

UNIVERSITE DE LILLE

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année de soutenance : 2023

N° :

THESE POUR LE

DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 04 avril 2023

Par LUCAS DEMETRIOU

Né le 28 Février 1997 à Limassol – Chypre

**L'AUGMENTATION OSSEUSE DE NOS JOURS : DE LA GREFFE
OSSEUSE D'APPOSITION A LA RÉGÉNÉRATION OSSEUSE
GUIDÉE**

JURY

Président : Monsieur le Professeur PASCAL BEHIN

Assesseurs : Monsieur le Docteur FRANCOIS BOSCHIN

Monsieur le Docteur XAVIER COUTEL

Monsieur le Docteur SALIM HAMOUCH

Présentation de la Faculté Dentaire et de l'Université de Lille

Liste des enseignants



Président de l'Université	:	Pr. R. BORDET
Directrice Générale des Services de l'Université	:	M-D. SAVINA
Doyen UFR3S	:	Pr. D. LACROIX
Directrice des Services d'Appui UFR3S	:	G. PIERSON
Doyen de la faculté d'Odontologie – UFR3S	:	Pr. C. DELFOSSE
Responsable des Services	:	M. DROPSIT
Responsable de la Scolarité	:	G. DUPONT

PERSONNEL ENSEIGNANT DE LA FACULTE.

PROFESSEURS DES UNIVERSITES :

K.AGOSSA	Parodontologie
P. BEHIN	Prothèses
T. COLARD	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
C. DELFOSSE	Doyen de la faculté d'Odontologie – UFR3S Odontologie Pédiatrique
E. DEVEAUX	Responsable du Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

T. BECAVIN	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
A. BLAIZOT	Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
P. BOITELLE	Responsable du Département de Prothèses
F. BOSCHIN	Responsable du Département de Parodontologie
E. BOCQUET	Responsable du Département d' Orthopédie Dento-Faciale
C. CATTEAU	Responsable du Département de Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
X. COUTEL	Biologie Orale
A. de BROUCKER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. DEHURTEVENT	Prothèses
T. DELCAMBRE	Prothèses
F. DESCAMP	Prothèses
M. DUBAR	Parodontologie
A. GAMBIEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
C. LEFEVRE	Prothèses
M. LINEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
T. MARQUILLIER	Odontologie Pédiatrique
G. MAYER	Prothèses
L. NAWROCKI	Responsable du Département de Chirurgie Orale Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin - CHRU Lille
C. OLEJNIK	Responsable du Département de Biologie Orale
P. ROCHER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
L. ROBBERECHT	Dentisterie Restauratrice Endodontie
M. SAVIGNAT	Responsable du Département des Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
T. TRENTESAUX	Responsable du Département d' Odontologie Pédiatrique
J. VANDOMME	Prothèses

Réglementation de présentation du mémoire de Thèse

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

Aux membres du jury...

Monsieur le Professeur Pascal BEHIN

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Prothèses

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Odontologie de l'Université Paris DESCARTES (Paris V)

Habilitation à Diriger des Recherches (Université de Lille)

Certificat d'Etudes Supérieures de Biomatériaux dentaires (Paris V)

Certificat d'Etudes Supérieures de Prothèse Fixée (Paris V)

Vous me faites l'honneur et le plaisir d'accepter la présidence du jury de cette thèse et je vous en remercie.

Veillez trouver ici l'expression de mon profond respect et de ma sincère reconnaissance.

Monsieur le Docteur François BOSCHIN

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale

Département Parodontologie

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Odontologie de l'Université de Lille 2

Diplôme d'Etudes Approfondies de Génie Biologiques et Médicales

Certificat d'Etudes Supérieures de Technologie des Matériaux utilisés en Art Dentaire

Certificat d'Etudes Supérieures de Parodontologie

Responsable du Département de Parodontologie

Après des débuts compliqués, ce travail voit enfin le jour et ça n'aurait pu être le cas sans votre aide précieuse. Vous avez su vous rendre disponible et ce fut un vrai plaisir de travailler sous votre direction. Je vous en suis profondément reconnaissant.

Monsieur le Docteur Xavier COUTEL

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale

Département Biologie Orale

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université de Lille (Biologie Orale)

Master « Sciences, Technologies, Santé mention « Biologie cellulaire, Physiologie et Pathologies » - Spécialité « Biologie, Biomorphologie, Bio ingénierie du squelette » (Paris Descartes)

Vous avez accepté de siéger dans mon jury sans la moindre hésitation.

Je vous remercie pour les conseils donnés durant ma sixième année.

Trouvez ici l'expression de mon plus profond respect.

Monsieur le Docteur Salim HAMOUC

Chef de Clinique des Universités – Assistant Hospitalier des CSERD

Section Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale

Département Biologie Orale

Docteur en Chirurgie Dentaire

Tu as spontanément accepté de faire partie de ce jury et je t'en remercie.

Trouve ici l'expression de mon profond respect.

A ma famille, mes amis...

Table des matières

Introduction	16
1 Structure et physiologie osseuse	17
1.1 Structure tissulaire	17
1.2 Physiologie du remodelage osseux	18
2 Défauts osseux des maxillaires	20
2.1 Généralités et étiologies.....	20
2.2 Classification de Benic et Hämmerle	21
2.2.1 Défaut osseux de classe 4	23
2.2.1.1 Définition.....	23
2.2.1.2 Procédure chirurgicale d'augmentation osseuse d'un défaut de classe 4	24
2.2.2 Défaut osseux de classe 5.....	25
2.2.2.1 Définition.....	25
2.2.2.2 Procédure chirurgicale d'augmentation osseuse d'un défaut osseux vertical de classe 5.....	25
2.2.3 Le prélèvement osseux : sites, indications, complications.....	28
2.2.3.1 Les sites	28
2.2.3.2 Les possibles complications	28
2.2.3.3 Le choix du site.....	29
2.2.4 Conclusion des techniques d'augmentation osseuse de Benic et Hämmerle	29
3 Deux concepts en chirurgie d'augmentation osseuse : la greffe osseuse d'apposition (GOA) et la régénération osseuse guidée (ROG)	30
3.1 La greffe osseuse d'apposition (GOA)	30
3.1.1 Définition	30
3.1.2 Principe de la greffe osseuse d'apposition.....	31
3.1.3 Résultats	35
3.1.3.1 Elnayef et al.....	35
3.1.3.1.1 Discussion	35
3.1.3.2 Peñarrocha-Oltra et al	36
3.1.3.2.1 Discussion	36
3.1.3.3 Chiapasco et al.....	36
3.1.3.3.1 Résultats.....	37
3.1.3.3.2 Discussion	38
3.1.3.4 Istvan Urban	38
3.1.3.4.1 Gain osseux vertical	39
3.1.3.4.2 Complications	41
3.1.4 Discussion.....	43
3.2 La régénération osseuse guidée (ROG)	44
3.2.1 Définition, impératifs, avantages, inconvénients	44
3.2.1.1 Principes de la régénération osseuse guidée.....	44
3.2.1.2 Impératifs de la technique	45
3.2.1.3 Avantages et inconvénients.....	46
3.2.2 Le principe PASS	47
3.2.3 Moyens.....	48

3.2.3.1	Les membranes.....	48
3.2.3.1.1	Les membranes résorbables.....	49
3.2.3.1.1.1	<i>Avantages des membranes résorbables.....</i>	49
3.2.3.1.1.2	<i>Inconvénients.....</i>	49
3.2.3.1.1.3	<i>Résultats.....</i>	49
3.2.3.1.2	Les membranes non résorbables.....	50
3.2.3.1.2.1	<i>Inconvénients des membranes non résorbables.....</i>	50
3.2.3.1.2.2	<i>Résultats.....</i>	50
3.2.3.2	L'os autogène et les biomatériaux substitutifs.....	51
3.2.3.2.1	Os autogène : greffon osseux.....	52
3.2.3.2.2	Les substituts osseux.....	52
3.2.3.2.2.1	<i>Propriétés.....</i>	52
3.2.3.2.2.2	<i>Os xénogénique.....</i>	53
3.2.3.2.2.3	<i>Un exemple de substitut osseux xénogénique : le bio-oss®</i> <i>54</i>	
3.2.3.2.2.4	<i>Os allogénique.....</i>	55
3.2.3.2.2.5	<i>Os alloplastique (ou synthétique).....</i>	56
3.2.4	Exemples de techniques utilisant la ROG.....	58
3.2.4.1	La sausage technique.....	58
3.2.4.1.1	Présentation de la technique.....	58
3.2.4.1.2	Résultats.....	59
3.2.4.1.2.1	<i>Gain osseux horizontal moyen.....</i>	59
3.2.4.1.2.2	<i>Résorption osseuse.....</i>	59
3.2.4.1.3	Discussion.....	60
3.2.4.2	ROG avec membrane PTFE.....	61
3.2.4.2.1	Présentation.....	61
3.2.4.2.2	Description.....	61
3.2.4.2.3	Procédure chirurgicale.....	61
3.2.4.2.4	Résultats.....	63
3.2.4.2.4.1	<i>Gain de hauteur osseuse générale.....</i>	63
3.2.4.2.4.2	<i>Gain de hauteur osseuse en fonction de la localisation du</i> <i>défaut.....</i>	64
3.2.4.2.4.3	<i>Complications.....</i>	65
3.2.4.2.5	Discussion.....	67
3.2.4.3	Le coffrage 3D de Khoury.....	68
3.2.4.3.1	Procédure chirurgicale.....	68
3.2.4.3.2	Résultats post-opératoires.....	72
3.2.4.3.3	Autre étude.....	72
3.2.4.3.4	Discussion.....	74
3.2.4.4	ROG utilisant une grille titane.....	74
3.2.4.4.1	Procédure chirurgicale.....	75
3.2.4.4.2	Résultats.....	77
3.2.4.4.3	Discussion.....	77
3.2.4.4.4	Corinaldesi et al.....	77
3.2.4.4.4.1	<i>Résultats.....</i>	78
3.2.4.4.4.2	<i>Discussion.....</i>	78
4	Discussion.....	79
4.1	Gain osseux.....	79
4.2	Complications.....	80
4.3	Succès implantaire.....	81
4.4	Survie implantaire.....	81
4.5	Stabilité osseuse.....	82

4.6	Greffe ou régénération ?	82
	Références bibliographiques	84
	Annexes	89

Table des abréviations

ROG : Régénération osseuse guidée

GOA : Greffe osseuse d'apposition

NaOH : Hydroxyde de sodium

HA : Hydroxyapatite

CBCT : Cone Beam Computed Tomography (tomographie par ordinateur a faisceau conique)

Ncm : Newton-centimètres

PTFE : Polytétrafluoroéthylène

DBBM : Deproteinized Bovine Bone Mineral (mineral d'os bovin déprotéiné)

ABBM: Anorganic Bovine Bone Mineral (mineral d'os bovin anorganique)

Na⁺ : Sodium

Mg²⁺ : Magnésium

K⁺ : Potassium

Sr⁺ : Strontium

Ca : Calcium

P : Phosphore

Introduction

Alors qu'il y a quelques années la pose d'implants était presque impossible en l'absence de volume osseux suffisant, aujourd'hui, le recours à la solution implantaire est désormais possible avec l'émergence des techniques d'augmentations osseuses verticales et horizontales.

La pérennité d'un implant sur le long terme nécessite un volume osseux initial adéquat. L'implant doit être entouré d'au minimum 2 mm d'os en vestibulaire, et 1 mm en palatin/lingual. Respecter ces facteurs permettrait de prévenir les pertes osseuses péri-implantaires, et de ce fait, offrir la garantie d'un résultat fonctionnel et esthétique sur le long terme.

Lorsque la crête alvéolaire ne respecte pas ces dimensions, une augmentation osseuse est alors nécessaire.

Il existe aujourd'hui un large panel de techniques de reconstructions osseuses pré et péri-implantaires reproductibles.

Le choix d'une technique par rapport à une autre dépend de plusieurs facteurs comme l'état de santé du patient, l'expérience du praticien, le type de défaut osseux, le plateau technique.

Avec l'augmentation de l'exigence esthétique des patients, la réhabilitation orale implantaire du secteur antérieur maxillaire représente un défi pour le chirurgien tant sur le choix de la technique que sur sa réalisation chirurgicale.

La reconstruction pré implantaire est importante sur le plan fonctionnel afin de rétablir un couloir osseux et prothétique, équilibrer l'occlusion, faciliter le maintien de l'hygiène. Sur le plan esthétique, elle permettra d'harmoniser les collets et de normaliser le rapport couronne-implant.

Cette thèse s'intéressera aux deux concepts d'augmentation osseuse que sont la greffe osseuse d'apposition et la régénération osseuse guidée.

1 Structure et physiologie osseuse

1.1 Structure tissulaire

On distingue deux types d'os :

- L'os cortical : constitue la paroi externe de l'os, compact, aussi appelé os lamellaire compact ou haversien.

Cette structure externe confère aux os leur caractère solide et rigide.

- L'os trabéculaire : aussi appelé os spongieux, constituant la partie interne de l'os.

Comparé à l'os cortical, il est moins résistant mais possède tout de même une résistance tridimensionnelle due à sa structure qui s'organise et se réorganise en permanence pour s'adapter aux différentes forces s'exerçant sur l'os.

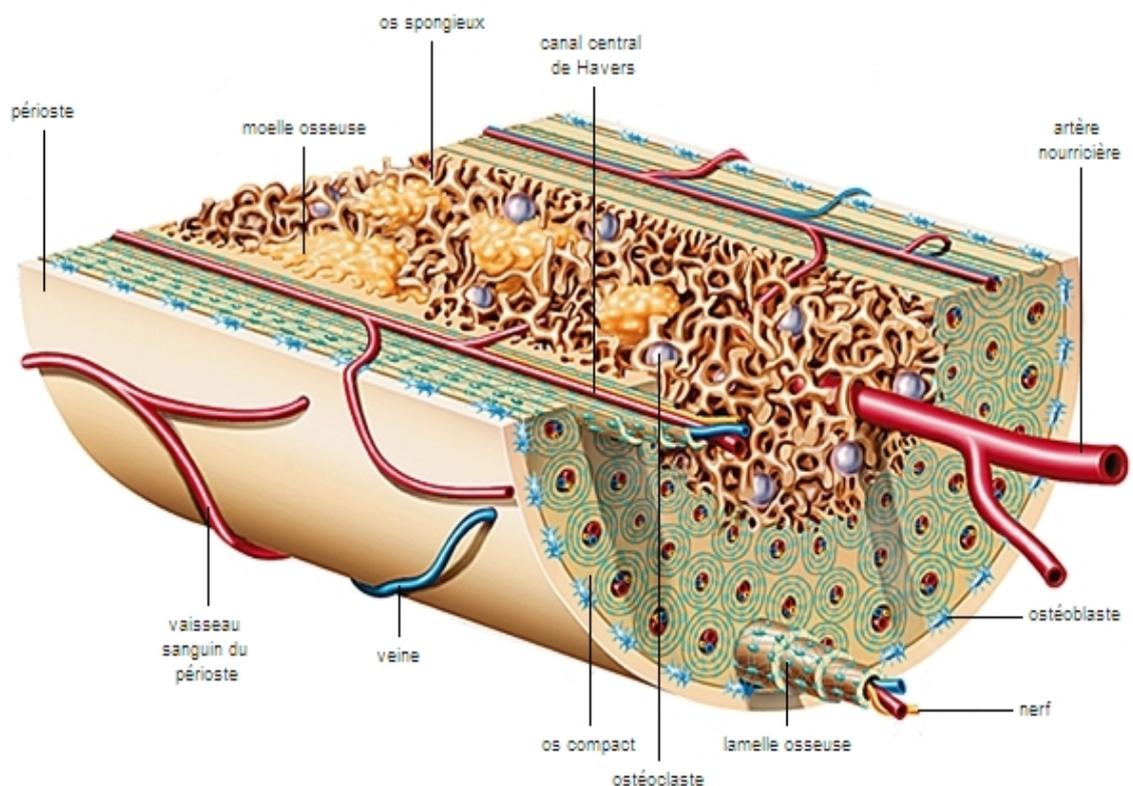


Figure 1 : Organisation fonctionnelle de l'os [1].

1.2 Physiologie du remodelage osseux

Le tissu osseux est en perpétuel renouvellement avec une activité de résorption et de formation osseuse ; un équilibre reposant sur des mécanismes de régulation systémiques et locaux grâce à une étroite communication entre les cellules osseuses et permet l'homéostasie du tissu osseux [1,2].

Ce remodelage intervient tout au long de la vie dans l'os compact aussi bien que dans l'os trabéculaire.

2 acteurs principaux interviennent dans ce remodelage : les **ostéoblastes** et les **ostéoclastes** qui, par actions successives, vont renouveler l'os et le remodeler.

Ce remodelage comprend quatre phases successives :

1. **Activation** : recrutement des ostéoclastes par des médiateurs d'ostéorésorption qui s'activent et entrent en contact avec la surface osseuse.
2. **Résorption** : les ostéoclastes commencent la dissolution de l'os.
3. **Inversion** : Une fois la création de lacunes dans l'os par les ostéoclastes, ceux-ci sont remplacés par des macrophages.
4. **Formation osseuse** : Une fois la résorption osseuse terminée, les cellules présentes dans les lacunes se différencient en ostéoblastes qui vont synthétiser une nouvelle matrice appelée tissu ostéoïde, qui ensuite se minéralisera.

Au cours de ce processus, le volume osseux reste normalement constant [1].

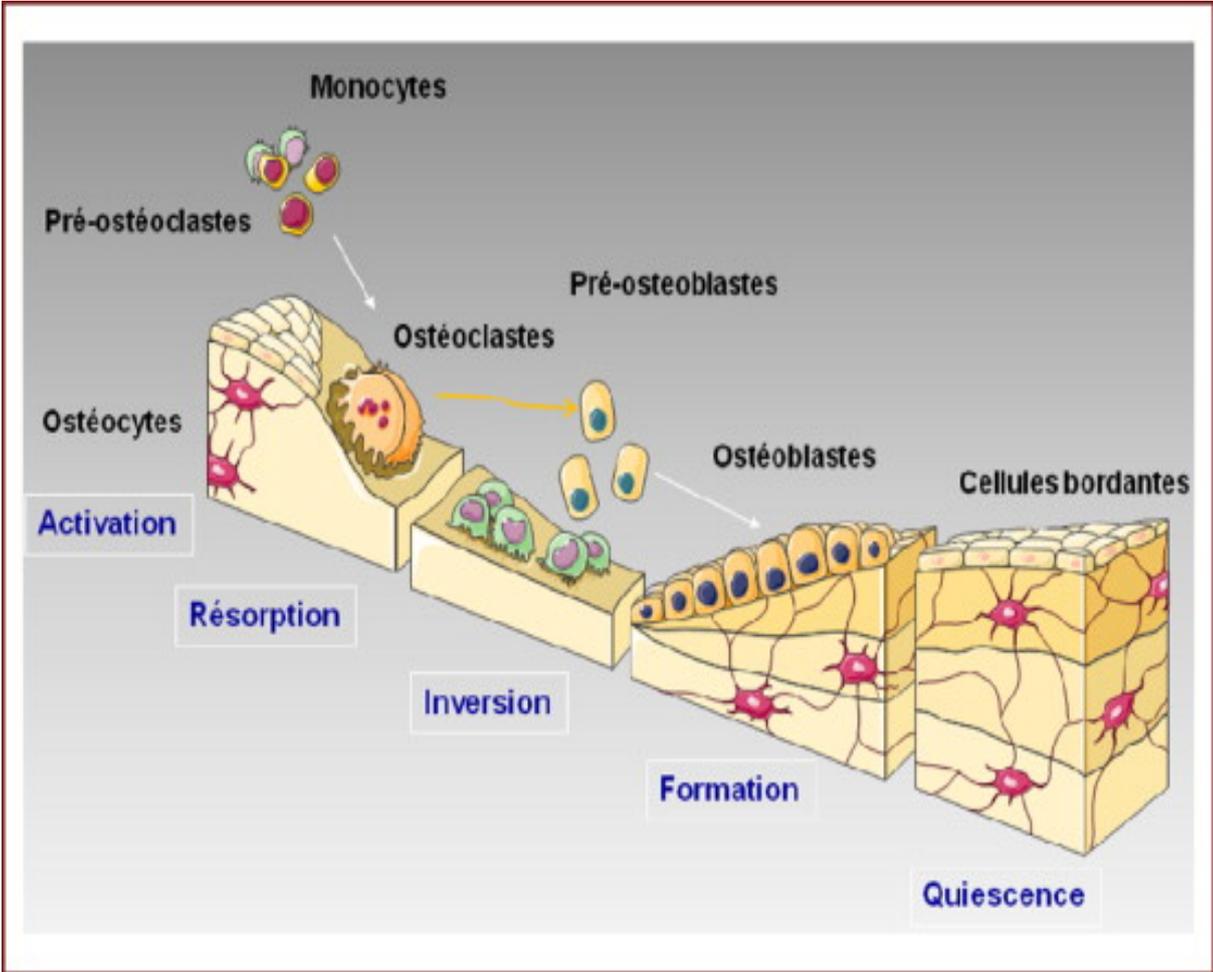


Figure 2: Phases successives du remodelage osseux [2].

2 Défauts osseux des maxillaires

2.1 Généralités et étiologies

Une extraction dentaire est une procédure délicate et invasive s'accompagnant d'une rupture vasculaire et ligamentaire du desmodonte. L'os alvéolaire, tissu vital et dento-dépendant, est soumis à un remaniement constant incluant ostéoclastes et ostéoblastes.

De ce fait, qu'on se trouve en secteur antérieur ou postérieur, la résorption alvéolaire post-extractionnelle est inévitable, s'accompagnant d'une perte osseuse dans les dimensions verticales et horizontales [3].

La littérature montre qu'on peut atteindre 50% de perte osseuse horizontale un an après avulsion.

Outre ce phénomène post-extractionnel, plusieurs pathologies, dentaires ou non, peuvent mener à ces résorptions osseuses. Parmi les pathologies dentaires, on retrouve celles d'origine [4–6]:

- ➔ Parodontales
- ➔ Endodontiques
- ➔ Infectieuses
- ➔ Traumatiques.

On retrouve diverses origines des déficits osseux qui surviennent tout au long de la vie. Parmi ces origines, on a les pertes osseuses :

- ➔ Pathologiques : maladies parodontales, processus tumoraux
- ➔ Chirurgicales : avulsions traumatiques
- ➔ Physiologiques
- ➔ Congénitales.

Ces défauts osseux ont des impacts aux niveaux esthétique et fonctionnel qu'il conviendra de reconstruire afin de garantir le meilleur bien-être du patient.

2.2 Classification de Benic et Hämmerle

Benic et Hämmerle décrivent 6 classes de défauts osseux allant de la classe 0 (site avec un contour de crête déficitaire et un volume osseux suffisant pour une pose d'implant) à la classe 5 (défaut vertical nécessitant une augmentation osseuse avant la pose implantaire)[4].

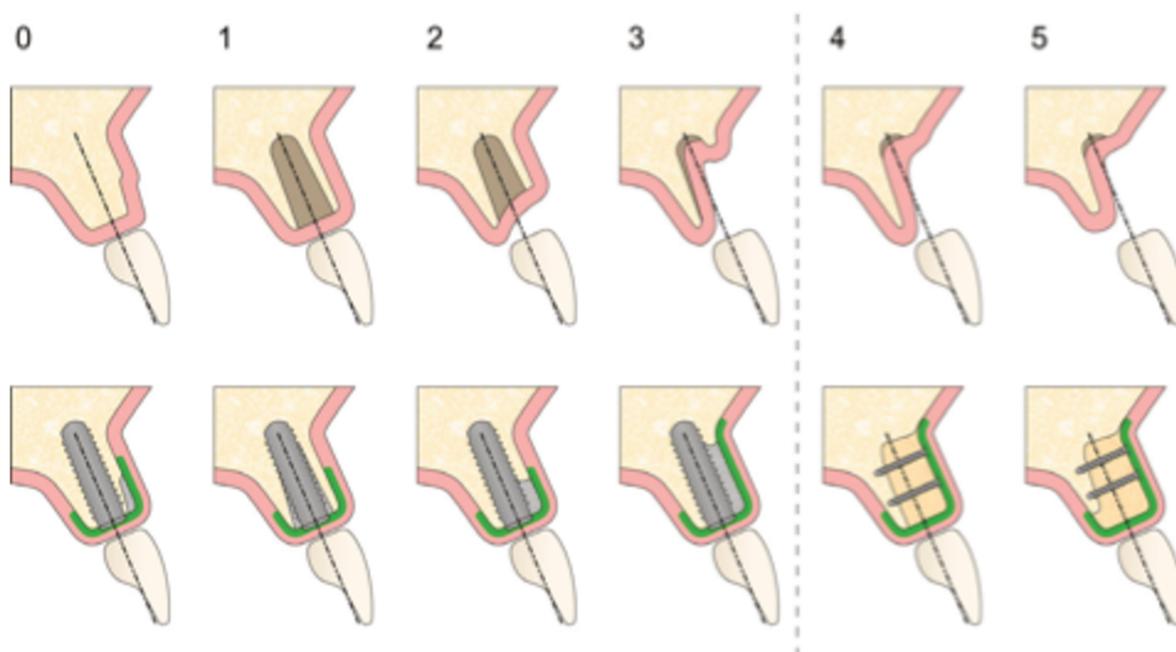


Figure 3 : Schématisation de la classification de Benic et Hämmerle [4].

Tableau 1 : Définition des défauts de la classification de Benic et Hämmerle [4].

Défaut osseux	Description
Classe 0	Site avec un contour de crête déficitaire et un volume osseux suffisant pour une pose d'implant
Classe 1	Défaut intra-alvéolaire entre la surface de l'implant et les parois osseuses intactes
Classe 2	Déhiscence péri-implantaire, dans laquelle la stabilité volumique de la zone à augmenter est assurée par les parois osseuses adjacentes
Classe 3	Déhiscence péri-implantaire, dans laquelle la stabilité volumique de la zone à augmenter n'est pas assurée par les parois osseuses adjacentes
Classe 4	Défaut de la crête horizontale nécessitant une augmentation osseuse avant la pose de l'implant
Classe 5	Défaut vertical nécessitant une augmentation avant la pose implantaire.

*Cette deuxième grande partie traitera des défauts 4 et 5 de cette classification.
Le but sera de montrer comment étaient traités les défauts horizontaux et verticaux
de leurs jours : quelles techniques, avec quels matériaux.*

2.2.1 Défaut osseux de classe 4

2.2.1.1 Définition

Le défaut de classe 4 de la classification de Benic et Hämmerle est caractérisé par une largeur de crête réduite empêchant la stabilité primaire de l'implant [4].
On est donc en présence d'un défaut osseux **horizontal**.



Figure 4: Défaut osseux horizontal [4].

2.2.1.2 Procédure chirurgicale d'augmentation osseuse d'un défaut de classe 4

Dans cette situation, les recommandations de Benic et Hämmerle sont [4] :

Utiliser des blocs osseux autogènes (provenant du patient lui-même) seuls ou en association avec des substituts osseux et/ou des membranes de collagène.

Le protocole de régénération d'un défaut osseux de classe 4 consiste dans un premier temps à préparer le site à augmenter ; après élévation du lambeau muco-périosté, l'os cortical au niveau du lit receveur est perforé afin de permettre une vascularisation plus précoce et permettre une meilleure intégration du bloc osseux. Ensuite, le bloc osseux autogène est prélevé et fixé rapidement au niveau du site à augmenter par des vis métalliques pour assurer un contact intime entre ces derniers.

Pour réduire sa résorption, le bloc osseux peut être recouvert d'un substitut osseux particulaire et d'une membrane résorbable ; le défaut donneur est lui aussi reconstruit par application de substitut osseux recouvert d'une membrane résorbable pour améliorer la réparation osseuse.

Un lambeau de pleine épaisseur est avancé en direction coronaire, adapté et suturé pour permettre une fermeture primaire sans tension au niveau du site augmenté. Il faudra laisser une période de cicatrisation de 4 à 6 mois avant la deuxième intervention chirurgicale pour la pose des implants.

2.2.2 Défaut osseux de classe 5

2.2.2.1 Définition

Les défauts osseux de classe 5 sont caractérisés par une hauteur de crête réduite [4].

Nous sommes donc en présence d'un défaut **vertical**.

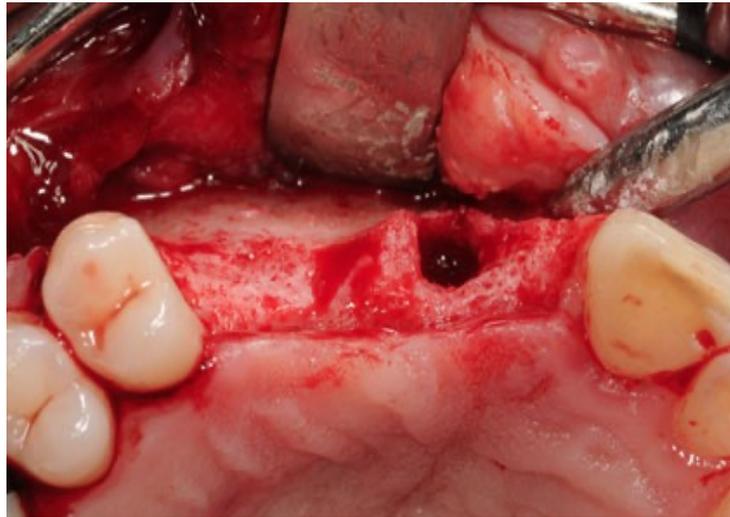


Figure 5: Défaut osseux vertical de classe 5 de la classification de Benic et Hämmerle [4].

2.2.2.2 Procédure chirurgicale d'augmentation osseuse d'un défaut osseux vertical de classe 5

L'augmentation de crête verticale est indiquée lorsque la quantité d'os vertical pour la pose de l'implant est insuffisante, ou lorsque l'on s'attend à un aspect défavorable des tissus mous en raison du manque de support des tissus durs [4].

Selon Benic et Hämmerle, comme pour l'augmentation horizontale de la crête, l'apposition d'un bloc osseux autogène seul ou en combinaison avec un substitut osseux et/ou avec une membrane de collagène est le traitement de choix proposé pour la reconstruction des défauts verticaux de la crête [4].

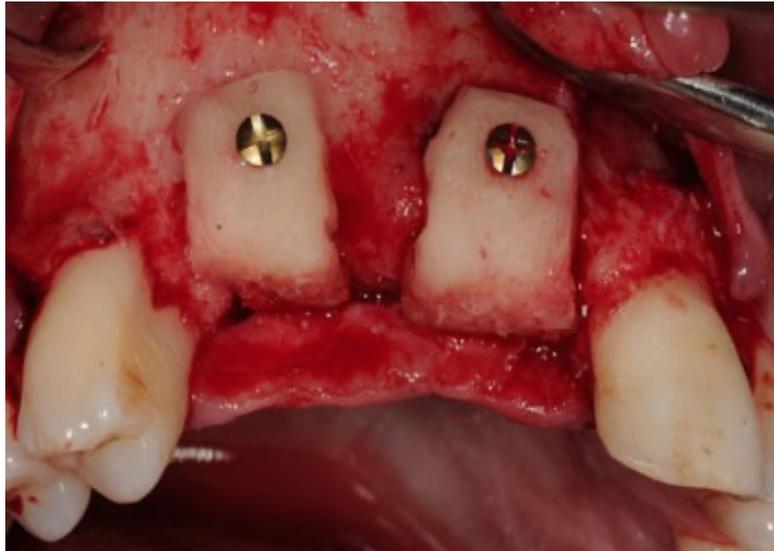


Figure 6 : Phase d'apposition des blocs osseux autogènes avec fixation de ceux-ci par vis métalliques [4].

Le bloc osseux autogène est ici complètement ou partiellement fixé sur la partie de la crête à augmenter. En dehors de cela, la même procédure clinique que pour les augmentations horizontales précédemment décrite est de rigueur ; cependant, le taux de complications des tissus mous est bien plus élevé dans les cas d'augmentations verticales qu'horizontales ; cela peut être dû au fait qu'une fermeture primaire de la plaie sans tension est plus difficile à réaliser [4].



Figure 7: Application du substitut osseux sur le bloc osseux autogène [4].

Viendra ensuite la phase d'application de la membrane de collagène :

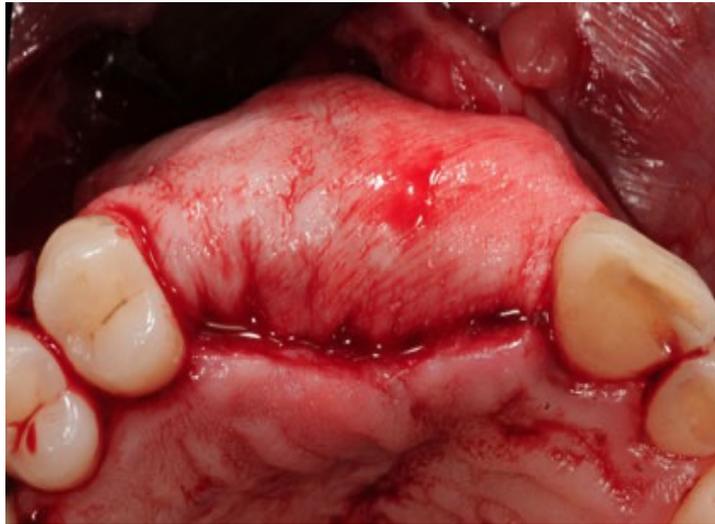


Figure 8: Application de la membrane collagénique [4].

A la réouverture du site, on appréciera le volume osseux augmenté :

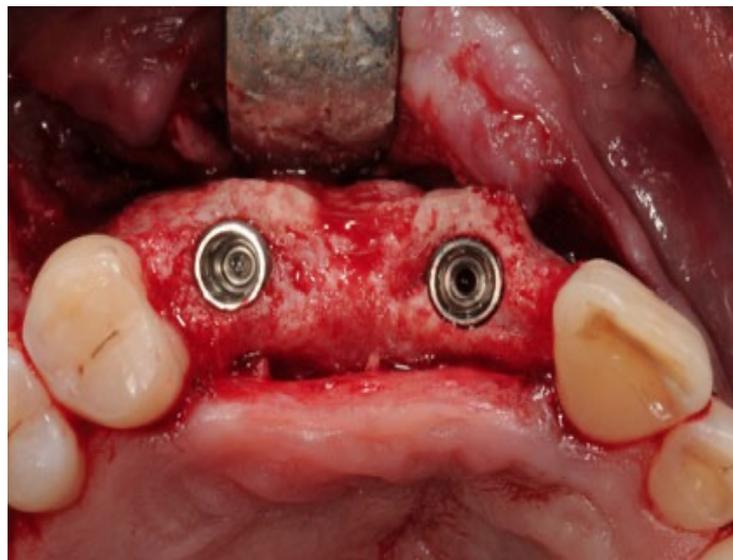


Figure 9: Pose des implants dans l'os néoformé à 6 mois postopératoires [4].

Les techniques de reconstructions osseuses par les auteurs impliquent de prélever un bloc osseux sur un site différent du site à greffer.

Qu'en est-il de ces prélèvements ?

2.2.3 Le prélèvement osseux : sites, indications, complications

2.2.3.1 Les sites

Des blocs osseux provenant de sites intra et extra-oraux ont été décrits dans la littérature.

Pour le traitement des défauts osseux des maxillaires, les sites intra-oraux offrent généralement une quantité d'os suffisante. Ces sites peuvent être [7] :

- La région mentonnière
- La région rétro-mandibulaire
- Le ramus mandibulaire (ou branche mandibulaire).

Lors de la sélection du site de prélèvement, la quantité d'os nécessaire pour la greffe ainsi que le risque de complications doivent être pris en compte.

Généralement, la région mentonnière offre une plus grande quantité d'os que la région mandibulaire ; il existe cependant une grande variabilité interindividuelle.

2.2.3.2 Les possibles complications

Des complications postopératoires liées au prélèvement d'os peuvent apparaître. Ici encore, celle-ci sont soumises à une grande variabilité interindividuelle ; celles-ci peuvent être [4] :

- Une douleur postopératoire persistante
- Une déhiscence de la plaie
- Une nécrose pulpaire
- Des troubles neurosensoriels temporaires et permanents.

2.2.3.3 Le choix du site

Il a été rapporté que les prélèvements d'os autogène dans la région du menton sont liés à une augmentation de la morbidité post-opératoire et des complications, par rapport à un prélèvement dans la région rétro-molaire.

Cela peut s'expliquer par la présence plus importante de vaisseaux sanguins et de faisceaux nerveux dans la région mandibulaire antérieure.

En raison du plus faible risque de complication, la région rétro-molaire mandibulaire est, dès que possible, le site privilégié pour le prélèvement intra-oral de blocs osseux autogènes [4].

L'imagerie diagnostique en coupe peut améliorer la capacité d'évaluer la topographie et la dimension de l'os disponible pour la greffe.

2.2.4 Conclusion des techniques d'augmentation osseuse de Benic et Hämmerle

Selon les auteurs, il existe un grand nombre de preuves démontrant que la régénération osseuse guidée (ROG) est un moyen efficace pour régénérer l'os manquant sur les sites à implanter présentant un volume osseux initial insuffisant. De plus, au moment de la rédaction de leur article, ils avancent qu'il n'existe pas d'alternative chirurgicale cliniquement bien documentée aux blocs osseux autogènes pour la greffe de défauts importants (*par exemple pour les défauts de classe 4 et 5*).

Afin de reconstruire d'importants défauts osseux, ils privilégient donc d'associer **une greffe osseuse d'apposition suivie d'une régénération osseuse guidée associant des blocs osseux autogènes, le tout recouvert par du biomatériau et une membrane de collagène.**

De nos jours, est-il encore judicieux de combiner ces deux techniques ?

Que signifient-elles réellement ?

3 Deux concepts en chirurgie d'augmentation osseuse : la greffe osseuse d'apposition (GOA) et la régénération osseuse guidée (ROG)

3.1 La greffe osseuse d'apposition (GOA)

3.1.1 Définition

La greffe osseuse d'apposition consiste à superposer un ou des blocs osseux autogènes sur l'os à augmenter et à le fixer à l'aide de mini-vis [7].

Un matériau de reconstruction osseuse doit idéalement nous offrir des propriétés conjointes d'ostéoconduction, d'ostéoinduction, et d'ostéogénèse.

A ce jour, la greffe osseuse autogène est la seule à nous offrir ces différentes propriétés [8].

Définitions [9]:

- **L'ostéoinduction** : c'est le phénomène qui induit une différenciation des cellules mésenchymateuses en ostéoblastes et leur activation entraînant ainsi une néoformation osseuse.

- **L'ostéoconduction** : ensemble des phénomènes qui conduisent les éléments vasculaires et les cellules ostéocompétentes du lit osseux de la greffe vers la zone à augmenter.

- **L'ostéogénèse** : ensemble des phénomènes qui contribuent à la croissance, au remodelage et à la consolidation des lésions osseuses.

Cette technique de greffe osseuse va nécessiter deux sites opératoires : un site donneur et un site receveur.

Le site donneur peut être intra-oral (tubérosité maxillaire, angle mandibulaire, symphyse) ou extra-oral (crête iliaque, os pariétal, os tibial) [7,8].

On note le plus de morbidités lors d'un prélèvement sur la symphyse mentonnière et sur la crête iliaque [8].

La greffe osseuse d'apposition est indiquée tant pour reconstruire des défauts **verticaux qu'horizontaux** [8].

3.1.2 Principe de la greffe osseuse d'apposition

On choisira dans un premier temps un site donneur en fonction [8] :

- Du volume osseux nécessaire
- Des éléments de stabilisation de la greffe
- Des contraintes et particularités anatomiques
- De la proximité du site receveur.

Au niveau du site receveur, la mise en place du greffon jouera un rôle crucial dans le succès de la greffe.

Son positionnement doit garantir une parfaite stabilité.

Pour cela, il est impératif de [8] :

- Avoir une adaptation sur mesure du greffon sur le site receveur
- Réduire au maximum les espaces morts
- Stabiliser le greffon à l'aide de vis d'ostéosynthèse.

Après préparation du site receveur (*lambeau muco-périosté avec incision large, curetage, correction des irrégularités*), viendra la phase d'apposition du greffon sur ce dernier ; on pourrait le fixer par la **technique du vissage en compression** [10].

Principe du vissage en compression [10] :

Dans un premier temps, le greffon adapté est maintenu manuellement en position sur le site à augmenter. Ensuite, un forage du greffon est effectué à l'aide d'un foret ou d'une fraise boule de calibre supérieur au diamètre externe de la vis, mais inférieur à celui de la tête de la vis.

La vis doit coulisser librement dans le greffon, la rétention se faisant dans l'os sous-jacent. Le greffon est appliqué sur le site receveur par pression de la tête de vis.

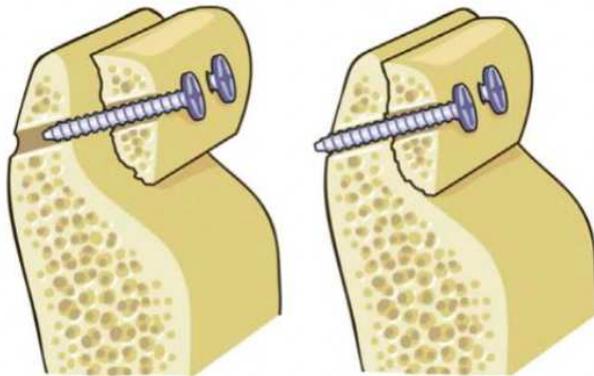


Figure 10 : Principe du vissage en compression [10].

Enfin, une fermeture sans tension du site sera réalisée à l'aide de points résorbables ou non.

Comme lors de toute intervention chirurgicale, des complications peuvent survenir tant au niveau du site donneur (*œdème, lâchage de sutures, retard de cicatrisation...*) qu'au niveau du site receveur (*exposition du greffon, infection, perte du greffon...*)

De plus, un des principaux inconvénients de cette technique réside dans le fait qu'une **haute probabilité de résorption du greffon existe** [7].

De ce fait, l'implantation ne doit pas être trop tardive.

Quelles sont les hypothèses concernant cette résorption du greffon osseux autogène ?

L'incorporation d'une greffe osseuse s'appuie sur un processus d'invasion vasculaire et cellulaire du greffon permettant une néoformation osseuse. L'origine, la morphologie et les propriétés intrinsèques sont des facteurs qui influencent sur la résorption et le remplacement du greffon. Cette incorporation se déroule en plusieurs phases. La première est dépendante du site à greffer. Elle consiste en une réaction inflammatoire avec invasion de bourgeons vasculaires au sein du greffon, apportant ainsi les médiateurs impliqués dans la néovascularisation et la migration cellulaire [11].

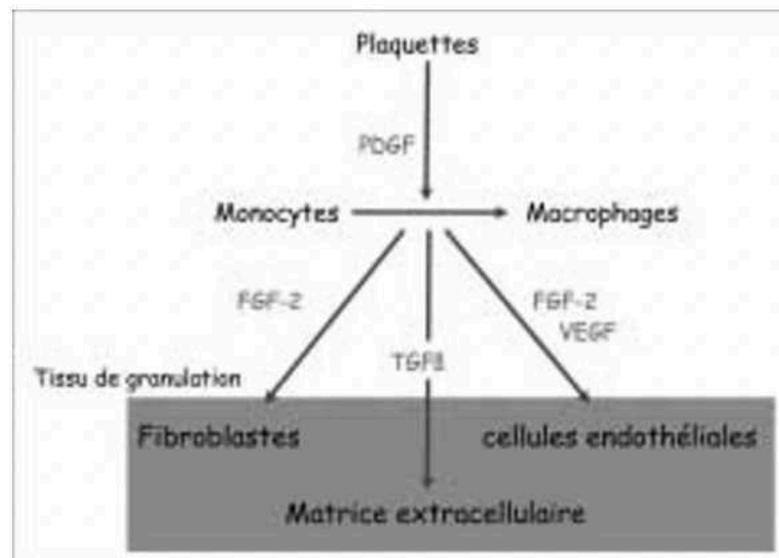


Figure 11: Phase initiale de la cicatrisation des greffons [12].

Cette prolifération de bourgeons vasculaires provenant du site receveur est soumise à la conformation tridimensionnelle du greffon.

Ainsi, pour des greffes osseuses de petite taille, la revascularisation est obtenue en quelques semaines.

Ensuite, le matériau greffé doit subir une résorption pour que les différents procédés impliqués dans la formation osseuse se mettent en place afin de remplacer le greffon par de l'os néoformé.

En fonction de la revascularisation au sein du matériau, une résorption ostéoclastique et une néoformation osseuse vont se produire au contact du matériau. Ce remplacement va ensuite continuer dans le temps et peut tout à fait rester partiel.

Qu'ils soient synthétiques ou naturels, les matériaux de greffe suivent le même procédé. De ce fait, l'intégration d'os autogène (*considéré comme « gold standard »*) présente des variations importantes.

1^{ère} hypothèse

L'incorporation de l'os autogène dépend aussi de plusieurs facteurs locaux, généraux, architecturaux, embryologiques.

En effet, l'homologie embryologique entre le greffon et le site receveur est un facteur favorisant l'intégration.

Pour comparaison, les os crâniens ont une formation embryologique membranaire alors que les autres os auraient une ossification enchondrale.

Ce type d'ossification membranaire conférerait aux greffons d'apposition crâniens une meilleure stabilité volumique dans le temps [12].

On aurait donc un taux de résorption plus faible [13].

La structure osseuse (*proportion corticale/spongieux*) semble très importante à prendre en compte. Elle serait déterminante dans la cicatrisation d'une greffe osseuse d'apposition [14].

En effet, un greffon d'os cortical dense sera moins perméable à la revascularisation qu'un greffon spongieux, et de là se résorbera moins.

La proportion d'os cortical/spongieux est donc à prendre en compte selon l'objectif de la reconstruction.

Par exemple, lors d'une élévation de sinus, le greffon cortico-spongieux est au préalable broyé afin d'être tassé sous la membrane sous-sinusienne.

Cette forme de greffon sous forme de particules favoriserait une revascularisation précoce, augmenterait la surface de contact avec le caillot, donc la résorption de surface, et donc un remaniement de surface plus important. On aurait aussi une libération de facteurs de croissance plus massive qu'avec un greffon monobloc [12].

2^{ème} hypothèse

Récemment, il a été montré qu'à moins que les ostéocytes ne soient à moins d'un mm d'une source vasculaire, toutes les cellules du greffon meurent. L'arrivée de nouvelles cellules grâce à une vascularisation précoce est donc indispensable à son intégration [15].

→ **Un Défaut de vascularisation entrainerait une résorption du greffon.**

3.1.3 Résultats

3.1.3.1 Elnayef et al.

Elnayef *et al.* ont conduit une revue systématique et une méta-analyse sur l'augmentation verticale de la mandibule atrophique [16].

L'objectif était d'évaluer l'efficacité de cette augmentation verticale.

Ils ont observé le gain osseux, la survie des implants, le succès implantaire, le taux de complications et le taux de résorption osseuse.

Leur étude comprend quatre techniques différentes : la régénération osseuse guidée, la distraction osseuse, la greffe d'apposition par inlay et par onlay.

73 articles ont été évalués ; au total, 52 articles correspondaient aux critères de l'étude.

Concernant le gain osseux vertical, le gain moyen ressorti est de $3,47 \pm 0,61$ mm pour la greffe osseuse d'apposition en onlay [16].

De plus, ils ont rapporté un taux de succès implantaire de 98,2% pour la même technique [16].

En ce qui concerne la survie implantaire dans l'os augmenté, ils rapportent une survie de 98,9% [16].

3.1.3.1.1 Discussion

→ Dans leur étude, les auteurs avancent que la greffe d'apposition osseuse amène un gain osseux acceptable avec un très bon taux de succès et de survie implantaire.

3.1.3.2 Peñarrocha-Oltra et al.

Les auteurs ont mené une étude rétrospective dont l'objectif était de comparer les résultats des implants posés après greffe osseuse verticale en bloc et des implants courts posés dans l'os natif [17].

Deux groupes de patients étaient composés : un premier groupe avec des patients ayant bénéficié d'une greffe puis d'une pose d'implants, et un deuxième groupe de patients ayant bénéficié de la pose d'implants courts dans l'os natif.

Les résultats ressortis sont les suivants [17] :

Certaines complications ont été relevées comme une hypoesthésie temporaire chez un patient, une déhiscence de la plaie avec exposition du greffon chez trois patients et une exposition de la vis d'ostéosynthèse sans exposition du greffon chez un patient (groupe 1).

Après 12 mois, les taux de survie des implants étaient respectivement de 95,6% dans le groupe 1 contre 97,1% dans le groupe 2.

Les taux de réussite étaient de 91,1% pour le groupe 1 et 97,1% pour le groupe 2.

La perte osseuse marginale moyenne était de $0,7 \pm 1,1$ mm dans le groupe 1 contre $0,6 \pm 0,3$ mm dans le groupe 2.

3.1.3.2.1 Discussion

→ Dans leur étude, les auteurs avancent que les implants courts posés dans un os natif ont un meilleur taux de succès et une meilleure survie que les implants posés dans un os augmenté par greffe osseuse d'apposition.

3.1.3.3 Chiapasco et al.

Les auteurs ont conduit une étude dont le but était de comparer les greffes osseuses autogènes et l'ostéogénèse par distraction dans leur capacité à augmenter verticalement la crête et à maintenir le gain osseux obtenu avant et après la pose des implants, ainsi que le taux de succès et la survie implantaire [18].

Sur une période de deux ans, dix-sept patients présentant des atrophies verticales ont été opérés. Les patients étaient répartis en deux groupes : huit patients (*groupe 1*) ont été traités par greffe osseuse autologue, tandis que neuf patients ont été traités par distraction osseuse (*groupe 2*).

Chez les patients du groupe 1, les implants ont été posés 4 à 5 mois après la procédure de reconstruction, tandis que chez les patients du groupe 2, les implants ont été posés lors de la procédure de retrait du matériel de distraction (environ 3 mois après).

19 implants ont été posés dans le groupe 1, contre 21 dans le groupe 2.

La réhabilitation prothétique a été réalisée 3 à 5 mois plus tard.

3.1.3.3.1 Résultats

L'étude a rapporté [18] :

- La résorption osseuse avant la pose d'implants était plus élevée dans le groupe 1 que dans le groupe 2 (0,6 mm de perte osseuse).
- La perte osseuse péri-implantaire entre la pose des implants et le début de la reconstitution prothétique était de 0,3 mm dans le groupe 1.
- Après le début de la prothèse, aucune différence n'a été trouvée entre les deux groupes en ce qui concerne la survie, le succès et la résorption osseuse péri-implantaire.
- Gain osseux vertical dans le groupe 1 : 4,6 mm / dans le groupe 2 : 5,3 mm
- Taux de succès dans le groupe 1 : 89,5% / dans le groupe 2 : 94,7%
- Taux de survie des implants dans les groupes 1 et 2 : 100%
- Plus de morbidités post-opératoires dans le groupe 1 que dans le groupe 2.

3.1.3.3.2 Discussion

- Les résultats de cette étude suggèrent que les deux techniques peuvent améliorer efficacement la perte verticale des maxillaires.
- Les taux de succès et de survie des implants placés dans les zones opérées sont compatibles avec ceux placés dans l'os natif.
- Le gain osseux le plus élevé est observé lors de la distraction osseuse, avec sensiblement moins de morbidités postopératoires.

3.1.3.4 Istvan Urban

Dans sa revue systématique et méta-analyse [19] , Urban avait comme principal objectif d'évaluer l'effet de diverses techniques utilisées pour l'augmentation verticale de la crête sur le gain osseux vertical clinique. Des essais cliniques randomisés et contrôlés et des séries de cas prospectives et rétrospectives ont été inclus, et des méta-analyses ont été réalisées pour évaluer le gain osseux vertical en fonction du type de procédure et pour comparer les gains osseux dans des études contrôlées. Trente-six publications ont été incluses. Plusieurs techniques chirurgicales ont été proposées pour augmenter une crête dans le sens vertical, à savoir la greffe osseuse d'apposition, la régénération osseuse guidée, la distraction alvéolaire [19].

3.1.3.4.1 Gain osseux vertical

Group/Subgroup	n	Weighted mean effect				Heterogeneity		
		IV	DL	95% CI	p Value	I ²	p Value	
All	33		4.164	3.716	4.612	<0.001	96.5	<0.001
Study design								
RCT (all)	6		3.358	2.599	4.117	<0.001	93.3	<0.001
RCT (split)	1	4.562		4.193	4.932	<0.001	-	-
RCT (parallel)	5		3.128	2.260	3.997	<0.001	93.0	<0.001
CCT	4		3.826	3.287	4.365	<0.001	83.4	<0.001
Case series	23		4.670	3.978	5.362	<0.001	97.7	<0.001
Unit of analysis								
Patient	23		4.401	3.904	4.897	<0.001	94.5	<0.001
Implant/Site	10		3.582	2.920	4.244	<0.001	96.4	<0.001
Time of implant placement								
Staged	21		4.386	3.707	5.065	<0.001	97.6	<0.001
Simultaneous	12		3.808	3.312	4.303	<0.001	90.3	<0.001
Intervention								
1. Distraction osteogenesis	3		8.044	5.678	10.409	<0.001	93.6	<0.001
2. Guided Bone Regeneration	20		4.179	3.797	4.560	<0.001	89.7	<0.001
2.1. Non resorbable membrane	13		4.422	3.974	4.870	<0.001	89.4	<0.001
2.1.1. Non resorbable membrane (PTFE-e)	11		4.310	3.801	4.818	<0.001	90.2	<0.001
2.1.2. Non resorbable membrane (PTFE-d)	3		4.986	4.027	5.946	<0.001	81.3	0.005
2.1.3. Non resorbable + particulate autologous	6		4.210	3.408	5.011	<0.001	88.5	<0.001
2.1.4. Non resorbable membrane + particulate allograft	3		3.702	2.683	4.722	<0.001	93.9	<0.001
2.1.5. Non resorbable membrane + particulate xenograft	2	5.277		4.780	5.774	<0.001	0.0	0.817
2.1.6. Non resorbable membrane + particulate synthetic graft	1	5.850		5.201	6.499	<0.001	-	-
2.1.7. Non resorbable membrane + particulate autologous + particulate allograft	2		4.793	3.949	5.637	<0.001	71.4	0.030
2.1.8. Non resorbable membrane + particulate autologous + particulate xenograft	1	5.450		4.604	6.296	<0.001	-	-
2.2. Resorbable membrane	8		3.513	2.801	4.225	<0.001	87.2	<0.001
2.2.1. Resorbable membrane + space maintainer (Ti-mesh/plate)	4		4.263	2.588	5.938	<0.001	93.4	<0.001
2.2.2. Resorbable membrane without space maintainer	4		3.185	2.510	3.861	<0.001	75.3	0.001
2.2.3. Native collagen resorbable membrane	4		2.659	1.493	3.825	<0.001	86.6	<0.001
2.2.4. Cross-linked resorbable membrane	4		4.195	3.183	5.207	<0.001	89.0	<0.001
2.2.5. Resorbable membrane + particulate autologous	2		2.587	1.764	3.410	<0.001	42.9	0.186
2.2.6. Resorbable membrane + particulate allograft	2		2.336	-0.076	4.749	<0.001	88.4	0.003
2.2.7. Resorbable membrane + particulate xenograft	1	3.950		3.463	4.437	<0.001	-	-
2.2.8. Resorbable membrane + particulate autologous + particulate allograft	2		3.901	3.347	4.455	<0.001	33.7	0.220
2.2.9. Resorbable membrane + particulate autologous + particulate xenograft	1	2.890		2.151	3.629	<0.001	-	-
2.2.10 Resorbable membrane + particulate autologous + particulate xenograft + rhPDGF	1	8.600		6.801	10.399	<0.001	-	-
2.3. Titanium mesh (without membrane)	1	5.200		4.710	5.690	<0.001	-	-
2.3.1. Titanium mesh + particulate xenograft	1	5.200		4.710	5.690	<0.001	-	-
3. Blocks	12		3.464	2.706	4.222	<0.001	97.2	<0.001
3.1. Autologous bone block	7		4.118	3.109	5.126	<0.001	95.9	<0.001
3.1.1. Autologous onlay block	4		3.530	2.209	4.851	<0.001	96.0	<0.001
3.1.2. Autologous interpositional block	1		4.200	3.630	4.770	<0.001	-	-
3.1.3. Shell technique	2		5.495	4.642	6.348	<0.001	71.2	0.060
3.2. Allograft bone block	4	2.030		1.880	2.179	<0.001	0.0	0.556
3.3. Xenograft block	1	3.700		3.192	4.208	<0.001	-	-
4. Particulate synthetic graft	1	2.050		1.436	2.664	<0.001	-	-

Tableau 2: Résultats de la méta-analyse concernant l'augmentation osseuse verticale en pré et post-opératoire [19].

Le tableau 2 présente la méta-analyse évaluant le gain osseux vertical clinique.

- ➔ Le gain osseux vertical maximal a été reporté pour l'ostéogénèse par distraction (19) (n=3 ; WME = 8,04 mm ; IC a 95% 5,68-10,41 ; p<0,001)
- ➔ Le gain osseux minimal a été reporté pour les greffons synthétique seuls (19) (n=1 ; WME = 2,05mm ; IC à 95% 1,44-2,66 ; p<0,001)
- ➔ Concernant la greffe osseuse d'apposition par blocs autogènes, le gain osseux rapporté est de 4,11 mm (n=7) (19)
- ➔ La ROG est la technique la plus rapportée (n=20), une majorité utilisant des membranes non résorbables (n=13). Les séries de cas ont montré un gain osseux plus important que lors des essais cliniques contrôlés ou randomisés (19). En ce qui concerne les temps opératoires, l'approche différée a permis d'obtenir un gain moyen de 4,39mm (n=21) contre 3,81 mm pour l'approche simultanée.

Control	Test	n	Weighted mean difference			Heterogeneity		
			IV/DL	95% CI	p Value	I ²	p Value	
Onlay block	Guided bone regeneration	3 ^{a,b,c}	1.336	0.762	1.911	<0.001	29.2	0.243
Autologous onlay block	Autologous onlay block + Ti-mesh	1 ^d	1.200	0.039	2.361	0.042	-	-
Non resorbable membrane	Resorbable membrane + space maintainer	2 ^{e,f}	-0.156	-0.720	0.408	0.587	0.0	0.738
Guided bone regeneration + particulate autologous	Guided bone regeneration + particulate allograft	3 ^{g,h,i}	-0.440	-1.961	1.081	0.571	0.0	0.394
PTFE-e membrane + particulate autologous + particulate allograft	PTFE-d membrane + particulate autologous + particulate allograft	1 ^j	0.58	-0.800	1.960	0.410	-	-

Tableau 3: Comparaison des différentes augmentations osseuses [19].

Le tableau 3 décrit la méta-analyse comparant le gain osseux vertical entre les interventions. Parmi les cinq comparaisons possibles : deux étaient basées sur trois études, une était basée sur deux études, et deux sur des essais uniques.

- ➔ En comparant les procédures de ROG et de greffe osseuse d'apposition par onlay : de meilleurs résultats ont été obtenus pour la ROG (n=3 ; WMD = 1,33) [19].

3.1.3.4.2 Complications

L'incidence des complications a été évaluée dans toutes les études sauf une ; sept études n'ont rapporté aucune complication.

Les complications les plus fréquentes :

- Exposition des membranes
- Exposition des greffons avec ou sans infection.

Le taux global des complications était de 16,9%.

En ce qui concerne le moment de la pose de l'implant, le taux de complications était de 22,3% pour l'approche par étapes (implantation différée) contre 11,8% pour l'approche simultanée (implantation immédiate).

Le type de procédure a également influencé le taux de complications [19] :

- 47,3 % pour l'ostéogénèse par distraction (n=2)
- 12,1% pour la ROG (n=20)
- 23,9 pour la greffe osseuse d'apposition (n=9)

→ Concernant la ROG, c'est la procédure ayant inclus le plus d'études, tout en ayant le taux de complications le plus faible.

Group:Subgroup	n	Weighted mean incidence				Heterogeneity		
		IV	DL	95% CI	p Value	I ²	p Value	
All	29		16.9	12.5	21.2	<0.001	80.0	<0.001
Study design								
RCT (all)	6		23.2	12.2	34.3	<0.001	73.6	<0.001
RCT (split)	1	20.0		0.0	44.8	<0.001	-	-
RCT (parallel)	5		24.0	11.7	36.2	<0.001	78.2	<0.001
CCT	4		23.3	12.0	34.5	<0.001	83.4	<0.001
Case series	18		13.6	7.8	19.4	<0.001	80.9	<0.001
Time of implant placement								
Staged	15		22.3	13.4	31.3	<0.001	84.4	<0.001
Simultaneous	11		11.8	6.7	17.0	<0.001	49.8	0.010
Intervention								
1. Distraction osteogenesis	3		47.3	0.0	98.0	<0.001	95.9	0.047
2. Guided Bone Regeneration	20		12.1	8.2	15.9	<0.001	42.7	0.010
2.1. Non resorbable membrane	13	6.9		4.1	9.7	<0.001	22.6	0.186
2.1.1. Non resorbable membrane (PTFE-e)	11	8.0		4.7	11.3	<0.001	23.6	0.192
2.1.2. Non resorbable membrane (PTFE-d)	3	4.1		0.0	9.4	<0.001	6.2	0.344
2.2. Resorbable membrane	8		22.7	11.5	33.9	<0.001	63.9	0.005
2.2.1. Resorbable membrane + space maintainer (Ti-mesh/plate)	4	23.3		12.7	33.8	<0.001	0.0	0.417
2.2.2. Resorbable membrane without space maintainer	4		21.0	4.2	37.9	<0.001	68.6	0.013
2.2.3. Native collagen resorbable membrane	4		24.4	1.3	47.4	0.019	77.1	0.004
2.2.4. Cross-linked resorbable membrane	4	22.4		12.9	32.0	<0.001	0.0	0.807
2.3. Titanium mesh	1	20.0		0.0	44.8	<0.001	-	-
3. Blocks	9		23.9	11.3	36.6	<0.001	83.1	<0.001
3.1. Autologous bone block	6		22.9	9.1	36.8	0.006	75.8	<0.001
3.1.1. Autologous onlay block	4		26.1	7.2	45.0	0.007	78.5	<0.001
3.1.2. Shell technique	2		17.8	0.0	45.9	<0.001	82.5	0.017
3.2. Allograft bone block	2		39.2	0.0	100	<0.001	96.3	<0.001
3.3. Xenograft block	1	10.0		0.0	28.6	<0.001	-	-
4. Particulate synthetic graft	1	2.2		0.0	8.1	<0.001	-	-

Tableau 4: Méta-analyse de la prévalence des complications en % par intervention [19].

3.1.4 Discussion

Les résultats de cette revue systématique basée sur trente-six publications rapportent une grande variabilité en termes de procédures d'augmentation osseuse verticale.

Les principaux résultats de cette méta-analyse montrent que ces interventions augmentent significativement la hauteur de crête.

La ROG a été reportée comme la procédure étant la plus souvent utilisée (n=18).

La greffe osseuse d'apposition s'est révélée être une option réalisable pour l'augmentation de crête (gain moyen de 3,5mm, gain influencé par la technique utilisée et par la nature du greffon).

→ La méta-analyse des essais cliniques comparatifs a montré la supériorité de la ROG en termes de gain osseux par rapport à la greffe osseuse d'apposition.

Alors que l'utilisation de greffes autologues en bloc a été décrite comme le « gold standard » pour les atrophies sévères, les progrès dans le domaine des biomatériaux ont favorisé l'utilisation d'approches moins invasives : la régénération osseuse guidée [19].

L'article d'Urban [19] nous a montré les différences entre cette ROG et la greffe osseuse utilisant les blocs.

Qu'est-ce qu'est la Régénération Osseuse guidée ?

Quelles sont les principes ? les limites ? les avantages ? les inconvénients ?

3.2 La régénération osseuse guidée (ROG)

3.2.1 Définition, impératifs, avantages, inconvénients

3.2.1.1 Principes de la régénération osseuse guidée

Comme évoqué précédemment, l'os a la particularité de se régénérer par des phénomènes de résorption et d'apposition [1,2]. Mais cette régénération est longue et peut rencontrer des obstacles, ses mécanismes entrant en compétition avec la production de tissu fibreux. La ROG est un procédé ayant pour but de faciliter les mécanismes physiologiques de la régénération osseuse. Elle consiste à créer ou maintenir une cavité osseuse puis d'isoler cette cavité de son environnement tissulaire à l'aide d'une membrane [20].

La régénération osseuse guidée a été introduite en 1988 par Dahlin et al [21], son concept étant basé sur la régénération tissulaire guidée de Nyman (1982), elle-même basée sur le concept des compartiments tissulaires [22]. La ROG utilise des barrières physiques sous forme de membranes afin d'empêcher la colonisation du défaut osseux par les cellules épithéliales et conjonctives et de favoriser la colonisation du défaut uniquement par les cellules à pouvoir ostéogénique [21,23].

En d'autres termes, ce principe repose sur la notion d'un support capable de rétablir un volume osseux.

La membrane doit être [24]:

- Parfaitement appliquée sur le greffon
- Parfaitement stable
- Parfaitement recouverte.

Ce principe a largement été repris par Herman et al en 1990.

C'est le principe d'exclusion cellulaire.

La ROG « classique » utilisant une membrane résorbable a souvent été réservée à la préservation alvéolaire post-extractionnelle ou aux petits défauts avec un gain osseux mineur ou modéré.

Pour les défauts avancés, on privilégiait surtout les greffes autogènes ou les ROG avec membrane non résorbable [21].

Les études de Garaicoa [25] en 2015 ont permis une avancée majeure dans le choix d'une technique par rapport à une autre.

Ils ont réalisé des radiographies de type CBCT sur 26 patients ayant été opérés d'un défaut horizontal par ROG.

Ils en concluent que plus la crête osseuse a la forme d'une cupule (*défaut horizontal*), plus la ROG fonctionnera avec succès.

De nos jours, la ROG doit son succès majeur aux travaux d'Istvan Urban et son équipe, permettant d'optimiser son indication en chirurgie pré-implantaire d'augmentation verticale et horizontale [3].

Urban décrit dans la « technique originelle » un mélange égal d'os autogène et d'os xénogénique bovin, le tout recouvert par une membrane collagénique résorbable [26].

3.2.1.2 Impératifs de la technique

Afin de mener au mieux cette procédure et de garantir une chance de succès maximal, certains points doivent impérativement être respectés [27] :

- Disposer d'un site richement vascularisé afin d'irriguer le greffon
- Maintenir et protéger le caillot sanguin à l'origine du recrutement cellulaire
- Maintenir l'espace nécessaire à la ROG durant toute la phase de cicatrisation et donc éviter toute pression ou déformation sous la membrane
- Absence de mouvement sur la muqueuse crestale
- Empêcher par le biais d'une membrane la prolifération des cellules conjonctives et épithéliales dans l'espace à régénérer
- Suture du site sans tension
- Stabilisation du matériau.

3.2.1.3 Avantages et inconvénients

Comme toute technique chirurgicale, la ROG présente des avantages et des inconvénients.

Les avantages sont :

- Technique qui est bien documentée.
- Il existe un grand recul clinique.
- La ROG nécessite la plupart du temps d'un seul site opératoire
- Nombreuses techniques disponibles
- Dans certains cas, la ROG et la pose d'implants sont possibles lors du même temps chirurgical.
- Permet un gain osseux horizontal et vertical.

Les inconvénients sont :

- Second temps chirurgical lorsque la ROG utilise une membrane non résorbable
- Exposition fréquente des membranes [28].

Outre les différents impératifs, un principe roi, commun à toutes les techniques impliquant une régénération osseuse guidée, doit impérativement être respecté pour maximiser les chances de succès de l'intervention : C'est le principe PASS.

3.2.2 Le principe PASS

Le principe PASS décrit par Wang et al [29] réunit quatre grands impératifs indissociables les uns des autres.

Celui-ci implique de [29] :

- Stabiliser le caillot sanguin
- Assurer une angiogenèse afin de favoriser la formation osseuse de novo.
- Protéger l'environnement par une fermeture primaire sans tension
- Assurer un espace pour les différents compartiments et éviter l'effondrement du matériau.

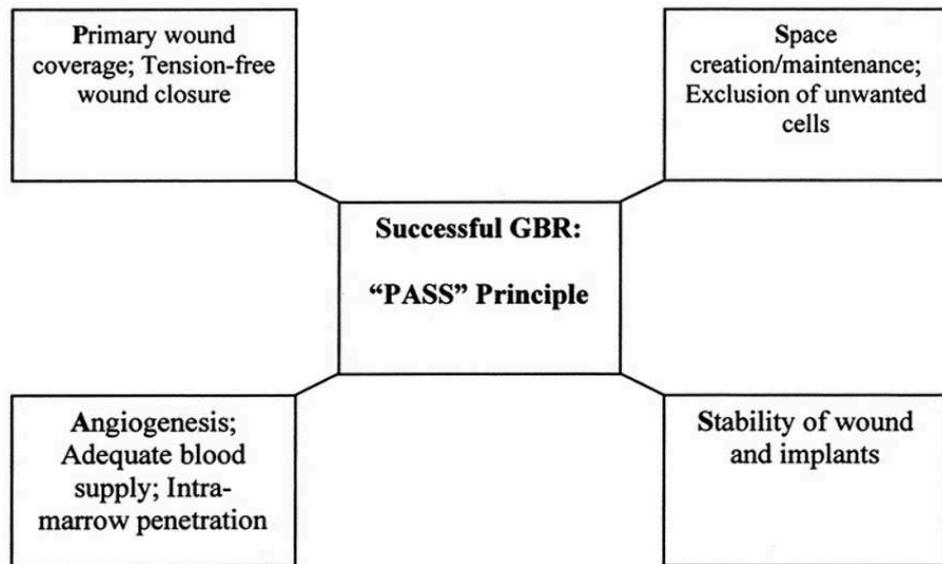


Figure 12: Le principe PASS [29].

3.2.3 Moyens

3.2.3.1 Les membranes

Les membranes sont devenues quelque peu indispensables pour les procédures d'augmentations osseuse, permettant d'obtenir un environnement favorable afin d'augmenter les chances de succès de notre intervention.

Elles s'intègrent dans le concept de ROG.

La membrane en ROG a deux fonctions essentielles : un rôle mécanique de maintien de l'espace et un rôle physique de barrière cellulaire [20].

Les indications des membranes en ROG pourraient être [20] :

- Une régénération osseuse guidée sans biomatériau
- Une régénération osseuse guidée avec greffes particulières (os autologue ou substituts osseux)
- Régénération osseuse guidée avec greffes massives.

Selon Buser, les membranes utilisées doivent remplir trois rôles [30] :

- S'opposer à la résorption de la crête
- Stabiliser le caillot et la reconstruction
- Limiter la prolifération des cellules de la muqueuse de recouvrement et favoriser la migration des cellules médullaires dans le caillot.

Selon Karring et al, ces membranes doivent posséder des caractéristiques telles que [31] :

- Biocompatibilité
- Exclusion cellulaire
- Intégration tissulaire
- Assurer la création et le maintien de l'espace cicatriciel
- Facilité de manipulation.

D'autres caractéristiques doivent être retrouvées comme [20] :

- Propriétés mécaniques
- Résistance à l'exposition endo-buccale
- Activité biologique
- Résorption
- Étanchéité cellulaire.

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

3.2.3.1.1 Les membranes résorbables

Ces membranes sont elles-mêmes classées en deux catégories selon leur origines [20]:

- Les membranes biologiques (essentiellement en collagène : natif ou réticulé)
- Les membranes synthétiques.

La membrane résorbable doit avoir un temps de dégradation compatible avec le délai nécessaire pour la formation osseuse. Cela veut dire que la résorption de la membrane ne doit avoir lieu que quand l'ossification du défaut est complètement atteinte [32].

3.2.3.1.1.1 Avantages des membranes résorbables

Les avantages de ces membranes sont [32] :

- Pas de chirurgie de retrait de la membrane
- Procédure chirurgicale simplifiée
- Complications postopératoires simplifiées.

3.2.3.1.1.2 Inconvénients

Les membranes résorbables présentent des inconvénients [32] :

- Pas de contrôle de la durée de fonction de la barrière
- Nécessité d'un matériau supportant la membrane
- Possibilité d'interférences entre cicatrisation/résorption et la régénération osseuse.

3.2.3.1.1.3 Résultats

Hämmerle *et al.* ont conduit une étude dont le but était de tester si les défauts osseux péri-implantaires pouvaient être comblés avec succès par de l'os en appliquant des matériaux biorésorbables pour les techniques de ROG [33].

Les défauts osseux ont été comblés avec un minéral osseux bovin déprotéiné (Bio-oss®) et une membrane résorbable collagénique (Bio-Gide®).

Le défaut initial était en moyenne de 3,6mm. Six à sept mois plus tard, le défaut avait diminué de 2,5mm.

Des gains osseux de 4mm ont été rapportés dans une autre étude du même auteur utilisant la même technique [34].

→ L'utilisation d'une membrane résorbable associée à un matériau de substitution osseux offre une grande capacité de régénération des défauts osseux.

3.2.3.1.2 Les membranes non résorbables

Les principales caractéristiques des membranes non résorbables sont [35] :

- L'inertie biologique
- Stabilité chimique
- Flexibilité.

3.2.3.1.2.1 Inconvénients des membranes non résorbables

L'utilisation de ce type de membranes présente néanmoins des inconvénients comme [35] :

- Nécessité de fixations par des vis
- Nécessité d'un deuxième temps chirurgical afin de procéder à la dépose
- Le risque d'exposition et d'infection qui en découle.

3.2.3.1.2.2 Résultats

Les membranes non résorbables de type ePTFE ont connu une ascension croissante. Selon un grand nombre d'études, son utilisation aboutit à des résultats très prédictibles [35].

Matchei *et al.* montrent qu'une exposition d'une membrane ePTFE entraîne une réduction jusqu'à six fois du gain osseux [36].

3.2.3.2 L'os autogène et les biomatériaux substitutifs

Selon Jovanovic *et al.* [37] l'indication de la membrane seule en ROG per-implantaire est assez restreinte.

- En effet, elle est indiquée dans la régénération de petits défauts ne dépassant pas 3mm.

Pour la reconstruction de gros défauts en amont de la pose implantaire, la membrane seule ne suffit pas.

- Il existe un risque d'effondrement de celle-ci et donc une disparition de l'espace cicatriciel nécessaire à la néoformation osseuse.

A l'exception des membranes rigides, un matériau de substitution osseux interposé entre la membrane et le défaut osseux peut s'avérer nécessaire afin de [30] :

- Supporter la membrane afin d'éviter l'effondrement de celle-ci
- Stimuler la croissance osseuse
- Protéger mécaniquement les tissus mous contre la pression
- Protéger le volume augmenté de la résorption.

Ces substituts osseux peuvent avoir plusieurs origines :

- Animale
- Humaine
- Synthétique.

Pour ce qui est de l'os autogène (*provenant du même être*), on parlera de **greffon osseux**.

3.2.3.2.1 Os autogène : greffon osseux

Buser *et al.* ainsi que de nombreuses études ont montré que l'os autogène était le gold standard grâce à son pouvoir ostéogénique [30].

En effet, l'os autogène possède des propriétés de régénération non négligeables comme **l'ostéoconduction, l'ostéogénèse et l'ostéoconduction.**

→ C'est le seul greffon à posséder ces trois propriétés, ce qui en fait donc un atout de choix pour les reconstructions de grands défauts.

3.2.3.2.2 Les substituts osseux

Les substituts osseux sont utilisés en chirurgie orale, en parodontologie et en implantologie. Ils permettent de recréer un volume osseux suffisant en palliant les insuffisances horizontales et verticales. Ils représentent une alternative intéressante à la greffe autogène. En effet, ils évitent des suites postopératoires douloureuses au niveau du site donneur, les complications infectieuses (ostéites), et des limitations neurologiques (ramus) [38].

Les indications sont nombreuses. Le choix se fera en fonction du volume osseux à régénérer ainsi que de la localisation.

3.2.3.2.2.1 Propriétés

Les substituts osseux doivent posséder des propriétés comme :

- Biocompatibilité
- Biorésorbable
- Intégrité structurelle semblable à l'os
- Bioactivité
- Ostéogénicité
- Ostéoconductivité
- Ostéoinduction.

- Cependant, les substituts osseux disponibles à ce jour ne possèdent pas toutes ces propriétés (*ils ne sont par exemple ni ostéogéniques ni ostéoinducteurs*).
- Ils sont donc souvent utilisés avec des membranes, de l'os autogène, des produits dérivés du sang, du matériel d'ostéosynthèse.

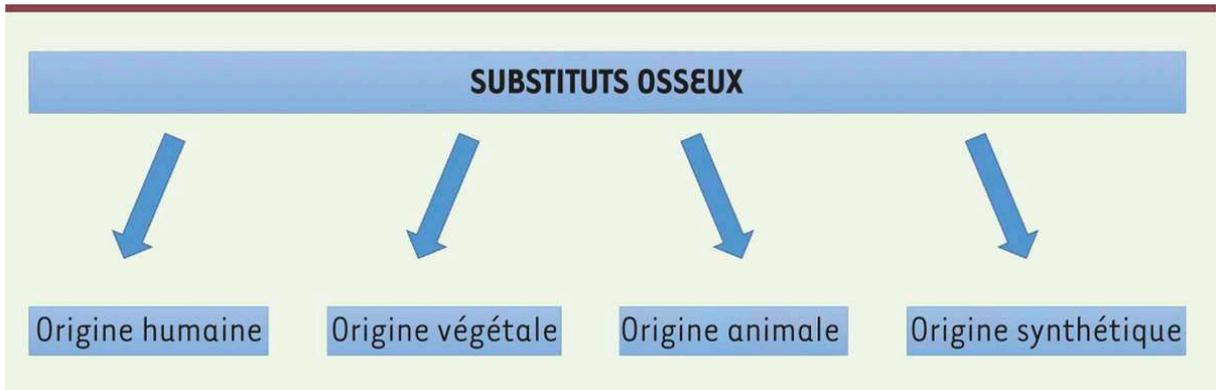


Figure 13: Les différentes familles de substituts osseux[38].

3.2.3.2.2 Os xénogénique

Les substituts osseux d'origine xénogénique sont transformés à partir d'exosquelettes d'autres espèces et constituent une alternative très satisfaisante aux greffes osseuses autogènes ou allogènes.

Les substituts osseux xénogéniques ne fournissent cependant pas les éléments nécessaires à l'ostéogénèse. De ce fait, ils ne peuvent pas être considérés comme ostéoinducteurs mais sont plutôt ostéoconducteurs ; leur rôle est de créer un échafaudage pour le nouveau dépôt osseux [39].

La source la plus courante de matériaux de xéno greffe dans le domaine dentaire est l'os bovin déprotéiné.

L'os bovin est traité par un processus étape par étape suivi d'un traitement chimique utilisant NaOH pour produire un matériau poreux d'hydroxyapatite (HA) contenant uniquement des composés inorganiques d'origine bovine ; la structure qui en résulte ressemble fortement à de l'os humain et peut donc fournir un bon support mécanique

et ainsi stimuler la cicatrisation osseuse. De plus, elle présente une vaste surface et favorise la croissance de nouveaux vaisseaux sanguins qui améliorent la croissance osseuse [40].

3.2.3.2.3 Un exemple de substitut osseux xénogénique : le bio-oss®

Le Bio-oss® est un substitut osseux d'origine bovine, sans allergène, utilisé pour combler les défauts osseux.



Figure 14 : Bio-oss® [41].

L'avantage du Bio-oss® est qu'il se manipule très facilement. Il suffira simplement d'introduire le substitut dans le défaut. Il faudra cependant éviter un tassement excessif pour laisser suffisamment d'espace entre les particules pour la colonisation par l'os néoformé.

Le tout pourra être recouvert d'une membrane.

3.2.3.2.2.4 Os allogénique

L'os allogénique est prélevé chez un individu et greffé chez un autre individu de la même espèce. Les donneurs peuvent être vivants ou décédés [38].

Les allogreffes osseuses cryoconservées sont indiquées dans le cas où un apport osseux de substitution est nécessaire (pour comblement ou remplacement d'une perte de substance osseuse) lorsque les substances autologues sont insuffisantes ou non applicables.

TYPE D'OS	CARACTERISTIQUES
Os frais	Non traité, non utilisé par son grand risque de contamination et son antigénicité
Os congelé (Fresh Frozen Bone)	Congelé à -80°C
Os lyophilisé (Freezed Dried Bone Allograft)	Congelé, déshydraté, traité à l'azote liquide, irradié
Os lyophilisé déminéralisé (Demineralized Freezed Dried Bone Allograft)	Congelé, déshydraté, traité à l'azote liquide, irradié, déminéralisé
Os délipidé déprotéinisé	Délipidation supercritique, irradiation chimique, déshydratation, irradiation (Seul os développé ici)

Figure 15 : Les différents types d'os allogéniques.

3.2.3.2.2.5 Os alloplastique (ou synthétique)

Les matériaux alloplastiques sont des matériaux d'origine synthétique. On retrouve plusieurs types.

1) Les hydroxyapatites HA

Les hydroxyapatites synthétiques sont ostéophiles, ostéoconducteurs, biocompatibles et non résorbables.

La composition chimique de l'HA ressemble fortement à celle du composant inorganique de l'os, ce qui permet de l'utiliser pour des procédures d'augmentation osseuse.

Cependant, les HA synthétiques ne contiennent pas de trace de Na^+ , Mg^{2+} , K^+ et Sr^+ que l'on trouve dans les HA d'origine naturelle. L'HA synthétique ne contient pas de structure microporeuse comme on en retrouve dans l'HA naturelle. L'HA synthétique a un taux de résorption retardé. Le problème majeur de cette HA synthétique est sa faible résistance mécanique, ce qui l'empêche donc d'être utilisée sur des sites à fortes charges ainsi que son défaut d'ostéogénèse. Des études antérieures ont montré que la qualité et la quantité d'os néoformé avec de l'HA synthétique seule ou en combinaison avec un polymère étaient insuffisants pour la préservation alvéolaire dans le sens vertical. Son utilisation reste donc limitée sur des sites à faibles contraintes mécaniques comme les élévations de sinus, les préservations alvéolaires ou pour combler des défauts parodontaux. Récemment, des études ont porté sur la production d'HA de taille nanométrique présentant des propriétés mécaniques améliorées et se rapprochant de la composition de l'os naturel [40].

2) Phosphate tricalcique beta TCP

Le phosphate tricalcique est une forme poreuse du phosphate de calcium. Il est généralement encapsulé par du tissu conjonctif. Il ne stimule pas la croissance osseuse. Il existe de l'alpha TCP et du beta TCP. Ce dernier est la forme la plus utilisée en chirurgie dentaire.

Il présente une biodégradation et une absorption plus rapide que l'HA en raison de son rapport Ca/P plus faible. Il possède des propriétés comme sa facilité de manipulation, sa radio-opacité, une bonne ostéo-conduction due à la macroporosité favorisant la croissance fibrovasculaire. Cependant, il présente une faible résistance mécanique du matériau en compression. Des études ont montré que le beta TCP a un potentiel de régénération osseuse comparable à celui des allogreffes osseuses lyophilisées et des matériaux d'autogreffe [40].

3) Céramiques biphasées

Ce sont des céramiques de phosphate de calcium associant l'hydroxyapatite et le beta TCP. Cette association permet d'obtenir des taux de régénération plus élevés et plus rapides par rapport à l'utilisation de l'HA seule, et une résistance mécanique supérieure. Cependant, les céramiques biphasées présentent toujours une résistance à la compression inférieure à celle de l'os cortical [40].

3.2.4 Exemples de techniques utilisant la ROG

3.2.4.1 La sausage technique

3.2.4.1.1 Présentation de la technique

La sausage technique® a été introduite par Istvan Urban *et al.* [42]. Cette technique est originellement utilisée afin de reconstruire une crête dans sa latéralité, soit pour régénérer un défaut **horizontal** [42,43]. Cette technique consiste à lever un lambeau de pleine épaisseur. Une fois le défaut bien visible, il convient de venir fixer une membrane collagénique résorbable avec des broches en palatin. Ensuite, un mélange 1 : 1 d'autogreffe particulaire et de DBBM est placé sur le défaut. La membrane est étirée sur le défaut, maintenue, et fixée avec des broches en vestibulaire. On peut rajouter des broches en titane jusqu'à ce que la stabilité du greffon soit atteinte. L'élasticité de la membrane a un rôle crucial. Une fois le tout stabilisé, on évalue le compactage avec un instrument périosté à bout mousse : **la reconstruction doit être la plus dense possible** [43]. Concernant l'os autogène, il peut être prélevé dans les sites cités précédemment.

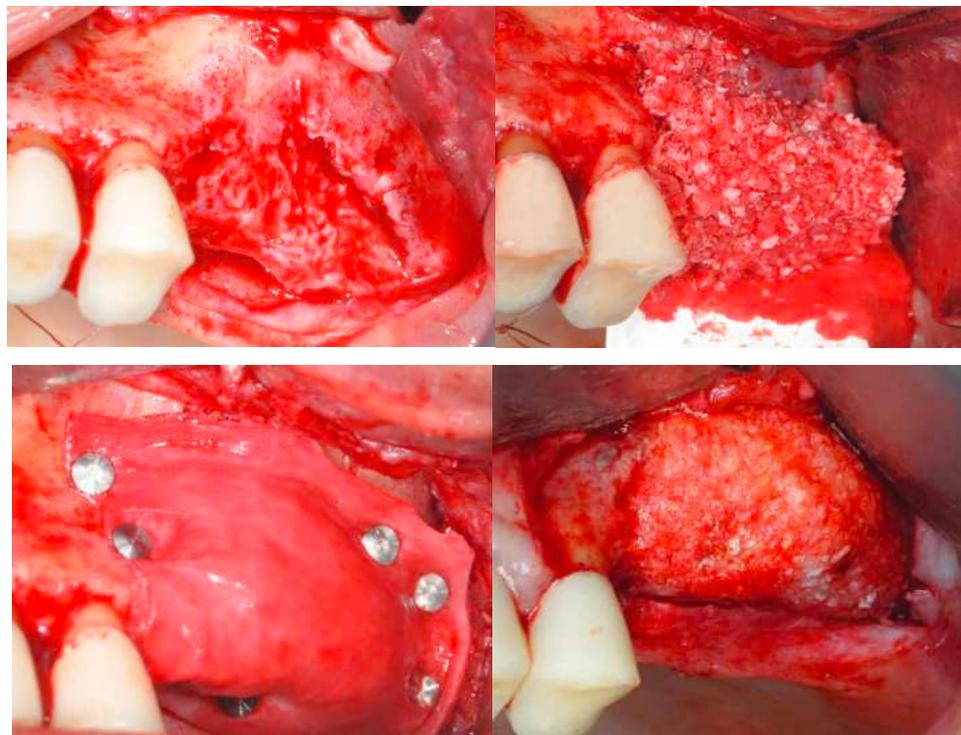


Figure 15 : Augmentation latérale de crête par la sausage technique®. De gauche à droite : Levée du lambeau, exposition du défaut horizontal- application du mélange 1 :1 os autogène/DBBM-application de la membrane- résultat à 6 mois post-opératoires [43].

3.2.4.1.2 Résultats

En 2022, Urban, Arnal *et al.* [43] ont conduit une étude rétrospective sur l'augmentation horizontale de crête en comparant deux techniques : la ROG conventionnelle et la *sausage* technique®.

Deux groupes de patients ont alors été inclus dans l'étude : un groupe témoin, patients ayant bénéficié d'une augmentation horizontale via la technique conventionnelle entre 2015 et 2018, et un groupe test incluant des patients ayant bénéficié d'une augmentation via la nouvelle technique entre 2018 et 2020.

Tous les patients ont suivi la même médication, toutes les interventions se sont déroulées sous anesthésie locale.

Au total, 15 patients composaient le groupe contrôle, 16 le groupe test.

3.2.4.1.2.1 Gain osseux horizontal moyen

Concernant le gain horizontal moyen après cicatrisation, les auteurs relèvent [43] :

- 2,7±1,8mm pour le groupe témoin
- 5,3±2,3mm pour le groupe test.

	Control group		Test group		p Value
	N	Ridge width (mm)	N	Ridge width (mm)	
Preoperative	16	4.5 (1.8), 1.9–7.6	16	3.1 (1.3), 1.4–5.7	0.017
Postoperative	12	8.1 (2.0), 4.3–12.7	15	10.5 (1.4), 8.0–12.7	0.002
Posthealing	16	7.2 (1.9), 4.5–11.3	16	8.4 (2.0), 4.4–11.9	0.169

Figure 16 : Largeur de crêtes [43].

3.2.4.1.2.2 Résorption osseuse

La perte osseuse moyenne entre le jour de l'intervention et la post-cicatrisation relevée par les auteurs est [43]:

- 0,9±0,8mm pour le groupe témoin
- 2,1±1,6mm dans le groupe test.

Le taux de résorption osseuse relevé est donc de [43]:

- 27,9% dans le groupe témoin
- 29,4% dans le groupe test.

Parmi les patients ayant subi une ROG avec la nouvelle technique, la perte osseuse était de [43] :

- 1,7±1,7mm en secteur postérieur
- 2,9±1,1mm en antérieur.

	Control group		Test group		p Value
	N	Bone change	N	Bone change	
Posthealing bone gain (mm)	16	2.7 (1.8), -0.3 to 6.0	16	5.3 (2.3), 0.8 to 9.0	0.003
Postoperative bone gain (mm)	12	3.5 (1.6), 1.3 to 6.4	15	7.4 (2.0), 4.6 to 10.7	<0.001
Posthealing bone loss (mm)	12	-0.9 (0.8), -2.8 to -0.2	15	-2.1 (1.6), -4.2 to 1.3	0.012
Posthealing bone loss (%)	12	-27.9 (25.8), -99.9 to -5.7	15	-29.4 (26.7), -84.5 to 24.5	0.608

Figure 17: Gain et perte osseuse [43] .

	Test group anterior sites (n = 5)	Test group posterior sites (n = 10)	p Value
Posthealing bone loss (mm)	-2.9 (1.1), -4.2 to -1.7	-1.7 (1.7), -4.2 to 1.3	0.126

Figure 18 : Perte osseuse en secteurs postérieurs et antérieurs post-cicatrisation d'augmentations osseuses horizontales par sausage technique® [43].

3.2.4.1.3 Discussion

Le gain osseux horizontal moyen était plus élevé avec la *sausage* technique® qu'avec la technique conventionnelle.

Comment expliquer cette différence de gain osseux ?

- Suivant les principes de la *sausage* technique®, les régénérations du groupe test ont bien été condensées. Plusieurs études ont démontré les bénéfices d'un meilleur compactage sur la qualité osseuse. En effet, les forces de compression peuvent faciliter un contact plus intime entre les particules, et donc une meilleure stabilisation [44].
- La compression accélérerait la formation osseuse en stimulant l'angiogenèse et l'expression des gènes impliqués dans la prolifération cellulaire [31].

3.2.4.2 ROG avec membrane PTFE

3.2.4.2.1 Présentation

Cette partie sera illustrée par une étude portant sur les augmentations osseuses verticales utilisant une membrane PTFE renforcée en titane [45].

Le but de cette étude rétrospective [45] est d'évaluer cliniquement l'utilisation d'une membrane PTFE renforcée titane pour l'augmentation verticale de la crête pré-implantaire et d'évaluer les facteurs influençant les résultats.

3.2.4.2.2 Description

Dans l'étude, 57 patients consécutifs ont été opérés à l'aide d'une membrane PTFE renforcée titane avec un mélange os autogène/ABBM pour une augmentation osseuse verticale pré-implantaire. Tous les patients ont été opérés dans la même clinique par le même praticien.

3.2.4.2.3 Procédure chirurgicale

Premièrement, une incision à mi-crête est réalisée, un lambeau de pleine épaisseur est levé. Une fois le site à régénérer correctement visualisable, celui-ci est nettoyé à la fraise boule afin d'augmenter l'apport sanguin. Dans cette étude [45], une autogreffe particulaire avait été récoltée à partir des sites osseux adjacents. Ces particules ont été mélangées avec de l'ABBM dans un rapport de 1 :1 puis placées sur la crête à reconstruire.

Ensuite, on adapte la membrane PTFE renforcée titane sur le défaut de sorte à recouvrir tout le mélange, puis cette membrane sera stabilisée par des vis en titane. Puis le site sera suturé sans tension. Un délai de cicatrisation de 6 mois est laissé [45].

Lors de la pose d'implant, il faudra retirer la membrane ainsi que les broches en titane.

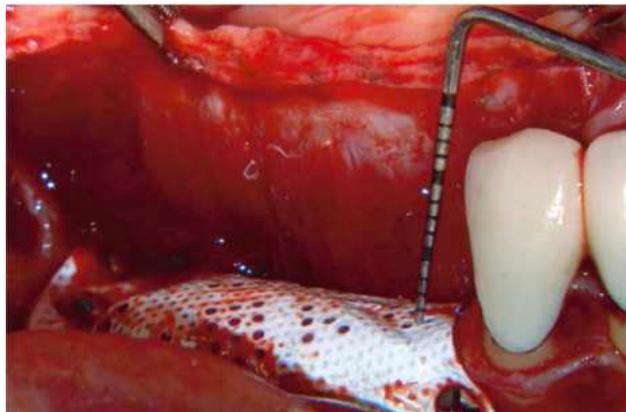


Figure 19 : Augmentation verticale utilisant une grille PTFE renforcée en titane. De haut en bas : perforation du site receveur – application du mélange et de la membrane – fixation de la membrane avec les broches titanes – résultat à 6 mois post-opératoires après retrait de la membrane [45].

3.2.4.2.4 Résultats

3.2.4.2.4.1 Gain de hauteur osseuse générale

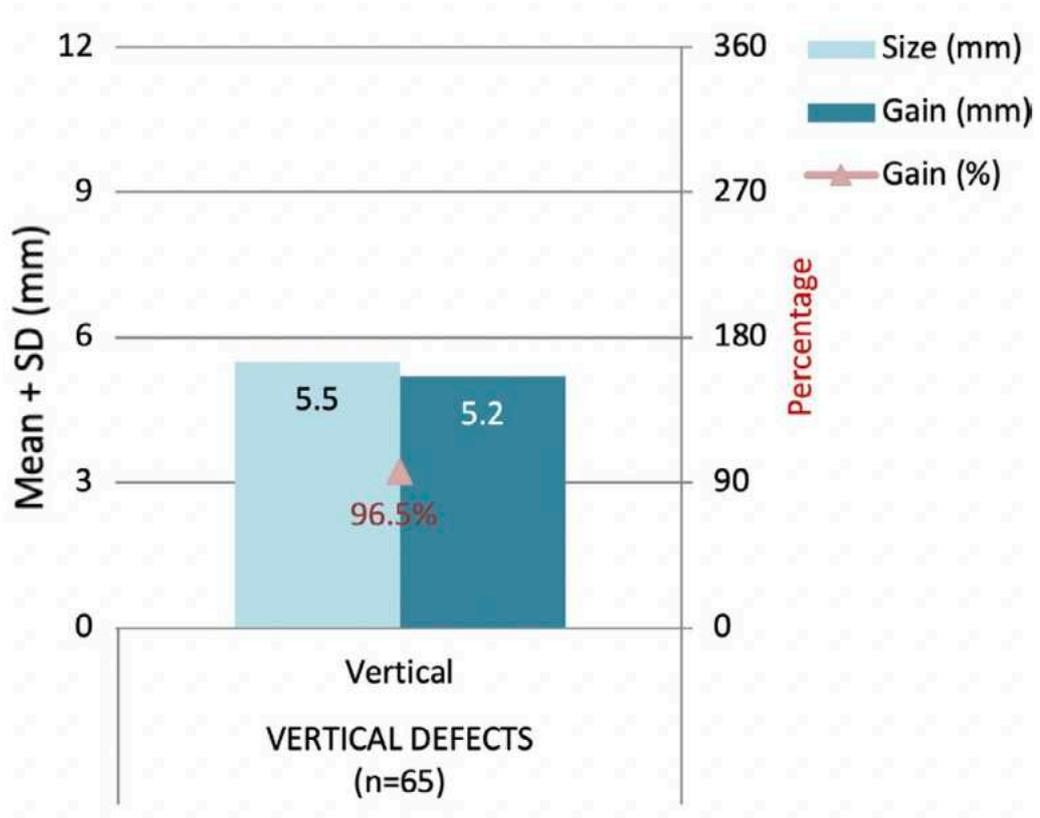


Figure 20: Gain vertical absolu (mm) et gain vertical relatif (%) après augmentation osseuse verticale par membrane PTFE renforcée titane [45].

Interprétations :

- Le déficit vertical initial moyen était de $5,5 \pm 2,6$ mm.
- Le gain absolu de dimension verticale était de $5,2 \pm 2,4$ mm.
- Le gain de hauteur relatif moyen était de $96,5 \pm 13,9$ %.
- 89,2% des sites ont présenté une régénération osseuse complète.

Defect type	Defect size	Absolute gain (mm)	Relative gain (%)	Percentage of cases with complete regeneration (%)
Vertical	5.5 ± 2.6	5.2 ± 2.4	96.5 ± 13.9	89.2

Figure 21: Résultats post-opératoires d'une augmentation verticale PTFE titane [45].

3.2.4.2.4.2 Gain de hauteur osseuse en fonction de la localisation du défaut

Au maxillaire (n=29) :

- Présence d'un déficit vertical initial moyen de $5,7 \pm 2,7$ mm en secteur antérieur (n=12)
- Déficit vertical initial moyen de $5,1 \pm 2,4$ mm en secteur postérieur (n=17)

Le gain absolu moyen était statistiquement plus important en postérieur qu'en antérieur de 0,36mm.

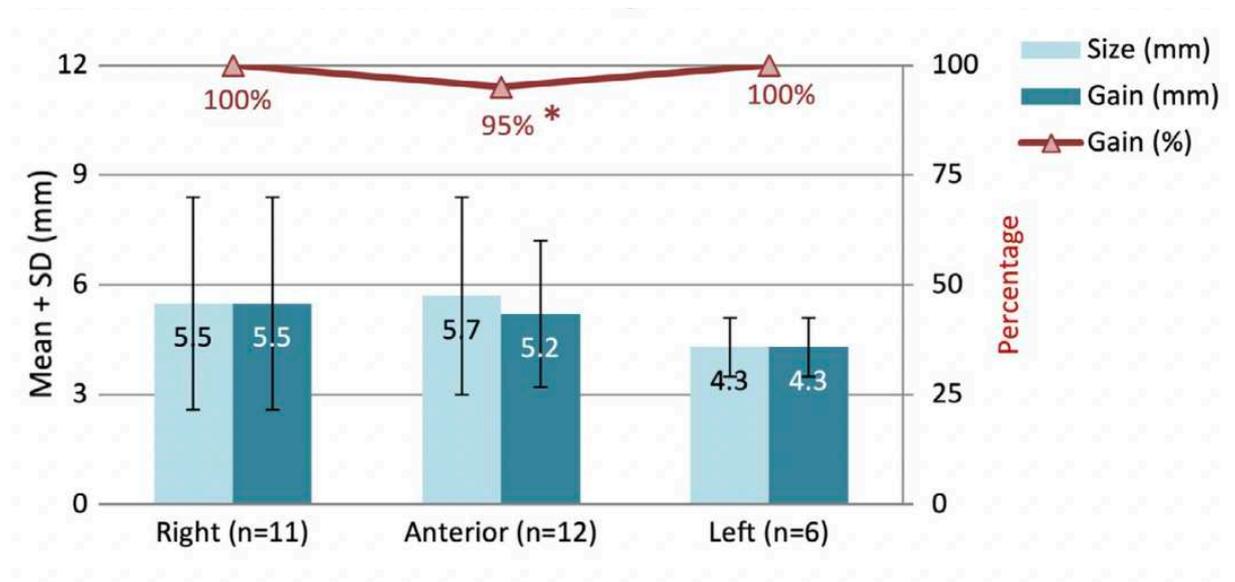


Figure 22: Gain vertical absolu et relatif au maxillaire [45].

A la mandibule (n=34) :

- En antérieur (n=2) : le déficit vertical moyen était de $5,3 \pm 1,0$ mm
- En postérieur (n=32) : le déficit vertical moyen était de $5,6 \pm 2,9$ mm

Le gain vertical absolu moyen était plus important en antérieur qu'en postérieur de 0,32mm.

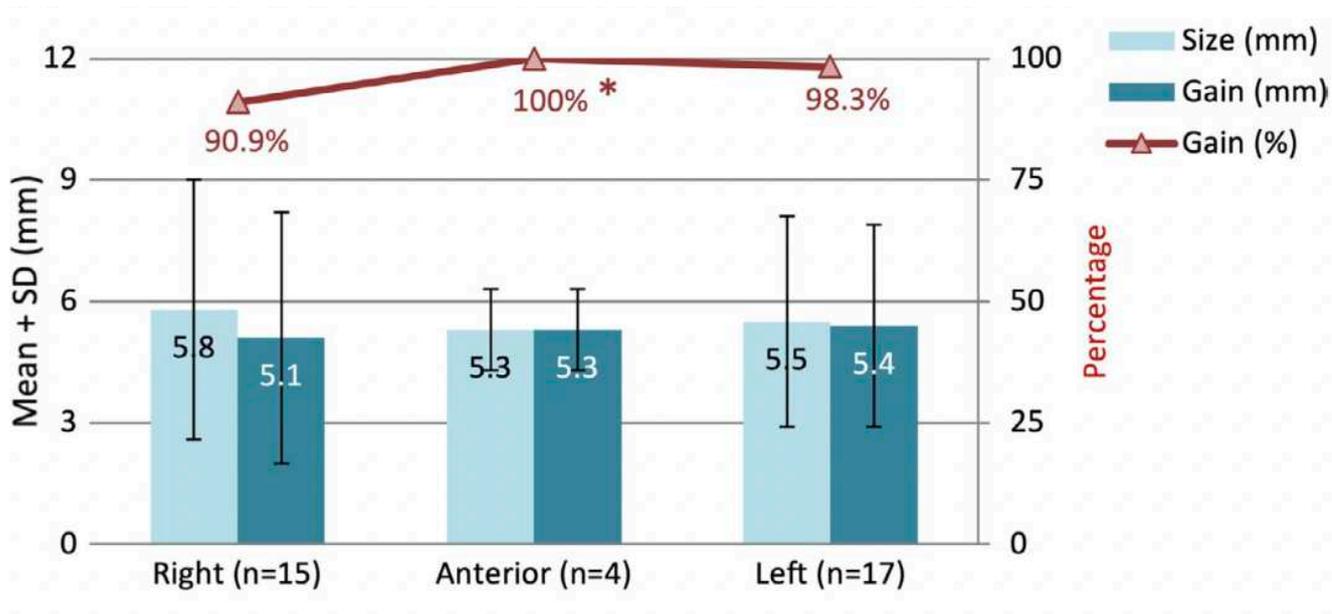


Figure 23: Gain vertical absolu et relatif à la mandibule [45].

3.2.4.2.4.3 Complications

Il n'y avait que deux cas avec des complications (3%).

Un site avait une exposition de la membrane à 1 semaine post-opératoire.

Pour le deuxième cas, le matériel de greffe s'est infecté.

Vertical gain of the defects			Maxilla				Mandible			
	Regression coefficient	95% CI	Anterior vs. posterior		Anterior vs. left vs. right		Anterior vs. posterior		Anterior vs. left vs. right	
			p-value	95% CI	Regression coefficient	95% CI	p-value	95% CI	Regression coefficient	95% CI
Reference	Maxilla	0.46-0.27								
	0.00		.596	0.00-0.72	Anterior	0.00	.048*	-0.59 to -0.05	Left posterior	.021*
Comparison	Mandible				0.00				0.00	
					Posterior				Right posterior	
						-0.18 to 0.26	.726		-0.43 to 0.04	.102
					0.04				-0.19	
					Anterior		.057		Anterior	.038*
					-0.36	-0.69 to 0.01			0.02-0.52	
Defect size	0.86	0.78-0.93	<.001***	0.85	0.85	0.73-0.96		0.82-0.97	0.90	0.83-0.96
Healing time	0.10	0.01-0.20	.043*	0.06	0.06	-0.02 to 0.13	.152	-0.02 to 0.10	0.04	-0.01 to 0.10
Smoking										
No (ref.)	0.00									
Yes	-1.60	-4.15 to 0.96	.220	-0.20	-0.20	-0.39 to -0.01	<.001***	-5.93 to -4.62	-5.14	-5.80 to -4.47
Age	0.00	-0.01 to 0.01	.222	0.01	0.01	-0.01 to 0.02	.373	-0.01 to 0.02	0.01	-0.01 to 0.02

* p < .05; *** p < .001.

Tableau 5: Gain vertical absolu en fonction du secteur, de l'âge, de la consommation de tabac, de la taille du défaut et de la cicatrisation [45].

3.2.4.2.5 Discussion

L'augmentation osseuse verticale de la crête à l'aide d'une membrane PTFE renforcée en titane associée à un mélange de biomatériau/os autogène offre un bon équilibre entre gain osseux et complications.

Les dispositifs dimensionnellement stables tels que les membranes non résorbables renforcées en titane supportent les dimensions verticales de manière plus fiable que les membranes résorbables.

Cette étude a utilisé une membrane PTFE renforcée en titane perforée de macropores qui améliore théoriquement la vascularisation en permettant un contact intime entre le périoste et le matériel de régénération.

3.2.4.3 Le coffrage 3D de Khoury

Khoury a décrit la stabilisation de blocs osseux autogènes prélevés sur la ligne oblique externe de la mandibule, fixés entre eux par des micro-vis et comblant l'écart généré avec des copeaux d'os autologue [46].

Les blocs osseux prélevés sont scindés en deux blocs plus minces avec un disque diamanté selon la technique du bloc osseux fractionné (SBB)[47].

Cette technique des lamelles osseuses repose sur plusieurs principes biologiques tels que :

- Utiliser des lamelles fines (*un os cortical trop dense est un frein à la revascularisation*)
- Suture du site sans tension
- Adaptation anatomique des greffons
- Stabilité de la reconstruction.

3.2.4.3.1 Procédure chirurgicale

Le cas clinique qui illustrera cette partie a été réalisé par le Dr Mickaël Samama, chirurgien oral à Paris.

Le cas est donc celui d'une patiente de 28 ans ayant été victime d'un accident équin (coup de sabot de cheval).

Avant toute chose, un examen visuel et une palpation digitale du site donneur permettent une estimation des contours morphologiques, de l'épaisseur de la ligne oblique externe.

Concernant les examens radiologiques, une radiographie panoramique et un CBCT sont de rigueur [47].

Une fois le site correctement anesthésié, une incision trapézoïdale avec deux décharges latérales sont réalisées le long du ramus.

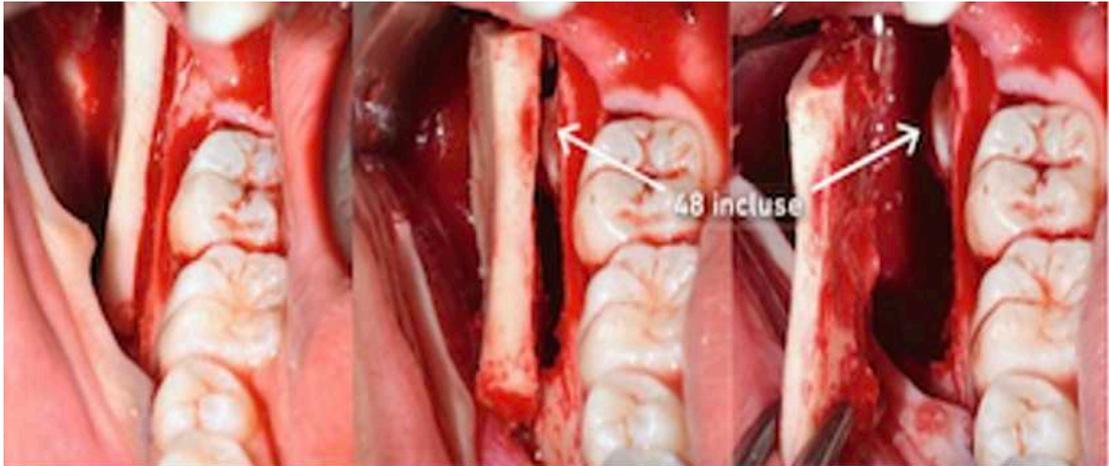


Figure 24 : Abord du site donneur pour prélèvement ramique. Cas clinique du Dr Mickaël Samama, avec son autorisation écrite.

Le clivage du greffon est doux et s'effectue à l'aide d'une rugine ou d'un décolleur de Molt. Une fois clivé, il peut être mis sur une pince forte de type Kocher longue, affiné (on pourrait utiliser le Bone scraper®) et clivé longitudinalement au disque diamanté.



Figure 25: Situation préopératoire ; la patiente présente une atrophie sévère du maxillaire de 12 à 22 à la fois verticale et horizontale. Cas clinique du Dr Mickaël Samama, avec son autorisation écrite.

Ensuite, une incision de pleine épaisseur de prémolaire à prémolaire est réalisée. Le lambeau sera décollé progressivement. Une fois le site à nu, il sera nettoyé à la fraise boule diamantée.

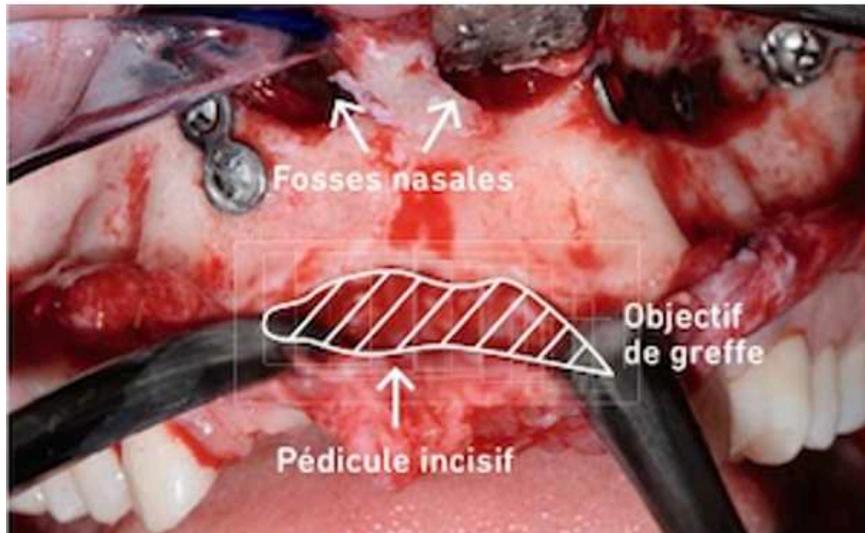


Figure 26: Exposition du maxillaire et présentation des objectifs. Cas clinique du Dr Mickaël Samama, avec son autorisation écrite.

Le greffon est placé au niveau de la crête et fixé par des vis afin de corriger la perte osseuse verticale.

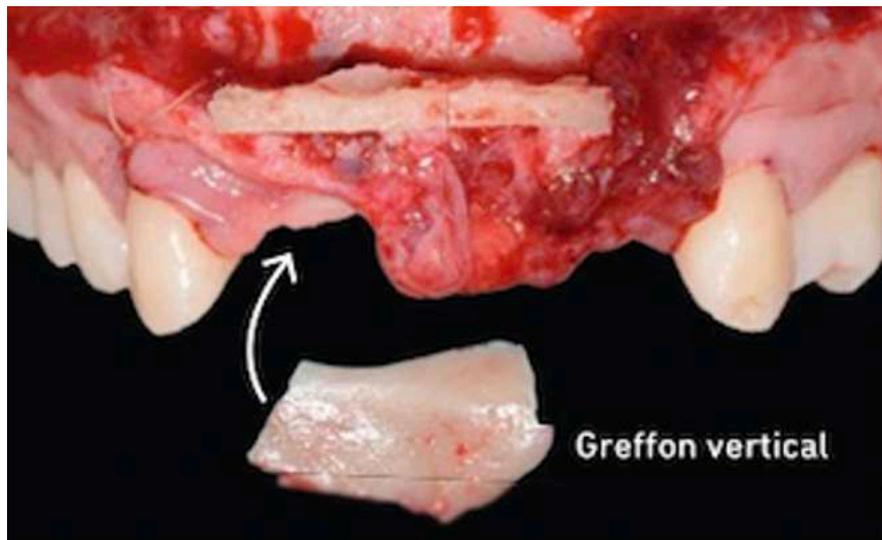


Figure 27: Mise en place du greffon vertical. Cas clinique du Dr Mickaël Samama, avec son autorisation écrite.

Ensuite, du broyat osseux autologue est interposé entre le greffon et le site receveur. Cela permettra par la suite d'obtenir une excellente coaptation entre les greffons [48].

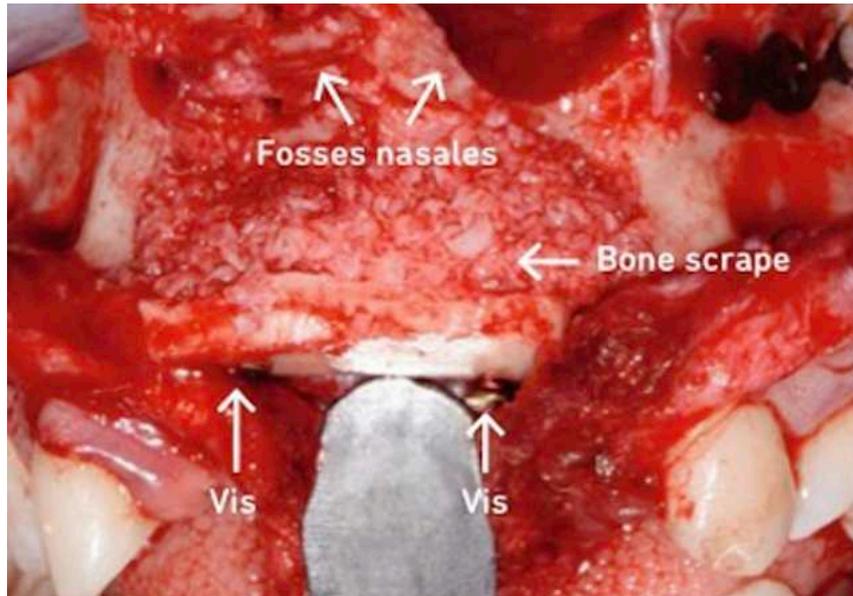


Figure 28: Application du broyat osseux. Cas clinique du Dr Mickaël Samama, avec son autorisation écrite.

Le deuxième greffon ramique peut-être prédécoupé (de la même manière que le premier) et stabilisé par deux vis d'ostéosynthèse ; il sera fixé en vestibulaire afin de fermer le coffrage [48].

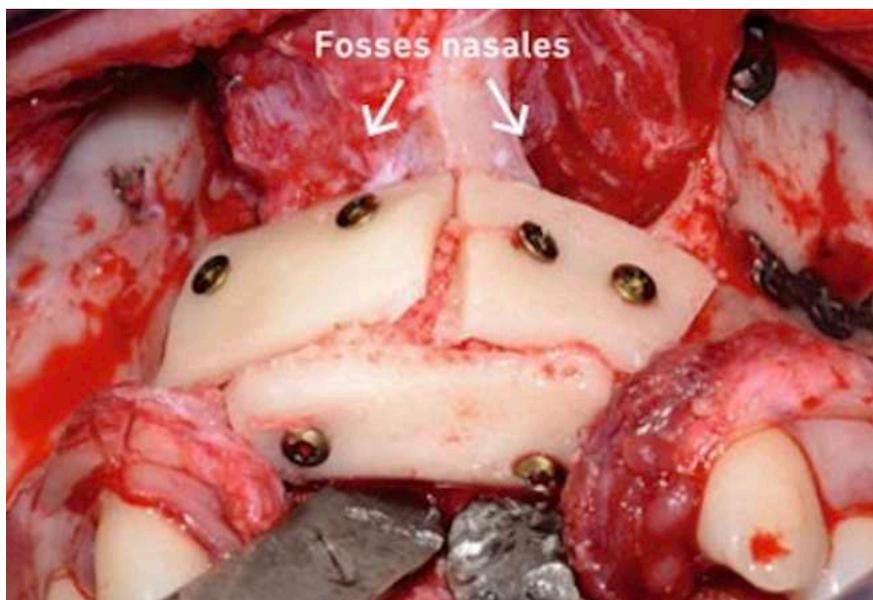


Figure 29: Résultat final du coffrage après fixations de tous les greffons. Cas clinique du Dr Mickaël Samama, avec son autorisation écrite.

Puis viendra la phase de sutures, en 3 plans : plan musculaire, conjonctif, épithélial. On ne suture pas directement en regard des greffons osseux mais on la déplace dans le fond de vestibule.

- Cela permettrait de réduire la tension sur les tissus et donc d'augmenter les chances de la reconstruction [48].

3.2.4.3.2 Résultats post-opératoires

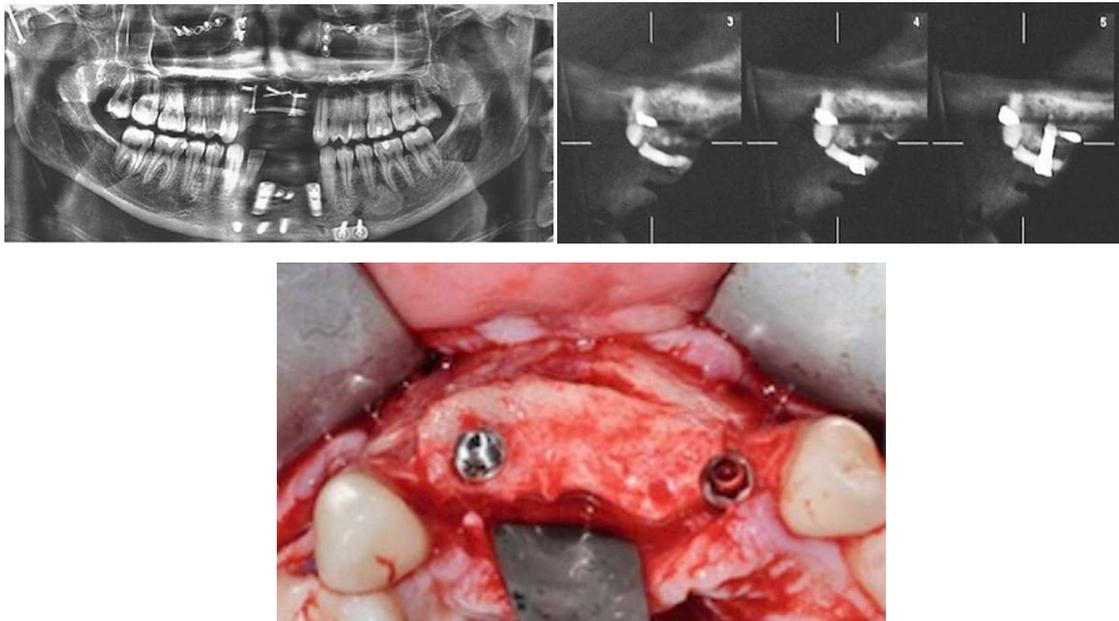


Figure 30: De gauche à droite : panoramique et CBCT de contrôle a quatre mois postopératoires. En dessous : visualisation du gain osseux. Les implants seront posés. Cas clinique du Dr Mickaël Samama, avec son autorisation écrite.

3.2.4.3.3 Autre étude

Khoury et Hanser

Les auteurs ont conduit une étude clinique sur 10 ans [48]. Le but de cette étude était d'évaluer sur le long terme l'efficacité de la technique des lamelles osseuses (coffrage) en secteur postérieur maxillaire associée à une élévation de sinus. 142 patients ont été traités consécutivement, 154 sites ont été greffés, 356 implants ont été posés.

Les auteurs rapportent [48] :

Complications :

- Une exposition minimale du greffon (1 à 3 mm) 4 à 8 semaines après l'opération a été documentée dans deux sites
- Une infection de la zone s'est produite dans un autre site.

Gain osseux :

- Le défaut vertical moyen clinique préopératoire était de $7,8 \pm 3,9$ mm
- La largeur moyenne était de $3,1 \pm 2,2$ mm
- En postopératoire, le gain vertical moyen était de $7,6 \pm 3,4$ mm (maximum 13mm) et la largeur moyenne de $8,3 \pm 1,8$ mm

→ Le gain osseux vertical moyen était stable à $6,82 \pm 0,28$ mm (maximum 12 mm).

Succès implantaire :

- Des implants ont pu être posés dans tous les sites.

Résorption osseuse :

- La quantité de résorption osseuse verticale maximale était de $0,21 \pm 0,18$ mm après 1 an, $0,26 \pm 0,21$ mm après 3 ans, $0,32 \pm 0,19$ mm après 5 ans, $0,63 \pm 0,32$ mm après 10 ans.

→ Le taux de résorption après 10 ans était de 8,3%.

Survie implantaire :

- L'étude a observé un abandon total de patients de 16,9% des patients. 4 implants ont été perdus en 10 ans.

3.2.4.3.4 Discussion

La combinaison de blocs osseux autogènes minces associés à des particules osseuses selon la technique du coffrage permet une accélération de la revascularisation du greffon, et donc une régénération plus rapide.

La stabilité osseuse à long terme est satisfaisante, avec un faible taux de résorption et un gain osseuse satisfaisant [48].

3.2.4.4 ROG utilisant une grille titane

L'augmentation osseuse pré-implantaire utilisant une grille/mesh titane est une technique prédictible, largement utilisée et documentée.

L'utilisation d'une grille titane est indiquée lors **d'augmentations verticales et horizontales importantes** [49].

Cette technique ne nécessite pas de prélèvements sur un autre site. De plus, la mise en place des implants est possible lors d'un même temps chirurgical.

De nos jours, le titane est de plus en plus utilisé en chirurgie osseuse reconstructrice grâce à ses qualités telles que **sa rigidité, sa faible densité, sa résistance à la corrosion et sa bonne biocompatibilité** [50].

Le risque de complications est donc réduit.

Technique d'abord décrite dans les années 1970 dans le traitement des fractures du massif facial, elle est dernièrement remise au goût du jour avec la possibilité de fabrication de grille titane sur mesure [51]

Initialement, la technique de la grille titane est décrite en association avec de l'os autogène, mais elle peut aussi être utilisée avec de l'os allogénique ou xénogénique [52].

La rigidité suffisante de la grille assure le maintien de l'espace pour la néoformation osseuse, tout en empêchant le mouvement du greffon et la compression de la muqueuse.

Pour se faire, une grille titane d'une épaisseur de 0,1 à 0,2 mm est généralement suffisante pour une reconstruction pré-implantaire.

Dans le commerce, on trouve des grilles titane sur mesure ou sous forme de plaques à découper par le chirurgien. Ces grilles présentent des perforations régulières qui faciliteront la néo angiogenèse. Le faible diamètre des perforations semblerait influencer la qualité de l'os néoformé [53].

La stabilisation des grilles se fait avec au moins deux vis d'ostéosynthèse.

Comme lors de toute procédure d'augmentation osseuse, on cherchera une parfaite immobilisation du greffon afin de garantir des meilleures chances de succès de la régénération.

3.2.4.4.1 Procédure chirurgicale

Le cas qui illustre cette sous partie est celui d'une dame de 35 ans, en bon état de santé général. La patiente consulte en vue d'une réhabilitation implanto-prothétique de l'incisive central maxillaire gauche (dent 21).

Le CBCT préopératoire montre un défaut vertical de 9 mm ainsi qu'un défaut vertical, **une régénération utilisant une grille titane est donc indiquée.**

Dans ce cas, bien que l'os autogène soit considéré comme le gold standard, une autre technique a été utilisée ici : la greffe nano-osseuse.

la greffe nano-osseuse est un alloplaste récemment développé comprenant une matrice de gel de silice avec des nanocristaux d'hydroxyapatite dans la matrice [54].



Figure 31: Vue du défaut en situation préopératoire [54].

Une fois le site anesthésié, le lambeau de pleine épaisseur levé, les perforations à la fraise boule au niveau du site sont effectuées. Ensuite, la grille titane est personnalisée en fonction de la configuration de crête souhaitée. L'espace entre la grille et l'os à régénérer est comblé par le biomatériau.

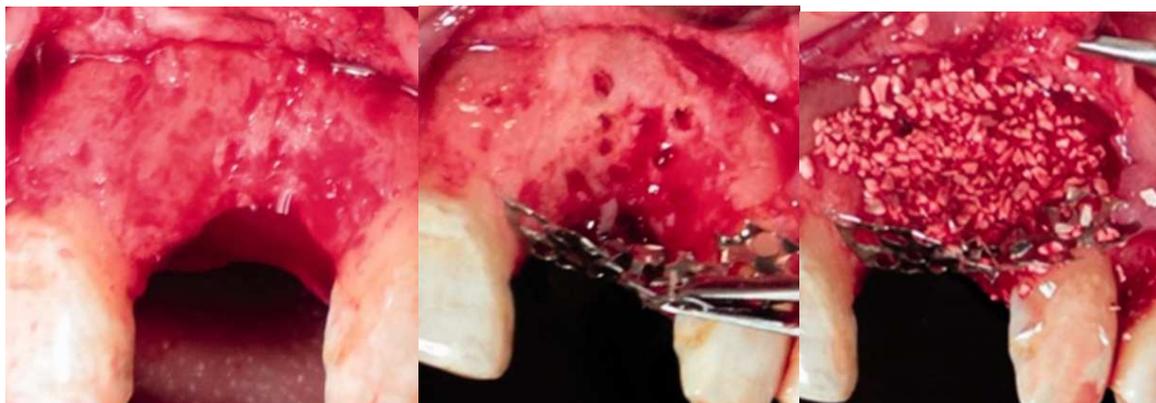


Figure 32: De gauche à droite : levée du lambeau et mise en évidence du défaut ; adaptation et mise en place de la grille titane ; application du biomatériau[54].

Ensuite, le tout est suturé sans tension. On laissera cicatriser pendant 5 à 6 mois. Le jour de la déposer de la grille, on pourra procéder à la pose de l'implant.

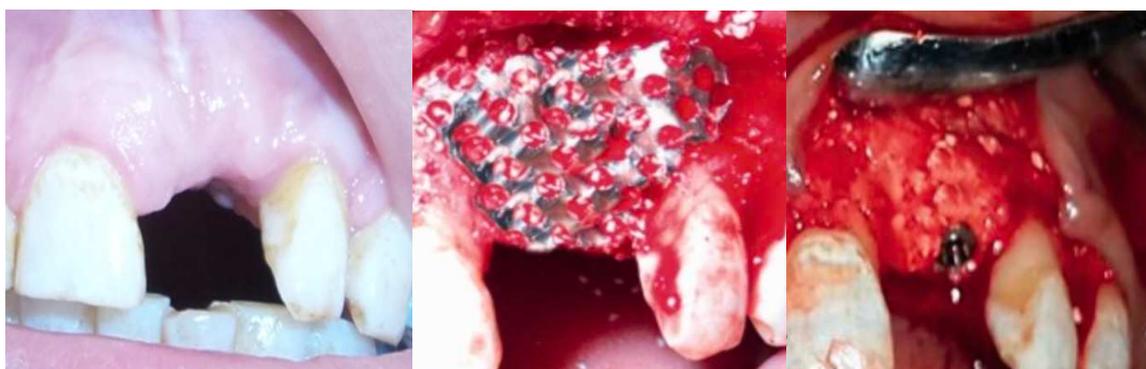


Figure 33: De gauche à droite : site à 5 mois postopératoires ; dépose de la grille titane ; pose de l'implant [54].

3.2.4.4.2 Résultats

→ Dans ce cas, les auteurs ont reporté un gain osseux de 10 mm en vertical et de 7 mm en horizontal.

3.2.4.4.3 Discussion

Dans ce cas, lorsque l'os allogénique est utilisé pour la procédure, l'utilisation de membrane résorbable n'est pas nécessaire. La pose de l'implant en simultané est possible si l'axe implantaire est conforme au projet prothétique et que la stabilité primaire est supérieure à 5 Ncm.

La complication principale de cette technique est l'exposition du dispositif.

Cependant, cette exposition est de bon pronostic lorsqu'elle s'observe dans les 6 premières semaines de cicatrisation [55].

En effet, l'os déjà régénéré est suffisamment structuré et vascularisé pour persister.

En enlevant la partie exposée, on pourra obtenir une cicatrisation de seconde intention et préserver la régénération.

Cependant, une exposition précoce mènera à la dépose du dispositif.

Et en ce qui concerne l'utilisation d'une grille titane avec de l'os autogène ?

3.2.4.4.4 Corinaldesi et al

Les auteurs ont conduit une étude rétrospective de 3 à 8 ans dans laquelle ils évaluent les taux de survie et de réussite de 56 implants placés dans des sites régénérés par os autogène et grille titane. Cette étude a inclus 24 patients.

Chez 13 patients, 20 implants ont été posés au moment de la procédure. Chez les patients restants, 36 implants ont été posés 8 à 9 mois après la première intervention [56].

3.2.4.4.1 Résultats

Les données suivantes ont été relevées 3 à 8 ans après mise en charge prothétique :

- Les auteurs reportent un taux de complication de 14,8%. La principale complication est l'exposition du site.
- Le gain osseux vertical moyen est de $5,4 \pm 1,81$ mm pour les implants posés en simultané et $4,5 \pm 1,16$ mm pour les implants posés en différé.
- 2 implants ont montré une perte osseuse accrue : 3,12 et 3,37 mm.
- Un taux de réussite de 96,4%.
- Aucun des 56 implants n'a été perdu.
- L'analyse radiographique a montré des niveaux osseux marginaux stables avec une résorption osseuse moyenne de $1,58 \pm 0,48$ mm après 3 à 8 ans.

3.2.4.4.2 Discussion

Cette étude nous a montré que les implants posés dans des crêtes augmentées par grille titane et os autogène offrait des taux de survie et de succès satisfaisants sur le long terme avec une résorption osseuse minimale.

4 Discussion

En 2014, les travaux de Benic et Hämmerle nous ont montré que pour reconstruire des défauts de classes 4 et 5, ils utilisaient une greffe osseuse d'apposition associée à une régénération osseuse guidée utilisant un biomatériau et une membrane.

Des travaux plus récents dirigés sur la régénération osseuse guidée ont mis en évidence qu'il était possible d'avoir des résultats plus intéressants en diminuant le temps d'intervention et les complications postopératoires pour le patient.

Ces résultats peuvent être analysés en termes de gain osseux, de complications, de succès, de survie implantaire et de stabilité osseuse dans le temps.

4.1 Gain osseux

Concernant la greffe osseuse d'apposition, les études utilisées dans ce travail montraient des résultats très satisfaisants :

L'étude d'Elnayef *et al.* [16] retrouvait un gain osseux moyen de $3,47 \pm 0,61$ mm, celle de Chiapasco *et al.* [18] un gain osseux de 4,6 mm alors que la méta-analyse d'Urban *et al.* [19] rapportait un gain osseux de 4,11 mm.

Pour la Régénération osseuse guidée, Urban et al dans leur étude comparant les différentes techniques d'augmentation verticale [19] ont rapporté un gain osseux moyen de 4,39 mm, soit environ 0,3 mm de plus que pour une augmentation par greffe osseuse d'apposition.

Urban, Arnal *et al.* [43], dans leur étude portant sur la *sausage* technique® ont rapporté un gain osseux horizontal moyen de $5,3 \pm 2,3$ mm.

Urban *et al.*, dans son étude portant sur l'augmentation osseuse utilisant une membrane PTFE renforcée en titane [45] rapportait un gain maximal vertical de $5,2 \pm 2,4$ mm.

Khoury et Hanser, dans leur étude portant sur le coffrage [48] ont rapporté un gain osseux vertical stable à $6,28 \pm 0,28$ mm.

Alagl *et al.* [54] dans leur étude portant sur l'augmentation de la crête utilisant une grille titane, les auteurs ont rapporté un gain osseux de 10 mm en horizontal et 7mm en vertical.

Toujours en utilisant le même dispositif, Corinaldesi *et al.* [56] ont rapporté un gain osseux vertical moyen de $5,4 \pm 1,81$ mm.

Avec ces différents résultats de gains osseux en fonction des différentes techniques, on peut avancer que la greffe osseuse d'apposition et la régénération osseuse guidée offrent tous les deux des résultats satisfaisants.

Cependant, les études plus récentes ont montré des résultats supérieurs de gains osseux en utilisant la ROG. Les gains osseux verticaux étaient maximum avec l'utilisation des coffrages, des grilles titane ou des membranes renforcées titane sans que des différences puissent être statistiquement significatives.

4.2 Complications

Peñarrocha-Oltra *et al.* dans leur étude portant sur la greffe osseuse en bloc ont relevé des complications comme une hypoesthésie temporaire, une déhiscence de la plaie avec exposition du greffon et exposition du dispositif [17]. Chiapasco *et al.* [18] ont relevé plus de morbidités post-opératoires chez les patients ayant bénéficié d'une augmentation par greffe osseuse autologue que chez les patients traités par distraction osseuse.

Urban *et al.* [19] ont relevé un taux de complications de 23,9% pour les patients ayant été traités par GOA contre 12,1% pour les patients ayant bénéficié d'une ROG. Urban dans son étude portant sur la ROG utilisant une membrane PTFE renforcée en titane rapporte seulement 3% de complications.

Khoury et Hanser dans leur étude sur le coffrage rapportent des complications sur trois sites. Concernant l'augmentation osseuse utilisant une grille titane, Corinaldesi *et al.* [56] rapportent un taux de complications de 14,8%, la principale étant une exposition du site.

Les études utilisées sont claires. Les complications pour la ROG sont moins élevées que pour la greffe d'apposition. Cela s'explique par le fait que la plupart des techniques de ROG n'utilisent pas de site donneur, ce qui réduit considérablement le taux de complications.

On peut avancer que la ROG se veut plus conservatrice que la greffe d'apposition.

4.3 Succès implantaire

Corinaldesi *et al.* [56] ont relevé un taux de réussite de 96,4% des implants posés dans l'os régénéré avec une grille titane. Khoury et Hanser [48] ont pu poser des implants dans tous les sites et seulement 4 implants sur 356 ont été perdus en 10 ans.

Concernant la GOA, Elnayef *et al.* [16] rapportent un taux de succès de 98,2%, Peñarrocha-Oltra *et al.* rapportent eux un taux de succès de 91,1%, et Chiapasco *et al.* [18] 89,5% de succès.

La pose d'implants est possible dans l'os régénéré et augmenté par blocs. Les taux de succès de la pose implantaire sont similaires. Ce critère n'apparaît pas différenciant en fonction des techniques proposées.

4.4 Survie implantaire

Concernant la survie des implants sur le long terme, Elnayef *et al.* rapportent une survie implantaire de 98,9% dans l'os augmenté par blocs [16].

Peñarrocha-Oltra *et al.* [17] rapportent eux une survie implantaire de 95,6%.

Chiapasco *et al.* [18] rapportent 100% de survie implantaire.

Corinaldesi *et al.* [56] rapportent eux aussi un taux de survie implantaire de 100% dans leur étude sur la ROG.

Que ce soit des implants posés dans des blocs osseux autogènes ou alors des implants posés dans de l'os régénéré, la survie sur le long terme est dans les deux cas satisfaisante. Les résultats ne montrent pas de supériorité d'une technique par rapport à l'autre concernant la survie des implants sur le long terme.

Il est donc tout à fait possible de poser des implants dans les deux cas de figure et espérer obtenir une longue survie des implants sur le long terme.

4.5 Stabilité osseuse

Dans leur étude, Corinaldesi *et al.* [56] ont rapporté une perte osseuse accrue sur seulement deux implants posés dans de l'os régénéré par grille titane.

Khoury et Hanser [48] ont rapporté une résorption osseuse de 8,3% à 10 ans dans les coffrages.

Urban *et al.* [43], dans leur étude sur la *sausage* technique® ont relevé un taux de résorption de 27,9% dans le groupe témoin et 29,4% dans le groupe test ayant bénéficié d'une ROG par *sausage* technique®.

Dans les deux cas, que nous parlions de greffe ou de régénération, la perte osseuse semble difficilement évitable. Les hypothèses de la résorption ont été développées dans ce travail.

Chiapasco *et al.* [18] relèvent aussi une perte osseuse. Le principal est donc de mettre en œuvre des moyens afin de limiter cette perte, car, selon les études, elle semble inévitable.

4.6 Greffe ou régénération ?

Les deux techniques semblent nous apporter des résultats très satisfaisants tant sur les gains osseux, le succès de la pose des implants, leur survie. Mais que choisir comme technique ?

La question à se poser est celle par rapport au patient. Prélèvement ou non ? suites opératoires ? douleurs ? complications ?

Les résultats des études nous orientent en faveur de la régénération osseuse guidée. En effet, l'absence de prélèvement réduit drastiquement le taux de complications, les suites opératoires sont plus simples.

Les études récentes utilisent la ROG pour reconstruire un défaut osseux. La pratique actuelle tend vers cette pratique, même si la GOA reste tout à fait satisfaisante.

CONCLUSION

L'essor de l'implantologie a permis à celle-ci de s'affirmer comme une thérapeutique fiable de nos jours. La demande croissante de réhabilitations implanta-prothétiques ainsi que l'exigence des patients ont amené à repousser les limites de la discipline.

Néanmoins, cette pratique se heurte à une limite : l'insuffisance de volume osseux contre-indiquant la pose implantaire en première intention.

Dans toutes les techniques décrites dans cette thèse, comment faire son choix ?

Pour aiguiller le praticien sur quelle technique utiliser en augmentation osseuse pré-implantaire, le praticien peut s'aider d'un arbre décisionnel qui dépendra de plusieurs facteurs tels que le type de perte osseuse (verticale ou horizontale) ainsi que les facteurs liés au patient.

Le choix de la technique dépendra aussi du plateau technique mis à disposition mais aussi de l'expérience et des compétences du praticien.

Aujourd'hui, il n'existe aucune recommandation concernant les procédures d'augmentation osseuse.

A ce jour, la majorité des études ne conclue pas de la supériorité d'une technique par rapport à une autre.

Cependant, la régénération osseuse guidée semble la plus fiable. Ses taux de complications sont faibles ainsi que les morbidités postopératoires et apporte de très bons résultats.

Ses indications et ses applications sont multiples (utilisation de différents types de substituts osseux, membrane résorbable ou non...) qui en font une technique de choix.

Toutes les techniques présentées dans cette thèse sont efficaces dans leur application. Une analyse préopératoire complète incluant une étude prothétique est fondamentale avant d'envisager une procédure d'augmentation osseuse.

Références bibliographiques

1. Desoutter J, Mentaverri R, Brazier M, Kamel S. Le remodelage osseux normal et pathologique. *Rev Francoph Lab.* 2012 ;2012(446):33-42.
2. Funck-Brentano T, Cohen-Solal M. Le vieillissement osseux : les nouveaux acteurs de communication intercellulaire. *Médecine Longévité.*2010; 2(4):200-4.
3. Figué M, Afota F, Savoldelli C. ROG péri-implantaire : données actuelles et évolutions récentes. *L'information dentaire.* 2022;20:22-35 [Internet]. [consulté le 8 sept 2022]. Disponible sur: <https://www.information-dentaire.fr/formations/rog-pri-implantaire-donnees-actuelles-et-evolutions-recentes/>
4. Benic GI, Hämmerle CHF. Horizontal bone augmentation by means of guided bone regeneration. *Periodontology 2000.* 2014;66(1):13-40.
5. Schroeder HE. *Biopathologie des structures orales: dents, pulpe, parodonte.*CdP. 1987; (1).
6. Schropp L, Wenzel A, Kostopoulos L, Karring T. Bone healing and soft tissue contour changes following single-tooth extraction: a clinical and radiographic 12-month prospective study. *International Journal of Periodontics Restorative Dentistry.* 2003;23(4):313-323.
7. Antoun H, Sojod B, Karouni M. Autogenous bone graft for vertical augmentation in the posterior mandibular edentulous ridges. *Journal de Parodontologie et d'ImplantologieOrale.*2012; 31(4):17.
8. Gellée T, Pomès B, Goudot P, Doukhan JY, Lacoste JP. *Guide pratique d'implantologie.* 65 rue Camille-Desmoulins,92442 Issy-les-Moulineaux cedex, France ;Elsevier Health Sciences ; 2022. 358.
9. Albrektsson T, Johansson C. Osteoinduction, osteoconduction and osseointegration. *European Spine Journal.* 2001;10(2):S96-101.
10. Serrand-Obry F, Massot M, Vercellotti T, Bader G. Gestion des déficits osseux verticaux : apport de la distraction osseuse alvéolaire par rapport aux techniques conventionnelles. *Médecine Buccale Chirurgie Buccale.* 2012 ;18(2):155-60.
11. Colombier ML, Lesclous P, Tulasne JF. La cicatrisation des greffes osseuses. *Revue de Stomatologie et Chirurgie Maxillofaciale.* 2005 ;106(3):157-65.
12. Zins JE, Whitaker LA. Membranous versus endochondral bone: implications for craniofacial reconstruction. *Plastic and Reconstructive Surgery.* 1983;72(6):778-85.
13. Kusiak JF, Zins JE, Whitaker LA. The early revascularization of membranous

bone. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 1985;76(4):510-6.

14. Ozaki W, Buchman SR, Goldstein SA, Fyhrie DP. A comparative analysis of the microarchitecture of cortical membranous and cortical endochondral onlay bone grafts in the craniofacial skeleton. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 1999;104(1):139-47.
15. Schenk RK, Buser D, Hardwick WR, Dahlin C. Healing pattern of bone regeneration in membrane-protected defects: a histologic study in the canine mandible. *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*. 1994;9(1):13-29.
16. Elnayef, Basel; Monje, Alberto; Gargallo-Albiol, Jordi ;Galingo-Moreno, Pablo; Hom-Lay Wang; Hernandez-Alfaro, Frederico. Vertical Ridge Augmentation in the Atrophic Mandible: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Oral and Maxillofacials Implants*. 2017;(32):291-312.
17. Peñarrocha-Oltra, David; Aloy-Prosper, Amparo; Cervera-Ballester, Juan; Penarrocha-Diago, Maria; Canullo, Luigi; Peñarrocha-Diago, Miguel. Implant Treatment in Atrophic Posterior Mandibles: Vertical Regeneration with Block Bone Grafts Versus Implants with 5.5-mm Intrabony Length. *International Journal of Oral and Maxillofacial implant*. 2014;29(3):659-66.
18. Chiapasco M, Zaniboni M, Rimondini L. Autogenous onlay bone grafts vs. alveolar distraction osteogenesis for the correction of vertically deficient edentulous ridges: a 2–4-year prospective study on humans. *Clinical Oral Implants Research*. 2007;18(4):432-40.
19. Urban IA, Montero E, Monje A, Sanz-Sánchez I. Effectiveness of vertical ridge augmentation interventions: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Periodontology*. 2019;46 Suppl 21:319-39.
20. Meyer C, Camponovo T, Euvrard E, Chatelain B. Les membranes en chirurgie pré-implantaire. *Revue de Stomatologie et de Chirurgie Maxillofaciale*. 2012;113(4):212-30.
21. Dahlin C, Linde A, Gottlow J, Nyman S. Healing of bone defects by guided tissue regeneration. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 1988;81(5):672-6.
22. Nyman S, Karring T, Bergenholtz G. Bone regeneration in alveolar bone dehiscences produced by jiggling forces. *Journal of Periodontal Research*. 1982;17(3):316-22.
23. Khojasteh A, Kheiri L, Motamedian SR, Khoshkam V. Guided Bone Regeneration for the Reconstruction of Alveolar Bone Defects. *Annals of Maxillofacial Surgery*. 2017;7(2):263-77.

24. Mir-Mari J, Wui H, Jung RE, Hämmerle CH, Benic GI. Influence of blinded wound closure on the volume stability of different GBR materials: an in vitro cone-beam computed tomographic examination. *Clinical Oral Implants Research*. 2016;27(2):258-65.
25. Garaicoa C, Suarez F, Fu JH, Chan HL, Monje A, Galindo-Moreno P, et al. Using Cone Beam Computed Tomography Angle for Predicting the Outcome of Horizontal Bone Augmentation. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*. 2015;17(4):717-23.
26. Urban IA, Monje A. Guided Bone Regeneration in Alveolar Bone Reconstruction. *Oral Maxillofac Surgical Clinics of North America*. 2019;31(2):331-8.
27. Mammoto A, Connor KM, Mammoto T, Yung CW, Huh D, Aderman CM, et al. A mechanosensitive transcriptional mechanism that controls angiogenesis. *Nature*. 2009;457(7233):1103-8.
28. Garcia J, Dodge A, Luepke P, Wang HL, Kapila Y, Lin GH. Effect of membrane exposure on guided bone regeneration: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Implants Research*. 2018;29(3):328-38.
29. Wang HL, Boyapati L. "PASS" Principles for Predictable Bone Regeneration. *Implant Dentistry*. 2006;15(1):8-17.
30. Buser D. years of Guided Bone Regeneration (Decision criteria for a Simultaneous GBR procedure). Chic Quintessence Books. 2009:123-52.
31. Karring T, Nyman S, Gottlow J, Laurell L. Development of the biological concept of guided tissue regeneration--animal and human studies. *Periodontology 2000*. 1993;1(1):26-35.
32. Antoun H, Karouni M, Sojod B. La régénération osseuse guidée : résultats, limites et perspectives. *Actualité Odonto-Stomatologique*. 2013;(261):11-21.
33. Hämmerle CH, Lang NP. Single stage surgery combining transmucosal implant placement with guided bone regeneration and bioresorbable materials. *Clinic Oral Implants Research*. 2001;12(1):9-18.
34. Hämmerle CH, Fourmouis I, Winkler JR, Weigel C, Brägger U, Lang NP. Successful bone fill in late peri-implant defects using guided tissue regeneration. A short communication. *Journal of Periodontology*. 1995;66(4):303-8.
35. Hämmerle CHF, Jung RE. Bone augmentation by means of barrier membranes. *Periodontology 2000*. 2003;33:36-53.
36. Machtei EE. The effect of membrane exposure on the outcome of regenerative procedures in humans: a meta-analysis. *Journal of Periodontology*. 2001;72(4):512-6.
37. Jovanovic SA, Schenk RK, Orsini M, Kenney EB. Supracrestal bone formation

- around dental implants: an experimental dog study. *International Journal of Oral Maxillofacial Implants*. 1995;10(1):23-31.
38. Jordana F, Le Visage C, Weiss P. Bone substitutes. *Med Sci MS*. 2017;33(1):60-5.
39. Aichelmann-Reidy ME, Yukna RA. BONE REPLACEMENT GRAFTS: The Bone Substitutes. *Dental Clinics of North America*. 1998;42(3):491-503.
40. Zhao R, Yang R, Cooper PR, Khurshid Z, Shavandi A, Ratnayake J. Bone Grafts and Substitutes in Dentistry: A Review of Current Trends and Developments. *Molécules*. 2021;26(10):3007.
41. Geistlich France: Geistlich Bio-Oss [Internet]. [consulté le 26 sept 2022]. Disponible sur: <https://www.geistlich.fr/dentaire-professionnels/produits/substituts-osseux/geistlich-bio-oss>
42. Urban IA, Nagursky H, Lozada JL, Nagy K. Horizontal Ridge Augmentation with a Collagen Membrane and a Combination of Particulated Autogenous Bone and Anorganic Bovine Bone-Derived Mineral: A Prospective Case Series in 25 Patients. *International Journal of Periodontics Restorative Dentistry*. 2013;33(3):299-307.
43. Arnal HM, Angioni CD, Gaultier F, Urbinelli R, Urban IA. Horizontal guided bone regeneration on knife-edge ridges: A retrospective case-control pilot study comparing two surgical techniques. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*. 2022;24(2):211-21.
44. Cho IW, Park JC, Shin HS. A comparison of different compressive forces on graft materials during alveolar ridge preservation. *Journal of Periodontal and Implant Science*. 2017;47(1):51-63.
45. Urban IA, Saleh MHA, Ravidà A, Forster A, Wang H, Barath Z. Vertical bone augmentation utilizing a titanium-reinforced PTFE mesh: A multi-variate analysis of influencing factors. *Clinical Oral Implants Research*. 2021;32(7):828-39.
46. Sánchez-Sánchez J, Pickert FN, Sánchez-Labrador L, GF Tresguerres F, Martínez-González JM, Meniz-García C. Horizontal Ridge Augmentation: A Comparison between Khoury and Urban Technique. *Biology*. 2021;10(8):749.
47. Khoury F, Hanser T. Mandibular Bone Block Harvesting from the Retromolar Region: A 10-Year Prospective Clinical Study. *International Journal of Oral and Maxillofacial implants*. 2015;30:688-697.
48. Khoury F, Hanser T. Three-Dimensional Vertical Alveolar Ridge Augmentation in the Posterior Maxilla: A 10-year Clinical Study. *International Journal of Oral Maxillofacial Implants*. 2019;34(2):471-80.

49. Jeng MD, Chiang CP. Autogenous bone grafts and titanium mesh-guided alveolar ridge augmentation for dental implantation. *Journal of Dental Sciences*. 2020;15(3):243-8.
50. Xie Y, Li S, Zhang T, Wang C, Cai X. Titanium mesh for bone augmentation in oral implantology: current application and progress. *International Journal of Oral Sciences*.2020;12(1):1-12.
51. Chiapasco M, Casentini P, Tommasato G, Dellavia C, Del Fabbro M. Customized CAD/CAM titanium meshes for the guided bone regeneration of severe alveolar ridge defects: Preliminary results of a retrospective clinical study in humans. *Clinical Oral Implants Research*. 2021;32(4):498-510.
52. Artzi, Zvi; Dayan, Dan; Alpern, Yechiel; Nemcovsky, Carlos E. Vertical Ridge Augmentation Using Xenogenic Material Supported by a Configured Titanium Mesh: Clinicohistopathologic and Histochemical Study.*International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*.2003;18(3)440-46.
53. Gutta R, Baker RA, Bartolucci AA, Louis PJ. Barrier Membranes Used for Ridge Augmentation: Is There an Optimal Pore Size? *Journal of Oral Maxillofacial Surgery*. 2009;67(6):1218-25.
54. Alagl AS, Madi M. Localized ridge augmentation in the anterior maxilla using titanium mesh, an alloplast, and a nano-bone graft: a case report. *Journal of International Medical Research*. 2018;46(5):2001-7.
55. Briguglio F, Falcomatà D, Marconcini S, Fiorillo L, Briguglio R, Farronato D. The Use of Titanium Mesh in Guided Bone Regeneration: A Systematic Review. *International Journal of Dentistry*. 2019:1-8.
56. Corinaldesi, Giuseppe; Pieri, Francesco; Sapigni, Licia; Marchetti, Claudio. Evaluation of Survival and Success Rates of Dental Implants Placed at the Time of or After Alveolar Ridge Augmentation with an Autogenous Mandibular Bone Graft and Titanium Mesh: A 3- to 8-year Retrospective Study.*International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*.2009;24(6)1119-128.

Annexes

Annexe 1 : table des figures

Figure 1 : Organisation fonctionnelle de l'os [1].	17
Figure 2: Phases successives du remodelage osseux [2].	19
Figure 3 : Schématisation de la classification de Benic et Hämmerle [4].	21
Figure 4: Défaut osseux horizontal [4].	23
Figure 5: Défaut osseux vertical de classe 5 de la classification de Benic et Hämmerle [4].	25
Figure 6 : Phase d'apposition des blocs osseux autogènes avec fixation de ceux-ci par vis métalliques [4].	26
Figure 7: Application du substitut osseux sur le bloc osseux autogène [4].	26
Figure 8: Application de la membrane collagénique [4].	27
Figure 9: Pose des implants dans l'os néoformé à 6 mois postopératoires [4].	27
Figure 10 : Principe du vissage en compression [10].	32
Figure 11: Phase initiale de la cicatrisation des greffons [12].	33
Figure 12: Le principe PASS [29].	47
Figure 13: Les différentes familles de substituts osseux[38].	53
Figure 14 : Bio-oss® [41].	54
Figure 15 : Augmentation latérale de crête par la sausage technique®. De gauche à droite : Levée du lambeau, exposition du défaut horizontal- application du mélange 1 :1 os autogène/DBBM-application de la membrane- résultat à 6 mois post-opératoires [43].	58
Figure 16 : Largeur de crêtes [43].	59
Figure 17: Gain et perte osseuse [43].	60
Figure 18 : Perte osseuse en secteurs postérieurs et antérieurs post-cicatrisation d'augmentations osseuses horizontales par sausage technique® [43].	60
Figure 19 : Augmentation verticale utilisant une grille PTFE renforcée en titane. De haut en bas : perforation du site receveur – application du mélange et de la membrane – fixation de la membrane avec les broches titanes – résultat à 6 mois post-opératoires après retrait de la membrane [45].	62
Figure 20: Gain vertical absolu (mm) et gain vertical relatif (%) après augmentation osseuse verticale par membrane PTFE renforcée titane [45].	63
Figure 21: Résultats post-opératoires d'une augmentation verticale PTFE titane [45].	63
Figure 22: Gain vertical absolu et relatif au maxillaire [45].	64
Figure 23: Gain vertical absolu et relatif à la mandibule [45].	65
Figure 24 : Abord du site donneur pour prélèvement ramique. Cas clinique du Dr Mickaël Samama, avec son autorisation écrite.	69
Figure 25: Situation préopératoire ; la patiente présente une atrophie sévère du maxillaire de 12 à 22 à la fois verticale et horizontale. Cas clinique du Dr Mickaël Samama, avec son autorisation écrite.	69

<i>Figure 26: Exposition du maxillaire et présentation des objectifs. Cas clinique du Dr Mickaël Samama, avec son autorisation écrite.....</i>	<i>70</i>
<i>Figure 27: Mise en place du greffon vertical. Cas clinique du Dr Mickaël Samama, avec son autorisation écrite.....</i>	<i>70</i>
<i>Figure 28: Application du broyat osseux. Cas clinique du Dr Mickaël Samama, avec son autorisation écrite.</i>	<i>71</i>
<i>Figure 29: Résultat final du coffrage après fixations de tous les greffons. Cas clinique du Dr Mickaël Samama, avec son autorisation écrite.....</i>	<i>71</i>
<i>Figure 30: De gauche à droite : panoramique et CBCT de contrôle a quatre mois postopératoires. En dessous : visualisation du gain osseux. Les implants seront posés. Cas clinique du Dr Mickaël Samama, avec son autorisation écrite.....</i>	<i>72</i>
<i>Figure 31: Vue du défaut en situation préopératoire [54].....</i>	<i>75</i>
<i>Figure 32: De gauche à droite : levée du lambeau et mise en évidence du défaut ; adaptation et mise en place de la grille titane ; application du biomatériau[54].....</i>	<i>76</i>
<i>Figure 33: De gauche à droite : site à 5 mois postopératoires ; dépose de la grille titane ; pose de l'implant [54].....</i>	<i>76</i>

Annexe 2 : table des tableaux

<i>Tableau 1 : Définition des défauts de la classification de Benic et Hämmerle [4].</i>	<i>22</i>
<i>Tableau 2: Résultats de la méta-analyse concernant l'augmentation osseuse verticale en pré et post-opératoire [19].</i>	<i>39</i>
<i>Tableau 3: Comparaison des différentes augmentations osseuses [19].</i>	<i>40</i>
<i>Tableau 4: Méta-analyse de la prévalence des complications en % par intervention [19].....</i>	<i>42</i>
<i>Tableau 5: Gain vertical absolu en fonction du secteur, de l'âge, de la consommation de tabac, de la taille du défaut et de la cicatrisation [45].</i>	<i>66</i>

Thèse d'exercice : Chir. Dent. : Lille : Année 2023 – N°:

L'augmentation osseuse de nos jours : de la greffe osseuse d'apposition à la régénération osseuse guidée / **DEMETRIOU Lucas**. - p. (90) : ill. (33) ; réf. (56).

Domaines : chirurgie orale ; implantologie.

Mots clés Rameau : insuffisances osseuses verticales ; insuffisances osseuses horizontales ; chirurgie pré-implantaire ; implant

Mots clés FMeSH: Membranes ; os autogène ; substituts osseux ; greffe osseuse d'apposition ; régénération osseuse guidée ; grille titane ; sausage technique ; coffrage

Résumé de la thèse :

L'implantologie a connu un tremplin considérable ces dernières années. Cette discipline s'affirme comme une thérapeutique fiable.

Néanmoins, l'implantologie se heurte à un obstacle considérable qu'est l'insuffisance osseuse qui contre indique la pose implantaire en première intention. Une chirurgie pré-implantaire est alors nécessaire afin d'obtenir un volume osseux adéquat avec la pose implantaire. Nous nous sommes intéressés dans cette thèse aux nouvelles techniques de reconstruction osseuse.

Une première partie de rappels généraux sur la physiologie osseuse nous a permis de poser les bases.

La deuxième partie aborde les défauts osseux des maxillaires avec la classification de Benic et Hämmerle et leurs procédés de reconstruction.

La troisième partie aborde les deux concepts que sont la greffe osseuse d'apposition et la régénération osseuse guidée, les descriptions des procédés, les moyens mis à disposition comme les biomatériaux et membranes, les différentes techniques et les résultats.

La quatrième et dernière partie sera sous forme de discussion.

JURY :

Président : Monsieur le Professeur PASCAL BEHIN

Assesseurs : Monsieur le Docteur FRANCOIS BOSCHIN

Monsieur le Docteur XAVIER COUTEL

Monsieur le Docteur SALIM HAMOUCH