseuse spontanée. De plus d'après Romano et coll. en 2003, les forces qui s'appliquent sur les implants sont transmises aux structures osseuses adjacentes et favorisent ainsi la formation osseuse sur le même principe que la stimulation musculaire sur le squelette. Afin de valider cette méthode issue d'une étude bien menée, des informations manquent, notamment sur la pose des implants dans moins de 3 mm d'os alvéolaire. La stabilité primaire est-elle possible dans ce cas et la procédure est-elle réalisée en 1 ou 2 étapes ? La néoformation osseuse spontanée est-elle due à la création d'un espace vide ou à la présence de l'apex des implants dans la cavité sinusienne ?

La membrane sinusienne semble jouer un rôle capital dans l'élévation du plancher sinusien. Cette membrane est un réservoir en cellules ostéoprogénitrices et serait l'origine des cellules responsables de la néoformation osseuse ⁽²⁾. Même si Ardekian et coll. (2006) ⁽⁶⁾ ont montré qu'il n'y avait pas de différence du taux de réussite des implants en cas de perforation de la membrane : (94,4% avec perforation et 93,9% sans). Une corrélation statistiquement significative existe entre la perforation de la membrane et la faible hauteur osseuse résiduelle. Cette étude de niveau 2 apporte des éléments supplémentaires sur les paramètres influant sur la mise en place d'implant avec des biomatériaux. Mais il n'y a pas de distinction au niveau des résultats en fonction des biomatériaux utilisés et pas d'information sur les différences de temps de cicatrisation en cas de perforation ainsi que sur les conséquences de la perforation sur la cavité sinusienne. De plus lors de l'EAO 2010, Ahn JJ a démontré l'intérêt de l'élévation de la membrane sinusienne pour la formation osseuse par la

création d'un espace vide. Cette nouvelle technique permet de simplifier les procédures chirurgicales et limite l'utilisation des phosphates de calcium synthétiques. L'absence de recul et le faible nombre de patients traités ne permettent pas pour l'instant d'établir un consensus. Il faut donc rester prudent quant à la reproductibilité des procédures sachant que nous n'avons aucune information sur la qualité osseuse, sur le résultat en fonction de la hauteur alvéolaire de départ.

➤ *En conclusion sur la pose d'implant au maxillaire postérieur, par abord latéral, associée à un comblement de sinus avec des phosphates de calcium, nous pouvons, suite à l'analyse des études humaines précédentes, énoncer :*

- Les phosphates de calcium permettent l'ostéointégration des implants dentaires. Ils sont biofonctionnels car ils contribuent à la stabilité primaire de l'implant. Nous avons sur l'ensemble des études environ 90% de taux de survie implantaire environ un an après implantation.
- Ils sont ostéoconducteurs et servent donc d'échafaudage pour la néoformation osseuse.
- Ils se résorbent entre 6 mois et un an et sont remplacés par de l'os naturel néoformé sans compromettre l'ostéointégration des implants.
- D'après la littérature, leur capacité à augmenter la hauteur sous sinusienne est équivalente à celle de l'os autogène sans nécessiter de deuxième site d'intervention.
- Les phosphates de calcium synthétiques sont présents sous différentes formes (de granules, de blocs ou en suspension injectables) et sous différentes compositions plus au moins résorbables : Bio-Oss® (Geistlich, Suisse), BCP et l' α -TCP.

La suprématie des phosphates de calcium en tant que matériau de comblement de sinus utilisable lors de la pose d'implant par abord latéral ne peut être démontrée car seules trois études ^(19, 61, 15) de niveau 2 et 3 traitent exactement du sujet.

Ce petit nombre d'études traitant de la pose d'implant dans un même temps opératoire peut s'expliquer par :

- Le fait que ce sont des études humaines donc le prélèvement osseux pour analyse ne peut être réalisé que lors de la pose d'implant
- Le principe de précaution, ainsi que la nécessité pour le patient d'être mis au courant de l'expérimentation
- Le fait que l'abord latéral est davantage réservé aux cas cliniques présentant une très faible hauteur osseuse ne permettant pas la stabilité primaire de l'implant.

Même s'il faut prendre en considération les dernières études qui mettent en valeur le potentiel réparateur issu de la composition de la membrane sinusienne, de nouvelles études sont à élaborer pour mieux appréhender la physiologie de la cicatrisation osseuse intra sinusienne lors de la pose d'implants dentaires.

3.1.2 Pose d'implant avec comblement de sinus par un phosphate de calcium par abord crestal

L'augmentation de la hauteur du maxillaire postérieur par voie crestale est une méthode mise au point par Tatum en 1986 et perfectionnée par Summers en 1994 ⁽⁷²⁾. Elle a pour but de permettre un comblement sinusien localisé avec un abord moins invasif.

D'après la revue de la littérature réalisée par Struillou et *coll.* en 2004 ⁽⁵⁷⁾ sur le comblement de sinus par voie crestale, les conditions nécessaires sont celles énoncées par Rozen et Summers⁽⁶⁹⁾ à savoir 7 à 9 mm de hauteur osseuse sous maxillaire pour pouvoir la réaliser sans risque. Mais la revue de Struillou date de 2004 et s'appuie sur de la littérature ancienne ce qui ne lui confère qu'un niveau 2. Certains consensus sont toujours valables mais il y a eu également beaucoup d'améliorations de la technique. Le comblement de sinus par ostéotomie est une technique moins invasive donc mieux tolérée par les tissus surtout pour la cicatrisation. Elle requiert cependant de l'expérience et de la technicité de la part de l'opérateur car tout le travail se fait à l'aveugle (Baumann A, Ewer R 1999).

L'ostéotomie consiste à déplacer apicalement le tissu osseux par compression axiale lors de la préparation du site implantaire. Cette technique requiert une mesure précise de la hauteur et de la largeur de l'os disponible, car le forage initial déterminant l'axe et l'émergence implantaire doit préserver une distance osseuse de 2 mm avec le plancher sinusien. Cette fine couche d'os est compactée et fracturée apicalement lors de l'ostéotomie et le site est progressivement expansé par le passage d'une série d'ostéotomes de diamètre croissant.



Figure 15 : Ostéotome de Summers avec une extrémité concave (FEUILLET D.)

Si l'adjonction de biomatériaux de substitution osseuse s'avère nécessaire, la préparation initiale est réalisée de façon identique avant l'insertion du matériau de greffe par les ostéotomes de différents diamètres et avant la tentative d'élévation de la membrane sinusienne.

Les limites de cette technique d'abord crestal tiennent à l'anatomie complexe de la cavité sinusienne et aux crêtes osseuses ne permettant pas la réalisation prothétique dans un axe convenable. Cette technique est totalement contre-indiquée en cas de résorption importante du maxillaire ⁽⁷¹⁾.

Dans de nombreux cas, les débris osseux issus du forage ne sont pas suffisants pour combler le sinus et permettre la pose d'implant, d'où le recours aux biomatériaux de substitution osseuse dont font partie les phosphates de calcium.

De l' α -TCP peut être utilisé en matériau de comblement pour cette indication. En 2006, Seban⁽⁷³⁾ a étudié le comblement d'une partie du sinus avec de l' α -TCP mis en place par abord crestal avec insertion d'implants simultanée. A 6 mois aucun échec n'était à déplorer. L'impact de cette étude est limité car seuls 15 patients sont inclus et la technique n'est mise en œuvre que s'il y a 7 à 9 mm de hauteur osseuse. Donc, même si les résultats sont encourageants, de nouvelles expérimentations sont nécessaires, le niveau de preuve n'étant que de 3. Ces résultats rejoignent toutefois ceux de Tawil et Mawla en 2001 qui ont montré une diminution significative du taux de survie des implants quand il y avait moins de 5 mm de hauteur osseuse résiduelle pour cette technique en un temps. Pour permettre la survie de l'implant la stabilité primaire est indispensable ce qui explique la nécessité d'un minimum de 5 mm de hauteur osseuse.

➤ *En conclusion de l'étude de Seban, nous pouvons dire :*

- L' α -TCP permet l'ostéointégration des implants suite à l'élévation de la membrane sinusienne
- 5mm constitue la hauteur osseuse sous-sinusienne minimale pour réaliser une pose d'implant et un comblement de sinus en même temps avec des résultats prévisibles.

En 2009, Pjetursson et coll. publient 2 études^(64,65) portant sur les indications de comblement sinusien en vue de la mise en place d'implants. Sur les 109 implants posés 35% ont nécessité l'utilisation de greffe osseuse avec du Bio-Oss[®] (Geistlich, Suisse). Les résultats cliniques et radiographiques montrent un taux de succès de 97,4% à 3 ans avec un gain osseux de 1,7 mm sans biomatériau et de 4,1 mm avec du biomatériau.

Tableau 2: Répartition de la hauteur osseuse gagnée en fonction de l'utilisation de biomatériaux ou non (Pjetursson)

Pre-operative bone height (mm)	All implants	Without grafting materials	With grafting materials	P-value
<4	11%	5.1%	20.7%	
4-5	9.1%	8%	11%	
5-6	15.5%	8%	28%	P<0.003 ¹
6-7	17.8%	18.3%	17.1%	
>7	46.6%	60.6%	23.2%	
Mean ± SD	7.5 ± 2.2	8.1 ± 2.1	6.4 ± 1.9	P<0.0001 ²

Les implants ayant plus de 5 mm de leur apex dans le sinus ne sont pas complètement recouverts d'os. Si l'on prend en compte uniquement les situations où il y a moins de 5 mm de l'implant dans le sinus le taux de survie des implants est de 100% à 3 ans.

Ces études de niveau 2 nous permettent de dire que l'utilisation de Bio-Oss® pour cette indication permet d'obtenir des résultats prévisibles avec une formation osseuse plus significative que sans biomatériau. Il manque les résultats de gain osseux en fonction de l'utilisation de biomatériaux ou pas, corrélés avec la hauteur osseuse du maxillaire résiduelle ainsi qu'à la dimension de l'implant dans le sinus de manière à déterminer si la différence de gain osseux n'est due qu'au biomatériau ou si elle varie aussi en fonction des 2 autres paramètres.

Ces résultats, très prometteurs demandent à être confirmés par de nouvelles études intégrant plus de patients avec un suivi à plus long terme et surtout des contrôles radiographiques une fois la mise en fonction de la prothèse. D'autant plus que d'autres techniques sont de plus en plus expérimentées, telles que l'élévation de la membrane sinusienne.

En 2004 Brägger et *coll.* ont publié une étude ⁽¹⁸⁾ sur 19 patients, 25 implants ITI® ont été mis en place par ostéotomie après insertion de Bio-Oss® (Geistlich, Suisse) couplé à des paillettes d'os autogène. La hauteur résiduelle alvéolaire est de 7 mm en moyenne (3 à 10 mm) donc dans certains cas l'apex de l'implant est dans le sinus. Juste après la chirurgie, la distance entre l'apex de l'implant et le plancher du sinus est mesurée en mésial et en distal de l'implant. Les mesures sont de nouveau réalisées à 3 et à 12 mois après l'intervention. Cette distance, initialement évaluée à 3 mm, diminue pour ne plus atteindre que 1 mm à 12 mois. Donc le Bio-Oss® (Geistlich, Suisse) associé à de l'os autologue permet un gain osseux suffisant pour la survie des implants. Cette étude de niveau 2 ne donne pas les résultats du gain osseux en fonction de la quantité d'os alvéolaire présente initialement (surtout pour les épaisseurs du plancher sinusien de 3 mm où l'apex implantaire doit dépasser de façon conséquente dans le sinus). Il manque des sites contrôles sans matériau de comblement ou avec uniquement de l'os autogène puisque c'est le matériau de référence, de manière à évaluer l'apport du Bio-Oss®.

➤ *En conclusion sur le Bio-Oss® :*

- L'utilisation de Bio-Oss® pour l'élévation du plancher du sinus par ostéotomie est satisfaisant.
- Mais il nous manque des éléments sur sa cinétique de résorption et les études ne comparent pas systématiquement à de l'os autologue, matériau référence, ou à des sites non comblés.

En 2010, Crespi et *coll.* développent de nouveaux matériaux de comblement dans une étude⁽³¹⁾ de niveau 2. Du magnésium est incorporé à des particules d'hydroxyapatite (MHA) qui sont mises en place dans le sinus avec l'ostéotome. Les résultats montrent un taux de succès implantaire à 36 mois de 100% au niveau des sites comblés.

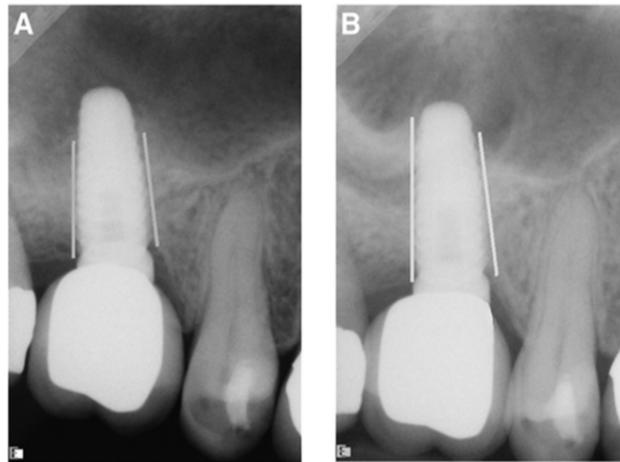


Figure 16 : Radiographies de l'implant avec schématisation de la hauteur osseuse : en A, c'est à 6 mois et en B, c'est à 36 mois. (Crespi)

Le niveau osseux intra-sinusien augmente entre 6 à 12 mois puis se stabilise. La mise en charge des implants n'entraîne aucune altération de l'ostéointégration. Cette étude a un très bon suivi mais on ne peut affirmer que l'environnement péri-implantaire ne comporte que du biomatériau synthétique car l'ostéotomie a été faite 3 mois après le comblement de l'alvéole avec le MHA. Donc lors de la pose de l'implant le biomatériau était en dégradation et la composition osseuse le jour de l'implantation reste à déterminer.

*Intérêt de l'élévation de la membrane sinusienne :

D'autre part, Boyne a commencé à montrer dès 1993 sur des singes, que l'élévation de la membrane sinusienne sans utilisation de biomatériau engendre une néoformation osseuse spontanée au niveau du plancher du sinus maxillaire.

Ces résultats sont retrouvés par Leblebicioglu et *coll.* en 2005 et Shmidlin, et *coll.* en 2008. Leblebicioglu et *coll.* dans leur étude⁽⁵¹⁾ de niveau 2, ont insérés 75 implants chez 41 patients, tous les implants dépassant dans le sinus d'environ 4 mm. Après deux ans, le taux de succès est de 97,3%

avec un gain osseux intra sinusien de 3 à 4 mm donc, la présence des implants dans le sinus entraînent le soulèvement de la membrane et stimulent la formation osseuse. L'origine du signal physiologique entraînant la formation osseuse, reste discutée : de la membrane sinusienne selon Gruber et Kim (études chez l'Homme et le porc) ou de la paroi osseuse sinusienne selon Scala (étude animale). Il faut être réservé quant à la formation osseuse car les données sont lues en 2 dimensions sur une radiographie panoramique, d'où des erreurs possibles d'interprétations de niveau et de volume osseux. La quantification du volume osseux doit être réalisée aussi par une analyse en 3 dimensions associée à une évaluation de la densité osseuse et de la capacité mécanique du nouvel os formé.

➤ *En conclusion de ces études sur l'élévation de la membrane sinusienne,*

il y a certes une augmentation osseuse intra-sinusienne mais :

- La stimulation est due à la création d'un espace sous la membrane ou à la présence de l'apex de l'implant
- L'origine des cellules ostéogénitrices (de la membrane ou du périoste sinusien) reste à démontrer.
- Le manque d'études et de résultats sur la qualité et la quantité osseuse néoformée à l'issue de ces 2 méthodes ne permet pas la comparaison avec un comblement aux phosphates de calcium.

Esposito et *coll.* (2006)⁽³⁴⁾, Jensen et *coll.* (2009)⁽⁴⁴⁾ et Chiapasco et *coll.* (2009)⁽²⁶⁾ ont publié des méta-analyses de niveau 2 et 3 sur les procédures d'augmentations osseuses avec la pose d'implant. Ils se sont tous intéressés à l'augmentation du plancher du sinus maxillaire par voie crestale.

Chaque méta-analyse, présente de nombreuses études avec des paramètres différents et donc peu utilisent des phosphates de calcium avec la pose d'implants simultanée. Les études concernées rapportent de très bons résultats notamment avec l'utilisation de Cérasorb[®] (Curasan, Allemagne) qui est un β -TCP^(37 cl). Le taux de survie implantaire équivalent à celui obtenu avec l'os autologue.

➤ *En conclusion de ces 3 études :*

Le taux de survie implantaire dépend plus de la stabilité primaire de l'implant que du matériau de comblement utilisé. Ces méta-analyses regroupent des articles avec des méthodes différentes ne permettant pas d'obtenir un consensus sur le matériau à utiliser, la procédure et le nombre d'interventions. Les phosphates de calcium synthétiques font partie des matériaux recommandés pour ces indications car ils ont pour l'instant donné de très bon résultats identiques à ceux obtenus avec l'os autogène⁽⁴⁴⁾, ceci sans la création d'un deuxième site chirurgical, sans risque d'infection et sans plaie intra buccale supplémentaire. Leur grande différence par rapport à l'os autogène est la résorption plus lente (du BCP et surtout l' α -TCP) par rapport à l'os autologue. Cette caractéristique permet un maintien de l'espace de plus longue durée favorisant la néoformation osseuse et évitant l'envahissement des tissus mous.

Donc le β -TCP possède les capacités nécessaires à la néoformation osseuse intra sinusienne et à la création d'un environnement stable pour l'ostéointégration des implants. L'impact de ces résultats est limité car la plupart des études ne prennent pas en compte la réalisation prothétique, le recul clinique et ne donnent pas de résultats sur la qualité osseuse ni la résistance de l'os néoformé.

Dans le même registre, d'après la revue de la littérature⁽¹⁹⁾ de Broweays et *coll.*, l'utilisation de phosphate de calcium permet d'obtenir d'aussi bons résultats de comblement osseux péri implantaire qu'avec de l'os autogène. Les résultats histologiques sont identiques et l'ostéointégration des implants ne varie pas en fonction du biomatériau utilisé. Les études utilisent en matériau de comblement du β -TCP, de l'hydroxyapatite et du BCP. Mais ils ne sont jamais comparés dans la même étude et pas toujours non plus comparés à des standards comme l'os autogène ou des groupes contrôles. Lorsque la comparaison se fait avec de l'os autologue, celui-ci se résorbe beaucoup plus rapidement et maintient donc l'espace moins longtemps. Cette analyse de niveau 2, regroupant de nombreuses études avec des différences de mise en œuvre, ne permet pas d'obtenir de comparaisons significatives. Elle montre seulement l'intérêt des matériaux alloplastiques dont les phosphates de calcium afin de simplifier les procédures chirurgicales par rapport à des autogreffes osseuses. Là encore, la qualité osseuse n'est pas déterminée.

➤ *Conclusion sur la pose d'implant par abord crestal avec comblement à l'aide de phosphates de calcium :*

A l'issue de l'analyse de ces études, nous pouvons annoncer un taux moyen de succès implantaire de plus de 90%. Les phosphates de calcium ont été testés sous différentes formes et ils ont à chaque fois permis une importante formation osseuse facilitant l'ostéointégration des implants mis en simultanée.

Nous avons également vu que les phosphates de calcium sont à l'origine de formation osseuse importante assurant l'ostéointégration implantaire.

Le comblement de sinus par voie crestale rend possible la pose d'implant même avec une hauteur osseuse réduite par l'utilisation de nombreuses associations de biomatériaux à base de phosphate de calcium synthétiques. Ces dernières permettent d'obtenir des taux de survie implantaire similaire à ceux obtenus avec des greffes d'os autogène sans les inconvénients et les risques d'un deuxième site opératoire.

Des études récentes montrent un gain osseux significatif par le soulèvement de la membrane sinusienne, technique ne nécessitant pas l'utilisation de phosphates de calcium. Mais nous n'avons pas d'études comparant le taux de survie implantaire, le gain osseux avec ou sans phosphates de calcium et en fonction de la hauteur alvéolaire résiduelle lors de l'élévation de la membrane sinusienne.

➤ **Conclusion sur la pose d'implant au maxillaire postérieur dans un même temps que le comblement de sinus :**

Dans le but de poser des implants au niveau du maxillaire postérieur avec un comblement de sinus, les phosphates de calcium synthétiques sont indiqués, mais ils ne sont pas les seuls.

Les différentes formes de phosphates de calcium ont à chaque fois permis une importante formation osseuse facilitant l'ostéointégration des implants mis en simultané. Les taux de survie implantaire sont similaires avec des comblements osseux aux phosphates de calcium ou avec de l'os autogène.

Aussi, après analyse des différentes études nous n'avons pas d'indications précises, sur leur nécessité par rapport à un comblement d'os autogène, à un autre matériau alloplastique ou à un soulèvement de membrane sinusienne.

Nous avons souvent constaté des absences de différence significative entre les résultats des différentes procédures mais les études ne sont pas réitérées avec des paramètres supplémentaires (de manière à obtenir des différences statistiquement significatives permettant de valider une ou plusieurs techniques par indication).

Nous n'avons aucune donnée sur la qualité de l'os néoformé à la suite des comblements par du phosphate de calcium ni ses capacités mécaniques dans le temps. Est-ce qu'elles se maintiennent, s'altèrent ou au contraire permettent l'obtention d'un tissu osseux résistant et richement vascularisé.

3.2 POSE D'IMPLANT IMMEDIATEMENT APRES EXTRACTION AVEC UTILISATION DE PHOSPHATES DE CALCIUM

La première publication portant sur l'insertion immédiate d'implants, après extraction date de 1976, par Schulde et Heimke.

Lazarra en 1989, puis Becker W et Becker BE 1990 furent les premiers à introduire la technique d'implantation immédiate post-extractionnelle, associée à une régénération osseuse.

Actuellement, l'extraction, implantation immédiate est définie comme la mise en place de l'implant dans l'alvéole d'extraction, soit immédiatement après avulsion de la dent, soit dans les 48 heures suivant l'extraction (selon le consensus ITI de 2003).

3.2.1 Sélection du site à implanter :

L'implantation immédiate peut être utilisée pour remplacer une dent quel que soit le secteur, mais les zones idéales restent les prémolaires, les canines et les incisives maxillaires et mandibulaires. Les secteurs molaires sont difficiles à gérer en raison du type d'os, de la morphologie et du diamètre de la dent à remplacer ⁽²⁰⁾.

L'étude de la morphologie de l'alvéole déshabillée est essentielle dans le choix de la procédure implantaire, associée ou non à du biomatériau. Différentes classifications ont essayé de caractériser la nécessité de la régénération osseuse :

- Classification de Salama H et Salama M (1993)
- Classification de Gelb (1993)
- Classification de Becher et *Coll* (1994)

Mais actuellement, aucun consensus ne valide, à l'heure actuelle ces différentes classifications.

Les formes et les dimensions de l'alvéole résiduelle n'autorisent pas toujours une adaptation parfaite entre l'implant et les parois de l'alvéole ⁽¹³⁾. Ces défauts osseux sont plus ou moins larges et profonds. Selon l'étude de Rosenberg (1994), il faut 70% de contact entre l'os et l'implant au minimum. Des implants spécifiques, élargis, pour des extractions-implantations immédiate sont apparus. Aussi est-il nécessaire d'évaluer la taille du défaut, de définir la notion de défaut de taille critique nécessitant un comblement osseux, et les situations dans lesquelles le comblement des défauts péri-implantaires avec des phosphates de calcium permet la pose d'implant juste après extraction.

3.2.2 Définition du défaut osseux péri-implantaire

Lors de la mise en place immédiate de l'implant, un espace libre peut persister entre les parois osseuses alvéolaires et la surface de l'implant⁽⁷²⁾. Cet espace dépend de :

- Le diamètre de l'implant ;
- La largeur de l'alvéole ;
- La perte du septum interradiculaire ;
- L'anatomie de la dent extraite mono- ou pluriradiculée.

Cet espace peut également cicatriser pendant la période d'ostéointégration ou laisser apparaître un défaut osseux péri-implantaire.

Les implants de large diamètre réduisent les distances entre :

- Les parois osseuses alvéolaires ;
- La surface de l'implant ;
- Le col de l'implant, (Artiz Z. et coll 2003)

Cependant, tant les différentes études (Barone A. et coll 2006) ainsi que l'expérience clinique basée sur la pose d'implants placés immédiatement après extractions, font état d'un espace entre l'implant et une ou plusieurs parois alvéolaires à la fin des interventions :

- Pour un espace résiduel allant jusqu'à 2 mm, la cicatrisation osseuse permet un comblement spontané de l'espace entre les parois de l'alvéole et l'implant (Schropp L et coll 2005) ;
- Si l'espace entre les parois alvéolaires et la surface de l'implant est supérieur à 2mm, la cicatrisation osseuse ne suffit plus à fermer l'espace (Akimoto K 1999). Le recours à une technique de comblement par substitut osseux va contribuer à l'ostéointégration de toute la surface implantaire. Les matériaux à base de phosphate de calcium semblent tout indiqués.

3.2.3 Indications de l'implantation immédiate

L'extraction-implantation immédiate est indiquée pour toutes les extractions dont l'étiologie peut être :

- ***Une lésion carieuse importante***, non restaurables de manière conservatrice ou prothétique, par exemple : les caries sous gingivales, les dents à l'état de racine dont le rapport couronne/racine est défavorable.
- ***Une cause traumatique*** : il s'agit des fractures radiculaires ou fêlures radiculaires, expulsions traumatique d'une dent. Il faudra prêter attention à l'état des procès alvéolaires, par palpation et examen radiographique, qui peuvent être endommagés lors du traumatisme.

- *Une cause endodontique* : échec de traitement ou retraitement endodontique, perforations, fracture ou impossibilité de chirurgie endodontique.
- *Une résorption radiculaire* : interne ou externe trop importante.

3.2.4 Comblement de défaut osseux alvéolaire lors d'une extraction/ implantation immédiate

Suite à l'avulsion d'une dent, le site édenté va subir des changements quantitatifs et qualitatifs de la structure alvéolaire (Pietrokowski et Massler 1967, Amler 1969, Schropp et al 2003). Ainsi pendant la cicatrisation, l'os se résorbe avec une accélération dès le troisième mois post extractionnel. Les parois de l'alvéole vont perdre en hauteur et en épaisseur (Araújo et al 2005, 2006). La résorption, qualifiée par Atwood (1963) de chronique, progressive, irréversible et cumulative, est plus aggravée sur l'os trabéculaire que sur l'os cortical.

La technique de la pose d'un implant dans l'alvéole d'une dent juste extraite permet de réduire le nombre d'intervention et le temps de traitement (Lazzara 1989) mais surtout de préserver l'os et les tissus mous (Werbitt et Goldberg 1992, Schultz 1993)⁽⁶⁷⁾. Une étude de Botticelli et coll. (2004)⁽¹⁴⁾ réalisée sur des chiens, montre que sur 52 défauts osseux d'un minimum de 3mm adjacent à un implant inséré dans une alvéole, 44 sont comblés par une néoformation osseuse spontanée sans utilisation de biomatériaux ou de membrane. Mais après les 4 mois de cicatrisation, une résorption horizontale de 56% est constatée et l'environnement péri-implantaire est constitué d'un tissu osseux hétérogène avec un tissu conjonctif au contact de l'implant. La cicatrisation a lieu mais sans restitution ad-integrum et sans possibilité de prévoir la hauteur osseuse issue de la cicatrisation, ce qui est gênant pour la prédictibilité du résultat esthétique. Cette étude de niveau 2, est réalisée sur un modèle animal, (le chien) dont la cinétique osseuse est plus rapide que celle de l'homme. Nous pouvons supposer que la localisation des implants n'est pas faite en fonction de la prothèse et le suivi ainsi que la mise en stabulation des animaux ne sont pas représentatifs des conditions réelles chez l'humain.

- En conclusion, cette méthode sans utilisation de biomatériau n'est absolument pas envisageable en pratique clinique quotidienne. Mais elle nous permet d'orienter les essais vers le comblement osseux de manière à obtenir des résultats plus prévisibles et un maintien du volume osseux pour un résultat le plus proche de la réalité naturelle pour chaque patient.

Des auteurs tels que Botticelli, Araújo et Carnova ont remarqué que l'extraction dentaire suivie de la pose d'implant permettait de limiter la résorption osseuse par rapport aux techniques classiques. Ceci les a poussés à optimiser ce protocole.

La plupart du temps, l'implant mis en place dans l'alvéole d'extraction n'en possède pas les dimensions. Nous avons donc un espace vide entre les parois de l'alvéole et la surface implantaire. Cet espace est appelé un GAP. Aussi les résultats de l'étude précédente montrent qu'il est nécessaire de réaliser un comblement du hiatus péri implantaire. Les copeaux d'os autogène issus du forage peuvent servir pour le comblement du GAP, mais ils ne sont pas toujours suffisants.

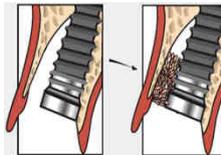


Figure 17 : Schéma du comblement d'un défaut osseux entre les parois de l'alvéole et l'implant. (Davarpanah)

3.2.4.1 Les phosphates de calcium d'origine synthétique :

En 2001 Merten et coll. ⁽⁵⁹⁾ ont testé le comblement de défaut osseux chez le cochon, avec 2 céramiques phosphocalciques : α -TCP (BIOBVSSE α -pore[®], Zimmer, USA) et le β -TCP (Cerasorb[®], Curasan, Allemagne). Le but est de comparer la cinétique de résorption osseuse des céramiques par rapport au remodelage osseux. Les résultats de cette étude de niveau 3, réalisée sur 86 semaines, montrent que les 2 phosphates de calcium se sont résorbés, à 95% pour le β -TCP et à 85% pour l' α -TCP tout en permettant l'ostéointégration des implants par rapport au groupe sans comblement. Donc β -TCP et α -TCP sont ostéoconducteurs et biofonctionnels. Mais avec α -TCP, les analyses histomorphométriques à 86 semaines, révèlent la présence de microcracks dans la structure osseuse qui diminuent la solidité et peuvent à terme compromettre l'ostéointégration des implants. Il y a une différence de capacité de comblement entre les deux biomatériaux en faveur du β -TCP. Cependant, il nous manque des informations sur les différentes phases de la dégradation des deux céramiques, nous savons qu'à 5 mois 70% de β -TCP et 40% de α -TCP sont résorbés. Mais nous ne pouvons conclure sur les différences de cinétique de résorption de 2 biomatériaux. Peut-être que la cinétique de résorption est à l'origine des microcracks ? Nous savons que l' α -TCP se résorbe lentement donc le décalage entre sa résorption et la néoformation osseuse peut être responsable des défauts de structure. Cette incertitude montre pourquoi il nous faut d'avantage d'éléments sur les étapes de la résorption des phosphates de calcium et aussi savoir quand elles se produisent. Il est également nécessaire de pouvoir comparer les résultats du matériau testé avec l'os autogène car il est considéré à ce jour, comme le substitut ayant la meilleure potentialité.

En 2004 Boix, et coll. ⁽¹⁰⁾ ont poursuivi la recherche sur les comblements de gap. Ils ont testé le comblement de défaut osseux créé de 6*4*5 mm en même temps que la pose d'implants avec un IBS (matériau composite avec des particules de BCP et un polymère synthétique) chez le chien. Seize sites ont été comblés et 18 sont restés vides. A 3 mois tous les implants sont ostéointégrés. Mais le BIC calculé dans les sites comblés (98,4%) est significativement supérieur à celui obtenu dans les sites non comblés (92%). Le niveau osseux des sites comblés est similaire à celui des endroits où aucun défaut n'a été créé. Cette étude est de niveau 3 en raison du faible nombre d'échantillon et de l'absence de mise en charge. Ainsi les résultats obtenus montrent les capacités du biomatériau, mais nous n'avons pas de comparaison avec une céramique classique (BCP) et de l'os autologue. Il faudrait des éléments pour évaluer l'intérêt du polymère : est-ce juste pour la mise en place ou a-t-il un rôle dans la résorption, la biocompatibilité et les capacités mécaniques du biomatériau ? De plus la densité osseuse péri implantaire a été mesurée, elle est meilleure dans les sites comblés que dans les sites non remplis donc l'utilisation de l'IBS permet le comblement de défauts osseux péri-implantaires nécessaires à l'ostéointégration des implants.

Les résultats de l'étude de Boix sont en désaccord avec ceux obtenus par Botticelli en 2004 dans une étude ⁽¹⁴⁾ de niveau 2. Il a créé 52 défauts osseux de plus de 3 mm dans des alvéoles de dents extraites chez le chien. Après 4 mois de cicatrisation le nombre de défaut osseux de plus de 3 mm réduit à 8 or les défauts n'ont été ni comblés ni recouverts d'une membrane. Mais en contrepartie, l'analyse histologique et histomorphométrique montre un tissu hétérogène et une résorption alvéolaire de 56% que l'on ne retrouve pas dans l'étude de Boix où toutes les spires sont au contact de l'os. De plus, le suivi de ces études n'inclut pas la mise en fonction de l'implant et le nombre d'animaux utilisé est souvent faible. L'étude de Boix est de niveau 3 or celle de Botticelli est de niveau 2. Donc nous pouvons dire que le comblement osseux spontané dans une alvéole est possible, mais le néo-tissu est hétérogène. Enfin dans ces études, l'implant n'est pas mis en fonction et le résultat esthétique n'est pas abordé.

➤ *En conclusion sur l'utilisation de TCP et de BCP :*

L'utilisation de phosphate de calcium permet un résultat plus prévisible, mais nous ne savons pas à partir de quelle dimension de défaut osseux il permet une différence significative de comblement. Le BCP associé, l' α et le β -TCP permettent des comblements de défauts osseux péri-implantaire avec des résultats proches des zones sans défaut. Seulement les modèles testés n'ont pas permis de réaliser la phase prothétique et donc d'évaluer la résistance mécanique du nouvel os formé ni de tenir compte des résultats esthétiques obtenus avec les biomatériaux. Il faudrait des études faisant varier la dimension et la forme des défauts osseux, des études comparant les biomatériaux phosphocalciques avec l'os autologue.

Le comblement osseux d'un défaut de plus de 4 mm peut se faire seul mais est-il plus esthétique pour le patient ?

3.2.4.2 Le Bio-Oss® :

En 2005 Esposito réalise une étude ⁽³⁴⁾ sur les procédures de comblement des défauts osseux avant la pose d'implants. Il compare les résultats esthétiques et fonctionnels de 2 études (Cornelini et coll. en 2004 et Chen ⁽²⁵⁾ et coll. en 2005, de niveau 2 et 3 sur l'extraction, implantation immédiate), sur la pose d'implant sans membrane mais avec Bio-oss® (Geistlich, Suisse) ou avec une membrane BioGide® (Geistlich, Suisse), et Bio-oss® (Geistlich, Suisse). Le nombre de patients est faible mais les résultats montrent une satisfaction plus importante des patients quand les expérimentateurs utilisent une membrane et du biomatériau que le biomatériau seul ou l'absence de comblement. L'utilisation d'une membrane résorbable permet un meilleur comblement et une meilleure situation des tissus mous car elle maintient l'espace du défaut pour permettre la néoformation osseuse et éviter l'invagination des tissus mous. Les résultats de l'analyse d'Esposito ne sont pas assez complets sur le bénéfice apporté par les comblements : il n'y a pas de comparaison entre la membrane seule, le biomatériau seul et l'absence de comblement. Nous ne savons pas non plus si la membrane permet plus de formation osseuse que le matériau phosphocalcique ou si les 2 utilisés ensemble sont nécessaires et ont un effet potentialisateur. La petite quantité de cas cliniques ne permet d'obtenir des différences statistiquement significatives entre les différents comblements. Ces 2 études ne sont pas suffisamment significatives, en termes d'échantillons analysés et de suivi pour valider une technique de comblement par rapport aux autres, avec un penchant pour le biomatériau plus la membrane résorbable.

En 2010, Araùjo MG et coll. ⁽³⁾ et De Santis E et coll. ⁽³³⁾ publient des études sur le comblement de gap avec du Bio-oss® (Geistlich, Suisse). Ce sont 2 études sur les chiens. Dans celle d'Araùjo, de niveau 2, le Bio-oss®Collagène (Geistlich, Suisse) est testé pour le comblement d'un GAP de 1-2 mm sur 3 mm de profondeur dans 20 sites. Il apparaît satisfaisant comme matériau de comblement osseux car il permet l'augmentation de la quantité de tissus durs, d'améliorer le contact os-implant et prévient des récessions des tissus mous. Ces résultats sont en accord avec les précédents (Araùjo 2006,2008). L'élément différent de cette étude, c'est le défaut, il est plus volumineux or les résultats montrent que le pourcentage de néoformation osseuse est plus important. Donc le biomatériau favorise le comblement, mais celui-ci varie également en fonction du volume du défaut. Donc plus le volume du défaut osseux est important, plus il y a de formation osseuse. Les résultats sont ceux obtenus après 6 mois de cicatrisation donc l'os présent dans le gap n'est pas mature et des changements peuvent encore avoir lieu.

Dans l'étude animale de De Santis, de niveau 2, il extrait une incisive latérale, met en place un implant et comble le hiatus (3*3 mm) avec du Bio-Oss® (Geistlich, Suisse) ou de l'os autogène. Les 2 matériaux seront recouverts par une membrane résorbable en collagène (BioGide®, Geistlich, Suisse).

Six animaux sont sacrifiés à 2 mois et 6 autres à 4 mois, il n'y a pas de différence significative de comblement osseux en volume entre les 2 groupes sachant que les méthodes expérimentales sont les mêmes pour les 2 biomatériaux, tous les implants sont ostéointégrés. Mais à 2 mois, le BIC est significativement plus important avec Bio-Oss® (Geistlich, Suisse). Cette différence n'est plus valable à 4 mois. Donc le Bio-Oss® (Geistlich, Suisse) s'est en partie résorbé entre 2 et 4 mois et a été remplacé par un nouveau tissu osseux. Le Bio-Oss® (Geistlich, Suisse) possède des capacités équivalentes à l'os autogène pour le comblement de hiatus de par sa cinétique de résorption. Seulement nous manquons, dans cette étude, de suivi puisqu'il y a une résorption qui s'effectue entre le 2^{ème} et le 4^{ème} mois, il serait intéressant de voir ce qu'il se passe par la suite. L'étude ne nous dit pas quelle quantité de biomatériau et d'os autogène est utilisée, est-ce que c'est la même pour tous les défauts ? Est-ce que c'est la même pour le Bio-Oss® (Geistlich, Suisse) et l'os autologue ?

➤ *En conclusion l'utilisation du Bio-Oss® (Geistlich, Suisse) et du Bio-Oss® Collagène (Geistlich, Suisse)*

Il est adapté au comblement de GAP. Il permet l'ostéointégration des implants et maintient l'espace pendant la cicatrisation osseuse. Sa résorption se fait en même temps que la néoformation osseuse. Il faudrait tester dans une même étude, le comblement avec du Bio-Oss® (Geistlich, Suisse) et du Bio-Oss® collagène (Geistlich, Suisse), de manière à mettre en évidence l'intérêt ou pas du collagène. Si oui, est ce qu'il est aussi efficace que le Bio-Oss® associé à une membrane en collagène comme dans l'étude de De Santis⁽³³⁾, si oui cela simplifierait les protocoles.

3.2.4.3 L'utilisation des membranes :

Les membranes résorbables telles que BioGide® (Geistlich, Suisse) sont utilisées en association aux biomatériaux. Mais quels sont leurs intérêts en cas d'extraction-implantation immédiate ?

Caneva et coll. ont testé lors d'une étude animale⁽²²⁾ de niveau 3 l'utilisation de la membrane BioGide® (Geistlich, Suisse) lors de la mise en place d'implants dans des alvéoles. Après 4 mois de cicatrisation, les analyses ne mettent pas en évidence de différence significative de BIC avec ou sans membrane, mais une différence significative de pourcentage de tissu minéralisé au contact de l'implant (73,6% avec la membrane et 56,8% sans). Cette étude d'un faible niveau prouve met en avant l'intérêt de la membrane. Néanmoins, elle ne la compare pas à un biomatériau phosphocalcique et ne nous renseigne pas sur le résultat apporté aux tissus mous. Par comparaison à l'étude de Boix et coll. (de niveau 3), le BIC obtenu est meilleur avec le BCP qu'avec la membrane seule. L'étude de

Caneva ne donne pas la dimension du défaut initial ni sa forme ? Ce sont des éléments importants, peut-être le défaut de par sa morphologie n'aurait pu être comblé avec un biomatériau. Cette étude ne favorise pas l'utilisation des biomatériaux. Nous arrivons aux mêmes conclusions que pour l'étude de De Santis, il faut comparer le biomatériau phosphocalcique utilisé seul avec la membrane seule sur des défauts de dimensions différentes. La membrane seule apporte de très bons résultats, mais l'association, membrane biomatériaux peut être encore plus efficace comme dans l'étude décrite par Esposito ⁽³⁴⁾. L'étude manque de comparaison ainsi que de paramètres évalués, notamment le résultat esthétique.

3.2.4.4 Les « autres » techniques permettant de limiter la résorption osseuse.

Caneva M et coll ont aussi publié étude animale ⁽²³⁾ sur l'importance du positionnement de l'implant dans l'alvéole d'extraction pour avoir le moins de perte de hauteur osseuse autour de l'implant après la cicatrisation. Les 6 prémolaires de 6 chiens sont extraites, avec pour chaque chien, 3 sites contrôles et 3 sites tests. Dans les sites tests, l'implant est mis en position plus linguale et le col de l'implant est inséré 1 mm sous le niveau de la crête alvéolaire. Dans les sites contrôles, les implants sont positionnés de manière classique : au centre de l'alvéole avec le col implantaire au niveau du sommet de la crête. Les résultats ont montré une différence significative de résorption en faveur des sites tests par rapport à des implants placés au centre de l'alvéole. A l'issue de cette étude de niveau 2, Caneva a montré que c'était le mur « buccal », celui le plus éloigné de l'implant, qui est le plus touché par la résorption osseuse pendant la cicatrisation. Les résultats de cette étude ont permis aux auteurs de proposer selon eux, un placement idéal de l'implant qui est : 1 mm sous le niveau osseux par rapport au mur buccal et plus en position lingual. Ceci est en accord avec les résultats d'Araújo de 2005 et 2006 ^(5, 4).

En 2010, Ferrus et coll. publient une étude ⁽³⁶⁾ sur les facteurs influençant les altérations tissulaires suite à l'extraction. Les modifications les plus importantes sont au niveau de la paroi buccale (Schropp et coll. 2003, Botticelli et coll. 2006) comme Caneva l'a décrit précédemment. Toujours en accord avec Caneva, la position de l'implant est importante tout comme le biotype gingival. Pour confirmer cela, Ferrus a testé cliniquement la pose d'implant, dans des sites de prémolaires, de canines et d'incisives et a comparé les résultats de formation osseuse en fonction de l'épaisseur du mur buccal et de la largeur du défaut. Il constate que si le défaut fait plus de 1 mm de large le comblement est incomplet. Il souligne aussi l'importance de l'épaisseur du mur buccal, plus il est épais plus le comblement osseux est prévisible avec plus faible résorption de la crête alvéolaire. Botticelli ⁽¹⁴⁾ avait montré que jusqu'à 4 mm le comblement spontané était possible, mais avec une résorption de 56% du mur buccal, c'est donc possible mais est-ce acceptable ? Ces 2 études sont de

niveau 2 donc il faudrait approfondir les recherches pour savoir qui a « raison » et faire des études comparables quant à la méthodologie utilisée. Cependant les auteurs s'accordent pour dire que le remplissage du défaut est aussi en fonction de la taille de ce défaut. Mais le comblement des petits défauts est plus prévisible que pour les plus importants où les biomatériaux à base de phosphate de calcium permettraient d'améliorer les traitements et les résultats.

Au niveau des incisives et des canines, où la paroi buccale est plus fine, le maintien du niveau osseux est moins prévisible et plus sensible aux altérations (Evans et *coll.* 2008).

D'après un consensus établi par de nombreux praticiens, le GAP péri-implantaire peut-être comblé spontanément par la néoformation osseuse jusqu'à 2 mm de large. Mais la néoformation osseuse s'accompagne de modifications non compatibles avec un résultat prothétique fonctionnel et esthétique :

- plus le défaut est volumineux plus il y aura de formation osseuse
- plus le mur buccal du défaut est épais moins il se résorbera mais d'un autre côté
- plus la perte de substance osseuse est importante moins le remplissage est complet.

Il apparait donc nécessaire d'après les conclusions de ces études, de développer des expérimentations sur le comblement osseux avec des biomatériaux tels que les phosphates de calcium pour obtenir des résultats plus prévisibles surtout au niveau des sites antérieurs où le résultat esthétique est plus important. Il faut que l'étude de Ferrus soit complétée, en ayant pour chaque site clinique différentes épaisseurs de murs buccaux pour valider la corrélation entre l'épaisseur des parois osseuses et la résorption ou entre la situation anatomique et la résorption.

- *En conclusion de l'analyse de ces études animales sur la pose d'implants suite à une extraction, les phosphates de calcium testés apportent une bonne ostéointégration des implants.*

Nous pouvons conclure de certains éléments sur le comblement du gap avec des phosphates de calcium :

- Plus il est petit plus le comblement est prévisible
 - Plus il est volumineux, plus il y a de formation osseuse mais moins le hiatus sera comblé
 - Plus le mur buccal est épais, plus le comblement osseux sera favorisé et moins la résorption osseuse sera marquée
- Les phosphates de calcium testés sont : le Bio-Oss[®] (Geistlich, Suisse), l' α -TCP et le β -TCP. Ils ont permis d'obtenir des comblements osseux plus prévisibles qualitativement et quantitativement. Mais ce ne sont que des études animales et elles sont peu nombreuses.
 - Des alternatives aux biomatériaux sont étudiées telles que les membranes résorbables qui apportent des différences significatives par rapport aux hiatus laissés vides. Mais il n'y a pas de comparaison entre les résultats obtenus avec les membranes seules, des phosphates de calcium seuls ou l'association des 2.

L'absence d'étude sur des patients avec des phosphates de calcium synthétiques ne nous permet pas de les considérer comme des matériaux de référence pour ce protocole. Il manque un aspect très important du protocole extraction/implantation immédiate qui est l'esthétique. Ce facteur n'est absolument pas pris en compte lors des études animales mais est un élément très important pour le jugement de la réussite du traitement par le patient.

3.3 POSE D'IMPLANT AVEC COMPLEMENT DE DEFAUTS OSSEUX ALVEOLAIRES PAR UN PHOSPHATE DE CALCIUM

3.3.1 La cicatrisation spontanée des défauts osseux alvéolaires

Il faut tout d'abord préciser que sont considérés comme défauts alvéolaires la mise à nue de spires de l'implant, les pertes de substance péri-implantaires auxquelles il manque une paroi. Cette partie ne traite pas des défauts lors d'une extraction/implantation immédiate qui constitue un cas particulier dont nous venons de parler. Des similitudes entre les deux exposés sont possibles mais nous avons choisi de les séparer dans la classification car ils correspondent à des situations anatomiques distinctes.

Lors de la mise en place d'un implant, il est envisageable qu'il y ait un manque de support osseux au niveau d'une paroi (en présence d'une déhiscence ou d'une fenestration) ou qu'il y ait un hiatus entre la surface implantaire et celle issue du forage. La problématique est de savoir si ce manque peut être responsable d'un défaut d'ostéointégration, ou remettre en question la pérennité de l'implant, un comblement spontané est également envisageable. Nous allons voir comment le défaut osseux peut se combler spontanément, quels sont les paramètres qui influencent cette cicatrisation et quelles en sont les limites ?

La cicatrisation d'un défaut osseux nécessite la formation osseuse au contact de la surface implantaire. En 2006, Joos et coll. ⁽⁴⁵⁾ ont fait un état des lieux de la littérature scientifique et une synthèse de celle-ci de niveau de preuve 4 sur les éléments influençant la minéralisation osseuse au contact de l'implant. L'ostéointégration est une nécessité absolue pour la survie de l'implant. Elle est influencée par les propriétés osseuses et notamment la fonctionnalité de la matrice extracellulaire qui elle-même est influencée par la géométrie micro et macroscopique de la surface implantaire. La biologie osseuse influence également l'ostéointégration car selon l'environnement osseux, la réponse cellulaire sera différente à la surface de l'implant.

Au travers de cette synthèse, deux hypothèses sur la minéralisation à la surface de l'implant qui ressortent :

- Celle de DAVIES : formation de tissu à proximité de l'implant avec une zone granulaire, ou fibrillaire tout de suite au contact de l'implant sur 1µm,
- Et celle de ALBREKSSON : le début de la minéralisation se fait sans dépôt initial de collagène avec une matrice qui se minéralise plus tard.

Quelle que soit la théorie la plus proche de la réalité, la minéralisation va dépendre aussi :

- De la géométrie de la surface implantaire. Tous les implants évoluent vers le même type de surface.
- De la forme de l'implant, un paramètre important car l'implant doit permettre une transmission des forces au support osseux sans entraver la cinétique osseuse.

Ces arguments reposent sur une abondante littérature mais ce n'est qu'un constat, il n'y a pas d'analyse des protocoles, de critique ni de phase expérimentale. De plus les mécanismes précis de la minéralisation ne sont pas complètement décryptés. Mais cette recherche, nous permet de dégager des éléments de réflexion et de comparer les résultats issus de la revue avec ceux des études expérimentales suivantes.

En 2004, Botticelli et coll. ⁽¹⁷⁾ ont commencé par travailler sur l'influence de l'état de surface des implants sur la cicatrisation osseuse. Ils ont testé sur des chiens, la pose d'implants avec une surface SLA (sand-blasted large grit acid-etched) et des implants avec une « turned » surface (surface usinée).

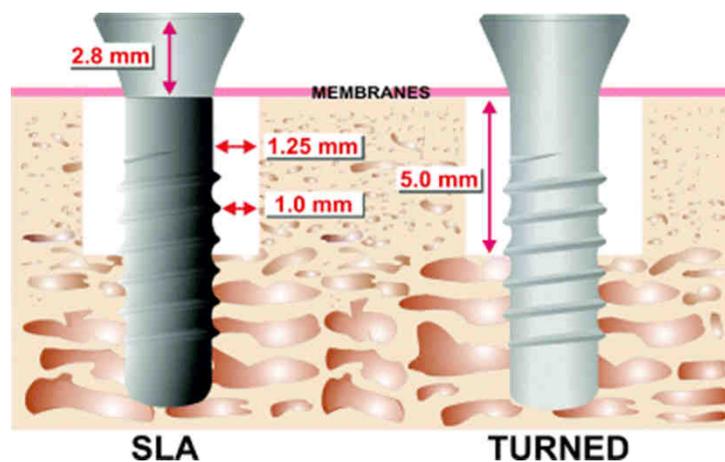


Figure 18 : Schéma des deux types d'implants utilisés avec les défauts osseux créés. (Botticelli)

Les implants sont enfouis ou non enfouis et à leur contact un défaut osseux est créé, il fait 1,25 mm de large sur 5 mm de profondeur. Après 4 mois de cicatrisation, les résultats de cette étude de niveau 2 montrent une meilleure formation osseuse dans les défauts au contact des implants avec une surface SLA avec plus d'os lamellaire et une surface de contact os implant plus étendue.

Il n'y a pas de différence significative quant à la formation osseuse que les implants SLA soient enfouis sous une membrane ou pas. Les résultats ne nous permettent pas de savoir si la supériorité des implants SLA va se poursuivre dans le temps et nous n'avons pas d'information sur la nature du tissu présent dans le défaut à la place de l'os lamellaire. Par la suite Botticelli, a réalisé d'autres études ^(13,70,12) sur le comblement spontané des défauts osseux et il a utilisé des implants avec une surface SLA.

La même année Botticelli et coll. ont également testé ⁽¹³⁾ sur des chiens la cicatrisation osseuse de défauts de taille variable allant de 1 à 1,25 mm de large et 5 mm de profondeur avec des implants SLA surface.

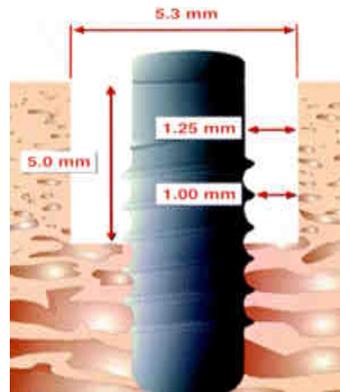


Figure 19 : schéma des défauts osseux péri-implantaires créés. (Botticelli)

Le temps de cicatrisation est toujours de 4 mois avec des sites couverts par une membrane résorbable. Cette étude animale est de niveau 3 car il n'y a que 26 sites implantaires. Nous constatons que l'ostéointégration a lieu partout sans différence significative. Les sites recouverts par une membrane résorbable présentent plus d'os lamellaire en volume, mais pas de différence de BIC. La différence de taille des défauts n'est pas assez importante, il n'y a donc pas de différence significative des comblements. De plus à la suite de la chirurgie, les animaux sont mis en stabulation avec des conditions non reproductibles pour le patient. Durant la phase de cicatrisation, nous ne savons pas quand la membrane s'est résorbée, et au bout de 4 mois nous constatons une absence de différence significative avec ou sans membrane. Il manque des relevés histomorphométriques pour comparer la progression de la cicatrisation osseuse dans les premiers temps en présence de la membrane pour en évaluer l'efficacité. Les résultats de cette étude sont en accord avec ceux des études 21, 50,51 cl.

A la même période, Botticelli et coll. ⁽¹²⁾ ont mis en place une autre étude animale avec le double d'implants, les défauts font la même taille que précédemment c'est-à-dire 1,25 mm sur 5 mm et cette fois ci, ils font varier le temps de cicatrisation. Les animaux sont euthanasiés à un mois et deux mois après implantation. Les temps de cicatrisation sont 2 à 4 fois moins longs que précédemment. Cette démarche expérimentale a été mise en place pour vérifier la théorie de Davies de 1998 qui propose 2 hypothèses pour le mécanisme de l'intégration intra-osseuse :

- « distance osteogenesis » : l'os atteint l'implant par apposition de couches à partir de l'os présent.
- « contact ostéogénésis » ou ostéconduction : formation d'os nouveau directement au contact de l'implant.

Les implants utilisés dans l'étude de Botticelli ont une surface SLA. Les résultats de cette étude nous montrent une similitude histologique entre 1 et 2 mois dans les défauts avec plus d'os lamellaire à 2 mois. En comparant les résultats aux 2 périodes, nous pouvons constater que la nouvelle formation osseuse provient des parois et du fond du défaut car à 2 mois, la présence d'os lamellaire est plus importante au niveau de la périphérie de celui-ci. Ce résultat est commun à d'autres études de Botticelli (2003-2004) ^(18,15). Cette étude est de niveau 2 du fait qu'il y ait plus d'échantillons et davantage de suivi dans la cicatrisation.

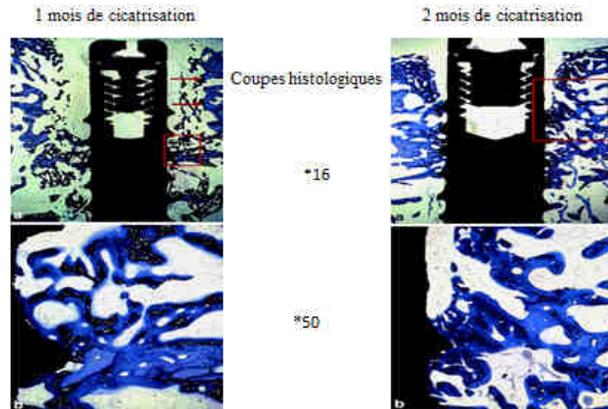


Figure 20 : Coupes histologiques montrant la néoformation osseuse au contact de la surface implantaire. (Botticelli)

Ces résultats sont en accord avec les autres études à ce sujet et nous permet d'obtenir des informations sur les premiers temps de la cicatrisation osseuse qui est la période cruciale du processus de néoformation. Ces hypothèses sont encore à étayer mais la formation osseuse spontanée pourrait venir d'un enchaînement d'altérations tissulaires suite au forage et à la création de défaut. Ce processus de cicatrisation correspondrait au modèle proposé par Davies en 1998 avec la « distance ostéogenesis » puis la phase de « contact ostéogenesis » une fois que le nouvel os formé a atteint une distance suffisante avec l'implant. L'étude ne valide pas à elle seule cette théorie, mais la confirme. Nous n'en sommes qu'aux expérimentations animales, sans évaluation de la fonctionnalité du complexe implanto-prothétique ni de ses répercussions sur l'ostéointégration de l'implant.

En 2004, Botticelli et coll. ⁽¹⁵⁾ veulent approfondir les connaissances scientifiques sur ce mécanisme de néoformation osseuse dans les défauts créés en même temps que la pose d'implant. Son étude animale comporte 20 implants mis en place dans des mandibules de chien avec la création de défauts juxta implantaires de 1,25 mm de large et de 2,25mm. Dans chaque mandibule, 5 implants sont mis en place. Pour certains en plus du défaut, il y a une paroi en moins. Chaque cas de figure est présent sur chaque cobaye. Ils utilisent les mêmes conditions expérimentales que dans les études précédentes : 4 mois de cicatrisation, implants SLA... Les résultats de cette étude de niveau 3 nous

permettent de dire que plus le défaut est important plus il est comblé (en accord avec Akimoto 1999). Mais en revanche en l'absence d'un mur la formation osseuse est moins bonne. De plus le mur buccal, souvent très fin, se résorbe davantage lorsque le défaut bucco lingual est large. Si le défaut fait 1 mm de large, l'absence d'un mur n'influence pas tellement le comblement osseux spontané. Mais quand la dimension horizontale du défaut osseux dépasse le millimètre, la formation osseuse est diminuée. L'explication de ce phénomène peut se trouver dans le fait que l'absence de paroi limite moins bien l'invagination de tissus mous à l'intérieur du défaut. En théorie, la paroi manquante constitue un réservoir de cellules ostéoprogénitrices et facteurs de croissance en moins. Elle diminue la surface permettant l'initiation de la néoformation osseuse comme nous l'avons vu précédemment. Mais pour justifier son rôle dans la diminution de la formation, il faudrait des résultats intermédiaires pour savoir quel phénomène est responsable de l'absence de formation osseuse : la croissance des cellules épithéliales à l'intérieur du défaut ou l'absence de réservoir cellulaire constitué par les parois du défaut ? Les tissus mous ayant une croissance beaucoup plus importante que celle de l'os pourraient limiter le développement osseux. Dans l'étude, la membrane de collagène utilisée pour recouvrir le défaut se collapse et empêche la conservation de l'espace. Cet incident pourrait être évité par l'utilisation de matériaux de substitution osseuse tels que les phosphates de calcium qui maintiendraient l'espace et favoriseraient la formation osseuse.

La même année Kim et coll. ⁽⁴⁹⁾ publient une étude animale, sur le même thème que Botticelli et dont les résultats sont en accord. Dans l'étude de Kim, la cicatrisation d'un défaut osseux est testée en fonction du nombre de murs restants. Il y a 36 défauts de 4*4*4 mm, et l'analyse est faite après 8 semaines de cicatrisation. Nous constatons que la formation osseuse est plus importante en présence de 3 murs autour du défaut et il y a moins d'invagination de l'épithélium de jonction. Il y a une différence significative, en ce qui concerne la régénération osseuse, entre les défauts à un mur de ceux à 3 murs. Cette étude est de niveau 4 à cause du peu d'échantillons et de l'absence de la pose d'implant simultanée. Mais les résultats ne nous permettent pas de conclure sur l'importance de la présence de parois encadrant le défaut osseux. Les murs osseux permettent : de limiter la colonisation par les tissus mous de la perte de substance, le maintien du caillot sanguin ainsi que la présence d'une surface osseuse plus importante dont nous connaissons la nécessité. Cette étude est très intéressante mais ne nous renseigne pas sur l'influence de l'implant et sur la difficulté de la minéralisation au contact de l'implant. Nous savons que la cicatrisation osseuse spontanée est favorisée par la présence de parois osseuses entourant le défaut, donc l'absence de paroi implantaire modifie les conditions de comblement et empêche la comparaison avec les autres études. De plus dans cette situation il y a conservation d'une partie du ligament alvéolaire constituant un réservoir de cellules très important.

Plus récemment, Jung et coll. en 2007, se sont intéressés à l'importance de la largeur du défaut osseux ⁽⁴⁸⁾. L'expérimentation s'est également déroulée sur des chiens avec des défauts créés autour de

24 implants dans des mandibules. Comme dans l'étude de Botticelli ⁽¹²⁾, 2 périodes de cicatrisation sont explorées : 1 mois et 2 mois. Les implants utilisés pour cette étude ont une surface différente de ceux utilisés précédemment. Ils ont une surface traitée au calcium. Les résultats montrent une similitude histologique à 8 et à 16 semaines mais avec une formation osseuse plus mature à 4 mois et toujours un début de cicatrisation par le fond et par les parois du défaut. Nous constatons une différence en fonction de la largeur du défaut car ceux de 2 mm présentent un comblement moindre que les défauts de 1 et 1,5 mm. Mais la limite du temps de suivi ne permet pas de savoir s'ils vont être comblés ultérieurement car nous constatons aussi que le BIC augmente pour les défauts de 1 et 1,5 mm alors qu'il diminue pour ceux de 2 mm entre 2 et 4 mois. De plus ce résultat est en désaccord avec celui de Botticelli en 2003 ⁽¹²⁾. Les 2 études de niveau 3 ne nous permettent pas de conclure mais nous montrent la nécessité d'études sur du plus long terme avec plus de relevés intermédiaires pour déterminer si l'élément prépondérant pour le comblement osseux est le temps ou s'il faut un apport de biomatériau tel que le phosphate de calcium pour un retour le plus proche de la situation initiale.

En 2011, Rossi et Botticelli ⁽⁷⁰⁾ ont également travaillé sur le comblement de défaut osseux créés autour d'implants pour étudier ce qui se passe dans les 30 premiers jours entre des petits défauts : 0,5 mm de large et de « grand » défauts : 1,25mm. A 1 mois les défauts ne sont pas complètement comblés, la formation d'os nouveau commence encore par les bords latéraux et le fond du défaut. Mais à un mois il y a une différence significative de BIC entre les 2 dimensions de défauts. Les résultats sont en accord avec ceux d'Abrahamson et coll. en 2008. En conclusion de cette étude de niveau 3, les résultats sont en accord avec les recherches précédentes en ajoutant que la progression de la cicatrisation est très importante dans les 20 premiers jours quelle que soit la taille du défaut. Mais de nouveau l'étude est trop courte car elle ne va pas jusqu'au comblement complet du défaut et encore moins jusqu'à la mise en fonction de l'implant étant donné le modèle expérimental. L'importante présence de tissu conjonctif à un mois nécessite plus de suivi pour savoir quel en est le devenir. L'étude nous donne des informations sur la cinétique précoce de la cicatrisation osseuse mais il faudrait aussi le résultat au moment de la mise en fonction de l'implant.

Tan et coll. en 2011 ⁽⁷⁸⁾, ont testé l'influence de la taille du col de l'implant sur le remodelage osseux après l'implantation. Cette étude est différente des précédentes, elle est réalisée sur des patients et à l'origine, il n'y a pas de défaut osseux. Mais elle est intéressante car elle nous montre que la résorption de la crête osseuse est significativement moins marquée avec des implants dont le col est de 1,8 mm qu'avec ceux de 2,8 mm un an. Les résultats de cette étude de niveau 2 ajoutent un outil pour gérer la perte osseuse lors de l'implantation ainsi qu'un moyen plus prévisible pour optimiser la situation des tissus durs et mous en cas de demande esthétique importante. Il faut bien sûr approfondir ces résultats pour les confirmer avec un nombre plus important de patients et toujours un suivi plus long et plus régulier pour pouvoir déterminer exactement quand s'opère la résorption. Il serait

intéressant de suivre cette résorption entre le moment de l'ostéointégration et la période de mise en charge.

➤ *Conclusion sur le comblement de défauts osseux péri-implantaires spontanément :*

Les études animales analysées, sont assez similaires les unes avec les autres notamment pour le modèle animale, la dimension des défauts osseux, le temps de cicatrisation et le type d'implant utilisé. Chacune des études possède un faible niveau de preuve mais les résultats évoluent dans l'ensemble dans le même sens.

A l'heure actuelle, un défaut de moins de 2 mm de large peut être comblé par une néoformation osseuse spontanée. C'est issu d'un consensus de faible valeur mais appliqué et approuvé par de nombreux cliniciens.

A l'issue de l'analyse des résultats, nous sommes en accord avec le consensus et nous pouvons affirmer que :

- Pour les défauts de 0 à 1,25 mm de large la néoformation osseuse spontanée suffit pour un bon niveau osseux et une bonne ostéointégration des implants
- Pour les défauts de plus de 2 mm de large, l'absence de comblement entraîne une perte du niveau osseux durant la cicatrisation
- Pour les défauts de 1,25 à 2 mm le comblement total n'est pas certain et dépend aussi : du nombre de parois restantes autour du défaut, de l'épaisseur de ces parois ainsi que de l'angle d'ouverture du défaut ($\square 120^\circ$ la néoformation seule ne suffit pas).

Nous pouvons également affirmer que :

- La formation osseuse commence au fond et à la périphérie du défaut.
- Les murs restants constituent un réservoir cellulaire et limitent l'invagination des tissus mous.
- Les 20 premiers jours de cicatrisation conditionnent la qualité de l'os futur et donc l'ostéointégration des implants.
- L'enfouissement des implants n'intervient pas sur la résorption osseuse.

L'anatomie des implants a montré son importance. Nous avons moins de résorption osseuse quand nous utilisons un implant avec un col court par rapport à un implant classique. Cependant les implants n'ont pas été testés en présence de défaut osseux. Mais peut-être constituent-ils un outil pour lutter contre la résorption osseuse ?

De manière à augmenter les capacités de comblement, les membranes résorbables ont été testées, mais l'absence de support ne leur permet pas de maintenir l'espace. D'après les résultats, elles ne

permettent pas d'amélioration qualitative ou quantitative de formation osseuse. Ceci nous amène à envisager l'utilité des matériaux de comblement et plus particulièrement des phosphates de calcium.

Seulement l'utilisation de biomatériaux, de membrane ou les 2, augmente la difficulté technique de la thérapeutique et donc le risque d'échecs. Le choix du protocole doit être évalué préalablement et le rapport bénéfice/risque doit être mesuré dans chaque cas.

Suite à l'analyse des résultats de ces études animales (dont la mise en fonction de l'implant et l'esthétique ne sont pas pris en compte), nous avons des éléments pour orienter la recherche vers l'évaluation du bénéfice apporté par les phosphates de calcium pour le comblement de défaut osseux péri implantaires.

Nous allons donc voir par la suite les avantages apportés par les phosphates de calcium pour l'ostéointégration des implants, leur pérennité dans le temps pour le comblement des défauts osseux adjacents aux implants mis en place.

3.3.2 Pose d'implant avec comblement de défauts alvéolaires aux phosphates de calcium

Le remplacement des dents par un complexe prothétique implanto-porté est actuellement le meilleur traitement d'un point de vue mécanique et fonctionnel. Mais la qualité du support implantaire est extrêmement importante pour la pérennité du traitement et surtout la présence osseuse qualitative et quantitative. La recherche est donc très active pour recréer le plus souvent possible, un contexte favorable à la mise en place de l'implant. Nous allons voir au travers de la littérature scientifique, quelles sont les capacités des phosphates de calcium synthétiques pour le comblement de défauts péri-implantaires, ainsi que les avantages qu'ils apportent par rapport au comblement osseux spontané d'un défaut alvéolaire.

3.3.2.1 Complements osseux péri implantaire au niveau de tibia, chez l'animal :

Carmagnola et coll. (2008) ont publié une étude ⁽²⁴⁾ sur le comblement de défauts osseux pré implantaires. Ils ont créé des défauts de 4*6 mm dans des tibias de lapins qu'ils ont rempli avec soit du Bio-Oss® (geistlich, Suisse) soit de l'Ostim® Paste, soit du Perioglass. Six semaines après, les 40 implants sont mis en place dans les zones comblées durant 6 semaines.

A l'issue des analyses tous les implants sont ostéointégrés et il n'y a pas de différence significative de BIC en fonction des matériaux et par rapport au défaut non comblé. Cette étude nous montre que les biomatériaux utilisés n'entravent pas l'ostéointégration des implants mais ne l'améliorent pas non plus. L'étude est réalisée avec des implants SLA surface qui d'après l'étude de Botticelli ⁽¹⁵⁾ favorise la néoformation osseuse adjacente à l'implant. La procédure expérimentale en deux temps, au niveau

du tibia de lapin, avec un défaut à 4 murs est loin des situations cliniques et les résultats de cette étude de niveau 2 sont à approfondir. Les biomatériaux utilisés devraient être testés dans d'autres conditions.

Arizan et *coll.* ont également travaillé sur le comblement osseux au niveau de tibias mais sur des chiens et les implants ainsi que le comblement ont été réalisés en un seul temps opératoire. Leur étude ⁽⁷⁾ consistait à combler des déhiscences de 5,8*3,8 mm avec un ciment phosphocalcique injectable (ICPC) (Augmentech, Allemagne) sur 15 implants. Ce ciment est composé de TCP, de magnésium et de strontium carbonaté sous forme de poudre que le praticien mélange à une solution liquide. Les analyses sont faites à 12 semaines : tous les implants sont ostéointégrés mais le ciment n'est pas totalement dégradé. Le ciment a permis un bon maintien de l'espace et a fait preuve d'ostéoconduction avec la présence d'ostéoblastes dans des lacunes. Mais les résultats de la hauteur osseuse ainsi que du BIC ne présentent pas de différence significative entre les sites tests et les sites contrôles. Cette étude est de niveau 3 car il n'y a pas de contrôles négatifs et très peu d'implants utilisés. Les résultats du BIC varient d'un animal à l'autre et nous n'avons pas de données sur la quantité de ciment restante. Bien que l'os trabéculaire du tibia du chien soit proche de l'os mandibulaire d'un point de vue de la structure et de la physiologie, le faible échantillon, les résultats hétérogènes et le peu de données ne permettent pas de conclure sur l'intérêt de ce ciment pour le comblement de défaut osseux péri-implantaires.

➤ *Conclusion sur le comblement osseux au niveau des tibias :*

Ces 2 études animales nous permettent affirmer que les phosphates de calcium n'entravent pas l'ostéointégration des implants mais ne l'améliorent pas non plus. Les modèles expérimentaux, par leur site, la forme des défauts créés, le modèle animal ainsi que le nombre d'implants testés ne permettent pas de conclure sur l'intérêt des phosphates de calcium synthétiques pour des comblements de défauts alvéolaires en même temps que la pose d'implant.

Nous allons donc par la suite analyser la néoformation osseuse au niveau de la cavité buccale mais avec une technique chirurgicale peu répandue pour la mise en place d'implants dentaires.

3.3.2.2 Pose d'implants avec comblement lors de distraction osseuse :

Chez de nombreux patients, suite à l'absence de dent, la crête alvéolaire est très amincie et ne permet pas la pose d'un implant même du plus petit diamètre. La technique chirurgicale mise en œuvre dans ces situations est la distraction osseuse. La distraction osseuse consiste en une élongation du cal mou osseux par voie mécanique pour éviter à la matrice du cal mou de se figer. L'élongation est assurée par une force mécanique lente et dynamique pour permettre le maintien prolongé d'une phase de prolifération et de différenciation cellulaire. Le processus commence une phase de latence avec mise en place du potentiel cellulaire et vasculaire puis nous passons à la distraction proprement dite. Cette technique est d'avantage réservée à la mandibule. Nous allons voir comment, avec ces études animales, l'utilisation de phosphates de calcium synthétiques contribue à la néoformation osseuse permettant le traitement implantaire.

Yamouchi et *coll.* ont réalisé une étude⁽⁸⁶⁾ en 2009 pour tester le comblement d'une distraction osseuse alvéolaire, mandibulaire avec un bloc de β -TCP. Avant la distraction, la crête fait 2,7 mm d'épaisseur, ils décident donc de l'augmenter en créant au sommet de la crête une fracture de la corticale. Le dispositif de distraction permet un gain de 0,5 mm par jour ceci pendant 6 jours. Dans un deuxième temps, les implants sont mis en place au milieu du bloc de β -TCP pendant 8 semaines avec activation du distracteur puis 8 semaines de latence. Tous les implants sont ostéointégrés à 16 semaines. Les résultats montrent une augmentation de la largeur de la crête. Elle fait 10 mm d'épaisseur à 8 semaines et par contre 7,8 mm à 16 semaines. Le β -TCP s'est résorbé de 24,7% en 8 semaines et de 44,8% en 16 semaines et la formation osseuse est comprise entre 20,2 et 33,5%. Donc la distraction osseuse associée à un comblement avec du β -TCP est une solution permettant la pose d'implant. Seulement c'est une chirurgie compliquée, douloureuse et dont les consignes post-opératoire sont strictes. Ce n'est donc pas la technique la plus appropriée chez l'homme. Cette étude n'est que d'un niveau 4 car elle est réalisée chez le chien sur peu d'animaux et en 2 temps. Cette étude ne comporte pas de modèle de contrôle ni de technique différente permettant la comparaison.

Han et *coll.* ont également publié une étude⁽⁴¹⁾ en 2011 sur le comblement d'une distraction osseuse en vue de la pose d'implants. L'expérimentation a été réalisée sur 6 chiens, dont les prémolaires ont été extraites. Ensuite, ils ont mis 2 implants par côté de mandibule. En mésial de chaque implant des défauts osseux faisant environ 4 mm sont remplis soit avec le caillot sanguin, soit de l'os autologue, soit du Bio-Oss[®] Collagène (Geistlich, Suisse) soit du Bio-Oss[®] (Geistlich, Suisse). L'autre côté de la mandibule on réalise la même chose mais tous les défauts seront recouverts d'une membrane BioGide[®] (Geistlich, Suisse). Le schéma expérimental est représenté par la figure suivante.

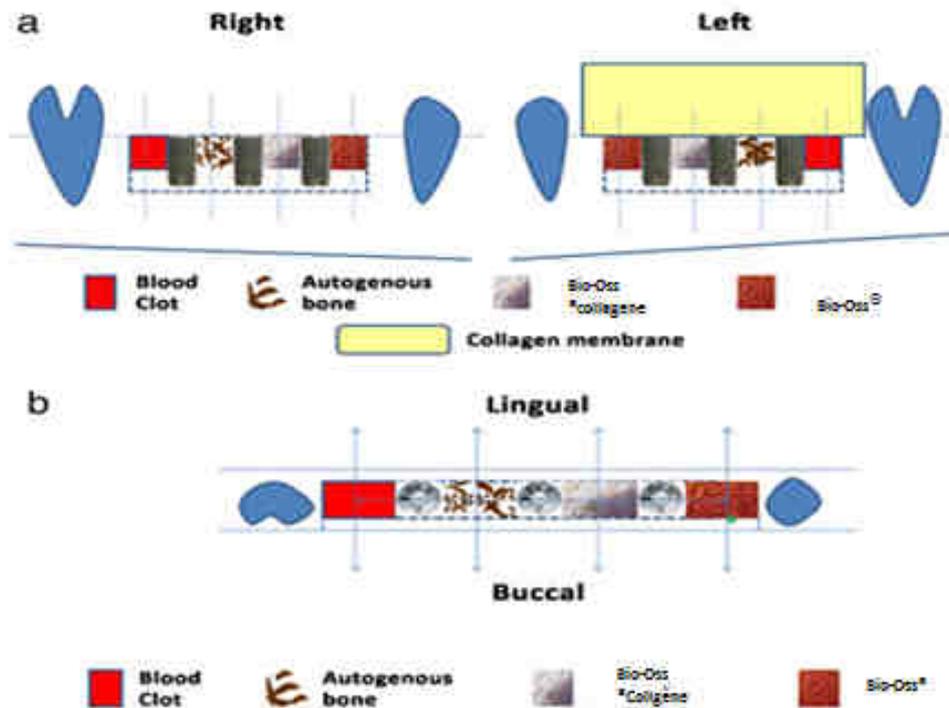


Figure 21 : schéma de la disposition des différents biomatériaux et des implants (Han)

A 8 semaines tous les implants sont ostéointégrés. La formation osseuse est visible au contact de l'implant. A 12 semaines nous retrouvons les mêmes résultats avec une minéralisation plus importante de l'os quel que soient les conditions. Le BIC est plus élevé à 8 et à 12 semaines pour les implants recouverts par la membrane excepté, pour le comblement au BOC. Ce matériau a permis d'obtenir de meilleurs résultats sans la membrane. Le niveau osseux marginal conserve un meilleur niveau quand la membrane est présente même en l'absence de comblement du défaut.

Donc nous avons une différence significative de BIC entre les défauts comblés et non comblés, entre les défauts recouverts d'une membrane et ceux non recouverts pour le maintien du niveau osseux marginal. Cette analyse ne montre que le BOC peut remplacer un biomatériau de comblement osseux recouvert d'une membrane.

Cette étude est de niveau 2 du fait qu'elle soit rigoureusement menée, qu'elle concerne 24 implants. Mais nous ne connaissons pas la dimension des défauts comblés, sont-ils similaires ? Les défauts osseux créés sont très proches les uns des autres et ne risquent-ils pas de se contaminer et de fausser les résultats ? L'étude comporte sur de nombreux paramètres : le remplissage du défaut ou non, différents biomatériaux de comblement, la présence ou non d'une membrane et différents temps de cicatrisation, il est donc difficile de conclure sur la combinaison à adopter. Sans oublier que nous sommes chez le chien avec une cinétique de remodelage différente de chez l'homme et une absence de nécessité prothétique.

➤ *Conclusion sur la distraction osseuse :*

A l'issue de ces 2 études animales sur la pose d'implants simultanément ou à la suite d'une distraction osseuse comblée avec des biomatériaux, nous pouvons valider l'utilisation du biomatériau dans le but d'un gain osseux en largeur de crête. Dans les 2 cas, les implants sont ostéointégrés à 8 semaines que ce soit avec du β -TCP ou du Bio-Oss[®] (Geistlich, Suisse), ou du Bio-Oss[®] Collagène (Geistlich, Suisse), que l'implant soit mis en même temps que la chirurgie ou en différé. Ces trois biomatériaux à base de phosphate de calcium permettent l'ostéointégration des implants dans une distraction osseuse chez le chien.

3.3.2.3 *Comblement de défauts osseux péri-implantaires avec des phosphates de calcium chez le chien*

Nous allons poursuivre l'analyse littéraire par le comblement de défauts osseux adjacent à l'implant correspondant d'avantage à des déhiscences ou des fenestrations sur des animaux.

Botticelli et *coll.* en 2004 ont testé le comblement de défauts osseux péri-implantaires de 1,25*5 mm avec du Bio-Oss[®] (Geistlich, Suisse) associé ou non à une membrane. Cette étude ⁽¹⁶⁾ est la suite de celle réalisée sans comblement ⁽¹⁵⁾ des défauts osseux. Quatre chiens reçoivent 6 implants : 3 à gauche dont les défauts sont comblés avec du Bio-Oss[®] (Geistlich, Suisse) et 2 sites sur les 3 sont recouverts d'une membrane BioGide[®] (Geistlich, Suisse). Sur l'hémi mandibule droite, c'est le même schéma sans comblement des défauts péri-implantaires.

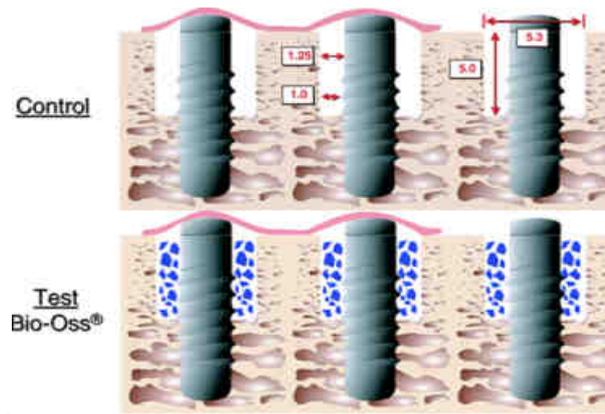


Figure 22 : Schéma des 6 implants, des défauts implantaires avec les différents comblements. (Botticelli)

Après 16 semaines de cicatrisation, tous les implants sont ostéointégrés. Nous ne constatons pas de différence significative de BIC entre les sites comblés et ceux non comblés et entre les défauts recouverts avec une membrane et ceux non recouverts. Le Bio-Oss® (Geistlich, Suisse) est au contact de l'implant, il est incorporé dans l'os mais n'apporte aucun avantage par rapport aux sites non comblés. L'utilisation de la membrane ne présente pas non plus d'avantage quant au niveau osseux acquis après cicatrisation. Cette étude de niveau 2 ne met pas en avant la capacité de résultats potentiels avec l'utilisation de Bio-Oss® (Geistlich, Suisse). Ici, il n'apporte rien dans le processus de formation osseuse et de fermeture du défaut. La dimension des défauts osseux réalisés dans l'étude n'a aucun intérêt au vu des résultats des travaux sur le comblement spontané. Il aurait fallu augmenter la taille des défauts ou réaliser des défauts de dimension diverses pour mettre en avant l'intérêt de l'utilisation de biomatériaux et de membranes.

Jung et coll. en 2005 réalisent une étude animale ⁽⁴⁸⁾ sur le comblement de défauts osseux péri-implantaires avec un nouveau matériau : non cristalline calcium phosphate glass (NCCPG). Ce biomatériau est comparé au β -TCP et à une xéno greffe (xDBMputty). Chaque chien a 4 implants et 4 défauts osseux de 5*3*3 mm. Nous avons donc tous les cas de figure sur chaque animale : 3 sites comblés et un site contrôle vide.

Après 8 semaines de cicatrisation, l'analyse histologique révèle une similitude dans la formation osseuse avec les 3 matériaux. Pour aucun des biomatériaux utilisés le BIC est calculable. Nous pouvons constater plus de formation osseuse avec le β -TCP par rapport au NCCPG. Ceci peut s'expliquer par une différence entre les 2 matériaux qui est la porosité. Le β -TCP est presque 2 fois plus poreux que le NCCPG or nous savons que c'est une propriété favorisant la colonisation du biomatériau par les cellules et les fluides. Cette étude pourrait donner des résultats plus significatifs si elle était menée sur du plus long terme, nous pourrions à ce moment analyser le pourcentage et la cinétique de résorption du NCCPG. Donc cette étude ne peut être que d'un niveau 3 car elle ne nous permet pas de différencier les matériaux en fonction de leurs capacités en tant que substituts osseux.

Schwartz et *coll.* ont publié en 2007 une étude ⁽⁷¹⁾ de niveau 3. Ils ont testé sur 6 chiens la différence de comblement de défaut osseux péri-implantaires de 3*2*4 mm soit avec du Bio-Oss[®]Collagène (BOC) (Geistlich, Suisse) soit avec du Bone Ceramic[®] (BCG= β -TCP+HA) (institut Straumann, Suisse) recouvert par une membrane BioGide[®] (Geistlich, Suisse). La procédure est randomisée, chaque chien reçoit 4 implants et les analyses sont faites à 1, 4 et 9 semaines. A 1 semaine, il n'y a pas de différence entre les différents comblements. A 4 semaines, il y a plus de contact entre le nouvel os formé et l'os périphérique au défaut avec BOC par rapport à BCG mais cela s'équilibre à 9 semaines. Le BOC se résorbe plus vite que le BCG mais il faut également tenir compte du fait que la mobilité de la membrane qui a parfois remis en question la stabilité du biomatériau mais nous n'avons pas les sites concernés par ce problème. Nous ne pouvons donc en tirer aucune conclusion par rapport à la capacité des 2 biomatériaux à combler le défaut osseux.

➤ *En conclusion sur le Bio-Oss[®] et le Bio-Oss Collagène[®] :*

Les 2 matériaux permettent une formation osseuse, ils sont ostéoconducteurs. Mais leurs capacités ne sont pas comparées à l'os autologue ou à une néoformation osseuse spontanée dans un défaut non comblé. De plus d'après les résultats de l'étude ⁽¹⁷⁾ de Botticelli de niveau équivalent, l'utilisation d'implants avec une surface SLA comme ici, permet une néoformation osseuse suffisante pour le comblement d'un défaut de 3*3*3 mm autour de l'implant. Donc l'absence de comparaison dans l'étude de Schwartz avec un groupe contrôle vide ne nous permet pas de valider l'intérêt des biomatériaux testés.

Choi et *coll.* en 2010 continuent les expérimentations ⁽²⁷⁾ sur le même thème. Leur étude est bien menée mais ne porte que sur 20 implants mis en place sur 5 chiens. Elle est d'un niveau 2 car les défauts osseux créés font 5*3*3 mm et il y a un groupe contrôle. Ils testent 3 matériaux : ACP (amorphous calcium phosphate), MBCP[®] (Biomatlante, France) et du FBDA (Oragraft, lifeNet USA) (xénogreffe). Sur chaque chien nous avons les 3 biomatériaux et un groupe contrôle. Après 12 semaines de cicatrisation, comme dans les études précédentes, tous les implants sont ostéointégrés. De l'os nouveau, en formation est retrouvé dans tous les défauts, la formation commence par le fond et les bords du défaut avec ou sans matériau de comblement. Avec ACP, les particules sont intégrées dans l'os naturel et il y a ostéogénèse à distance alors qu'avec MBCP il reste des particules. Nous constatons une différence significative de BIC entre les 3 groupes et le groupe témoin mais entre les 3 biomatériaux en soulignant quand même un meilleur BIC pour MBCP. Dans les limites de cette étude qui sont notamment la mise en fonction des implants ostéointégrés et la prise en compte de

l'esthétique, ACP et MBCP montrent des résultats équivalents voire meilleurs que la xéno greffe dans cette situation. Mais cette étude présente un petit défaut, le traitement de surface des implants avec un CAP (nanoparticules de céramique biphasée) dont la structure est proche d'ACP et MBCP, donc pourrait influencer sur la présence du biomatériau au contact de l'implant.

➤ *En conclusion sur l'utilisation BCP et de ciment phosphocalciques :*

- Un apport significatif de formation osseuse du β -TCP, de NCCPG, ainsi que de MBCP et ACP par rapport à des défauts osseux non remplis de 5*3*3 mm.
- Huit semaines c'est un délai trop court pour mesurer le pourcentage de contact os implant.

➤ *En conclusion du comblement de défauts osseux péri implantaires avec des phosphates de calcium chez le chien :*

- Nous pouvons valider l'ostéointégration des implants en 8 semaines chez le chien ainsi que l'absence de possibilité de calculer le pourcentage de contact os-implant à ce moment ci.
- Nous avons des études ^(7,24) dont le modèle expérimental est trop éloigné de la réalité clinique chez l'Homme. Même si ces études nous montrent la capacité des phosphates de calcium à permettre l'ostéointégration des implants, nous ne pouvons en extraire aucun consensus pour l'Homme.
- La distraction osseuse associée au comblement avec du β -TCP ou du Bio-Oss[®] (Geistlich, Suisse) permet l'ostéointégration des implants puisque nous ne recensons aucun échec implantaire mais c'est un dispositif complexe dont les suites opératoires sont lourdes et dont les intérêts éventuels ne sont pas mis en avant par rapport à une autre technique «plus classique».
- Quand un défaut osseux adjacent à un implant fait plus de 1,25 mm de largeur, l'utilisation des phosphates de calcium synthétiques a montré un bénéfice dans la formation osseuse, même de meilleurs résultats que les xéno greffes et une absence de différence significative avec ou sans membrane d'un point de vue général.

➤ Ces conclusions relativement positives sont à nuancer car le chien est un modèle dont la physiologie osseuse est 4 fois plus rapide que chez l'homme ^(36cl). De plus aucun implant n'est mis en fonction n'avons aucun retour sur les résultats esthétiques.

3.3.2.4 Les études cliniques humaines

Les études suivantes sur des patients nous apporteront sans doute de nouveaux critères d'évaluation de la capacité des phosphates de calcium.

Nous avons, parmi la littérature scientifique, réussi à trouver 3 études sur patients concernant la pose d'implants accompagnée du comblement de défauts osseux alvéolaires avec des phosphates de calcium synthétiques. Nous commencerons par l'étude de Moses O et *coll.* publiée en 2005. C'est une étude⁽⁶⁰⁾ rétrospective concernant 86 patients et 160 implants. Son étude a pour but de tester 3 membranes avec du Bio-Oss[®] (Geistlich, Suisse) ou du Cérasorb[®] (Curasan, Allemagne). Les 3 membranes utilisées sont Ossix[®] (ColBar R&D, Israel) pour 73 implants, BioGide[®] (Geistlich, Suisse) pour 53 implants et e-PTFE non -resorbable (Gore-Tex[®], WI Gore& Associates, USA) pour 34 implants. Les défauts péri-implantaires font 4,9 à 5,3 mm de profondeur, 3,3 à 3,8 mm de large et 13,4 à 14,8 mm². Les 3 membranes permettent des réductions de l'ordre de 94% du défaut mais sans différence significative après 6-8 mois de cicatrisation. En revanche, une corrélation significative a été mise en avant entre l'exposition prématurée de la membrane et celle de la vis de cicatrisation ce qui provoque une diminution significative de la formation osseuse. Les 3 types de membranes ont été exposées dans des proportions faibles pour les membranes résorbable, la membrane Ossix[®] (ColBar R&D, Israel) est celle qui en cas d'exposition engendrera le moins de conséquences sur la formation osseuse. A l'issue de cette étude ⁽⁶⁰⁾ de niveau 3, nous ne pouvons affirmer la supériorité d'une des membranes. La lecture des résultats ne peut être interprétée sans avoir les dimensions exactes de chaque défaut ainsi que le matériau de comblement. Nous n'avons pas de résultats tenant compte de cela, sans oublier l'absence de résultats prothétiques et esthétiques. Nous pouvons juste conclure sur l'influence néfaste de l'exposition membranaire sur la formation osseuse et la supériorité d'Ossix[®] (ColBar R&D, Israel) dans ce cas.



Figure 23 : Photo des implants après leur mise en place. Présence d'un défaut osseux vestibulaire exposant les spires. (Moses)



Figure 24 : Mise en place d'une membrane collagénique Ossix®. (Moses)

Jung RE et coll. ont réalisé une étude ⁽⁴⁷⁾ en 2009, sur le comblement osseux à l'aide de Bio-Oss® (Geistlich, Suisse) associé à une nouvelle membrane synthétique résorbable : polyéthylèneglycol (PEG) hydrogel (Straumann, Suisse). Ils l'ont comparé à la membrane BioGide® (Geistlich, Suisse). L'étude porte sur 37 patients : 19 avec PEG et 18 avec BioGide® (Geistlich, Suisse). Les défauts péri-implantaires sélectionnés font au moins 3 mm de profondeur et la période de cicatrisation est de 6 mois. La figure 6 nous montre la mise en place du biomatériau le long des spires visibles de l'implant puis l'application de la membrane PEG. A l'issue de l'analyse des résultats, le gain osseux en hauteur est significativement plus important avec PEG, mais pour le gain en volume, les résultats sont meilleurs avec BioGide® (Geistlich, Suisse) sans différence significative. Mais d'après les expérimentations de cette étude de niveau 2, l'avantage le plus impressionnant de PEG est la facilité de manipulation intra et extra orale de la membrane. La capacité de cette membrane n'est malheureusement pas mise en corrélation avec les résultats exprimés. De plus nous n'avons pas d'information sur la durée de la tenue de la membrane il est donc difficile de juger de son efficacité. Les membranes sont souvent utilisées pour permettre le maintien du biomatériau or ici nous n'avons pas de résultats sur la quantité de biomatériau restante ni de résultats intermédiaires pour suivre l'évolution de la résorption et la synergie du complexe Bio-Oss® (Geistlich, Suisse) et PEG. Il manque également les résultats esthétiques liés à l'utilisation de la membrane. Permet-elle un meilleur positionnement et conservation des tissus mous ?



Figure 25 : Implant Straumann, comblement osseux avec du Bio-Oss®, maintenu par la membrane PEG, (Jung)

Striezel et *coll.* ont également publié en 2007 une étude ⁽⁷⁵⁾ sur patients, réalisée dans 2 centres de recherches différents, sur l'évaluation de la formation osseuse dans des défauts péri-implantaires après comblement avec une hydroxyapatite : ncHA (nano-cristalline HA ; Ostim[®], Hersed Kulzer Hanau, Allemagne). L'étude comporte 14 patients mais seulement 10 recevront le comblement en simultané de la pose d'implants. Le résultat des biopsies après 6 mois de cicatrisation montre la présence de particules d'Ostim[®] (Hersed Kulzer Hanau, Allemagne) au centre et à la périphérie du défaut sans différence significative et l'os néoformé est réparti à l'inverse. Le gain osseux à 6 mois est significatif mais limité. Dans l'étude les particules de ncHA sont recouvertes d'une membrane en titane avec des mailles dans lesquelles les tissus mous prolifèrent et expulsent une partie du biomatériau.

Il aurait été intéressant de tester l'HA avec une autre membrane mais vu le faible nombre de patients, cela aurait encore réduit la pertinence de l'étude (nous sommes sur un niveau de preuve 3 étant donné le nombre de patients, la quantité de variable évalué et le fait qu'il n'y ai pas de résultats avant 6 mois, ni de groupe contrôle, ni de comparaison avec d'autre biomatériau). Sur les 10 patients concernés par le comblement et implantation simultanée environ 50% avaient déjà subi une augmentation du volume osseux avec ce même biomatériau. Il se peut aussi que des particules de ncHA soient toujours présentes et faussent les calculs quantitatifs. Donc Ostim[®] (Hersed Kulzer Hanau, Allemagne) apparaît comme un bon matériau de comblement osseux mais il reste beaucoup de ses propriétés à évaluer.

Les études scientifiques sur des patients, concernant les comblements osseux en même temps que la pose d'implant ne sont pas très répandues.

Ce phénomène peut s'expliquer par le fait que :

- La mise en place d'une étude nécessite le consentement du patient ce qui peut l'effrayer
- Les expérimentateurs ne peuvent réaliser des prélèvements pour les analyses comme chez les animaux
- Les patients n'ont pas suffisamment de temps à consacrer à la recherche
- Aucun risque esthétique ne souhaite être pris de la part du praticien donc de nombreux cas sont différés. Le comblement est réalisé en pré-implantaire par mesure de sécurité et permet l'évaluation du gain osseux.

➤ *Conclusion sur les études cliniques humaines :*

A l'issue de ces 3 études sur la pose d'implant avec comblement par un phosphate de calcium seul ou associé à une membrane, les biomatériaux à base de phosphate de calcium ne sont pas les sujets expérimentaux donc leurs intérêts d'utilisation ne sont pas mis en valeur. Les phosphates de calcium contribuent à l'ostéointégration des implants puisque nous ne notons aucun échec, que ce soit avec le Cérasorb® (Curasan, Allemagne), l'Ostim® (Hersed Kulzer Hanau, Allemagne) ou le Bio-Oss® (Geistlich, Suisse). Mais nous ne savons pas dans quelles mesures. Les résultats concernant le BIC ou la quantité de biomatériaux ne sont pas calculés.

Les défauts à combler font au minimum 3 mm de profondeur et ont des formes anatomiques variées. Nous pouvons conclure, suite à l'analyse de ces 3 études que l'association de biomatériaux phosphocalciques avec des membranes collagéniques résorbables permet le comblement de ces défauts péri-implantaires ainsi que l'ostéointégration des implants.

Donc les études sur patients ne nous apportent pas d'éléments nouveaux quant au comportement des biomatériaux par rapport aux études animales. Mais surtout, ces études humaines n'ont pas développé les analyses des phases prothétiques, avec le maintien du niveau des tissus durs et mous lors de la mise en fonction de l'implant ainsi que les résultats esthétiques après la phase prothétique.

➤ **En conclusion des études animales et humaines analysées précédemment, nous pouvons affirmer :**

- La capacité des phosphates de calcium synthétiques à combler les défauts péri-implantaires.
- Leur action est permise par leur maintien dans le temps, au niveau du défaut, par une membrane.
- La capacité à venir au contact de l'implant, seulement nous ne savons en combien de temps.

D'un autre côté, les résultats de ces études ne permettent pas d'affirmer leur devenir dans le temps, ni leur capacité à maintenir l'ostéointégration ainsi que le niveau osseux péri-implantaire. Ils comblerent les défauts et favorisent la néoformation osseuse mais ne l'induisent pas : la présence de parois osseuses bien vascularisées apportant les cellules nécessaires à la colonisation du biomatériau est indispensable. Les défauts encastés avec des parois osseuses donnent des résultats plus prévisibles.

Nous savons que des limites existent à l'utilisation des phosphates de calcium synthétiques, par exemple : l'absence de propriété mécanique initiale, la durée de résorption non contrôlée, le maintien du biomatériau en place impossible sans membrane. Mais nous ne savons pas, quand ces limites interviennent dans le succès ou l'échec du traitement implanto-prothétique.

4 APPLICATIONS CLINIQUES

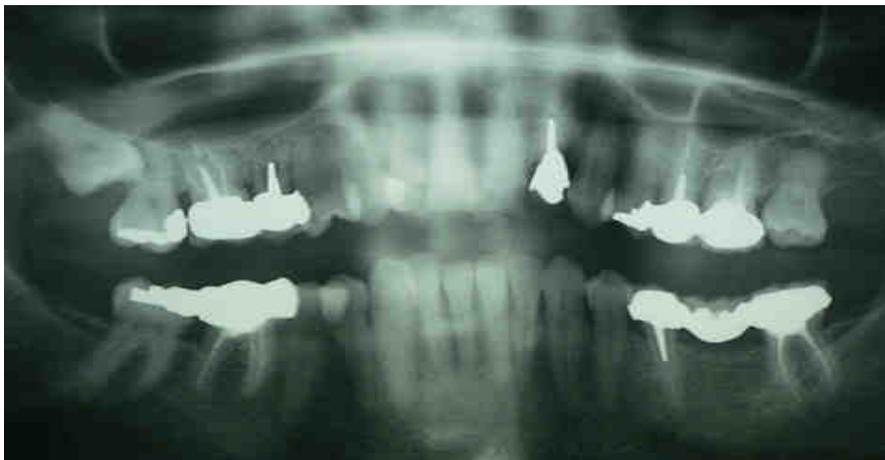
❖ Mise en place d'implant au maxillaire postérieur nécessitant une élévation de la membrane sinusienne

Ce cas clinique a été réalisé par le Docteur Alain HOORNAERT : chef du Département d'implantologie de la faculté de chirurgie dentaire de Nantes.

Les iconographies illustrant le cas clinique sont la propriété du Docteur Alain Hoornaert.

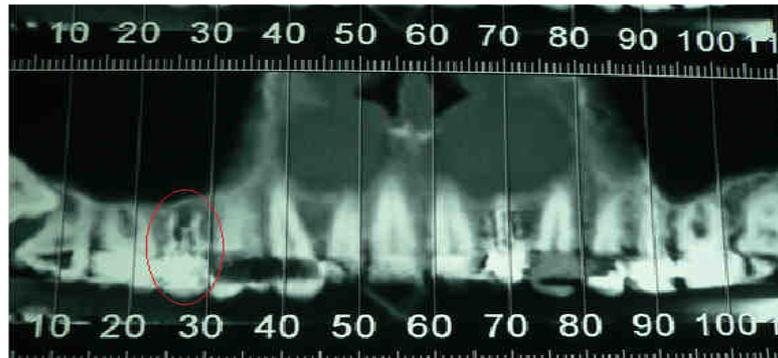
Madame X consulte pour une douleur en secteur 1

- L'examen radiographique montre une fracture longitudinale de la racine de la dent n° 15 qui doit donc être extraite. Il est proposé à la patiente de réhabiliter l'édentement par une couronne céramo-métallique supra-implantaire.



La patiente ne présentant aucune contre-indication à la chirurgie implantaire, l'examen clinique et radiographique permet d'envisager la mise en place d'un implant au niveau du site de la 15 mais nécessite au préalable une analyse tomodensitométrique du volume osseux.

L'étude du scanner permet de déterminer la position exacte de la 15, la hauteur osseuse sous sinusienne ainsi que la hauteur entre l'apex de la 15 et le plancher du sinus.

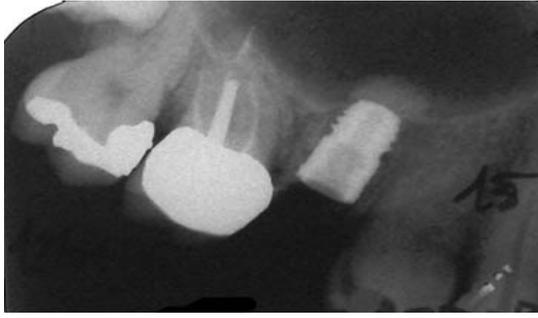


L'extraction atraumatique de la 15 est effectuée début juillet 2005 avec curetage de l'alvéole.



- La hauteur sous sinusienne mesurée après l'extraction est de 6mm. Elle permet d'obtenir une stabilité primaire de l'implant mais nécessite une élévation de la membrane sinusienne.
 - ➔ La dimension osseuse sous sinusienne permet de choisir l'abord crestal par la technique de **Summers**

Les différents forêts pour préparer le site implantaire, sont passés jusqu'à effraction de la corticale et ceci jusqu'au diamètre nécessaire (diamètre inférieur à celui de l'implant) le BCP utilisé sous forme de granule est alors légèrement poussé au fond de l'alvéole. Sa mise en place et sa compaction sont faites lors du vissage de l'implant.







La vérification de l'occlusion est une étape extrêmement importante de la phase prothétique du plan de traitement. L'absence de ligament alvéolo-dentaire est la principale différence entre l'implant et la racine dentaire. Ce ligament possède des barorécepteurs qui canalisent la puissance masticatoire transmise par les dents. Pour les implants, l'absence de ligament entraîne une absence de ces récepteurs et donc pas de contrôle de la pression avec des risques de fracture de la couronne mais aussi de l'implant. Il est donc impératif de respecter les concepts occlusaux adaptés à la prothèse supra-implantaire.



5 CONCLUSION

Les études cliniques sur l'utilisation des phosphates de calcium, pour le comblement osseux lors de la pose d'implants, montrent de très bons taux de survie implantaire. En revanche les taux de réussite de la prothèse implanto-portée ne sont que très peu documentés et nous n'avons que peu de résultats quant au bénéfice apporté par l'utilisation de phosphates de calcium.

D'après la littérature (Burchardt (1983), Jensen et *Coll.* (1998), Tong et *Coll.* (1998) ; Van de Bergh et *Coll.* (1998) ; Galindo-Moreno (2008)), l'os autologue est considéré comme le matériau de greffe de référence pour des reconstructions osseuses, des comblements de sinus lors de la pose d'implant.

Seulement de nombreuses études (Nkenke et *coll.* : 2001, 2002 et 2004) ont insisté sur l'importance et la gravité des problèmes de cicatrisation des sites donneurs. La présence d'un deuxième site d'intervention s'accompagne d'une cicatrisation plus longue, d'un risque d'infection. Les substituts osseux à base de phosphate de calcium, dont les plus couramment utilisés sont : les BCP, les β -TCP les hydroxyapatites synthétiques et le Bio-Oss[®] (Geistlich, Suisse) sont une alternative à la greffe.

Leurs propriétés : l'ostéoconductivité, la biocompatibilité, la biofonctionnalité, leur confèrent les qualités nécessaires au comblement osseux accompagnant la mise en place d'implants avec des résultats équivalents à l'utilisation d'os autologue. Le BCP offre même de meilleurs résultats grâce à une cinétique de résorption plus lente que celle de l'os autologue.

Nous avons étudié la pose d'implant dans trois situations anatomiques, traitées différemment dans la littérature scientifique.

Nous avons vu que les phosphates de calcium tels que le BCP, l'HA, le β -TCP et le Bio-Oss[®] ont permis d'obtenir des taux de survie implantaire équivalents à l'os autologue lors d'augmentation osseuse sous sinusienne. Nous avons des études cliniques sur l'Homme qui montrent les capacités des phosphates de calcium utilisés sous diverses formes, à permettre la survie implantaire et prothétique des traitements. Mais les résultats sont issus d'études parfois réalisées en 2 temps opératoires pour des raisons expérimentales et pour minimiser les désagréments pour les patients.

Nous pouvons conclure sur l'intérêt des phosphates de calcium, par leur efficacité pour les comblements de sinus lors de la pose d'implant. Ils permettent la néoformation osseuse, donc l'augmentation du volume osseux nécessaire à la survie des implants. L'utilisation des phosphates de calcium ne substitue pas à l'acquisition de la stabilité primaire ainsi qu'à un projet prothétique respectant les lois mécaniques. Les phosphates de calcium offrent une augmentation du volume osseux mais n'ont pas de propriétés mécaniques lors de leur mise en place.

La littérature ne permet pas de consensus sur la suprématie des phosphates de calcium, par rapport aux autres techniques de comblement de sinus ou aux autres matériaux de comblement osseux utilisés en pratique clinique. Les études ne nous renseignent pas non plus sur le ressenti des patients en fonction des protocoles utilisés. De plus, très peu d'études prennent en compte les résultats esthétiques apportés par l'utilisation des phosphates de calcium, et ne permettent pas de comparer les résultats de différents protocoles.

L'extraction, implantation immédiate est un protocole particulier, intéressant car il permet une réduction du temps de traitement et diminue le nombre d'intervention pour le patient. Actuellement le consensus énonce qu'en présence d'un défaut péri-implantaire de moins de 2 mm, la néoformation osseuse spontanée suffit au comblement.

La littérature analysée est essentiellement constituée d'études animales au cours desquelles l'utilisation de phosphates de calcium comme matériau de comblement osseux s'est révélée efficace et a permis l'obtention de très bon taux de survie implantaire. Lors de défauts de plus de 2 mm, les phosphates de calcium ont participé au maintien du niveau osseux. Mais à nouveau, lors des études aucun compte rendu sur le résultat esthétique n'est donné. Pourtant, ce protocole est très largement utilisé en cas d'édentement en secteur antérieur. Nous savons que les biomatériaux de comblement n'ont pas de vocation mécanique, mais nous n'avons pas de résultats sur le bénéfice esthétique qu'ils apportent. Ils sont souvent associés à des membranes pour la régénération tissulaire, pour un maintien du niveau osseux, mais nous ne pouvons, à la suite de l'analyse de la littérature, quantifier leur apport. De nouveaux protocoles de recherche, recueils de données sont nécessaires pour la mise en place de protocoles standardisés en fonction de la situation anatomique, du défaut, de sa dimension ainsi que de la valeur de l'os résiduel et l'épaisseur des parois. Il faudrait plus d'éléments décisionnels de manière à savoir quand utiliser quoi. Quels phosphates de calcium en fonction de leur cinétique de résorption ? Faut-il l'associer à une membrane ? Une membrane est-elle suffisante ?

Le bénéfice apporté par le comblement du défaut entre les parois de l'alvéole et la surface implantaire avec des phosphates de calcium est évident, mais la recherche ne permet pas d'aboutir à un protocole d'utilisation encadré par des recommandations précises.

L'utilisation des implants pour remplacer des dents manquantes augmente constamment. Nous avons donc des situations anatomiques où le volume osseux est très insuffisant et la mise en place d'implant s'accompagne alors de manière fréquente d'une procédure d'augmentation osseuse. Quand la stabilité primaire est acquise lors du forage dans l'os résiduel, le comblement osseux est réalisé dans le même temps que la pose de l'implant.

La distraction est une des techniques employées pour augmenter l'épaisseur d'une crête osseuse. Les études animales analysées montrent que les phosphates de calcium sont adaptés au comblement de la plaie osseuse créée, tout en maintenant l'ostéointégration des implants insérés. Ils sont également

équivalents à l'os autologue, pour des comblements de déhiscence et de fenestration, pour ce qui est du taux de survie implantaire, du maintien du volume osseux. Pour ce type de défaut, les granules de phosphate de calcium sont souvent associées à des membranes qui stabilisent le biomatériau au niveau du défaut. De nouveaux matériaux composites à base de phosphate de calcium sont expérimentés. Le but est de donner aux biomatériaux de comblement des propriétés adhésives qui permettraient leur mise en place de manière plus aisée, leur maintien au niveau du défaut ainsi que leur dépôt même lors d'anatomie osseuse tourmentée. Ces nouveaux matériaux offrent de très bons résultats en terme de survie implantaire mais la littérature ne contient pour l'instant que des études animales dont les aspects prothétiques et esthétiques ne sont pas pris en compte. Dans la plupart des études sur le comblement de défauts alvéolaires aux phosphates de calcium, nous n'avons aucune conclusion sur l'intérêt ou l'apport de l'utilisation des phosphates de calcium. De plus, lors de toutes les études animales, les défauts osseux à combler ont été créés et ne ressemblent pas à la réalité clinique.

Actuellement, la recherche ne nous permet pas d'énoncer à quel moment ou dans quelle situation nous devons utiliser tel ou tel matériau. Il n'y a pas de consensus permettant de choisir en fonction de la situation anatomique, de la dimension du défaut, de sa forme, du nombre d'implants de leur positionnement, du projet prothétique, quel type de matériaux de comblement utiliser et si on l'associe à une membrane ou pas. L'utilisation de phosphate de calcium apporte de très bons taux de survie implantaire mais l'adjonction d'étapes lors de la chirurgie complique le protocole, donc augmente le risque d'échec. Il est nécessaire de bien évaluer le rapport bénéfice risque.

Il est aisé de conclure sur le bénéfice qu'ils peuvent apporter en terme de volume osseux, mais il nous paraît encore compliqué de déterminer leur intérêt mécanique et esthétique ainsi que de toujours bien évaluer le rapport bénéfice risque issu de leur utilisation.

Les progrès de la recherche sont motivés par le fait que les implants constituent actuellement le meilleur moyen de remplacer des dents manquantes, de par leurs performances mécaniques, esthétiques et fonctionnelles. La recherche tend à augmenter le champ d'application de l'implantologie en améliorant les techniques d'augmentation du volume osseux, principale barrière à la mise en place d'implants. C'est pour cela que l'on essaie d'améliorer les phosphates de calcium par des techniques d'ingénierie tissulaire. Les nouveaux matériaux testés sont des phosphates de calcium associés lors de culture *in vitro* à des BMPs (bone morphogenetic protein) ou à des facteurs de croissance fibroblastiques. Le but est de permettre la colonisation du phosphate de calcium par des cellules ostéoprogénitrices avant qu'il soit implanté. Les premières études réalisées, telle que celle ⁽⁸³⁾ de Wang et coll. de 2010, sur des chiens, montrent que les matériaux implantés après la mise en culture des cellules sur les phosphates de calcium sont plus rapidement et plus régulièrement colonisés. Au bout de 5 jours, l'imagerie montre des cellules à l'intérieur du biomatériau. Les résultats de la néoformation osseuse dans cette étude sur 6 chiens, sont significatifs avec une formation osseuse beaucoup plus

rapide lors de l'association de BMPs et bFGF (fibroblast growth factor) mis en culture sur CPC (ciment phosphocalcique) qu'avec du CPC seul. Ces conclusions sont fondées sur un échantillon de petite taille, mais semblent intéressantes pour la réparation, chez l'homme, des défauts de taille critique autour des implants. De plus cette mise en œuvre va dans le sens de la diminution de la complexité des traitements tout en augmentant les chances de réussite implantaire et prothétique sans oublier la nécessité du résultat esthétique.

Il est facile d'imaginer, étant donné les progrès, que très rapidement les défauts osseux ou le manque de volume osseux ne seront plus une barrière à la mise en œuvre de traitement implantaire et que les phosphates de calcium synthétiques constituent un matériau potentiellement capable de permettre les comblements de défauts osseux péri implantaire. Mais c'est aussi un matériau dont l'efficacité peut être potentialisée par association à des protéines.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. AGHALOO TL et MOY PK.

Which hard tissue augmentation techniques are the most successful in furnishing bony support for implant placement?

Int J Oral Maxillofac Implants 2007;**22** (Suppl):49-70.

2. ANTOUN H

Les greffes de sinus en implantologie. Collection JPIO.

Paris : Cdp. 2011.

3. ARAÚJO MG, LINDER E et LINDHE J.

Bio-Oss collagen in the buccal gap at immediate implants: a 6-month study in the dog.

Clin Oral Implants Res 2011;**22**(1):1-8.

4. ARAUJO MG, SUKEKAVA F, WENNSTRÖM JL ET LINDHE J.

Ridge alterations following implant placement in fresh extraction sockets: an experimental study in the dog. J Clin Periodontol 2005;**32**: 645–652.

5. ARAÚJO MG, SUKEKAVA F, WENNSTRÖM JL, ET LINDHE J.

Tissue modeling following implant placement in fresh extraction sockets. Clinical Oral Implant Research 2006; **17**: 615–624.

6. ARDEKIAN L, OVED-PELEG E, MACTEI EE et PELED M.

The clinical significance of sinus membrane perforation during augmentation of the maxillary sinus.

J Oral Maxillofac Surg 2006;**64**(2):277-282.

7. ARISAN V, OZDEMIR T, ANIL A et coll.

Injectable calcium phosphate cement as a bone-graft material around peri-implant dehiscence defects: a dog study.

Int J Oral Maxillofac Implants 2008;**23**(6):1053-1062.

8. BAROTH S

Développement des céramiques phosphocalciques.

Thèse : 3ième cycle, Sci Odontol, Nantes, 2009.

9. BENKE D.

Protein-chemical analysis of Bio-Oss® bone substitute and evidence on its carbonate content. Biomaterials 2001;**22**:1005-1012.

10. BOIX D, GAUTHIER O, GUICHEUX J et coll.

Alveolar bone regeneration for immediate implant placement using an injectable bone substitute: an experimental study in dogs.

J Periodontol 2004;**75**(5):663-671.

11. BONHER M, LEMA, ICIRC et coll.

Kinetic of Dissolution of beta-tricalcium Phosphate.

J Colloid Interface Sci 1997;**190** (1):37-48.

- 12. BOTTICELLI D, BERGLUNDH T, BUSER D et LINDHE J.**
Appositional bone formation in marginal defects at implants.
Clin Oral Implants Res 2003a;**14**(1):1-9.
- 13. BOTTICELLI D, BERGLUNDH T, BUSER D et LINDHE J.**
The jumping distance revisited: An experimental study in the dog.
Clin Oral Implants Res 2003b;**14**(1):35-42.
- 14. BOTTICELLI D, BERGLUNDH T et LINDHE J.**
Hard-tissue alterations following immediate implant placement in extraction sites.
J Clin Periodontol 2004a;**31**(10):820-828.
- 15. BOTTICELLI D, BERGLUNDH T et LINDHE J.**
Resolution of bone defects of varying dimension and configuration in the marginal portion of the peri-implant bone. An experimental study in the dog.
J Clin Periodontol 2004b;**31**(4):309-317.
- 16. BOTTICELLI D, BERGLUNDH T et LINDHE J.**
The influence of a biomaterial on the closure of a marginal hard tissue defect adjacent to implants. An experimental study in the dog.
Clin Oral Implants Res 2004c;**15**(3):285-292.
- 17. BOTTICELLI D, BERGLUNDH T, PERSSON LG et LINDHE J.**
Bone regeneration at implants with turned or rough surfaces in self-contained defects. An experimental study in the dog.
J Clin Periodontol 2005; **32**(5):448-455.
- 18. BRÄGGER U, GERBER C, JOSS A et coll.**
Patterns of tissue remodeling after placement of ITI dental implants using an osteotome technique: a longitudinal radiographic case cohort study.
Clin Oral Implants Res 2004;**15**(2):158-166.
- 19. BROWAEYS H, BOUVRY P et DE BRUYN H.**
A literature review on biomaterials in sinus augmentation procedures.
Clin Implant Dent Relat Res 2007;**9**(3):166-177. Review.
- 20. CAFIERO C, ANNIBALI S, GHERLONE E et coll.**
Immediate transmucosal implant placement in molar extraction sites: a 12-month prospective multicenter cohort study.
Clin Oral Implants Res 2008;**19**(5):476-482.
- 21. CAMPS J.**
Notion de biocompatibilité. Société francophone de biomatériaux dentaires.2010.
[http:// umvf.univ-nantes.fr/odontologie](http://umvf.univ-nantes.fr/odontologie).
- 22. CANEVA M, BOTTICELLI D, SALATA LA, et coll.**
Collagen membranes at immediate implants: a histomorphometric study in dogs.
Clin Oral Implants Res 2010;**21**(9):891-897.
- 23. CANEVA M, SALATA LA, DE SOUZA SS et coll.**
Influence of implant positioning in extraction sockets on osseointegration: histomorphometric analyses in dogs.
Clin Oral Implants Res 2010;**21**(1):43-49.

- 24. CARMAGNOLA D, ABATI S, CELESTINO S et coll.**
Oral implants placed in bone defects treated with Bio-Oss, Ostim-Paste or PerioGlas: an experimental study in the rabbit tibiae.
Clin Oral Implants Res 2008;**19**(12):1246-1253.
- 25. CHEN ST, DARBY IB, ADAMS GG et REYNOLDS EC.**
A prospective clinical study of bone augmentation techniques at immediate implants.
Clin Oral Implants Res 2005;**16**(2):176-184.
- 26. CHIAPASCO M, CASENTINI P et ZANIBONI M.**
Bone augmentation procedures in implant dentistry.
Int J Oral Maxillofac Implants 2009;**24** (Suppl):218-236.
- 27. CHOI JY, JUNG UW, LEE IS et coll.**
Resolution of surgically created three-wall intrabony defects in implants using three different biomaterials: an in vivo study.
Clin Oral Implants Res 2011;**22**(3):343-348.
- 28. COLAT J, PARROS et JORDANNA F.**
Les substituts osseux. Société francophone des biomatériaux dentaires. 2010.
<http://umvf.univ-nantes.fr/odontologie>.
- 29. CORDARO L, BOSSHARDT DD, PALATTELLA P et coll.**
Maxillary sinus grafting with Bio-Oss or Straumann Bone Ceramic: histomorphometric results from a randomized controlled multicenter clinical trial.
Clin Oral Implants Res 2008;**19**(8):796-803.
- 30. COVANI U, ORLANDO B, GIACOMELLI L et coll.**
Implant survival after sinus elevation with Straumann(®) BoneCeramic in clinical practice: ad-interim results of a prospective study at a 15-month follow-up.
Clin Oral Implants Res 2011;**22**(5):481-484.
- 31. CRESPI R, CAPPARE P et GHERLONE E.**
Osteotome sinus floor elevation and simultaneous implant placement in grafted biomaterial sockets: 3 years of follow-up.
J Periodontol 2010;**81**(3):344-349.
- 32. CRICCHIO G, SENNERBY L et LUNGGREN S.**
Sinus bone formation and implant survival after sinus membrane elevation and implant placement: a 1- to 6-year follow-up study.
Clin Oral Implants Res 2011;**22**(10):1200-1212.
- 33. DE SANTIS E, BOTTICELLI D, PANTANI F et coll.**
Bone regeneration at implants placed into extraction sockets of maxillary incisors in dogs.
Clin Oral Implants Res 2011;**22**(4):430-437.
- 34. ESPOSITO M, GRUSOVIN MG, COULTHARD P et WORTHINGTON HV.**
The efficacy of various bone augmentation procedures for dental implants: a Cochrane systematic review of randomized controlled clinical trials.
Int J Oral Maxillofac Implants 2006;**21**(5):696-710.

- 35. ESPOSITO M, GRUSOVIN MG, REES J et coll.**
Effectiveness of sinus lift procedures for dental implant rehabilitation: a Cochrane systematic review.
Eur J Oral Implantol 2010;**3**(1):7-26.
- 36. FERRUS J, CECCHINATO D, PJETURSSON EB et coll.**
Factors influencing ridge alterations following immediate implant placement into extraction sockets.
Clin Oral Implants Res 2010;**21**(1):22-29.
- 37. FRENKEN JW, BOUWMAN WF, BRAVENBOER N et coll.**
The use of Straumann Bone Ceramic in a maxillary sinus floor elevation procedure: a clinical, radiological, histological and histomorphometric evaluation with a 6-month healing period
Clin Oral Implants Res 2010;**21**(2):201-208.
- 38. FROUM SJ, WALLACE SS, CHO SC et coll.**
Histomorphometric comparison of a biphasic bone ceramic to anorganic bovine bone for sinus augmentation: 6- to 8-month postsurgical assessment of vital bone formation. A pilot study.
Int J Periodonti Rest Dent 2008;**28**(3):273-281.
- 39. FUJITA H, IDO K, MATSUDA Y et coll.**
Evaluation of bioactive bone cement in canine total hip arthroplasty.
J Biomed Mater Res 2000;**49**(2):273-288.
- 40. GAUTHIER O, GOYENVALLE E, BOULER JM et coll.**
Macroporous biphasic calcium phosphate ceramics versus injectable bone substitute: a comparative study 3 and 8 weeks after implantation in rabbit bone.
J Mater Sci Mater Med 2001;**12**(5):385-390.
- 41. HAN JY, SHIN SI, HERR Y et coll.**
The effects of bone grafting material and a collagen membrane in the ridge splitting technique: an experimental study in dogs.
Clin Oral Implants Res 2011;**22**(12):1391-1398.
- 42. HAUTE AUTORITE DE SANTE**
Niveau de preuve scientifique rapport de 2000.
[http : //www.has-santé.fr](http://www.has-santé.fr).
- 43. HAUTE AUTORITE DE SANTE. SERVICE D'EVALUATION DES PROFESSIONNELS**
Condition de réalisation des actes d'implantologie orale : environnement technique. 2008.
[http : //www.has-santé.fr](http://www.has-santé.fr).
- 44. JENSEN SS et TERHEYDEN H.**
Bone augmentation procedures in localized defects in the alveolar ridge: clinical results with different bone grafts and bone-substitute materials.
Int J Oral Maxillofac Implants 2009;**24** (Suppl):218-236. (38cl)
- 45. JOOS U, WIESMANN HP, SZUWART T et MEYER U.**
Mineralization at the interface of implants.
Int J Oral Maxillofac Surg 2006;**35**(9):783-90. Review.
- 46. JORDONNA F et COLAT-PARROS J.**
Les membranes.Société francophone des biomatériaux dentaires. 2010.
[http : //umvf.univ-nantes.fr](http://umvf.univ-nantes.fr).

47. JUNG RE, HÄLG GA, THOMA DS et HÄMMERLE CH.

A randomized, controlled clinical trial to evaluate a new membrane for guided bone regeneration around dental implants.

Clin Oral Implants Res 2009;**20**(2):162-168.

48. JUNG UW, KIM CS, CHOI SH et coll.

Healing of surgically created circumferential gap around non-submerged-type implants in dogs: a histomorphometric study.

Clin Oral Implants Res 2007;**18**(2):171-178.

49. KIM CS, CHOI SH, CHAI JK et coll.

Periodontal repair in surgically created intrabony defects in dogs: influence of the number of bone walls on healing response.

J Periodontol 2004;**75**(2):229-235.

50. KURIOKA K, UMEDA M, TERANOBU O et KOMORI T.

Effect of various properties of hydroxyapatite ceramics on osteoconduction and stability.

Kobe J Med Sci 1999;**45**(34):149-163.

51. LEBLEBICIOGLU B, ERSANLI S, KARABUDA C et coll.

Radiographic evaluation of dental implants placed using an osteotome technique.

J Periodontol 2005;**76**(3):385-390.

52. LEE JH, JUNG UW, KIM CS et coll.

Histologic and clinical evaluation for maxillary sinus augmentation using macroporous biphasic calcium phosphate in human.

Clin Oral Implants Res 2008;**19**(8):767-771.

53. LEGEROS RZ.

Biodegradation and bioresorption of calcium phosphate ceramic.

Clin Mater 1993;**14**(1):65-88.

54. LE GUEHENNEC L, GOYENVALLE E, AGUADO E et coll.

MBCP biphasic calcium phosphate granules and tissucol fibrin sealant in rabbit femoral defects: the effect of fibrin on bone ingrowth.

J Mater Sci Mater Med 2005;**16**(1):29-35.

55. LE NIHOANNEN D, SAFFARZADEH A, AGUADO E et coll.

Osteogenic properties of calcium phosphate ceramics and fibrin glue based composites.

J Mater Sci Mater Med 2007;**18**(2):225-235.

56. LI YW, LEONG JC, LU WW et coll.

A novel injectable bioactive bone cement for spinal surgery: a developmental and preclinical study.

J Biomed Mater Res 2000;**52**(1):164-170.

57. MAUJEAN E, STRUILLOU X.

Traitement implantaire du maxillaire postérieur : revue de la littérature.

Rev Odont Stomat 2004;**33**:201-227.

58. M'BAREK R.

Le rationnel de l'implantation immédiate post extractionnelle en un seul temps.
Implantologie Février 2011; 1-15.

59. MERTEN HA, WILTFANG J, GROHMANN U et HOENIG JF.

Intra-individual comparative animal study of alpha- and beta-tricalcium phosphate degradation in conjunction with simultaneous insertion of dental implants.
J Craniofac Surg 2001;**12**(1):59-68.

60. MOSES O, PITARU S, ARTZI Z et NEMCOVSKY CE.

Healing of dehiscence-type defects in implants placed together with different barrier membranes: a comparative clinical study.
Clin Oral Implants Res 2005;**16**(2):210-219.

61. NKENKE E et STELZLE F.

Clinical outcomes of sinus floor augmentation for implant placement using autogenous bone substitutes: a systematic review.
Clin Oral Implants Res 2009;**20** (Suppl 4):124-133. Review.

62. OBADIA L.

Synthèse et caractérisation des phosphates de calcium d'intérêt biologique.
Thèse : 3^{ème} cycle Sci Odontol, Nantes, 2004.

63. PASSUTI N, DACULSI G, ROGEZ JM et coll.

Macroporous calcium phosphate ceramic performance in human spine fusion.
Clin Orthop Relat Res 1989;**248**:169-176.

64. PJETURSSON BE, IGNJATOVIC D, MATULIENE G et coll.

Transalveolar maxillary sinus floor elevation using osteotomes with or without grafting material. Part II: Radiographic tissue remodeling.
Clin Oral Implants Res 2009;**20**(7):677-683.

65. PJETURSSON BE, RAST C, BRÄGGER U et coll.

Maxillary sinus floor elevation using the (transalveolar) osteotome technique with or without grafting material. Part I: Implant survival and patients' perception.
Clin Oral Implants Res 2009;**20**(7):667-676.

66. PRETORIUS JA, MELSEN B, NEL JC et GERMISHUYS PJ.

A histomorphometric evaluation of factors influencing the healing of bony defects surrounding implants.
Int J Oral Maxillofac Implants 2005;**20**(3):387-398.

67. RENAULT P et MARTINEZ H.

Les implants chirurgie et prothèse : choix thérapeutique et stratégique. Collection JPIO.
Paris : CdP, 2008.

68. RIBEIRO-ROTTA RF, LINDH C, PEREIRA AC et ROHLIN M.

Ambiguity in bone tissue characteristics as presented in studies on dental implant planning and placement: a systematic review.
Clin Oral Implants Res 2011;**22**(8):789-801.

69. ROSEN PS, SUMMERS R, MELLADO JR et coll.

The boneadded osteotome sinus floor elevation technique: multicenter retrospective report of consecutively treated patients.
Int J Oral Maxillofac Implants 1999;**14**(6):853-858.

70. ROSSI F, BOTTICELLI D, PANTANI F et coll.

Bone healing pattern in surgically created circumferential defects around submerged implants: an experimental study in dog.
Clin Oral Implants Res 2012;**23**(1):41-48.

71. SCHWARZ F, HERTEN M, FERRARI D et coll.

Guided bone regeneration at dehiscence-type defects using biphasic hydroxyapatite + beta tricalcium phosphate (Bone Ceramic) or a collagen-coated natural bone mineral (BioOss Collagen): an immunohistochemical study in dogs.
Int J Oral Maxillofac Surg 2007;**36**(12):1198-1206.

72. SEBAN A.

Greffes osseuses et implants. Chapitre 7.
Paris : Masson, 2008.

73. SEBAN A, DEBOISE et BONNAUD P.

Insuffisance osseuse verticale circonscrite de la région maxillaire postérieure corrigée par un comblement sinusien alloplastique pour un traitement implantaire.
Implantodontie 2005 ;14:186-190.

74. SOGAL A.

Risk assesment of bovine spongiform encephalopathy transmission through bone graft material derived from bovine bone used for dental application.
J Periodontol 1999;**70**:1053-1062.

75. STRIETZEL FP, REICHART PA et GRAF HL.

Lateral alveolar ridge augmentation using a synthetic nano-crystalline hydroxyapatite bone substitution material (Ostim): preliminary clinical and histological results.
Clin Oral Implants Res 2007;**18**(6):743-751.

76. SUBA Z, TAKACS D, MATUSOVITS D et coll.

Maxillary sinus floor grafting with beta-tricalcium phosphate in humans: density and microarchitecture of the newly formed bone.
Clin Oral Implants Res 2006;**17**(1):102-108.

77. SZABO G, HUYS L, COULTHARD P et coll.

A prospective multicenter randomized clinical trial of autogenous bone versus beta-tricalcium phosphate graft alone for bilateral sinus elevation: histologic and histomorphometric evaluation.
Int J Oral Maxillofac Implants 2005;**20**(3):371-381.

78. TAN WC, LANG NP, SCHMIDLIN K et coll.

The effect of different implant neck configurations on soft and hard tissue healing: a randomized-controlled clinical trial.
Clin Oral Implants Res 2011;**22**(1):14-19.

79. TENENBAUM H, CUISINIER F et PRICAIN JC.

Les matériaux de substitution osseuse. Cahier de l'ADF.
Paris : Association Dentaire Française, 2005.

80. TINTI C et PARMA-BENFENATI S.

Clinical classification of bone defects concerning the placement of dental implants.
Int J Periodonti Rest Dent 2003;**23**(2):147-155.

81. TURKYILMAZ I et MCGLUMPHY EA.

Influence of bone density on implant stability parameters and implant success: a retrospective clinical study.
BMC Oral Health 2008; **24**:8-32.

82. WALLACE SS et FROUM SJ.

Effect of maxillary sinus augmentation on the survival of endosseous dental implants. A systematic review.

Ann Periodontol 2003;**8**(1):328-343. Review.

83. WANG L, ZOU D, ZHANG S, et coll.

Repair of bone defects around dental implants with bone morphogenetic protein/fibroblast growth factor-loaded porous calcium phosphate cement: a pilot study in a canine model
Clin Oral Implants Res 2011;**22**(2):173-81.

84. WEISS P, SAFFARZADEH KERMANI et HOORNAERT A.

Composes bioactifs injectables pour la réparation osseuse.
Implants 2010;**16**:5-16.

85. WILLIAMS D.

Definitions in Biomatériaux. Second Consensus Meeting. European Society of Biomaterials, Chester, UK, septembre 1991.

86. YAMAUCHI K, TAKAHASHI T, FUNAKI K et coll.

Implant placement for periosteal expansion osteogenesis using beta-tricalcium phosphate block: an experimental study in dogs.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2009;**108**(6):861-866.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

• LES FIGURES

Figure 1 : Hydroxyapatite phosphocalcique.

<http://www.teknimed.com>

Figure 2 : Vue au microscope électronique d'un bloc de MBCP®.

<http://www.biomatlante.fr/produits-substitution-osseuse/implantologie-dentaire>.

Figure 3 : Granules de MBCP® prêt à être utilisés.

<http://www.biomatlante.fr/produits-substitution-osseuse/implantologie-dentaire>.

Figure 4: Bio-Oss® SEM *50(Geistlich).

<http://www.geistlich.fr>.

Figure 5 : Structure macroporeuse osseuse SEM*50.

<http://www.geistlich.fr>.

Figure 6 : Schéma de la classification osseuse Lekholm et Zarb (1985).

Alpha-omega-paris.com.

Figure 7 : Illustration de la classification Chiapasco. ANTOUN H.

Les greffes de sinus en implantologie. Collection JPIO.

Rueil-Malmaison : Cdp2011.

Figure 8 : Schéma du protocole d'élévation de la membrane sinusienne et de la pose d'implant en un temps.

DAVARPANA M et SZMUKLER-MONCLER S.

Manuel d'implantologie clinique. Concepts, protocoles et innovations récentes.

Collection JPIO.2e éd.

Rueil-Malmaison : CdP, 2008.

Figure 9 : Schéma du protocole d'élévation de la membrane sinusienne et de la pose d'implant en deux temps.

DAVARPANA M et SZMUKLER-MONCLER S.

Manuel d'implantologie clinique. Concepts, protocoles et innovations récentes.

Collection JPIO.

Rueil-Malmaison : CdP, 2008.

Figure 10 : Différentes présentations du β -TCP.

<http://www.fabher-medical.com>.

- Figure 11** : Photographie de la mise en place du SBC et des implants.
FRENKEN JW, BOUWMAN WF, BRAVENBOER N et coll.
The use of Straumann Bone Ceramic in a maxillary sinus floor elevation procedure: a clinical, radiological, histological and histomorphometric evaluation with a 6-month healing period.
Clin Oral Implants Res 2010;21(2):201-8.
- Figure 12** : Section de la biopsie montrant le contact os naturel et SBC.
CORDARO L, BOSSHARDT DD, PALATTELLA P et coll.
Maxillary sinus grafting with Bio-Oss or Straumann Bone Ceramic: histomorphometric results from a randomized controlled multicenter clinical trial.
Clin Oral Implants Res 2008;19(8):796-803.
- Figure 13** : Section de la biopsie montrant le contact entre l'os naturel et le Bio-Oss®.
CORDARO L, BOSSHARDT DD, PALATTELLA P et coll.
Maxillary sinus grafting with Bio-Oss or Straumann Bone Ceramic: histomorphometric results from a randomized controlled multicenter clinical trial.
Clin Oral Implants Res 2008;19(8):796-803.
- Figure 14** : Schéma représentant l'élévation du niveau osseux après la mise en place d'implants ayant au moins 4 mm en intra sinusien.
CRICCHIO G, SENNERBY L et LUNDGREN S.
Sinus bone formation and implant survival after sinus membrane elevation and implant placement: a 1- to 6-year follow-up study.
Clin Oral Implants Res 2011;22(10):1200-12.
- Figure 15** : Ostéotome de Summers avec une extrémité concave.
FEUILLET D, DURAND B.
Implantation dans la région juxta-sinusienne comment étendre nos indications?
<http://www.lefildentaire.com>.
- Figure 16** : Radiographies de l'implant avec schématisation de la hauteur osseuse : en A, c'est à 6 mois et en B, c'est à 36 mois.
CRESPI R, CAPPARE P et GHERLONE E.
Osteotome sinus floor elevation and simultaneous implant placement in grafted biomaterial sockets: 3 years of follow-up.
J Periodontol 2010;81(3):344-9.
- Figure 17** : Schéma du comblement d'un défaut osseux entre les parois de l'alvéole et l'implant.
DAVARPANA M et SZMUKLER-MONCLER S.
Manuel d'implantologie clinique. Concepts, protocoles et innovations récentes.
Collection JPIO. 2e éd.
Rueil-Malmaison : CdP, 2008

Figure 18 : Schéma des deux types d'implants utilisés avec les défauts osseux créés.
BOTTICELLI D, BERGLUNDH T, PERSSON LG et LINDHE J.
Bone regeneration at implants with turned or rough surfaces in self-contained defects. An experimental study in the dog.
J Clin Periodontol 2005; 32(5):448-55.

Figure 19: Schéma des défauts osseux péri-implantaires créés.
BOTTICELLI D, BERGLUNDH T, BUSER D et LINDHE J.
The jumping distance revisited: An experimental study in the dog.
Clin Oral Implants Res 2003b;14(1):35-42.

Figure 20 : Coupes histologiques montrant la néoformation osseuse au contact de la surface implantaire.
BOTTICELLI D, BERGLUNDH T, BUSER D et LINDHE J.
Appositional bone formation in marginal defects at implants.
Clin Oral Implants Res 2003a;14(1):1-9.

Figure 21 : Schéma de la disposition des différents biomatériaux et des implants.
HAN JY, SHIN SI, HERR Y et coll.
The effects of bone grafting material and a collagen membrane in the ridge splitting technique: an experimental study in dogs.
Clin Oral Implants Res 2011;22(12):1391-1398.

Figure 22 : Schéma des 6 implants, des défauts implantaires avec les différents comblements.
BOTTICELLI D, BERGLUNDH T et LINDHE J.
The influence of a biomaterial on the closure of a marginal hard tissue defect adjacent to implants. An experimental study in the dog.
Clin Oral Implants Res 2004c;15(3):285-292.

Figure 23 : Photographie des implants après leur mise en place. Présence d'un défaut osseux vestibulaire exposant les spires.
MOSES O, PITARU S, ARTZI Z et NEMCOVSKY CE.
Healing of dehiscence-type defects in implants placed together with different barrier membranes: a comparative clinical study.
Clin Oral Implants Res 2005;16(2):210-219.

Figure 24 : Mise en place d'une membrane collagénique Ossix®.
MOSES O, PITARU S, ARTZI Z et NEMCOVSKY CE.
Healing of dehiscence-type defects in implants placed together with different barrier membranes: a comparative clinical study.
Clin Oral Implants Res 2005;16(2):210-219.

Figure 25 : Implant Straumann, comblement osseux avec du Bio-Oss®, maintenu par la membrane PEG.
JUNG RE, HÄLG GA, THOMA DS et HÄMMERLE CH.
A randomized, controlled clinical trial to evaluate a new membrane for guided bone regeneration around dental implants.
Clin Oral Implants Res 2009;20(2):162-168.

- **LES TABLEAUX**

Tableau 1 : Grade des recommandations. Selon l'HAS.

HAUTE AUTORITE DE SANTE

Niveau de preuve scientifique rapport de 2000.

[http : //www.has-santé.fr](http://www.has-santé.fr).

Tableau 2 : Répartition de la hauteur osseuse gagnée en fonction de l'utilisation de biomatériaux ou non.

PJETURSSON BE, IGNJATOVIC D, MATULIENE G et coll.

Transalveolar maxillary sinus floor elevation using osteotomes with or without grafting material. Part II: Radiographic tissue remodeling.

Clin Oral Implants Res 2009;**20**(7):677-683.

LES ANNEXES

- **Classification de Jensen :**

Classe A : 10 mm ou plus d'os résiduel sont présents. Généralement aucune greffe n'est nécessaire avant la mise en place d'implant(s)

Classe B : 7 à 9 mm ou plus d'os sont présents. La technique de comblement sinusien la plus adaptée à cette situation se fait par voie crestale à l'aide d'ostéotomes.

Classe C : 4 à 6 mm d'os sont présents. Dans ce cas, la voie d'abord latéral est indiquée en utilisant un greffon autogène, allogène, une xéno greffe, un matériau alloplastique ou une combinaison de deux greffons différents.

Classe D : 1 à 3 mm d'os sont présents. Seule l'utilisation d'os autogène, greffé par voie d'abord latéral, aboutit à des résultats satisfaisants.

- **Classification Siebert :** (*wikident.org*)

Classe 1 : perte tissulaire horizontale et crête de hauteur normale

Classe 2 : perte tissulaire verticale et crête de largeur normale

Classe 3 : perte tissulaire horizontale et verticale

- **Classification Allen et col 1985 :**

Classe A : manque de tissus osseux en hauteur

Classe B : manque de tissus osseux en épaisseur

Classe C : manque de tissus en hauteur et en épaisseur

- **Classification Lekhom et Zarb 1985 : (32cl)**

Classe 1 : crête alvéolaire intacte

Classe 2 : résorption modérée de la crête alvéolaire

Classe 3 : résorption modérée avec atteinte de la base de l'arcade dentaire

Classe 4 : résorption modérée de l'arcade

Classe 5 : résorption avancée de l'arcade.

- **Classification Mish et Judy 1987** : (<http://membres.multimania.fr>)

Division A : site édenté avec une largeur osseuse de 5 mm et une hauteur de 10 mm et une longueur de 5 mm permettant la mise en place d'un implant ;

Division B : site édenté d'une largeur modérée de 2,5 mm, d'une hauteur et d'une longueur suffisante pour un implant ;

Division C : site édenté ne permettant pas l'implantation par largeur, hauteur ou longueur insuffisantes ;

Division D : site édenté avec résorption osseuse majeure intéressant l'os basal.

- **Classification de Lindhe et coll 1996** :

Classification de la densité osseuse de l'os trabéculaire à partir de radiographies rétroalvéolaires,

Classe 1 : trabécularisation clairsemée

Classe 2 : trabécularisation intermittente

Classe 3 : trabécularisation dense

- **La classification de Salama et Salama (1993)** :

Elle décrit trois types de sites d'extraction [Salama H et Salama M : The role of orthodontic extrusive remodeling in the enhancement of soft and hard tissue profiles prior to implant placement: a systematic approach to the management of extraction site defects: Int J Periodontics Restorative 1993]

Type 1 : 3 à 4 remparts osseux avec faible résorption, une déhiscence ne dépassant pas 5 mm, une distance idéale par rapport aux collets des dents adjacentes, une distance d'os suffisante apicalement et une situation gingivale favorable ou une situation en secteur non esthétique. C'est la situation idéale pour implanter après extraction.

Type 2 : une déhiscence supérieure à 5 mm qui va nécessiter une extrusion orthodontique de la dent pour améliorer le niveau osseux, une distance importante par rapport aux dents adjacentes, une récession gingivale récupérable ou une situation où l'esthétique est essentielle. C'est une situation nécessitant une extrusion orthodontique avant extraction-implantation.

Type 3 : un défaut de parois osseuses en hauteur et en épaisseur important, des récessions sévères ou une destruction de la corticale : situation la plus défavorable.

➔ Pour ces auteurs, les sites d'extraction adaptés à une implantation immédiate sont donc :

- Une alvéole à 4 parois
- Une déhiscence à 3 parois
- Un niveau de crête osseuse situé dans le tiers coronaire de la racine extraite
- Un volume d'os suffisant (4-6 mm de haut) au-delà de l'apex pour assurer la stabilité primaire.

- **La classification de Gelb (1993)**: (Gelb DA : Immediate implant surgery : three-year retrospective evaluation of 50 consecutive cases. Int J Oral Maxillofac Implants)

Il s'appuie sur une étude rétrospective de 50 patients de 16 à 80 ans pour définir les conditions permettant de prédire le succès opératoire après mise en place d'un implant immédiat. Il définit 3 types de défauts et y associe une technique de régénération osseuse :

- **1** : Défaut sans paroi
- **2** : Défaut à 3 parois
- **3** : Défaut circonférentiel

- **La classification de Becker et coll (1994)**: (Becker W, Dahlin, Becker BE. The use of e-PTFE barrier membranes for bone promotion around titanium implants placed into extraction sockets : Int J Oral Maxillofac Implants)

Au niveau de la dent à remplacer :

- **Type A1** : absence de perte d'attache, dents extraites pour raisons endodontiques avec une possible pathologie péri apicale
- **Type B1** : perte d'attache d'un tiers de la hauteur de la racine
- **Type C1** : perte d'attache de la moitié de la hauteur de la racine
- **Type D1** : perte d'attache de deux tiers de la hauteur de la racine
- **Type E1** : perte de la totalité de l'attache parodontale.

MACON (Claire). – Utilisation per-opérateur des phosphates de calcium de synthèse en implantologie. – 106f. ; ill. ; tabl. ; 85 ref ; 30cm. (Thèse : Chir. Dent. ; Nantes ; 2012)

RESUME :

La thérapeutique implantaire est régulièrement confrontée à un manque de volume osseux. Les phosphates de calcium sont un des éléments principaux des substituts synthétiques de comblement, de par leur proximité chimique avec la phase osseuse minérale. Les biomatériaux existent sous différentes formes commercialisés et sont utilisés quotidiennement en chirurgie implantaire.

Ce travail, basé sur la littérature scientifique, est une analyse de l'intérêt, des capacités et des résultats permis par l'utilisation de phosphates de calcium en comblement osseux péri-implantaire. Nous distinguons 3 situations anatomiques où, l'augmentation du volume osseux est abordée différemment : les comblements de sinus, l'extraction/implantation immédiate ainsi que les comblements de défauts osseux des crêtes alvéolaires.

Les résultats révèlent la capacité des phosphates de calcium à participer à la néoformation osseuse lors de comblement de défauts péri-implantaire, sans compromettre l'ostéointégration de l'implant. En revanche, il n'y a pas de suprématie clairement établie des phosphates de calcium par rapport aux autres biomatériaux. Il manque également du recul clinique, des échantillons et des protocoles standardisés sur l'utilisation de ces biomatériaux. L'intérêt esthétique est aussi très peu documenté. Cependant l'avenir des phosphates de calcium est encore au laboratoire. L'ingénierie tissulaire vise à augmenter les capacités et les indications des phosphates de calcium pour la reconstruction osseuse.

RUBRIQUE DE CLASSEMENT : Implantologie, Biomatériaux

MOTS CLES MESH :

Os - bone

Implant dentaire - dental implant

Substitut osseux - bone substitute

Céramique - ceramic

JURY

Président : Professeur GIUMELLI B.

Assesseur : Docteur LE GUEHENNEC L.

Assesseur : Docteur HOORNAERT A.

Directeur : Professeur AMOURIQ Y