



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

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



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

UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD-LYON I  
U.F.R. D'ODONTOLOGIE

Année 2025

THÈSE N° 2026 LYO1D 006

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

Présentée et soutenue publiquement le 29 Janvier 2026

Par

Julie DEVISMES  
Née le 17/04/2001, à Saint Martin d'Hères

---

**COMPARAISON DE LA PRÉDICTIBILITÉ DE GAIN OSSEUX ET DE SUCCÈS  
ENTRE LA « TECHNIQUE SAUSAGE » SELON URBAN ET LA TECHNIQUE DE  
KHOURY.**

---

JURY

Monsieur le Professeur Christophe JEANNIN	Président
Monsieur le Professeur Arnaud LAFON	Assesseur
Monsieur le Professeur Olivier ROBIN	Assesseur
<u>Monsieur le Docteur Emmanuel PELLETIER</u>	<u>Assesseur</u>
Monsieur le Docteur Laurent VENET	Assesseur

# UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON I

<b>PRESIDENT DE L'UCBL</b>	Bruno LINA
<b>Directrice Générale des Services</b>	Séverine BATTIN

## VICE-PRESIDENTS ET VICE-PRESIDENTES ELUS

<b>Conseil d'Administration</b>	Sandrine CHARLES
<b>Commission de la Recherche du Conseil Académique</b>	Arnaud BRIOUDE
<b>Commission de la Formation et de la Vie Universitaire du Conseil Académique</b>	Julie-Anne CHEMELLE
<b>En charge des Ressources Humaines</b>	Fabien DE MARCHI
<b>En charge de la Transition Écologique et de la Responsabilité Sociétale</b>	Gilles ESCARGUEL
<b>En charge des Relations avec les Hospices Civils de Lyon et les Partenaires Hospitaliers</b>	Frédéric BERARD

## SECTEUR SANTE

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

## **SECTEUR SCIENCES ET TECHNOLOGIE**

Directrice de l'UFR Biosciences	Kathrin GIESELER
Directeur de l'UFR Faculté des Sciences	Olivier DEZELLUS
Directeur de l'UFR Sciences & Techniques des Activités Physiques et Sportives (STAPS)	Guillaume BODET
Directeur de Polytech Lyon	Jean-Baptiste POURET
Directeur de l'Institut Universitaire de Technologie Lyon 1 (IUT)	Michel MASSENZIO
Directeur de l'Institut des Science Financière & Assurances (ISFA)	Christian ROBERT
Directeur de l'Observatoire de Lyon	Emanuela MATTIOLI
Directeur de l'Institut National Supérieur du Professorat & de l'Éducation (INSPÉ)	Thierry TERRET
Directrice du Département-composante Génie Électrique & des Procédés (GEP)	Sophie CAVASSILA
Directrice du Département-composante Informatique	Saida BOUAZAK BRONDEL
Directeur du Département-composante Mécanique	Marc BUFFAT

## FACULTE D'ODONTOLOGIE DE LYON

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

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

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

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

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

Professeur des Universités-PH : M. Denis BOURGEOIS  
Maître de Conférences-PH : M. Bruno COMTE  
Maîtres de Conférences Associés : M. Laurent LAFOREST, Mme Valérie SZÖNYI

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

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

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

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

Professeure Émérite des Universités-PH : Mme Dominique SEUX

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

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

Professeur Associé M. Hazem ABOUELLEIL- SAYED

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



**SECTION 87 :**

Professeure des Universités :

**SCIENCES BIOLOGIQUES FONDAMENTALES ET CLINIQUES**

Mme Florence CARROUEL

01 octobre 2025

# REMERCIEMENTS

À notre Président du jury,

**Monsieur le Professeur Christophe JEANNIN,**

Professeur des Universités à l'UFR d'Odontologie de Lyon

Praticien Hospitalier Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble

Habilité à Diriger les Recherches

*Je tiens à vous exprimer mes sincères remerciements d'avoir accepté de présider ce jury. Je vous suis reconnaissante pour l'ensemble de l'enseignement que vous nous avez apporté durant toutes ces années d'études, et tout particulièrement lors de cette dernière année en polyclinique.*

*Je vous remercie également pour votre disponibilité, votre patience et le temps que vous nous avez consacré, ainsi que pour la passion que vous nous transmettez. Veuillez trouver ici l'expression de mes plus sincères remerciements et de ma profonde reconnaissance.*

À nos membres du jury de thèse,

**Monsieur le Professeur Arnaud LAFON,**

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

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université de Bourgogne

Ancien Interne en Odontologie

Spécialiste qualifié en Chirurgie Orale

Responsable du département pédagogique de Chirurgie Orale

Habilité à Diriger des Recherches

*Je vous remercie sincèrement d'avoir accepté de faire partie du jury de cette thèse. Je tenais à vous exprimer ma profonde reconnaissance pour l'enseignement que vous nous avez donné à la faculté et au sein de l'unité de chirurgie, où nous avons pu bénéficier de votre encadrement dès nos premières extractions.*

*Je vous remercie également pour votre disponibilité, le temps que vous nous avez accordé et l'intérêt que vous portez à la formation des étudiants. Je vous adresse mes plus sincères remerciements pour votre engagement et votre bienveillance.*

À nos membres du jury de thèse,

**Monsieur le Professeur Olivier ROBIN,**

Professeur des Universités à l'UFR d'Odontologie de Lyon

Praticien-Hospitalier Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur d'État en Odontologie

Doyen Honoraire de l'UFR d'Odontologie de Lyon

Habilité à Diriger des Recherches

*Je vous suis profondément reconnaissante d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse, malgré l'éloignement de mon sujet par rapport à vos enseignements.*

*Je vous remercie également pour l'ensemble des enseignements que vous nous avez transmis depuis la première année d'odontologie et tout au long de notre cursus, ainsi que pour votre engagement dans l'encadrement des thèses. Je vous remercie très sincèrement pour votre bienveillance et votre disponibilité.*

À notre directeur de thèse,

**Monsieur le Docteur Emmanuel PELLETIER,**

Chef de Clinique des Universités

Assistant hospitalier Docteur en Chirurgie Dentaire

Ancien Interne des Hôpitaux

*Je souhaite vous remercier sincèrement d'avoir accepté de diriger cette thèse malgré votre emploi du temps particulièrement chargé entre les différentes thèses, le centre de soins et votre activité en cabinet.*

*Je vous suis très reconnaissante pour la rigueur et le dévouement dont vous avez fait preuve dans la correction de ce travail, ainsi que pour votre disponibilité, vos arrangements et vos encouragements.*

*Je tiens également à vous remercier pour votre investissement en tant qu'enseignant au sein de l'unité de chirurgie, où votre aide a toujours été précieuse. Veuillez trouver ici l'expression de mes sincères remerciements et de ma profonde reconnaissance.*

À nos membres de jury de thèse,

**Monsieur le Docteur Laurent VENET,**

Praticien Hospitalier

Ancien Assistant Hospitalo-Universitaire

Ancien Chef de clinique

Docteur en Chirurgie Dentaire

Responsable du Diplôme Universitaire en Parodontologie et Implantologie Orale

*Je vous remercie grandement d'avoir accepté de faire partie du jury de cette thèse. Je tenais à vous exprimer ma gratitude pour l'enseignement que vous nous avez transmis à la faculté, lors des TP d'implantologie, ainsi qu'au sein du DUPIO grâce à l'optionnel en cinquième année, qui a contribué à développer mon intérêt pour l'implantologie.*

*Je vous remercie également pour votre patience, votre disponibilité et la clarté de vos explications. Veuillez trouver ici l'expression de mes plus sincères remerciements.*

## Table des matières

Table des abréviations : .....	13
<b>Introduction.</b> .....	<b>14</b>
<b>I. Principe de la chirurgie pré-implantaire.</b> .....	<b>14</b>
I.1. Contexte et évolution de l'implantologie. ....	14
I.2. Conséquences de l'extraction dentaire : résorption osseuse. ....	14
I.3. Remodelage osseux.....	16
I.4. Indications de l'augmentation osseuse.....	16
I.5. Contraintes biologiques et esthétiques. ....	18
I.6. Principes biologiques de la régénération et du remodelage osseux. ....	20
I.7. Les principes biologiques fondamentaux de la régénération osseuse : le concept PASS.....	23
I.8. Les principales techniques d'augmentation osseuse. ....	24
<b>II. Présentation des techniques de Khoury et « Sausage » selon Urban.</b> .....	<b>25</b>
<b>II.1. La technique du coffrage osseux selon Fouad Khoury.</b> .....	<b>25</b>
II.1.a. Principe général. (3) .....	25
II.1.b. Étapes opératoires. ....	25
II.1.c. Illustration clinique : reconstruction tridimensionnelle : la technique du coffrage 3D selon Khoury. ....	30
II.1.d. Aspect biologique de la cicatrisation : .....	31
II.1.e. Compétences requises. ....	32
<b>II.2. La « Sausage technique » d'Urban.</b> .....	<b>33</b>
II.2.a. Principe général de la régénération osseuse guidée (ROG). ....	33
II.2.b. La Sausage technique : une évolution de la ROG conventionnelle. ....	34
II.2.c. Les membranes : rôles et classification.....	34
II.2.d. Étapes opératoires. ....	36
II.2.e. Facteurs clés de réussite en ROG.....	38
<b>III. Succès selon chaque technique : résultats cliniques.</b> .....	<b>39</b>
<b>III.1. Gain osseux.</b> .....	<b>39</b>
III.1.a. Technique de Khoury. ....	39
III.1.b. Technique d'Urban (Sausage technique). ....	39
<b>III.2. Résorption du greffon.</b> .....	<b>40</b>
III.2.a. La résorption varie également selon les techniques : .....	40
III.2.b. Complications rapportées avec Khoury : .....	41
<b>III.3. Taux de survie des implants.</b> .....	<b>41</b>
<b>III.4. Comparaison avec la technique conventionnelle de ROG.</b> .....	<b>42</b>
<b>III.5. Principes fondamentaux pour un succès clinique.</b> .....	<b>42</b>
III.5.1. Principes biologiques et techniques généraux. ....	42

III.5.2. Spécificités de la technique d’Urban (Sausage technique).....	43
III.5.3. Spécificités de la technique de Khoury.....	43
III.5. 4. Apports complémentaires.....	43
<b>III.6. Satisfaction des patients.....</b>	<b>44</b>
<b>IV. Avantages et inconvénients.....</b>	<b>45</b>
<b>IV.1. Les complications en chirurgie osseuse.....</b>	<b>45</b>
IV.1.a. Les complications générales des greffes osseuses : (3).....	46
IV.1.b. Les complications spécifiques aux interventions de régénération osseuse.....	47
<b>IV.2. Technique de Khoury.....</b>	<b>48</b>
<b>Avantages.....</b>	<b>48</b>
<b>Inconvénients.....</b>	<b>48</b>
<b>IV.3. Technique de « Sausage », selon Urban.....</b>	<b>50</b>
<b>Avantages.....</b>	<b>50</b>
<b>Inconvénients.....</b>	<b>50</b>
<b>V. Arbre décisionnel selon les critères/ facteurs initiaux.....</b>	<b>51</b>
V.1. Cas particulier l’expansion de la crête.....	54
<b>VI. Discussion : la chirurgie guidée appliquée à l’augmentation osseuse.....</b>	<b>54</b>
<b>VII. Conclusion :.....</b>	<b>57</b>
<b>VIII. Bibliographie :.....</b>	<b>59</b>
<b>Table des Illustrations :.....</b>	<b>67</b>
<b>Table des Tableaux :.....</b>	<b>68</b>

## Table des abréviations :

<b>Abréviations</b>	<b>Signification</b>
ROG	Régénération osseuse guidée
BMPs	<i>Bone Morphogenetic Proteins</i> (= protéine morphogénétique osseuse)
TGF-β	<i>Transforming Growth Factor beta</i> (= facteur de croissance transformant bêta)
FDBA	<i>Freeze-Dried Bone Allograft</i> (= greffe osseuse allogénique lyophilisée)
DFDBA	<i>DeminerIALIZED Freeze-dried Bone Allograft</i> (= greffe osseuse allogénique déminéralisée et lyophilisée)
PASS	<i>Primary, Angiogenesis, Space maintenance, stability.</i> (= fermeture primaire, angiogénèse, maintien de l'espace, stabilité).
CBCT	<i>Cone Beam Computed Tomography</i> (= scanner)
PDGF	<i>Platelet-Derived Growth Factor</i> (= facteur de croissance dérivé des plaquettes)
RTG	Régénération Tissulaire Guidée
PTFE / ePTFE / d-PTFE	<i>Polytetrafluoroethylene / expanded Polytetrafluoroethylene / dense-Polytetrafluoroethylene</i> (= Polytétrafluoroéthylène : standard, expansé, dense)
PLA / PGA	<i>Polylactic Acid / Polyglycolic Acid</i> (polymère d'acide lactique / Polymère d'acide glycolique)
DBBM	<i>Deproteinized Bovine Bone Mineral</i> (= Minéral osseux bovin déprotéiné)
PRF	Platelet-rich Fibrin (= plasma riche en fibrine)
EVA	Échelle Visuelle Analogique
GOHAI	<i>General Oral Health Assessment Index</i> (= indice d'évaluation de la santé orale perçue)
AINS	Anti-Inflammatoires Non Stéroïdiens
CAD / CAM	<i>Computer-Aided Design / Computer-Aided Manufacturing</i> (conception et fabrication assistées par ordinateur)
IDR	<i>Immediate Dentoalveolar Restoration</i> (= restauration dento-alvéolaire immédiate)

# Introduction.

## I. Principe de la chirurgie pré-implantaire.

### I.1. Contexte et évolution de l'implantologie.

Depuis son apparition au début des années 1980, l'implantologie moderne connaît un développement continu et exponentiel. Cette évolution est liée à une meilleure connaissance des protocoles chirurgicaux et prothétiques, à l'amélioration des matériaux et des techniques opératoires, ainsi qu'à une formation accrue des praticiens et à une sensibilisation croissante du grand public. (1)

Parallèlement, les attentes des patients ont évolué : la demande pour des solutions fixes et esthétiques de remplacement dentaire ne cesse d'augmenter. (2) Face à ces exigences, l'implantologie doit relever de nouveaux défis et proposer des solutions adaptées à des situations cliniques de plus en plus complexes, notamment lorsque les volumes osseux disponibles sont insuffisants pour permettre la pose d'implants dans des conditions optimales.

### I.2. Conséquences de l'extraction dentaire : résorption osseuse.

En effet, la perte d'une dent après une extraction entraîne de nombreuses modifications adaptatives, notamment une altération progressive des dimensions de l'os alvéolaire. Au cours de la première année suivant une extraction, on observe une résorption osseuse marquée, pouvant atteindre jusqu'à 50 % dans le sens vestibulo-lingual, avec une perte d'environ 30 % de la largeur initiale de la crête au cours des trois premiers mois. Une résorption verticale est également présente. (3)

D'autres facteurs influencent cette perte de volume osseux. Une hygiène bucco-dentaire insuffisante favorise l'accumulation de plaque et l'inflammation des tissus péri-alvéolaires, accélérant la résorption osseuse après extraction. (4) Le tabagisme compromet la vascularisation locale et la cicatrisation, entraînant une diminution de la néoformation osseuse. (5) De plus, certaines pathologies systémiques, telles que le diabète mal équilibré, altèrent le métabolisme osseux et retardent les processus de régénération. (6)

En parallèle des facteurs biologiques, le contexte socio-économique joue également un rôle non négligeable. En effet, le coût des procédures de préservation alvéolaire (7) ou des implants dentaires peut conduire certains patients à différer le remplacement de la dent extraite. (8) Ce délai de prise en charge accentue la résorption osseuse naturelle du site alvéolaire, rendant ultérieurement la réhabilitation implantaire plus complexe et parfois nécessitant des procédures de greffe plus invasives et plus coûteuses. (9)

En pratique implantaire, le déficit de volume de la crête alvéolaire représente une difficulté courante, nécessitant une procédure d'augmentation osseuse avant ou pendant la pose implantaire. Une étude a rapporté qu'environ 45 % des cas ont nécessité une augmentation osseuse différée, tandis qu'environ 19 % ont pu bénéficier d'une augmentation simultanée. (10)

Les types de défauts ont été décrits par Cawood et al en 1988 à l'aide d'une classification radiologique simple : (11)

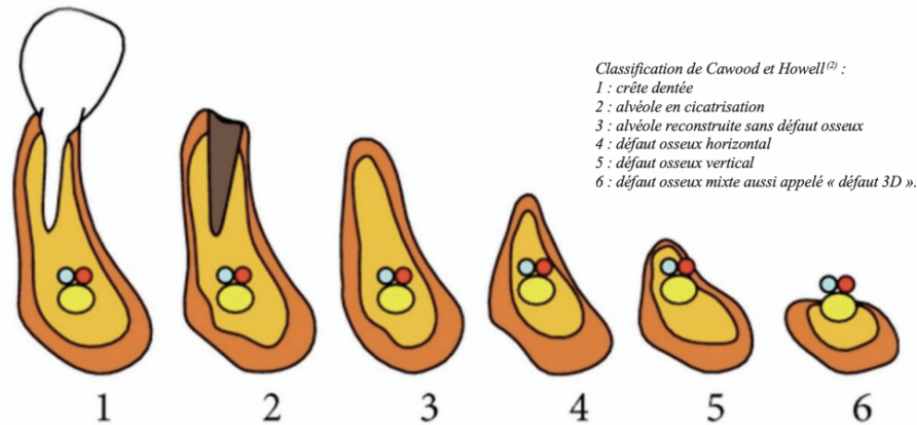


Figure 1 – Classification de Cawood et Howell (1988)

Cette classification décrit l'évolution morphologique des crêtes alvéolaires résorbées après une extraction dentaire. Elle repose sur des observations cliniques et radiographiques et distingue six stades, reflétant la progression de la résorption osseuse horizontale et verticale.

Tableau 1 – Explication de la classification de Cawood et Howell. (1988). (12)

Classe	Description	Caractéristiques cliniques et implications (13)
Classe I	Crête dentée	Présence de dents naturelles avec une architecture osseuse intacte, une hauteur et largeur normales.
Classe II	Alvéoles en cicatrisation	Stade post-extractionnel précoce : l'alvéole est encore en cours de comblement osseux et les contours alvéolaires sont encore visibles.
Classe III	Crête édentée sans défaut osseux	Crête cicatrisée, présentant une hauteur et une largeur suffisantes pour la pose d'implants sans recours à une greffe préalable.
Classe IV	Défaut osseux horizontal	Résorption prédominante dans le sens transversal : la crête devient fine, souvent en « lame de couteau ». Ce type de résorption est fréquent dans les secteurs antérieurs et peut nécessiter une régénération osseuse guidée (ROG) ou une greffe d'apposition.
Classe V	Défaut osseux vertical	Résorption prédominante dans le sens vertical, réduisant la hauteur osseuse et la distance disponible avec les structures anatomiques voisines (sinus maxillaire, canal mandibulaire). Ces situations exigent souvent une chirurgie plus complexe (greffe en onlay, élévation sinusienne, distraction osseuse).
Classe VI	Défaut osseux mixte (3D)	Stade le plus avancé de la résorption, associant des pertes horizontales et verticales. La crête devient plate, voire concave, compromettant la stabilité et la position idéale des implants. Ces cas nécessitent généralement des reconstructions tridimensionnelles majeures (greffes en blocs, techniques de Khoury, technique de « Sausage », etc.)

### I.3. Remodelage osseux.

Le remodelage osseux est un processus physiologique permanent permettant l'adaptation de l'os aux contraintes mécaniques et le renouvellement du tissu osseux. Il repose sur une succession ordonnée de 4 phases : (14)

1. **Résorption** : des ostéoclastes, issus de la différenciation des monocytes, détruisent l'os ancien.
2. **Inversion** : les macrophages nettoient le site et préparent la phase constructive.
3. **Formation** : les pré-ostéoblastes deviennent des ostéoblastes et déposent l'ostéoïde, matrice osseuse non minéralisée.
4. **Quiescence** : l'ostéoïde se minéralise pour devenir os lamellaire mature.

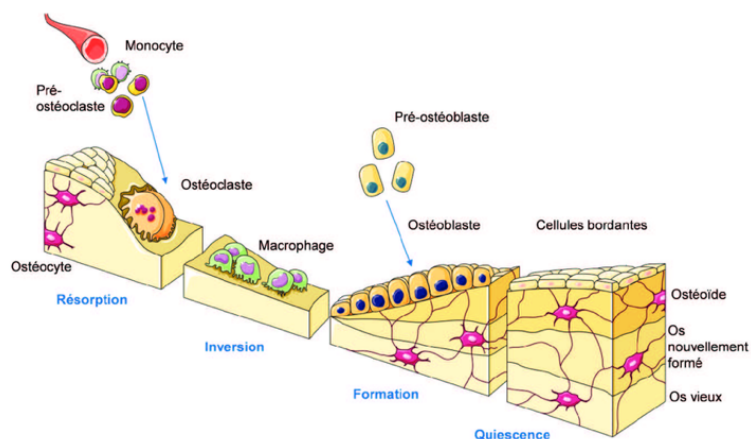


Figure 2 - Représentation schématique du site du remodelage osseux. (15)

Dans le cas des greffes osseuses, l'efficacité du remodelage conditionne l'intégration du greffon. La revascularisation rapide du site greffé est déterminante pour le recrutement des ostéoclastes et ostéoblastes. Une résorption excessive, non compensée par une formation osseuse suffisante, compromet le volume osseux disponible pour la pose d'implants. (16)

### I.4. Indications de l'augmentation osseuse.

L'augmentation osseuse est indiquée dans 4 situations principales :

1. **Lorsque le volume osseux existant ne permet pas le positionnement tridimensionnel idéal de l'implant.**

En effet, la position de l'implant doit répondre à des critères prothétiques, biologiques et esthétiques stricts. (17)

Lorsque la crête alvéolaire est trop fine ou résorbée, une régénération osseuse préalable est nécessaire pour rétablir les conditions anatomiques optimales.

Les repères tridimensionnels généralement admis pour le positionnement idéal de l'implant sont les suivants :

- Position vestibulo-palatine/lingual : l'implant doit être décalé d'environ 2 mm en palatin/lingual par rapport à l'émergence prothétique prévue, afin de préserver un volume osseux vestibulaire suffisant et d'assurer la stabilité du contour gingival. (17)

- Position apico-coronaire : La plateforme implantaire doit être placée 3 à 4 mm apicalement au collet de la future couronne. (18)

- Position mésio-distale : une distance d'au moins 1,5 à 2 mm entre l'implant et une dent adjacente, et de 3 mm entre deux implants doit être respectée afin de préserver l'os interproximal et la papille interdentaire. (17)

Ces paramètres visent à garantir un positionnement prothétique idéal et à préserver le volume osseux et gingival environnant.

## **2. Lorsque le volume osseux est insuffisant pour assurer une stabilité primaire adéquate :**

La stabilité primaire correspond à l'ancrage mécanique initial de l'implant dans l'os alvéolaire au moment de sa mise en place.

Elle dépend principalement de la quantité et de la densité osseuses disponibles, en particulier au niveau de la corticale vestibulaire, dont l'épaisseur et la densité conditionnent à la fois l'ancrage mécanique initial et la préservation des tissus mous à long terme. (19)

Une crête d'une épaisseur inférieure à 1,5 mm ne permet généralement pas d'obtenir un ancrage suffisant et expose à des micromouvements délétères durant la phase de cicatrisation. (20)

## **3. Lorsque la préservation du volume osseux à long terme est nécessaire au succès biologique et esthétique.**

Au-delà de la stabilité initiale, le succès à long terme dépend du maintien du volume osseux péri-implantaire.

Une épaisseur vestibulaire d'au moins 2 mm a été identifiée comme un seuil critique pour limiter le remodelage osseux péri-implantaire et maintenir la stabilité du contour gingival dans le temps. (21)

## **4. Lorsque des exigences esthétiques élevées sont requises, notamment dans le secteur antérieur.**

L'esthétique des restaurations implantaires dépend étroitement de la relation tridimensionnelle entre l'implant et l'os environnant, qui conditionne la position et le soutien des tissus mous. (17) (18)

Un volume osseux vestibulaire suffisant, d'au moins 2 mm d'épaisseur, est indispensable pour prévenir la résorption osseuse marginale autour de l'implant et maintenir un contour gingival harmonieux. (17)

Ce volume soutient directement la gencive marginale et prévient la translucidité ou la rétraction tissulaire qui compromettraient le résultat esthétique.

Un autre facteur déterminant est la présence et la hauteur de la papille interdentaire, élément clé de l'esthétique du sourire.

Sa préservation dépend de plusieurs paramètres :

- le niveau osseux de la dent ou de l'implant adjacent,
- le volume et la qualité du tissu conjonctif interproximal,
- et le soutien proximal prothétique assuré par les restaurations prothétiques. (22)

Lorsqu'un implant est placé à proximité d'une dent naturelle, la hauteur de la papille dépend principalement de l'attache osseuse de la dent adjacente : si la distance entre le point de contact et la crête osseuse est inférieure ou égale à 5 mm, la papille est présente dans presque 100 % des cas. (23)

En revanche, entre deux implants, la situation est moins favorable : la hauteur de la papille est limitée par la quantité d'os inter-implantaire disponible.

Tarnow et al. (2000) ont montré que si la distance inter-implantaire est inférieure à 3 mm, une résorption de la crête osseuse est inévitable, entraînant une perte de la papille. (24)

Ainsi un espacement d'au moins 3 mm entre deux implants doit être respecté pour conserver un profil gingival naturel. (17)

En résumé, l'esthétique péri-implantaire repose sur la préservation du volume osseux vestibulaire et du capital osseux interproximal, qui constituent le support biologique nécessaire à la stabilité des tissus mous dans le temps. (17)

## I.5. Contraintes biologiques et esthétiques.

Une résorption osseuse est également inévitable après la mise en fonction de l'implant, se manifestant par une perte osseuse moyenne de 1,5 à 2 mm verticalement et de 1,3 à 1,4 mm horizontalement. La position de l'implant doit donc être rigoureusement respectée : une distance minimale de 1,5 mm doit être maintenue entre un implant et une dent adjacente, et de 3 mm entre deux implants. (17)

Dans cette optique, le positionnement sous-crestal des implants, c'est-à-dire placé de 0,5 à 2 mm en dessous du niveau osseux, a été proposé afin de compenser la résorption osseuse marginale physiologique observée après la mise en fonction. (25)

Cette approche favorise la stabilité du tissu osseux et gingival, à condition que la connexion implant-pilier soit étanche et que le volume osseux vestibulaire soit suffisant. (26)

Néanmoins, un positionnement excessivement apical augmente le risque de perte osseuse secondaire et de difficultés d'entretien, ce qui impose une planification individualisée selon la morphologie osseuse et le type d'implant utilisé. (27)

Des alternatives à la chirurgie pré-implantaire existent, notamment l'utilisation d'implants courts ou de diamètre étroit, permettant d'éviter une augmentation osseuse verticale ou horizontale dans certaines situations cliniques. (28) Cependant, ces solutions ne correspondent pas toujours au projet prothétique idéal, notamment en termes d'axe d'émergence et de distribution des contraintes.

Dans les atrophies osseuses sévères, d'autres options peuvent être envisagées, telles que les implants sous-périostés de nouvelle génération, réalisés par impression 3D à partir de données CBCT, et offrant une alternative potentiellement moins invasive que les reconstructions osseuses complexes chez des patients présentant une hauteur osseuse résiduelle extrêmement réduite. (29)

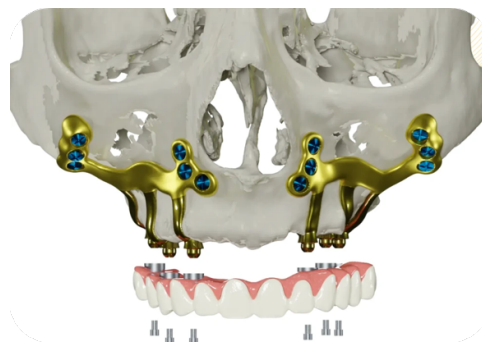


Figure 3 -Schéma d'Implants sous périostés (30)

Les implants zygomatiques, constituent, quant à eux, une solution fiable dans les cas d'atrophie maxillaire postérieure avancée, en assurant un ancrage au niveau du processus zygomatique plutôt que dans la crête alvéolaire. (31)

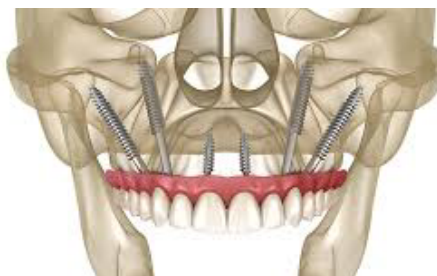


Figure 4 – Schéma d'implants zygomatiques (32)

Bien que ces techniques permettent d'éviter une greffe osseuse, leurs indications restent limitées à des situations anatomiques précises et nécessitent une planification numérique rigoureuse ainsi qu'une expertise chirurgicale élevée.

## I.6. Principes biologiques de la régénération et du remodelage osseux.

La réussite d'une reconstruction osseuse repose sur la compréhension des mécanismes biologiques impliqués dans la cicatrisation et la régénération osseuse.

3 phénomènes essentiels sont distingués :

**-L'ostéoconduction** : elle correspond au rôle de support tridimensionnel joué par le matériau de greffe ou la matrice osseuse résiduelle. Celui-ci constitue une armature le long de laquelle les cellules osseuses vont migrer et déposer de l'os néoformé. Les biomatériaux ostéoconducteurs doivent présenter une structure poreuse adéquate, favorisant la colonisation cellulaire et l'apposition osseuse. Idéalement, le matériau doit se résorber progressivement afin d'être remplacé par de l'os vital. (33)

**-L'ostéoinduction** : il s'agit de la stimulation de cellules mésenchymateuses indifférenciées du site receveur, qui se différencient en ostéoblastes sous l'influence de facteurs de croissance, notamment les *Bone Morphogenetic Proteins* (BMPs). Ces protéines, appartenant à la famille du TGF- $\beta$ , déclenchent la prolifération et la différenciation cellulaire, jouant un rôle clé dans la néoformation osseuse à proximité du greffon. (3)

**-l'ostéogenèse** : elle correspond à la capacité intrinsèque de cellules osseuses vivantes transplantées à former directement de l'os. Seule l'autogreffe, contenant des ostéoblastes et des cellules ostéoprogénitrices viables, possède cette propriété, ce qui explique son statut de matériau de référence (« gold standard »). (3)

Les autres biomatériaux (allogreffes, xéno-greffes, matériaux synthétiques) n'offrent qu'une ostéoconduction, voire une ostéoinduction partielle, sans potentiel ostéogénique direct. (34)

Au niveau mandibulaire, l'os cortico-spongieux présente une portion limitée de cellules ostéoproductrices (ensemble des cellules impliquées dans la formation de tissu osseux), ce qui réduit la part d'ostéogenèse directe (10 à 15% de la régénération totale). La reconstruction osseuse dépend principalement de la vascularisation et de la colonisation cellulaire issues de l'os receveur, faisant de l'ostéoconduction le mécanisme prédominant. (3)

Les matériaux de greffe peuvent être classés selon leur origine :

**-Autogènes** : os prélevé directement chez le patient, au niveau de sites intra-oraux (menton, ramus mandibulaire, tubérosité) ou extra-oraux (crête iliaque), selon le volume requis.

Il s'agit du seul matériau possédant simultanément les 3 propriétés biologiques essentielles à la régénération osseuse :

- ostéoconducteur, en favorisant une trame minérale favorisant la croissance du nouvel os,
- ostéoinducteur, par la libération de protéines morphogénétiques osseuses (BMP) stimulant la différenciation cellulaire,
- ostéogénique, grâce à la présence de cellules ostéoprogénitrices et d'ostéoblastes vivants. (35)

Ses principales limites résident dans le volume disponible, la morbidité du site donneur et une résorption plus rapide que celle observée avec les matériaux substitutifs.

Malgré ces contraintes, l'os autogène reste le « gold standard » en régénération osseuse, en particulier pour la reconstruction des défauts tridimensionnels complexes, lorsqu'un fort potentiel de régénération est requis. (36)

-**Allogéniques** : os humain, provenant d'un donneur vivant ou cadavérique, généralement issu de prélèvements réalisés lors d'interventions orthopédiques, telles que des prothèses totales de hanche. L'os est ensuite préparé et traité (lyophilisation, déminéralisation, stérilisation) puis conservé dans des banques de tissus certifiées garantissant une sécurité optimale. (37)

Il existe deux types principaux d'allogreffes :

-**FDDBA** (*Freeze-Dried Bone Allograft*) : os lyophilisé minéralisé, agissant comme un matériau ostéoconducteur.

-**DFDBA** (*Demineralized Freeze-Dried Bone Allograft*) : os lyophilisé déminéralisé, libérant des protéines morphogénétiques osseuses (BMP) et présentant un potentiel ostéoinducteur partiel.

L'allogreffe n'est jamais ostéogénique, car elle ne contient plus de cellules vivantes après traitement.

Elle offre toutefois une trame histologique similaire à celle de l'os spongieux receveur, favorisant une bonne intégration et une ostéoconduction efficace, à condition d'une traçabilité stricte et d'un contrôle rigoureux des donneurs. (35)

-**Xénogéniques** : os d'origine animale, le plus souvent bovine (ex. : Bio-Oss®, Geistlich) ou porcine (ex : OsteoBiol® Gen-Os®, Tecnos), présentant une structure minérale et une porosité proches de celles de l'os humain.

Les xéno-greffes porcines conservent une matrice collagénique native, ce qui améliore leur maniabilité et leur interaction avec les tissus mous. (38)

Ces matériaux sont obtenus à partir d'os déprotéinisés et décellularisés, rigoureusement traités afin d'éliminer tout risque immunologique ou infectieux. Après purification, il ne subsiste que la matrice minérale inorganique composée d'hydroxyapatite, conférant au matériau une excellente ostéoconductivité.

L'os xénogénique est donc un matériau ostéoconducteur, servant de trame à la néoformation osseuse et favorisant la migration des cellules ostéoprogénitrices à partir de l'os receveur. Il ne possède ni propriétés ostéogéniques ni ostéoinductrices, mais permet de maintenir le volume osseux grâce à une résorption lente et contrôlée. (35)

**-Alloplastiques (ou matériaux synthétiques)** : matériaux entièrement synthétiques, produits par voie industrielle, destinés à imiter la structure et la composition de l'os naturel. Ils sont biocompatibles, résorbables à des vitesses variables, et dépourvus de tout risque de transmission infectieuse ou immunologique.

Ces matériaux sont exclusivement ostéoconducteurs, c'est-à-dire qu'ils servent de trame à la néoformation osseuse, en permettant la migration et la prolifération des cellules ostéoprogénitrices à partir du site receveur. Ils ne possèdent ni propriétés ostéogéniques ni ostéoinductrices. (35)

Ils présentent plusieurs avantages, tels qu'une disponibilité illimitée, un coût modéré, l'absence de morbidité du site donneur, une excellente tolérance biologique et une grande maniabilité.

Cependant, ils comportent également certaines limites, notamment l'absence de potentiel ostéoinducteur ou ostéogénique, une résorption parfois trop rapide (comme avec le sulfate de calcium) ou, au contraire, trop lente (comme avec l'hydroxyapatite dense), ainsi qu'une résistance mécanique limitée, ne permettant pas d'assurer un rôle de soutien structurel important.

Ces substituts sont particulièrement indiqués pour le comblement de petits à moyen défaut osseux, notamment en préservation alvéolaire, en élévation sinusienne ou en régénération osseuse guidée (ROG). Ils peuvent également être utilisés en association avec de l'os autogène afin de combiner stabilité volumétrique et vitalité cellulaire. (35)

Tableau 2 – Comparaison des potentialités ostéogéniques, ostéoinductrices et ostéoconductrices selon le type de greffon. (39) et (3)

Matériaux	Ostéogénique	Ostéoinducteur	Ostéoconducteur
<b>Os autogène</b> (os provenant du même patient)	+	+	+
<b>Os allogénique</b> (os provenant d'un autre patient)	-	+/-	+
<b>Os xénogénique</b> (os provenant d'un animal)	-	-	+
<b>Os synthétiques (alloplastiques)</b>	-	-	+

## I.7. Les principes biologiques fondamentaux de la régénération osseuse : le concept PASS.

Le succès des techniques de reconstruction osseuse repose sur le respect de 4 principes biologiques universels, regroupés sous l'acronyme PASS, décrit par Wang et Boyapati (2006) (40) :

-**P** : *Primary closure* : fermeture primaire hermétique et sans tension des tissus mous, garantissant une cicatrisation de première intention.

-**A** : *Angiogenesis* : stimulation de l'angiogenèse et maintien d'un apport vasculaire adéquat, essentiels à la survie cellulaire et à la formation osseuse.

-**S** : *Space maintenance* : maintien d'un espace régénératif stable, condition indispensable à la néoformation osseuse.

-**S** : *Stability* : stabilité mécanique du caillot, du greffon et des tissus environnants. La stabilité est primordiale : tout mouvement du greffon compromet la régénération en favorisant la formation de tissu fibreux au détriment de l'os. (36)

## I.8. Les principales techniques d'augmentation osseuse.

Plusieurs techniques de régénération osseuse ont alors été développées (3) :

**-Les greffes osseuses autogènes** : elles reposent sur le prélèvement d'os chez le patient lui-même. Les prélèvements peuvent être réalisés à partir de sites intra-oraux, tels que la symphyse mentonnière ou la zone rétromolaire ramique, offrant l'avantage d'une faible morbidité et d'une proximité avec le site receveur.

En cas de besoin de volume osseux plus important, des sites extra-oraux peuvent être sollicités, notamment la crête iliaque, le calvarium ou le tibia. Toutefois, ces prélèvements, historiquement utilisés pour les reconstructions majeures, sont aujourd'hui très rarement pratiqués en chirurgie pré-implantaire en raison de leur morbidité élevée, de la douleur postopératoire et de la nécessité d'une hospitalisation. Les techniques modernes de régénération osseuse guidée et les prélèvements intra-osseux permettent en effet d'obtenir des résultats comparables avec une morbidité moindre. (34)

**-la régénération osseuse guidée (ROG)** : cette technique repose sur le principe de l'exclusion cellulaire sélective, utilisant des substituts osseux (autogènes, allogéniques, xénogéniques ou synthétiques) associés à une membrane barrière (résorbable ou non résorbable), permettant d'isoler le site de régénération des tissus mous et de favoriser la néoformation osseuse dans un espace protégé et stable. (41)

**-les greffes avec dispositifs de maintien d'espace** : elles utilisent des plaques de titane, des vis d'appui ou filets ou mailles en titane afin de préserver le volume de régénération et d'assurer la stabilité du matériau de comblement, facteur clé du succès de la cicatrisation osseuse. (42)

**-les techniques d'expansion osseuse** : elles consistent à augmenter la largeur de la crête alvéolaire par des ostéotomies contrôlées des corticales. Elles sont aujourd'hui réservées à des indications limitées et restent peu utilisées en pratique clinique. (43)

**-la distraction osseuse** : cette méthode repose sur la création et l'allongement progressif d'un cal conjonctif par traction mécanique, induisant une néoformation osseuse vascularisée. Initialement développée en chirurgie orthognathique (Le Fort I), cette technique occupe aujourd'hui une place marginale en chirurgie pré-implantaire et reste réservée à des cas très sélectionnés. (44)

Parmi les différentes techniques d'augmentation horizontale, les plus couramment rapportées dans la littérature sont la régénération osseuse guidée (ROG) et la technique du coffrage autogène décrite par Khoury, en raison de leur prédictibilité clinique, de leur morbidité réduite et de leurs résultats stables à long terme. (45)

## II. Présentation des techniques de Khoury et « Sausage » selon Urban.

### II.1. La technique du coffrage osseux selon Fouad Khoury.

#### II.1.a. Principe général. (3)

La technique développée par Fouad Khoury repose sur l'utilisation de blocs osseux autogènes, prélevés directement sur le patient. Ces prélèvements, généralement réalisés au niveau de la symphyse mandibulaire ou du ramus mandibulaire, sont ensuite affinés en lamelles corticales destinées à reconstruire la crête osseuse atrophiée.

En créant un compartiment fermé, délimité par ces lamelles, la technique de Khoury agit comme un véritable coffrage osseux horizontal ou tridimensionnel, dans des conditions optimales pour la pose d'implants.

#### II.1.b. Étapes opératoires.

##### II.1.b.1. Phase préopératoire.

-Avant toute intervention, un diagnostic préopératoire est établi : il convient de tenir compte des contre-indications locales et systémiques. Les patients doivent être informés des avantages et des inconvénients mais aussi des risques d'échecs, de la possibilité d'une seconde intervention, ainsi que des complications per- et post-opératoires. (3)

-Un examen clinique et radiologique (radiographie panoramique et CBCT) est réalisé afin de déterminer le site de prélèvement et d'évaluer la proximité des structures anatomiques sensibles (canal mandibulaire, foramen mentonnier, racines dentaires). (3)

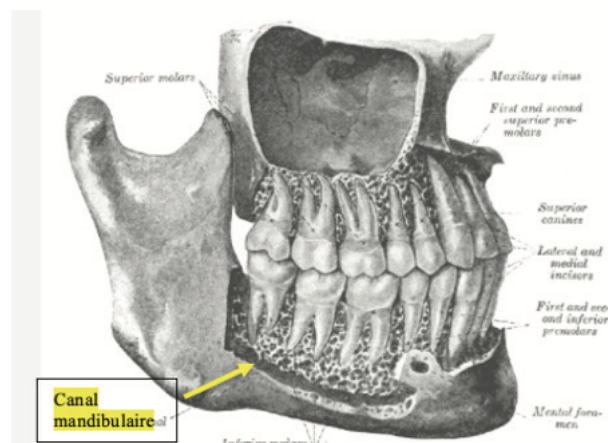


Figure 5 – Schéma du nerf alvéolaire inférieur dans le canal mandibulaire et ses bifurcations (46)

-Une prescription médicamenteuse est donnée avant l'intervention. La prise d'antibiotiques est recommandée : (47) 2 g d'amoxicilline 1h avant l'intervention (sauf en cas d'allergie) (48), puis poursuivie pendant 7 jours.

Une corticothérapie courte est fréquemment prescrite (généralement à base de prednisone 1 mg/kg/j, pendant 3 à 4 jours, à débiter la veille de l'intervention).

Un antalgique de palier I est prescrit en première intention (paracétamol 1 g toutes les 6h, selon les besoins) et en cas de douleur modérée à intense, un antalgique de palier II peut être ajouté, tel que le paracétamol codéiné (500 mg de paracétamol et 30 mg de codéine : 1 comprimé toutes les 6h). (49) Enfin, un antiseptique buccal (type chlorhexidine 0,12 à 0,2 %) est recommandé 2 fois par jour pendant 7 à 10 jours pour prévenir l'infection locale.

### II.1.b.2. Prélèvement osseux.

-Le prélèvement osseux est réalisé en fonction du défaut à reconstruire. Il est généralement effectué au niveau de la symphyse ou du ramus mandibulaire (sur la ligne oblique externe ou dans la région rétromolaire postérieure).

Les greffons mandibulaires, majoritairement corticaux, présentent une excellente stabilité dimensionnelle et un faible taux de résorption. (3)

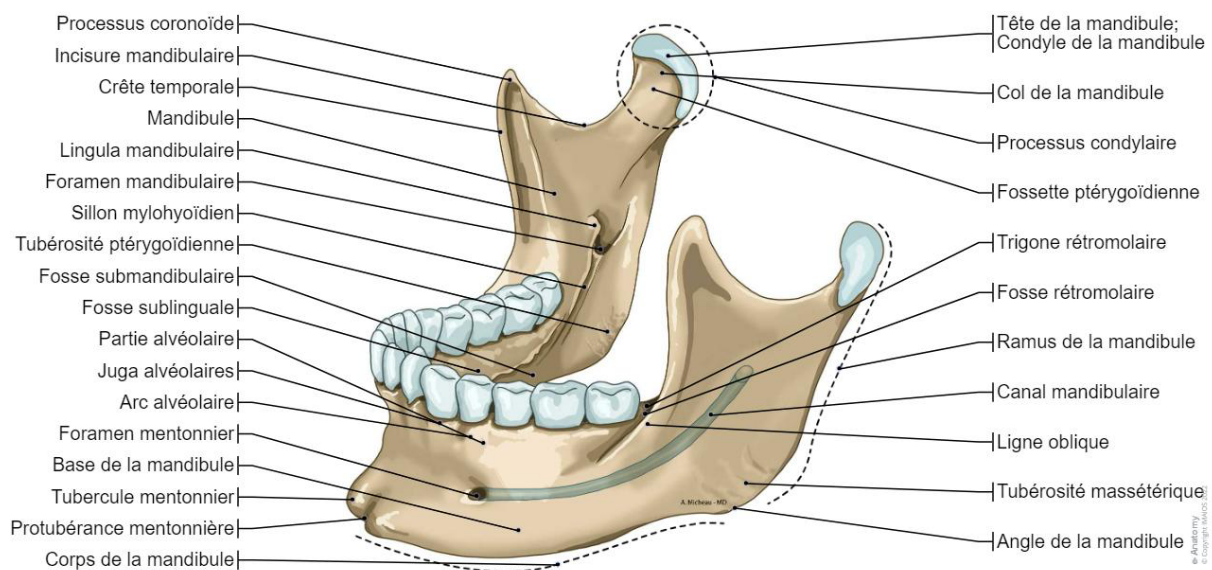


Figure 6 – Schéma de la mandibule (50)

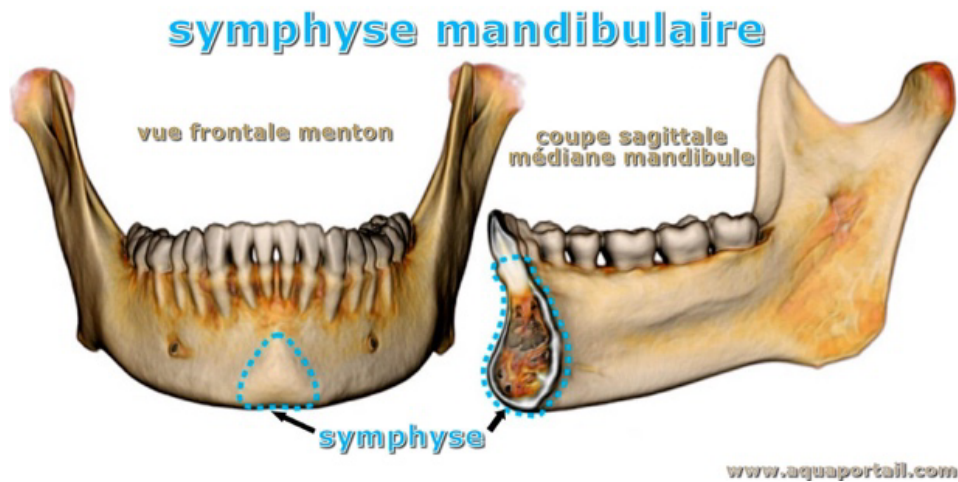


Figure 7-Schéma montrant la symphyse mandibulaire (51)

**Exemple d'un prélèvement au niveau de la ligne oblique externe :**

-Après une incision trapézoïdale et le décollement d'un lambeau muco-périosté (similaire à celui réalisé lors de l'avulsion d'une dent de sagesse incluse), les structures osseuses au niveau de la ligne oblique externe sont exposées. L'os est mis à nu sur une longueur de 3 à 4 cm et une hauteur d'environ 2 cm. (3)

-Le greffon est ensuite prélevé à l'aide d'une MicroSaw, dont l'utilisation a été décrite par Khoury en 1984. Il s'agit d'un disque rotatif de 8 mm de diamètre et de 0,25 mm d'épaisseur, muni d'un carter de protection destiné à éviter les lésions des tissus mous. La profondeur de coupe correspond à environ 3,2 mm, ce qui reste compatible avec l'épaisseur moyenne de la mandibule (3,8 à 5,7 mm entre la corticale vestibulaire et le canal mandibulaire en zone rétromolaire). (3)



Figure 8-image d'une MicroSaw (52)



Figure 9-MicroSaw avec son carter de protection (3)

-La taille du bloc prélevé dépend de l'étendue de la ligne oblique externe et du volume osseux nécessaire. Trois lignes d'ostéotomies sont réalisées à l'aide de la *MicroSaw* : deux verticales et une horizontale basale. La quatrième ostéotomie crestale est effectuée avec un foret *drill* de 1 mm de diamètre, plus maniable. Les deux ostéotomies verticales sont ensuite reliées en occlusal par des perforations de 3 à 4 mm de profondeur. Le bloc osseux est délicatement mobilisé à l'aide d'un ciseau à os et de légères percussions contrôlées, jusqu'à sa luxation latérale complète. (3)



Figure 10 – Ostéotomie verticale distale à l'aide la *MicroSaw* montée sur pièce à main .(53)

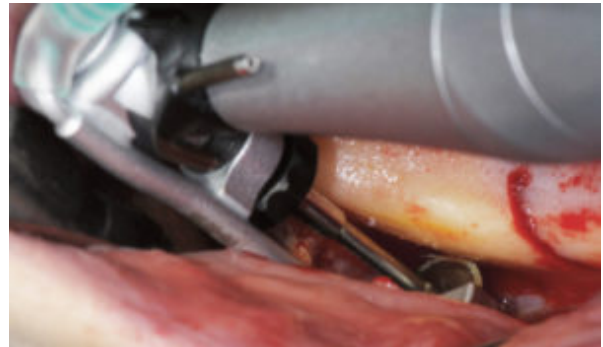


Figure 11 – Ostéotomie horizontale à l'aide de la *MicroSaw* montée sur contre-angle .(53)

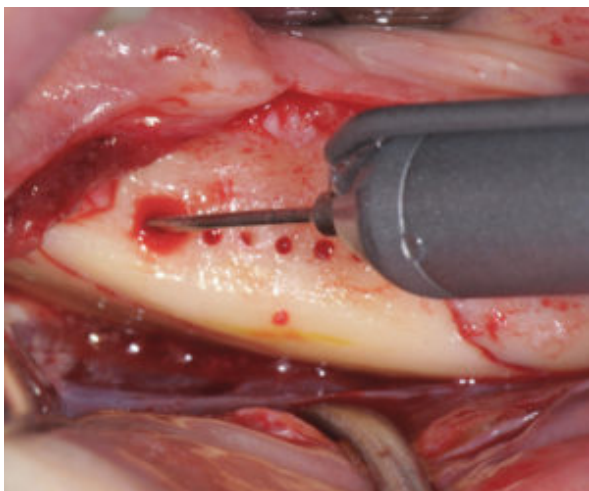


Figure 12 – Perforations occluso-crestales à l'aide du foret *drill* monté sur pièce à main. (53)

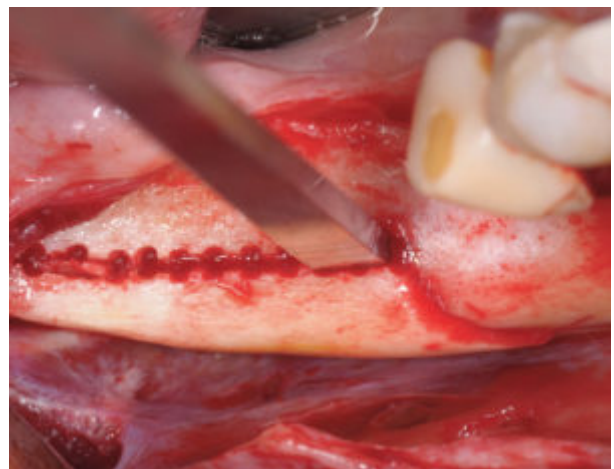


Figure 13 – Luxation du bloc osseux au ciseau à os. (53)

### II.1.b.3. Préparation du greffon.

-Une fois le prélèvement réalisé, le site donneur est suturé par des points simples. Le bloc est ensuite affiné et sectionné en deux dans son épaisseur, puis les copeaux osseux sont récoltés à l'aide d'un récupérateur d'os type Safescraper™. (54)

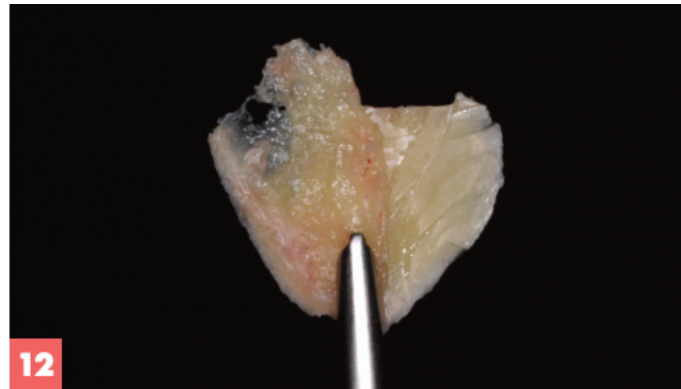


Figure 14 – prélèvements osseux séparés en deux. (54)

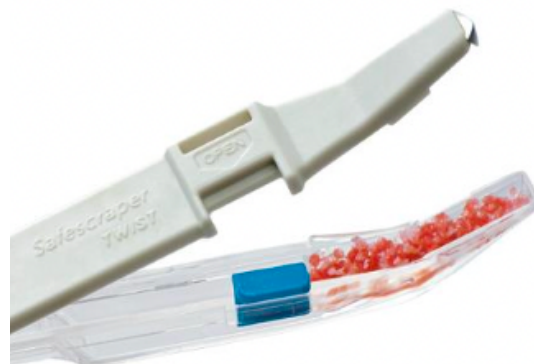


Figure 15 – Image d'un récupérateur d'os type safescraper™ (54)

-Les plaquettes affinées constituent non seulement une membrane biologique rigide, mais surtout un véritable coffrage osseux tridimensionnel (*scaffold*), délimitant l'espace de régénération. Cet espace, comblé par des copeaux osseux autogènes, favorise la croissance osseuse par ostéoconduction et assure la stabilité mécanique indispensable à la néoformation osseuse. (36)

Cette architecture illustre parfaitement l'application des principes biologiques du concept PASS (*Primary closure, Angiogenesis, Space maintenance, Stability*), garantissant une stabilité mécanique adéquate, une vascularisation optimale et une cicatrisation osseuse prédictible. (40)

### II.1.c. Illustration clinique : reconstruction tridimensionnelle : la technique du coffrage 3D selon Khoury.

Une fois les fragments osseux prélevés et séparés en deux, plusieurs techniques d'augmentation peuvent être envisagées. Dans le cas de déficits osseux horizontaux et verticaux, une reconstruction tridimensionnelle est réalisée :

-L'intervention débute par une incision crestale, centrée au niveau de la crête alvéolaire, associée à une incision de décharge vestibulaire. (55)

-Une fois la zone exposée, la surface osseuse est soigneusement préparée par l'élimination du périoste au niveau du site receveur, afin d'obtenir un contact os-os direct et favoriser la revascularisation du greffon. (3)

-Les deux blocs osseux prélevés sont ensuite fixés à l'aide de vis d'ostéosynthèse : l'un reconstruit la paroi osseuse vestibulaire, l'autre la paroi linguale ou palatine.

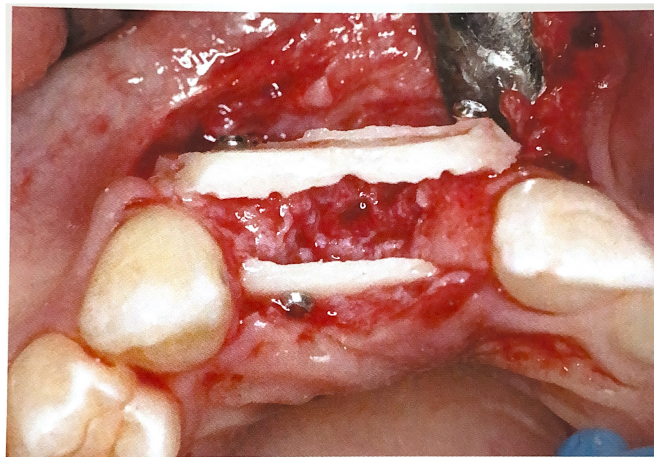


Figure 16 – Photo d'une reconstruction 3D avec les deux lamelles. (3)

-L'espace résiduel entre le site receveur et les blocs est comblé par de l'os autogène particulé.

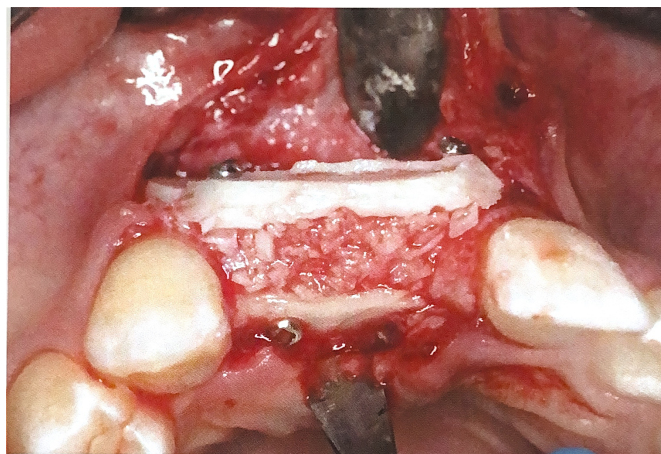


Figure 17 – Photo de l'espace entre les blocs comblé par de l'os cortical concassé et de spongieux. (3)

-Pour finir, une fermeture muqueuse hermétique est réalisée afin de protéger la greffe. Cette configuration assure une stabilité mécanique optimale et crée un environnement fermé propice à la régénération osseuse.

Grâce à ces propriétés l'os autogène nécessite un temps de cicatrisation court (environ 4 mois). Les vis d'ostéosynthèse sont ensuite retirées et les implants peuvent être placés. (54)

Il est recommandé d'associer à ce type de reconstruction des greffes de tissu conjonctif afin d'améliorer l'épaisseur et la qualité des tissus mous péri-implantaires.

Cette optimisation du volume muqueux favorise une couverture stable du site greffé, réduit le risque d'exposition des lamelles corticales et contribue à une meilleure intégration esthétique et biologique du futur implant. (56)

Enfin, une alimentation molle doit être conseillée durant les 4 à 6 premières semaines postopératoires, afin de limiter les contraintes mécaniques sur le site donneur et de prévenir les fractures mandibulaires, particulièrement en cas de prélèvement volumineux.

Cette précaution s'accompagne d'une hygiène bucco-dentaire rigoureuse, de rinçages à la chlorhexidine, et d'une restriction des efforts mandibulaires (mastication, port de prothèse, activité physique intense) pendant la phase initiale de cicatrisation. (3)

#### II.1.d. Aspect biologique de la cicatrisation :

Après la mise en place des lamelles corticales, la cicatrisation osseuse repose sur la colonisation du compartiment régénératif par les cellules ostéoprogénitrices issues du site receveur.

Les lamelles, considérées comme un matériau ostéoconducteur, servent de coffrage tridimensionnel (*scaffold*) maintenant l'espace et guidant la néoformation osseuse.

Le greffon particulaire autogène comblant l'espace entre les lamelles et le site receveur constitue la principale source d'ostéogenèse active.

Le traumatisme chirurgical induit une réaction inflammatoire contrôlée, entraînant la libération de facteurs de croissance (tels que le PDGF et le TGF- $\beta$ ), qui stimulent la prolifération cellulaire, l'angiogenèse, et donc la formation d'un tissu osseux néoformé bien vascularisé.

Cette dynamique simultanée de résorption et d'apposition osseuse aboutit à la substitution progressive du matériau de comblement par de l'os vital, assurant une intégration biologique stable et durable du volume reconstruit. (3)

### II.1.e. Compétences requises.

La technique du coffrage osseux selon Khoury exige une expertise chirurgicale avancée, combinant rigueur technique et compréhension fine des principes biologiques de la régénération osseuse.

Elle requiert une parfaite maîtrise des instruments de prélèvement osseux, notamment la *MicroSaw* et les systèmes piézoélectriques, afin de minimiser les risques de fracture du greffon ou de lésion nerveuse. (57)

Le praticien doit être capable de :

- évaluer précisément le site donneur à l'aide d'examens radiographiques 3D pour éviter les complications anatomiques (canal mandibulaire, foramen mentonnier),
- réaliser un prélèvement atraumatique, en respectant la morphologie mandibulaire et la profondeur corticale,
- préparer et affiner les lamelles corticales sans les fragiliser, garantissant leur adaptation parfaite au site receveur,
- fixer les lamelles avec une stabilité absolue, condition essentielle à la réussite biologique selon le principe PASS.
- Et gérer les tissus mous pour obtenir une fermeture primaire sans tension, souvent renforcée par une greffe conjonctive destinée à améliorer l'épaisseur muqueuse et prévenir l'exposition des lamelles.

La courbe d'apprentissage de cette technique est considérée comme relativement longue, en raison de la précision requise dans la manipulation des lamelles fines et la gestion tridimensionnelle du site greffé.

Cependant lorsqu'elle est réalisée dans les règles, la technique de Khoury offre une résorption minimale du greffon, une stabilité volumétrique durable et des résultats cliniques hautement prévisibles, tant en reconstruction horizontale que verticale, comme le confirment de nombreuses études cliniques. (58)

## II.2. La « Sausage technique » d'Urban.

### II.2.a. Principe général de la régénération osseuse guidée (ROG).

La régénération osseuse guidée (ROG) est une approche chirurgicale fondée sur le principe d'exclusion cellulaire, introduit initialement par Nyman et ses collaborateurs en 1982 dans le traitement des défauts parodontaux.

Leurs travaux ont montré que la vitesse de migration cellulaire détermine la nature du tissu cicatriciel. En l'absence de barrière, les cellules épithéliales et fibroblastiques, à prolifération rapide, colonisent rapidement la zone opérée, empêchent la régénération des tissus spécialisés tels que l'os, le ciment et le ligament parodontal. (41)

Pour contrôler ce phénomène, Nyman et Dahlin ont proposé l'utilisation d'une membrane barrière destinée à exclure les cellules non ostéogéniques, tout en permettant aux cellules issues du ligament parodontal et de l'os alvéolaire de recoloniser le site.

Ce principe biologique, initialement appliqué à la régénération tissulaire guidée (RTG), a ensuite été transposé à la chirurgie pré-implantaire, donnant naissance au concept de régénération osseuse guidée (ROG). (59)

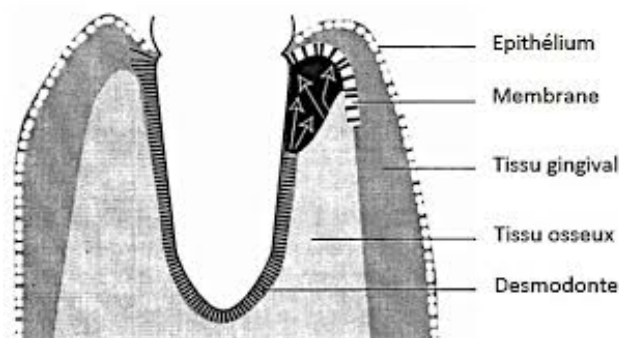


Figure 18 – Mode de fonctionnement d'une membrane dans la RTG. (60)

La ROG conventionnelle repose donc sur l'utilisation d'une membrane barrière, isolant le site osseux du tissu conjonctif et préservant un espace de régénération favorable à la formation osseuse.

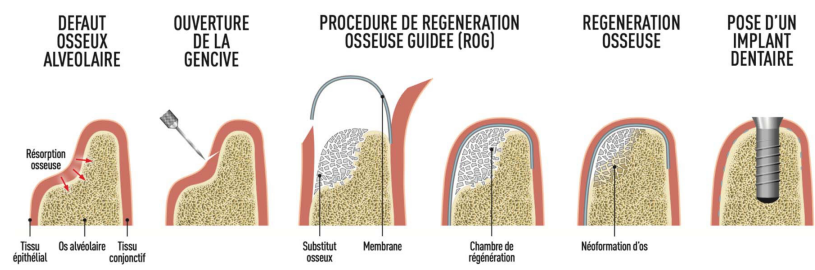


Figure 19 – Schéma montrant le principe de régénération osseuse guidée (61)

Toutefois, cette technique présente certaines limites : effondrement possible de la membrane, migration apicale du matériau de comblement ou encore une stabilité mécanique insuffisante du site régénératif. (62)

## II.2.b. La « Sausage technique » : une évolution de la ROG conventionnelle.

Pour pallier ces limites, Istvan Urban a introduit en 2009 la « Sausage technique », une évolution de la régénération osseuse guidée (ROG). Cette méthode repose sur l'utilisation de membranes de collagène résorbables, mises en tension et stabilisées à l'aide de micro-clous ou de pins en titane, afin de maintenir un mélange particulaire généralement composé d'os autogène et de xéno greffe.

Le nom de la technique, « Sausage » (signifiant *saucisse* en anglais), fait référence à l'aspect morphologique que prend la membrane une fois fixée : tendue et bombée, elle enveloppe le greffon en formant une structure allongée comparable à une saucisse remplie. (63)

Au-delà de cette analogie morphologique, cette configuration repose sur un principe biomécanique fondamental : la membrane, maintenue sous tension, agit comme une barrière de contention flexible, garantissant la stabilité tridimensionnelle du site régénératif ainsi que la protection du greffon face aux tissus mous environnants. (64)

Cette mise en tension répond à deux objectifs principaux :

- Maintenir un volume régénératif constant, sans effondrement de la membrane
- Et assurer une compression douce du greffon, favorisant la stabilisation du caillot et la vascularisation du site.

Ainsi, la « Sausage technique » permet d'obtenir des résultats osseux prévisibles, tant en augmentation horizontale, avec une morbidité réduite et une intégration tissulaire optimale.

## II.2.c. Les membranes : rôles et classification.

Les membranes constituent un élément fondamental de la régénération osseuse guidée (ROG). Leur rôle principal est de séparer le site de régénération osseuse des tissus mous environnants, empêchant ainsi la colonisation du site par des cellules non ostéogéniques à la prolifération rapide (fibroblastes, cellules épithéliales), conformément au principe d'exclusion cellulaire introduit par Nyman en 1982 et appliqué à la chirurgie pré-implantaire par Dahlin en 1988.

Cette barrière permet la migration sélective des cellules ostéoprogénitrices issues de l'os alvéolaire et du périoste, favorisant la formation d'un tissu osseux néoformé au sein d'un espace protégé. (41)

Les membranes assurent trois fonctions essentielles :

-**Une fonction mécanique** : en maintenant un espace régénératif stable qui agit comme un *scaffold* tridimensionnel (échafaudage), favorisant l'ostéoconduction, c'est-à-dire la migration et la prolifération des cellules ostéogéniques au sein du caillot sanguin.

-**Une fonction biologique** : en agissant comme une barrière sélective contre les cellules non ostéogéniques, tout en permettant la vascularisation du site.

-**Une fonction élastique** : particulièrement marquée pour les membranes collagéniques, leur conférant la capacité de s'adapter au contour du greffon et de résister aux tensions tissulaires sans se déchirer, garantissant ainsi la stabilité et l'intégrité du recouvrement tissulaire. (65)

Les membranes peuvent être classées en deux grandes catégories :

-Les membranes **non résorbables** (PTFE, ePTFE renforcé titane) : elles assurent une excellente stabilité mécanique, mais nécessitent une deuxième intervention pour leur retrait et présentent un risque accru d'infection en cas d'exposition. (65)

Les membranes non-résorbables en ePTFE (*expanded polytetrafluoroethylene*), historiquement utilisées dans les premières ROG, sont aujourd'hui rarement utilisées en raison de leur forte susceptibilité à l'exposition, du risque infectieux accru et de la nécessité d'une seconde chirurgie pour leur retrait.

En revanche, les membranes en PTFE dense (d-PTFE) ont progressivement remplacé ces dernières, offrant une meilleure résistance à la pénétration bactérienne et une stabilité mécanique supérieure, notamment dans certaines indications spécifiques. (66)

-Les membranes **résorbables**, d'origine biologique (collagène) ou synthétique (polymères d'acide lactique (PLA) ou glycolique (PGA)) : elles présentent une excellente tolérance biologique, s'intègrent plus rapidement aux tissus et ne nécessitent pas de retrait. Bien qu'elles offrent une rigidité moindre, leur souplesse élastique constitue un atout majeur : elle leur confère une capacité de déformation contrôlée, essentielle pour être mises en tension et le maintien du greffon en compression douce, principe central de la « Sausage technique » décrite par Urban. (65)

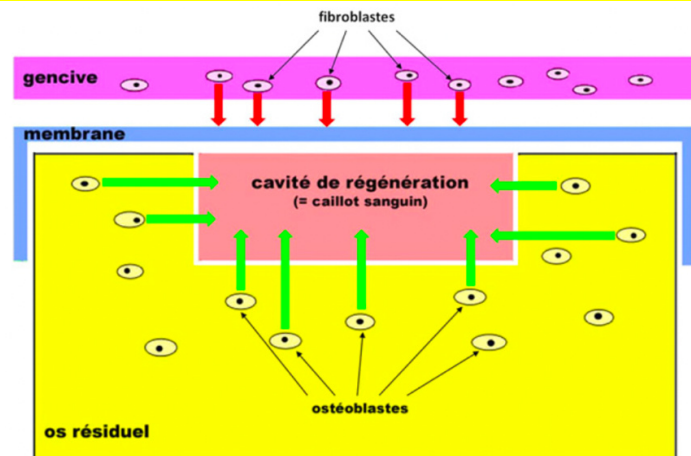


Figure 20 – Vue schématique du principe de la régénération osseuse guidée. La membrane a un rôle de maintien de l'espace et de barrière cellulaire étanche vis-à-vis des cellules non-ostéogéniques (fibroblastes essentiellement) provenant des tissus mous avoisinant (67)

## II.2.d. Étapes opératoires.

### II.2.d.1. Application de la « Sausage technique » lors d'une greffe mandibulaire. (11)

La « Sausage technique » appliquée à la mandibule requiert une maîtrise précise de la manipulation des tissus mous et une excellente connaissance des structures anatomiques.

#### Étapes principales :

- 1- **Réalisation d'une incision muco-périostée** avec des décharges distales, suivie de l'élévation d'un lambeau de pleine épaisseur vestibulaire et lingual.
- 2- **Repérage et protection du nerf alvéolaire inférieur** en amont du foramen mentonnier, ainsi que du nerf mentonnier à sa sortie du foramen.
- 3- **Réalisation de perforations corticales** au niveau du site receveur afin de stimuler l'angiogenèse et la revascularisation (étape particulièrement utile à la mandibule, où l'os est plus dense qu'au maxillaire).

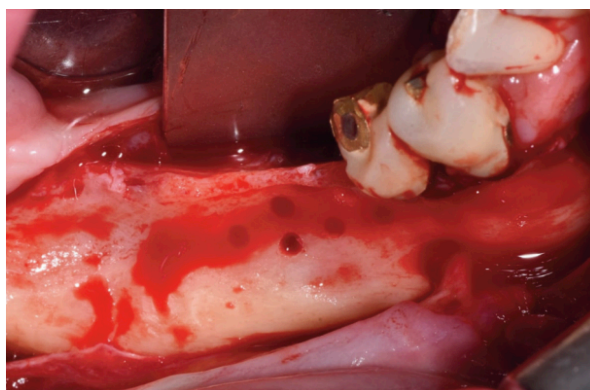


Figure 21 -Perforation corticale à la mandibule (11)

4- **Relaxation tissulaire** par désinsertion atraumatique des fibres musculaires linguales (mylohyoïdien), permettant une fermeture sans tension. (68)

5- **Mise en place d'une membrane** collagénique résorbable d'origine porcine (par exemple : Bio-Gide®, Geistlich) conformée, tendue et fixée par *pins* (d'abord mésio-lingual, puis vestibulaire) permettant la compression et la stabilisation du greffon. (69)

6- **Mise en place du greffon** : os autogène particulaire (prélevé au niveau du ramus mandibulaire à l'aide d'un récupérateur d'os type Safescraper™) mélangé à un substitut xénogénique d'origine bovine (par exemple : Bio-Oss®, Geistlich). Ce mélange combine les propriétés ostéogéniques et ostéoinductrices de l'autogreffe à la stabilité volumétrique et au rôle ostéoconducteur du substitut.

Des proportions de mélange couramment rapportées dans la littérature sont de 50/50 ou de 70/30 (autogène : xénogénique), permettant d'équilibrer l'activité biologique et le maintien du volume. (70)



Figure 22-Relaxation tissulaire et insertion du greffon autogène + xéno greffe. (11)

7- **Fermeture sans tension** à l'aide de points de sutures matelassiers profonds, complétés par un surjet, garantissant l'étanchéité du site opératoire. (70)

8- **Contrôle par CBCT** à 6 mois afin d'évaluer la néoformation osseuse et la stabilité volumétrique du greffon.

9- **La pose implantaire** est réalisée de manière différée, généralement après une période de cicatrisation et de maturation osseuse d'environ 6 mois. (71)

### *II.2.d.2. Application de la « technique de la Sausage » en secteur esthétique.*

1- **Réalisation d'un large décollement muco-périosté** jusqu'aux fosses nasales afin de libérer suffisamment les tissus mous.

2- **Stabilisation initiale de la membrane du côté palatin à l'aide de pins**, compactage du biomatériau sur la crête, puis fixation de la membrane du côté vestibulaire sous tension contrôlée.

3- **Fermeture primaire sans tension** à l'aide de sutures étanches. Un CBCT de contrôle à 4 mois montre généralement une reconstruction convexe satisfaisante de la crête osseuse.

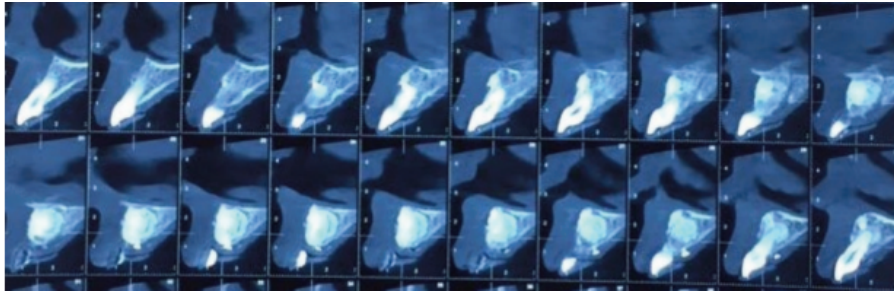


Figure 23 – image de CBCT montrant le gain osseux obtenu après 4 mois postopératoire (11)

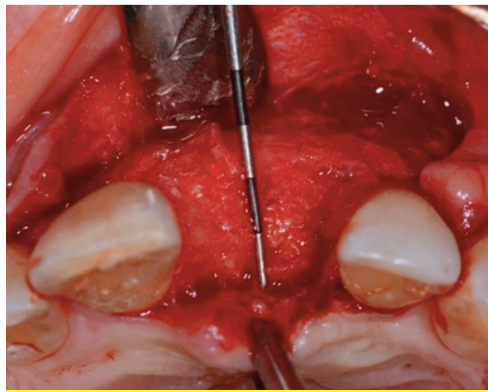


Figure 24 – Photo de la réouverture du site montrant une crête osseuse de contour régulier, avec un volume suffisant pour la pose implantaire. (11)

### II.2.e. Facteurs clés de réussite en ROG.

La réussite d'une régénération osseuse guidée (ROG) repose sur plusieurs principes fondamentaux :

- une planification chirurgicale précise et adaptée au défaut à reconstruire,
- une fermeture primaire sans tension,
- une fixation stable du greffon et une adaptation étanche de la membrane, assurant la stabilité du site et la protection du volume régénératif
- une période de cicatrisation suffisamment longue (6 à 9 mois),
- une gestion stricte des risques infectieux et une hygiène postopératoire rigoureuse. (62)

Certaines études suggèrent que, dans des situations favorables, le périoste pourrait jouer un rôle de barrière naturelle. Toutefois, l'utilisation d'une membrane barrière reste recommandée pour les défauts osseux étendus ou complexes. Il est estimé qu'environ 40 % des implants ostéointégrés nécessitent une ROG dans le cadre d'une réhabilitation implantaire. (65)

En résumé, la « Sausage technique » se distingue de la ROG conventionnelle par des décollements muqueux plus étendus, une dissection anatomique minutieuse, ainsi qu'une préparation méticuleuse du site receveur. (21)

### III. Succès selon chaque technique : résultats cliniques.

#### III.1. Gain osseux.

De nombreuses études ont évalué l'efficacité clinique des techniques de Khoury et d'Urban en termes de gain osseux et de taux de survie implantaire.

##### III.1.a. Technique de Khoury.

Les données de la littérature montrent que la technique de Khoury permet un gain osseux horizontal important et reproductible. Les études rapportent des augmentations comprises entre  $3,93 \pm 0,9$  mm et  $5,02 \pm 0,8$  mm. (45)

Une autre étude plus récente a évalué cette technique au niveau de la mandibule postérieure atrophique et montre également une augmentation tridimensionnelle significative, tant verticale qu'horizontale, mesurée à 6 mois sur CBCT. Le taux de complications est faible, avec uniquement des déhiscences superficielles, sans infection ni échec de greffe rapportés. Un délai de 6 mois est généralement nécessaire avant la mise en place implantaire. (72)

##### III.1.b. Technique d'Urban (Sausage technique).

La « Sausage technique » montre un gain osseux horizontal similaire, compris entre  $3,9 \pm 0,9$  mm et  $5,68 \pm 1,42$  mm. (45)

Dans une étude prospective incluant 25 patients et 31 sites chirurgicaux, l'utilisation d'une membrane collagénique résorbable associée à un mélange d'os autogène particulé et de biomatériau bovin a permis un gain osseux moyen de  $5,68 \pm 1,42$  mm après 8,9 mois, avec seulement 3,2 % de complications majeures. (73)

Au total, 76 implants ont été posés, avec un taux de survie de 100 % après 20,88 mois de suivi. L'analyse histologique montrait 31 % d'os néoformé, 25,8 % de particules de greffon bovin et 43,2 % d'espace médullaire. Les résultats étaient comparables à ceux obtenus avec les blocs osseux, mais avec moins de morbidité et une meilleure incorporation tissulaire. (73)

Une étude rétrospective portant sur 5 patients et 10 implants a montré un gain moyen de  $2,82 \pm 1,79$  mm, avec un gain maximal de  $3,8 \pm 1,51$  mm mesuré à 4,5 mm sous la crête, sans complication postopératoire majeure. (21)

Enfin, selon une étude clinique rapportée par Urban et al., un gain horizontal de 4 à 7 mm est observé dès 4 mois postopératoires. (11)

## III.2. Résorption du greffon.

La résorption osseuse est un phénomène physiologique attendu après toute procédure d'augmentation osseuse. Après sa mise en place, le greffon traverse une phase initiale de revascularisation et de remodelage. Durant cette période, une résorption transitoire peut être observée, correspondant à l'activité ostéoclastique précoce et au remplacement progressif du greffon par un tissu osseux néoformé. (74)

L'importance de cette résorption dépend de plusieurs facteurs, notamment la technique chirurgicale, la localisation anatomique, la qualité osseuse du site donneur et du site receveur, ainsi que l'efficacité de la revascularisation :

-Les résorptions les plus marquées surviennent souvent au niveau de la mandibule, en particulier dans les premiers mois, en raison d'une vascularisation médullaire plus limitée et d'une densité corticale élevée. À l'inverse, la résorption est généralement plus modérée au niveau du maxillaire postérieur, où la structure trabéculaire est plus riche et les contraintes musculaires moindres. (75)

-L'activité musculaire et les contraintes mécaniques (mastication, tensions musculaires) influencent également la stabilité du greffon et peuvent accentuer la résorption initiale. La qualité des tissus mous, la gestion du lambeau et l'absence de tension jouent aussi un rôle déterminant : un lambeau insuffisamment relâché ou une déhiscence muqueuse augmentent significativement le risque de résorption. (76)

-Enfin, certains facteurs individuels, tels que des déterminants génétiques du remodelage osseux, le tabagisme (77), les pathologies systémiques, comme le diabète ou l'ostéoporose (78), peuvent altérer la revascularisation et majorer la résorption du greffon.

### III.2.a. La résorption varie également selon les techniques :

-Avec la technique de Khoury : une résorption moyenne de 2,3 mm est observée après 12 mois. (45)

-Avec la **technique d'Urban** (Sausage technique) : la résorption est plus limitée, estimée à 0,6 mm après 6 mois. (45)

Une analyse histomorphométrique (méthode d'analyse microscopique quantitative permettant de mesurer et de comparer les proportions des différents tissus présents dans un échantillon osseux) réalisée par Urban a montré après 6 mois, une proportion de 30 % d'os régénéré, 25 % de greffon résiduel et 45 % d'espaces médullaires. (45)

Cette variation de résorption s'explique en partie par l'utilisation d'un greffon entièrement autogène dans la technique de Khoury, naturellement plus résorbable que les mélanges autogène-biomatériau employés dans la technique d'Urban.

### III.2.b. Complications rapportées avec Khoury :

Dans une étude portant sur 1 229 greffes latérales de blocs osseux, 14 cas de complications ont été observées :

- 4 cas liés à une irritation mécanique provoquée par une prothèse amovible
- 3 cas liés à une préparation traumatisante et insuffisante du lambeau
- 5 cas concernaient des patients grands fumeurs.

Ces résultats montrent l'importance d'une préparation atraumatique des tissus mous et de la gestion des facteurs de risque. (3)

### III.3. Taux de survie des implants.

L'ostéointégration dépend directement de la qualité osseuse. Les implants posés dans un os greffé présentent une ostéointégration initialement plus lente, mais le greffon évolue progressivement et tend à acquérir les caractéristiques de l'os natif. Après 2 ans, il peut présenter des structures histologiques proches de la crête originelle. (3)

Les deux techniques étudiées montrent des taux de survie implantaire élevés, proches de 100 % à 3 ans.

Ces résultats suggèrent que, lorsqu'elles sont correctement réalisées, les procédures d'augmentation osseuse permettent d'obtenir une ostéointégration fiable et des taux de succès comparables à ceux observés dans l'os natif, quel que soit le protocole chirurgical employé.

### III.4. Comparaison avec la technique conventionnelle de ROG.

Une étude rétrospective (79) a comparé la technique conventionnelle de ROG à la « Sausage technique » sur des crêtes en lame de couteau.

Les résultats montrent un gain osseux horizontal significativement plus élevé avec la « Sausage technique » :

-Sausage technique :  $5,3 \pm 2,3$  mm (gain de 216,8 %)

-technique conventionnelle :  $2,7 \pm 1,8$  mm (gain de 83,2 %), ( $p = 0,003$ )

Concernant la résorption entre la chirurgie et la pose implantaire :

-« Sausage technique » : perte de 2,1 mm (29,4 %)

-technique conventionnelle : perte de 0,9 mm (27,9 %), ( $p = 0,012$ )

En revanche, le pourcentage de résorption n'est pas significativement différent entre les deux groupes ( $p = 0,608$ ).

Cette résorption plus importante avec la « Sausage technique » est liée au volume initial plus élevé et aux contraintes musculaires, surtout en zones antérieures (2,9 mm). (79)

Malgré une résorption absolue plus marquée, la « Sausage technique » permet un gain net supérieur à la méthode conventionnelle. Cette étude reste toutefois limitée par un échantillon restreint et une courbe d'apprentissage importante.

### III.5. Principes fondamentaux pour un succès clinique.

#### III.5.1. Principes biologiques et techniques généraux.

La réussite des techniques de régénération osseuse repose sur un ensemble de principes biologiques et chirurgicaux communs.

Outre le principe PASS, fermeture primaire, angiogenèse, maintien d'un espace stable et absence de micromouvements (36), plusieurs paramètres techniques influencent directement la qualité du résultat.

Il s'agit notamment de la sélection du patient, de l'évaluation précise de la configuration du défaut, de la gestion atraumatique des tissus mous, du tracé d'incision, ainsi que d'une fermeture muqueuse sans tension. L'expérience du chirurgien et le choix raisonné des biomatériaux jouent également un rôle déterminant dans la stabilité du greffon et la prévention des complications.

### III.5.2. Spécificités de la technique d'Urban (Sausage technique).

La technique d'Urban repose sur le maintien d'un espace stable obtenu grâce à la tension de la membrane collagénique. Le greffon particulaire est constitué d'un mélange d'os autogène et de xéno greffe, dont la proportion peut être adaptée selon la situation clinique, Urban recommande classiquement un ratio d'environ 50 % autogène et 50 % de xéno greffe. (71)

Toutefois, les travaux expérimentaux d'Aludden et al. (80) suggèrent que différentes proportions de *deproteinized bovine bone mineral* (DBBM) et d'os autogène entraînent des variations de hauteur et de volume greffé relativement similaires. Cela laisse penser que le ratio précis des biomatériaux pourrait jouer un rôle secondaire par rapport au maintien d'espace et à la stabilité du site. (11)

### III.5.3. Spécificités de la technique de Khoury.

Le succès de la technique de Khoury repose sur des mécanismes biologiques distincts de ceux observés avec les techniques utilisant un greffon particulaire (mélange autogène/xéno greffe). Les lamelles corticales autogènes, utilisées comme parois stabilisatrices, sont constituées d'un os dense et peu vascularisé, ce qui impose une revascularisation plus lente et strictement dépendante du site receveur. Durant les premières 72 à 96 h, les cellules du greffon ne survivent que par diffusion, avant que des vaisseaux issus de l'os receveur ne pénètrent les lamelles corticales.

Contrairement à la technique d'Urban, la technique de Khoury n'utilise pas de membrane : les lamelles corticales assurent elles-mêmes le maintien d'espace et la protection du greffon particulaire. La stabilité volumique dépend donc essentiellement du contact os-os entre la lamelle et le greffon particulaire, ainsi que de la capacité du site receveur à assurer un apport vasculaire suffisant.

La réussite est fortement influencée par les caractéristiques anatomiques du site receveur, et par la structure corticale du site receveur, ce qui explique les variations de résorption observées d'un patient à l'autre. (3)

### III.5. 4. Apports complémentaires.

Des approches adjuvantes peuvent être associées à ces techniques, notamment l'utilisation du PRF (*Platelet Rich Fibrin*), un concentré plaquettaire autologue favorisant la cohésion et la stabilité des particules de greffe, ainsi que la cicatrisation des tissus mous et la vascularisation du site opératoire. (11)

### III.6. Satisfaction des patients.

La préservation ou l'augmentation du volume osseux a un impact direct sur l'esthétique et la fonctionnalité des implants, ce qui contribue à un haut niveau de satisfaction des patients. En effet un volume osseux adéquat permet d'obtenir un profil gingival harmonieux, une meilleure stabilité implantaire et un rendu prothétique plus naturel, des éléments essentiels dans les secteurs antérieurs à forte exigence esthétique.

**-La technique de Khoury :** offre une excellente stabilité tridimensionnelle du volume reconstruit et des résultats esthétiques généralement jugés très satisfaisants par les patients. Cependant, la présence d'un site donneur intra-oral constitue une source non négligeable d'inconfort postopératoire. (81)

L'évolution des choix des prélèvements extra-oraux (iliaque, pariétal, tibia) vers des prélèvements intra-oraux (ramus mandibulaire, symphyse) a représenté un progrès majeur pour les patients : la morbidité postopératoire a été considérablement réduite, une seule intervention est désormais suffisante, le temps opératoire est plus court et l'anesthésie générale n'est plus nécessaire. (3)

Toutefois, la morbidité du site donneur reste un facteur limitant pour certains patients : troubles sensitifs temporaires, gêne fonctionnelle ou inconfort liés à la zone de prélèvement peuvent altérer l'expérience globale du traitement.

Dans une étude récente évaluant une approche modifiée de la technique des lamelles osseuses (*Modified Shell technique*), considérée comme une variante contemporaine de la technique de Khoury, les auteurs rapportent des scores d'EVA élevés dans les premiers jours : environ 7-8/10 à 48 h, puis 3/10 à J7, et quasi nuls à 2 semaines, avec résolution complète de la douleur chez la majorité des patients à J14. (82)

**-La technique d'Urban (« Sausage technique ») :** à l'inverse, se distingue par son caractère moins invasif, ne nécessitant pas de prélèvement volumineux. Cette simplification se traduit par une douleur et une morbidité postopératoire réduites. Les scores EVA rapportés pour les ROG particulières associées à une membrane résorbable, dont la « Sausage technique » est une variation, se situent généralement entre 3,5 et 5/10 durant les 2 à 3 premiers jours, puis diminuent rapidement. (83)

L'utilisation de membranes résorbables est bien acceptée par les patients, car elle évite une deuxième chirurgie pour retrait, limitant ainsi le stress psychologique lié au traitement. (84)

De plus les résultats sont jugés satisfaisants tant sur le plan esthétique que fonctionnel, grâce à une restauration harmonieuse des volumes osseux.

Outre la douleur aiguë, la qualité de vie orale constitue un indicateur essentiel pour évaluer la satisfaction des patients. Des instruments tels que le *General Oral Health Assessment Index* (GOHAI) mesurent l'impact fonctionnel, psychologique et douloureux lié aux traitements dentaires. Le GOHAI a démontré une excellente validité psychométrique dans différentes populations, en évaluant notamment la mastication, la phonation, l'inconfort oral et les dimensions psychosociales.

Dans le cadre des réhabilitations implanto-portées, plusieurs études montrent une amélioration significative des scores GOHAI après traitement : les valeurs moyennes évoluent de 48-49 avant traitement à 54-55 après réhabilitation, montrant une amélioration globale de la fonction masticatoire, de la perception esthétique et du confort. Ces bénéfices sont directement conditionnés par la stabilité et la qualité du volume osseux reconstruit, qui permettent d'obtenir des restaurations implantaire fonctionnelles, stables et esthétiques. (85)

En résumé, les deux techniques permettent d'obtenir des résultats esthétiques et fonctionnels de haut niveau, cependant :

-Avec la technique de Khoury, la satisfaction est liée à la stabilité tridimensionnelle du volume osseux et à la prévisibilité des résultats, mais elle peut être contrebalancée par une expérience postopératoire plus douloureuse. (57)

-Avec la « Sausage technique », la satisfaction découle surtout du confort postopératoire et du caractère moins invasif de la procédure, ce qui la rend souvent mieux acceptée, notamment par les patients réticents à une chirurgie avec site donneur. (73)

Ces différences soulignent la nécessité d'une sélection individualisée des patients et d'une évaluation précise des facteurs anatomiques, biologiques et fonctionnels avant de choisir la stratégie chirurgicale la plus adaptée.

## IV. Avantages et inconvénients.

### IV.1. Les complications en chirurgie osseuse.

Avant d'évaluer et de comparer les techniques de Khoury et d'Urban (Sausage technique), il est important de rappeler que toute intervention de greffe osseuse comporte un certain nombre de complications postopératoires potentielles. Bien que souvent limitées et maîtrisables, elles doivent être expliquées au patient dans le cadre du consentement éclairé.

#### IV.1.a. Les complications générales des greffes osseuses : (3)

**-La douleur** : elle constitue une manifestation fréquemment rapportée après une greffe osseuse, mais elle est généralement bien contrôlée par une prise en charge médicamenteuse adaptée. Le paracétamol constitue le traitement de première intention. Les anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS), tels que l'ibuprofène 400 mg, peuvent être utilisés de façon ponctuelle et sur courtes durées, afin de limiter l'inflammation et l'hypersensibilisation douloureuse. En cas de douleur est plus intense, le recours à des antalgiques de palier 2 (paracétamol codéiné) peut être nécessaire.

La douleur est le plus souvent maximale la nuit suivant l'intervention et le lendemain, justifiant la poursuite du traitement antalgique jusqu'au deuxième ou troisième jour postopératoire.

**-Les hémorragies** : l'incidence des complications hémorragiques après chirurgie orale, parodontale et implantaire, incluant les procédures de régénération osseuse est faible, estimée entre 3 et 7 % pour les saignements postopératoires prolongés ou modérés. Les hémorragies majeures restent exceptionnelles. (86) Elles peuvent survenir après une incision palatine (notamment lors de lambeaux pédiculés), lors de prélèvements de tissu conjonctif, au niveau de zones de greffe fortement vascularisées, ou en cas de traumatisme vasculaire lors de décollement muco-périosté ou de l'ostéotomie. (87)

Leur prévention repose sur une hémostase rigoureuse, pouvant inclure l'application prolongée de compresses stériles imbibées de solution saline, l'utilisation de bistouri électrique pour la coagulation, la mise en place d'éponges hémostatiques (collagène ou gélatine résorbable) ainsi qu'une fermeture hermétique par sutures. (88) À l'inverse, une ablation trop précoce des fils de suture peut favoriser l'apparition d'hémorragies secondaires.

**-Les tuméfactions et hématomes** : constituent une réaction postopératoire fréquente après une greffe osseuse. Ils résultent principalement de l'extravasation sanguine et inflammatoire liée à l'acte chirurgical.

La prise en charge repose sur l'application intermittente de poches de glace durant les deux premiers jours postopératoires, associée à l'administration de corticoïdes. Bien que généralement bénins, les hématomes, nécessitent une surveillance afin d'éviter une évolution défavorable

**-Candidose buccale** : il s'agit d'une complication plus rare, liée à une prolifération de *Candida albicans*, souvent favorisée par une antibiothérapie prolongée ou l'usage répété de bain de bouche à la chlorhexidine. Elle se manifeste par des lésions blanchâtres non adhérentes. La prise en charge repose sur la réduction ou l'arrêt de l'antibiothérapie, l'adjonction de vitamine B ou de probiotiques (*Lactobacillus acidophilus*), ainsi que sur l'application d'un antifongique local. Par ailleurs, l'usage prolongé de bains de bouche à la chlorhexidine peut également favoriser l'apparition d'une candidose orale en perturbant l'équilibre de la flore buccale. (3)

## IV.1.b. Les complications spécifiques aux interventions de régénération

### osseuse.

Certaines complications sont directement liées aux procédures de régénération osseuse et peuvent compromettre la stabilité du greffon ou la qualité du volume reconstruit : (3)

**-La cicatrisation incomplète du greffon** : elle est observée lorsque la revascularisation n'est pas optimale. Cela concerne surtout les greffons corticaux, dont la revascularisation est plus lente que celle des greffons spongieux.

**-La résorption du greffon** : c'est une complication fréquente, en particulier en cas de foyers infectieux à proximité du site de greffe. D'où l'importance d'un assainissement préalable rigoureux des dents adjacentes, notamment en cas de lésions endodontiques.

**-L'infiltration de tissus conjonctif ou de tissu de granulation** : le greffon osseux est soumis au principe fondamental de compétition cellulaire. Les tissus mous (fibroblastes, cellules épithéliales), dont la vitesse de prolifération est élevée, peuvent coloniser l'espace chirurgical au détriment des cellules ostéogéniques. Ainsi, lorsque la membrane est exposée, que les interstices entre le greffon et le site receveur ne sont pas comblés ou que le lambeau présente une tension excessive, les tissus mous peuvent s'infiltrer dans l'espace destiné à l'ostéogénèse. Il en résulte la formation d'un tissu fibreux non minéralisé, compromettant le volume osseux reconstruit. L'élimination de cet infiltrat est alors nécessaire avant la pose implantaire, dans le cas contraire le volume osseux obtenu peut être altéré.

**-La mobilité du greffon** : une stabilisation mécanique insuffisante compromet la régénération osseuse et peut entraîner l'échec de la greffe. Les vis d'ostéosynthèse assurent généralement cette stabilité, mais une exposition précoce ou une résorption excessive du greffon peut entraîner une perte de fixation. Dans certains cas, une reprise chirurgicale avec un délai de cicatrisation supplémentaire de 3 à 4 mois est nécessaire.

**-Autres complications possibles** : exposition du greffon, hémorragies secondaires, nécrose du lambeau liée à une vascularisation insuffisante, ou perte d'un implant. À long terme, une perte d'ostéointégration implantaire ou l'utilisation prolongée d'une prothèse provisoire muco-portée dans une zone greffée peuvent compromettre la stabilité du résultat.

Ainsi, ces complications générales, bien que le plus souvent limitées et réversibles, rappellent que toute chirurgie de greffe osseuse comporte une part de risque. Au-delà de ces considérations générales, chaque technique chirurgicale présente des avantages et des limites spécifiques. (3)

## IV.2. Technique de Khoury.

Avantages	Inconvénients
<p>-Un très bon <b>maintien du volume osseux</b>, permettant une reconstruction tridimensionnelle stable.</p> <p>-Une <b>bonne intégration osseuse</b>, grâce à l'utilisation d'os autogène, riche en cellules ostéogéniques.</p> <p>-<b>L'os autogène</b> est supérieur aux substituts osseux d'un point de vue biologique, immunologique et biomécanique. (3) Sur le plan réglementaire, il présente l'avantage de ne pas nécessiter les procédures de traçabilité imposées aux biomatériaux dérivés du vivant.</p> <p>-Une <b>meilleure revascularisation</b>, grâce aux propriétés biologiques de l'os autogène.</p> <p>-Une réouverture généralement possible dès <b>4 mois</b>, ce délai étant inférieur à celui observé dans la « Sausage technique » d'Urban, où l'utilisation de biomatériaux particuliers nécessite un temps de maturation plus long avant la pose implantaire.</p> <p>-De plus, les études montrent un <b>excellent taux de succès à long terme</b>.</p>	<p><b>Morbidité liée au site donneur :</b></p> <p>-nécessite un prélèvement d'os autogène, ce qui augmente la morbidité postopératoire, avec douleur supplémentaires pour le patient.</p> <p>-Le site donneur peut être source de complications neurosensorielles, en particulier lors des prélèvements mentonniers : (selon Khoury, jusqu'à 38,8 % des patients présentent des paresthésies transitoires dans les 12 premières semaines postopératoires). Ces symptômes sont surtout observés après des prélèvements de blocs volumineux, liés à la lésion des branches mésiales du nerf alvéolaire inférieur. Ces paresthésies sont pour la majorité transitoires et disparaissent après quelques mois. (3)</p> <div data-bbox="890 902 1305 1220" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>1= GG trigéminal 2= N. Ophthalmique 3= N. Maxillaire 4= N. Mandibulaire 5= N. Infra orbitaire 6= N. Alvéolaire sup 7= N. Lingual 8= N. Alvéolaire inf 9= N. Mentonnier</p> </div> <p>Figure 25 – schéma d'une vue latérale montrant le système nerveux trigéminal. (46)</p> <p>-Dans une étude de Khoury portant sur 716 greffons prélevés dans la zone mentonnaire, le volume moyen prélevé était de 2,7 cm<sup>3</sup> (maximum 4,8 cm<sup>3</sup>). (3) À ce niveau, la corticale est plus fine et la proportion d'os spongieux plus importante que dans la région rétomolaire, ce qui explique une morbidité accrue. Sur l'ensemble des cas, 20 complications (2,8 %) ont été rapportées : (3)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-17 déhiscences inflammatoires, toutes résolues par un traitement local</li> <li>-1 fracture du bord basal de la mandibule lors d'un troisième prélèvement sur la même zone en cinq ans, stabilisée par des vis d'ostéosynthèse. (3)</li> <li>-D'autres études rapportent également des paresthésies temporaires généralement résolues en un mois. (45)</li> <li>-Enfin, les prélèvements étendus peuvent exceptionnellement entraîner une fracture de la corticale mandibulaire ou de la</li> </ul>

	<p>paroi linguale, nécessitant une stabilisation chirurgicale.</p> <p><b>Risque infectieux et cicatrisation :</b>          -Un taux d'infection d'environ 7 % a été rapporté dans la littérature. (45)          -Mauvaise cicatrisation muqueuse possible (déhiscence, nécrose, exposition du greffon), favorisée par : le tabagisme, les pathologies systémiques (diabète), la pression d'une prothèse provisoire ou un phénotype muqueux fin. (3)</p> <p><b>Résorption osseuse :</b>          -Possible même après intégration initiale.          -L'exposition précoce du greffon a un pronostic défavorable, car elle compromet sa vascularisation et sa conservation          -En cas d'exposition tardive, seule une partie du bloc cortical est généralement perdue, l'os particulaire étant déjà revascularisé. (3)</p> <p><b>Exposition des vis d'ostéosynthèse :</b>          -L'exposition tardive est généralement bénigne, mais l'exposition précoce est défavorable et nécessite une prise en charge adaptée (ex. : antiseptiques locaux). (3)</p> <p><b>Limitations générales de l'os autogène :</b>          Bien qu'il soit considéré comme le gold standard grâce à ses propriétés ostéogéniques, ostéoinductives et ostéoconductives, l'os autogène présente plusieurs inconvénients :          -morbidité accrue          -nécessité d'un site donneur          -Un volume disponible parfois limité (notamment chez les patients présentant une résorption avancée).          Ainsi, la technique de Khoury doit être envisagée avec prudence lorsque les sites donneurs sont restreints ou lorsque le risque de lésion nerveuse est élevé.</p>
--	--

Tableau 3 – Avantages et inconvénients de la technique de Khoury

### IV.3. Technique de « Sausage », selon Urban.

Avantages	Inconvénients
<p>-Une compression et une stabilisation optimales du greffon, favorisant une <b>ostéogenèse efficace</b>.</p> <p>-<b>L'exclusion des tissus mous</b>, créant un environnement favorable à la régénération osseuse.</p> <p>-Une approche <b>moins invasive</b> que les prélèvements autogènes, permettant une récupération postopératoire plus rapide et une meilleure acceptation par les patients.</p> <p>-Une adaptation aux crêtes fortement atrophiées, <b>sans recours à des dispositifs rigides</b>.</p> <p>-Une <b>reconstruction harmonieuse de la crête édentée</b>, évitant la formation de rebord osseux abrupts.</p> <p>-Un <b>risque d'exposition de la membrane relativement faible</b>.</p> <p>-L'utilisation de <b>membranes résorbables</b> réduit les complications en cas d'exposition et évite une seconde intervention chirurgicale. En effet en cas d'exposition, la dégradation rapide de la membrane de collagène natif permet une épithélialisation précoce, limitant les risques infectieux. Par ailleurs, cette membrane se vascularise dès la première semaine de cicatrisation, ce qui contribue à diminuer l'inconfort du patient et les complications postopératoires.</p> <p>-Les <b>défauts de cicatrisation peuvent être facilement gérés</b> par des nettoyages locaux à la chlorhexidine.</p> <p>-Le respect du principe PASS, assure une cicatrisation prévisible et une régénération osseuse fiable.</p> <p>-Enfin, cette technique peut être associée à des procédures complémentaires comme l'extraction avec comblement alvéolaire, pour optimiser le volume osseux en vue d'une réhabilitation implantaire.</p>	<p>- Les membranes synthétiques peuvent libérer des métabolites acides lors de leur résorption, ce qui <b>favorise la résorption osseuse</b>.</p> <p>-Une densité trop élevée de maillage des membranes <b>limite la vascularisation</b>, ce qui accroît le risque de résorption secondaire.</p> <p>-<b>L'exposition d'une membrane</b> et la déhiscence des plaies, bien que tolérées avec le collagène natif, restent une complication redoutée. Dans certains cas, elles peuvent entraîner une résorption osseuse significative, allant jusqu'à 48,5 % de perte de volume greffé, selon une étude rapportée par Urban. La fermeture sans tension est donc une condition indispensable, mais elle rend la <b>technique exigeante sur le plan chirurgical</b>. (11)</p> <p>-Une <b>réaction inflammatoire</b> est également possible lors de la dégradation de certaines membranes synthétiques.</p> <p>-<b>La cicatrisation est relativement longue</b> (8 à 12 mois). (84)</p> <p>-La technique est exigeante sur le plan chirurgical, nécessitant une <b>gestion parfaite des tissus mous</b>.</p>

Tableau 4 – Avantages et inconvénients de la « technique de Sausage » selon Urban

Cette comparaison montre que la technique de Khoury offre une stabilité mécanique et biologique remarquable, mais au prix d'une morbidité accrue liée au site donneur.

À l'inverse, la « Sausage technique » réduit cette morbidité et facilite l'acceptation par les patients, mais elle reste dépendante de la gestion délicate des membranes et d'un temps de cicatrisation plus long.

Le choix doit donc être guidé par :

- une évaluation précise du cas clinique,
- les objectifs thérapeutiques,
- les attentes du patient,
- ainsi que les compétences chirurgicales du praticien.

La partie suivante proposera un arbre décisionnel qui synthétise ces critères afin d'orienter le praticien dans le choix de la technique la plus adaptée à chaque situation clinique.

## V. Arbre décisionnel selon les critères/ facteurs initiaux.

Le choix de la technique d'augmentation osseuse dépend de plusieurs facteurs :

- la quantité d'os résiduel (perte modérée après extraction simple ou atrophie sévère),
- la localisation de la perte osseuse (maxillaire ou mandibulaire),
- la préférence du chirurgien et du patient,
- la complexité technique et le coût de l'intervention. (89)

La technique d'Urban est souvent privilégiée chez les patients présentant des sites donneurs limités ou à risque, notamment en raison de la proximité de structures anatomiques avec un risque potentiel de lésions nerveuses. (45)

Historiquement, la ROG avec membrane résorbable était réservée aux situations de préservation alvéolaire post-extractionnelle ou aux défauts de petite taille, permettant un gain osseux modéré. (11)

Les défauts plus importants, modérés à sévères, étaient généralement traités par des greffes autogènes en bloc ou par ROG avec membrane non résorbable, voire avec l'utilisation de grilles titanes. Cependant, les greffes autogènes nécessitent un site donneur, ce qui augmente la morbidité postopératoire. Par ailleurs, les membranes non résorbables présentent un risque accru d'exposition, pouvant compromettre le succès de la régénération.

Les études de Park en 2012 et Garaicoa en 2015 ont marqué une étape importante dans la sélection des techniques en fonction des caractéristiques anatomiques du site receveur.

Garaicoa et al. ont notamment évalué, par analyses radiographiques les maxillaires de 26 patients ayant bénéficié d'une ROG dans le sens horizontal. Leurs résultats ont mis en évidence que lorsque l'angulation de la concavité maxillaire est faible, les résultats de la ROG sont particulièrement favorables. Ainsi, plus la forme de la crête du site receveur présente une forme de « cupule » plus la ROG est efficace. (11)

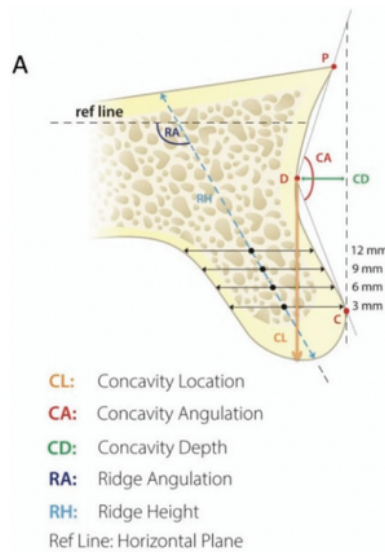


Figure 26 – Schéma montrant l'angulation de la concavité maxillaire (46)

Cette forme concave favorise une immobilisation naturelle du biomatériau et réduit la pression exercée sur la membrane par les particules osseuses. Ainsi, dans les cas de résorption horizontale en cupule (comme dans la classe IV de Cawood) (12), la ROG se montre particulièrement performante à condition que le greffon soit parfaitement stabilisé.

C'est cette volonté d'immobilisation optimale du biomatériau qui a conduit à la mise au point de la nouvelle ROG décrite par Istvan Urban : « la Sausage technique », dont l'objectif est d'assurer une immobilisation rigide et durable du matériau de comblement. (11)

Cependant, l'augmentation verticale obtenue par la « Sausage technique », qui ne constitue pas l'indication principale de cette technique, reste limitée à environ 5 mm. Au-delà de cette hauteur, le risque d'exposition de la membrane, d'infection de la plaie et de complications postopératoires augmente significativement. (71)

En conséquence, la technique de Khoury, reposant sur des prélèvements osseux autogènes en bloc, reste indiquée pour les cas de résorption osseuse sévère, ou lorsqu'une stabilité osseuse maximale est requise. (90)

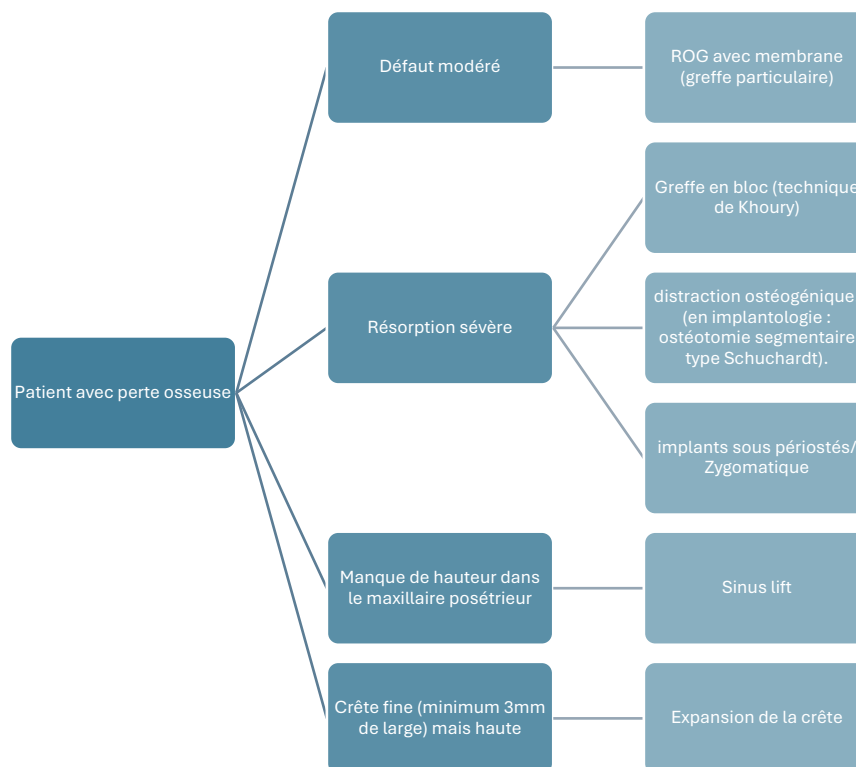
Tableau 5 – Tableaux récapitulatif du choix de la technique d’augmentation osseuse selon les critères cliniques. (84) et (89).

Critères cliniques	Type de défaut	Technique recommandée
Défaut osseux horizontal modéré	2D	ROG avec membrane résorbable : greffe particulaire
Défaut osseux horizontal sévère	3D	Greffe en bloc (Khoury) ou distraction ostéogénique (technique qui consiste à réaliser une ostéotomie segmentaire de Schuchardt avec écartement progressif des segments osseux, permettant la formation d’un nouvel os)
Défaut vertical ou mixte important	3D	ROG avec membrane non résorbable (PTFE renforcée), greffe en bloc, distraction ostéogénique
Manque de hauteur dans le maxillaire postérieur	2D ou 3D	Sinus lift
Crête fine mais haute	2D	Expansion de crête
Préservation du volume après extraction	2D	Comblement alvéolaire : biomatériaux particuliers

Les défauts osseux peuvent être classés en défauts 2D et 3D. Les défauts 2D correspondent à une perte osseuse essentiellement horizontale, limitée à la largeur de la crête. Tandis que les défauts 3D correspondent à une dimension horizontale et verticale. (91)

Le tableau ci-dessus peut être synthétisé sous forme d’arbre décisionnel afin de guider le choix clinique dès les critères initiaux.

Tableau 6 – Arbre décisionnel de la chirurgie d’augmentation osseuse utilisée par rapport aux défauts osseux



## V.1. Cas particulier l'expansion de la crête.

L'expansion de la crête constitue une alternative intéressante dans le cas de crêtes fines mais présentant une hauteur suffisante. Cette technique est indiquée lorsque la crête alvéolaire présente une largeur minimale d'environ 3 mm, condition généralement requise pour permettre la mobilisation contrôlée des corticales sans risque de fracture. Elle consiste à élargir la crête alvéolaire par une ostéotomie longitudinale, suivie d'une mobilisation latérale des corticales, créant ainsi un espace pouvant accueillir directement les implants ou être comblé par un biomatériau.

Une étude comparative a évalué l'expansion de crête seule (groupe 1) à l'expansion de crête combinée à une régénération osseuse guidée (groupe 2).

Les résultats ont montré un taux de survie de 100 % dans les deux groupes, avec des pertes osseuses marginales moyennes de :

-Groupe 1 (expansion seule) : 0,69 mm

-Groupe 2 (expansion + ROG) : 0,43 mm

Environ 11 % des implants ont présenté une mucosite ou une péri-implantite.

En conclusion, l'expansion de crête, qu'elle soit réalisée seule ou en association avec la ROG, peut être considérée comme une procédure efficace et sûre pour corriger l'insuffisance de largeur des crêtes alvéolaires en vue de la pose d'implants. (92)

## VI. Discussion : la chirurgie guidée appliquée à l'augmentation osseuse.

Le flux numérique a désormais une place importante dans les reconstructions pré-implantaires. Initialement, la chirurgie guidée était exclusivement réservée au guidage de la mise en place des implants, mais grâce à l'essor du numérique et des technologies de conception assistée par ordinateur (CAD/CAM), elle s'applique aujourd'hui également à la régénération osseuse.

Plusieurs études récentes en témoignent. :

-Une étude *in vitro* (93) a montré que l'utilisation de guides chirurgicaux pour l'augmentation osseuse permettait une délimitation précise des zones à régénérer et une meilleure reproductibilité opératoire. Ces résultats suggèrent que le guidage numérique pourrait sécuriser des étapes critiques comme la préparation du site receveur, jusqu'ici très dépendantes de l'expérience du praticien.

-Dans la même logique, un rapport de technique (94) a décrit la conception et l'utilisation de guides chirurgicaux personnalisés pour le prélèvement osseux autogène à l'aide d'une fraise trépan. Ce dispositif a permis un contrôle précis de la profondeur, du diamètre et de la position du prélèvement, tout en réduisant le temps opératoire et les risques iatrogènes (atteinte des racines, du nerf mentonnier, etc.). Cette approche montre la capacité du numérique à standardiser et sécuriser le prélèvement autogène dans la technique de Khoury, bien que des validations cliniques à plus grandes échelles soient encore nécessaires.

-Au-delà du prélèvement, les technologies 3D s'intègrent également dans la planification et la préparation des reconstructions osseuses. Comme l'ont montré Calatrave et Wang (2024) (95), la modélisation et l'impression 3D permettent de préformer les membranes, les plaques ou les grilles titane avant la chirurgie, réduisant ainsi la durée opératoire et les risques de contamination. Le guidage numérique améliore également la précision des prélèvements osseux et favorise l'adaptation anatomique de dispositifs personnalisés.

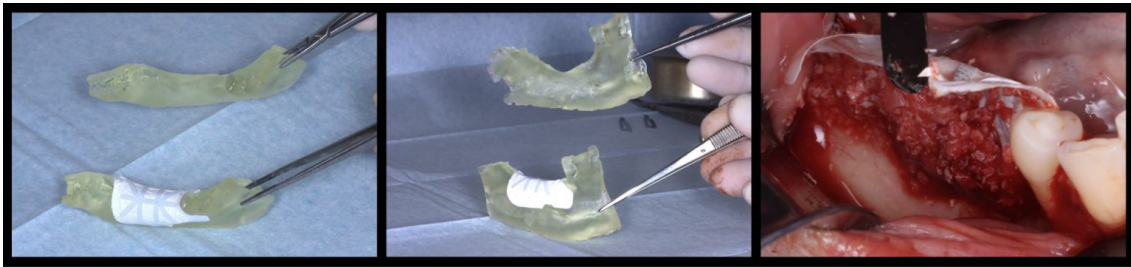


Figure 27 – Adaptation d'une membrane en PTFE renforcée par du titane au modèle 3D virtuellement régénéré et imprimé numériquement par rapport au modèle original et son adaptation au défaut (95)

-Enfin, une étude clinique randomisée (96) a évalué un *workflow* numérique complet pour la réalisation du prélèvement osseux autologues au niveau symphysaire. Des guides à double fonction (prélèvement et positionnement des lamelles) ont permis d'obtenir une précision d'exécution élevée, un gain osseux significatif, une bonne intégration des greffons, tout en réduisant la variabilité opérateur. Cette approche illustre comment la chirurgie guidée peut transformer une technique historiquement « artisanale », comme celle de Khoury, en une méthode plus reproductible et prédictible.

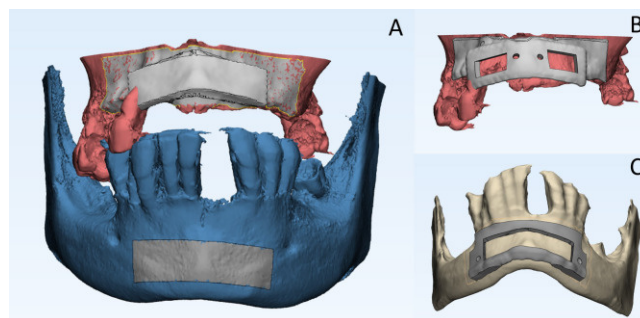


Figure 28 – Planification préopératoire pour le prélèvement autogène (96)

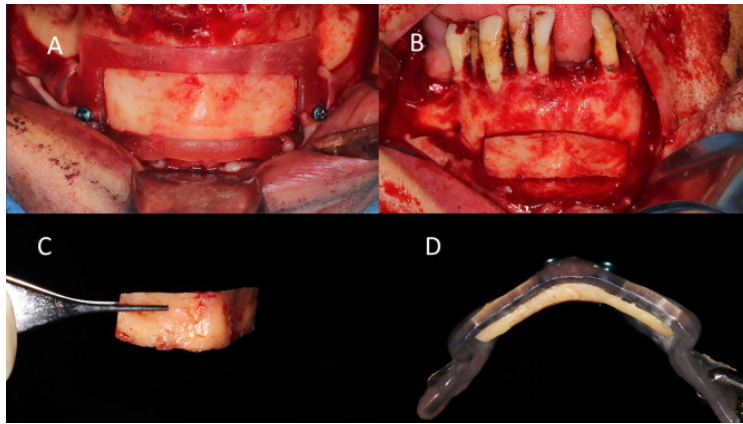


Figure 29 – Phase peropératoire : guide fixé en place, puis les lamelles osseuses sont récoltées et fixées au 2<sup>ème</sup> guide de positionnement (96)

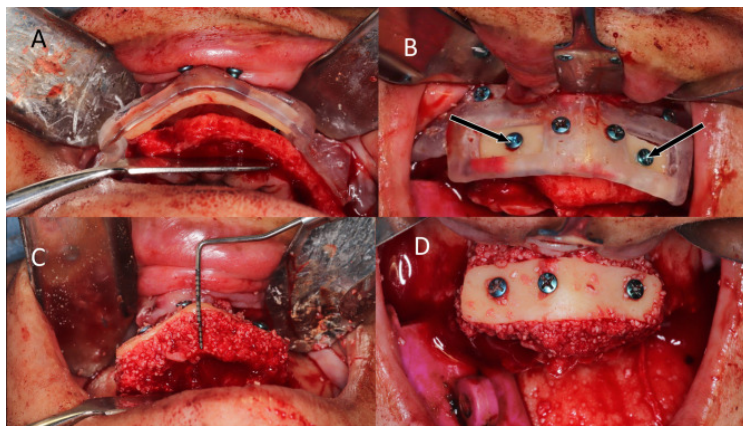


Figure 30 – Phase peropératoire : positionnement du greffon au niveau du site receveur. (96)

En conclusion, ces études montrent que la chirurgie guidée, déjà largement utilisée en implantologie, s'impose progressivement dans la régénération osseuse. Qu'il s'agisse de délimiter un site donneur, de sécuriser un prélèvement autogène ou de planifier une reconstruction personnalisée, le numérique apporte une avancée majeure en termes de précision et de standardisation.

Néanmoins, plusieurs limites demeurent, en particulier le coût élevé, la forte dépendance à la qualité des données d'imagerie et surtout la nécessité d'études cliniques complémentaires à large échelle pour confirmer ces résultats.

## VII. Conclusion :

L'augmentation osseuse pré-implantaire constitue aujourd'hui un élément fondamental de la réhabilitation implantaire, en particulier dans les cas de résorptions osseuses horizontales ou sévères. Parmi les techniques disponibles, les deux approches principales étudiées dans ce travail : la technique de Khoury et la « Sausage technique » d'Urban, montrent toutes les deux des résultats prévisibles, avec des taux de survie implantaire très élevés et des gains osseux comparables.

La technique de Khoury, basée sur l'utilisation d'os autogène en bloc, reste le gold standard en raison de ses propriétés ostéogéniques uniques et de la stabilité mécanique qu'elle procure. Cependant, elle présente une morbidité non négligeable liée au site donneur, ainsi qu'un risque accru de complications postopératoires.

À l'inverse, la « Sausage technique », qui repose sur l'utilisation de membranes résorbables et de biomatériaux particuliers, se distingue par son caractère moins invasif, une morbidité réduite et une meilleure acceptabilité par les patients. Néanmoins, elle demeure dépendante d'une gestion rigoureuse des tissus mous et d'un strict respect des principes PASS (*Primary closure, Angiogenesis, Space maintenance, Stability*).

Le choix entre ces techniques doit donc être guidé par une évaluation précise des caractéristiques anatomiques et biologiques du site receveur, des attentes du patient, ainsi que de l'expérience du praticien. L'arbre décisionnel présenté ici synthétise cette démarche et facilite le choix de la stratégie chirurgicale la plus adaptée.

D'excellents résultats sont obtenus avec ces greffes pré-implantaires, mais l'un des principaux inconvénients reste le temps global de traitement pour le patient. En effet, pour un défaut osseux en deux dimensions « standard », le schéma conventionnel conduit à un enchaînement thérapeutique pouvant durer entre 12 et 18 mois : extraction, reconstruction osseuse après 2 mois, pose des implants après 6 mois, avec une gestion des tissus mous réalisée de façon différée ou simultanée selon les indications, puis réalisation de la prothèse d'usage.

Dans cette perspective, l'implantation immédiate, et notamment la technique d'*Immediate Dentoalveolar Restoration* (IDR) représentent une alternative séduisante, permettant de réduire considérablement le nombre d'interventions et la durée du traitement, tout en offrant des résultats esthétiques et fonctionnels comparables.

Contrairement à l'implantation immédiate conventionnelle, l'IDR peut être réalisée même en présence d'une alvéole délabrée, grâce à la reconstruction immédiate de la paroi osseuse vestibulaire à l'aide d'un greffon autogène. Toutefois, cette technique présente des indications bien définies :

- la dent doit être encore présente, car la technique repose sur le principe d'extraction/implantation et greffe en un temps,
- le défaut osseux doit être limité à la paroi vestibulaire, excluant les pertes tridimensionnelles importantes,
- le volume osseux apical doit être suffisant pour garantir une stabilité primaire immédiate,
- la reconstruction reste localisée, ce qui limite son application aux défauts restreints et non aux reconstructions volumétriques majeures. (97)

En conclusion, la chirurgie pré-implantaire continue de progresser grâce à l'intégration des biomatériaux, de la chirurgie guidée et des approches numériques. Les techniques de Khoury et d'Urban constituent des références fiables, mais l'avenir se dirige vers des approches plus personnalisées, moins invasives et plus simples, afin de rendre les traitements plus confortables pour les patients.

## VIII. Bibliographie :

1. Pasqualini U, Pasqualini ME. The history of implantology. In: Treatise of Implant Dentistry: The Italian Tribute to Modern Implantology [Internet]. Ariesdue; 2009. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK409631/>
2. Dr Casas T. Plan de traitement global et flux numérique : une approche proactive de la dentisterie moderne. Le Fil Dentaire [Internet]. 2 juill 2025; Disponible sur: <https://www.lefildentaire.com/articles/plan-de-traitement-global-flux-numerique-approche-proactive-de-dentisterie-moderne/>
3. Khoury, Fouad. Greffe osseuse en implantologie. Quintessence International. Paris; 2010. 519 p.
4. Usui M, Onizuka S, Sato T, Kokabu S, Ariyoshi W, Nakashima K. Mechanism of alveolar bone destruction in periodontitis — Periodontal bacteria and inflammation. Japanese Dental Science Review. 13 oct 2021;57:201-9.
5. Ali A, Al Attar A, Chrcanovic BR. Frequency of Smoking and Marginal Bone Loss around Dental Implants: A Retrospective Matched-Control Study. Journal of Clinical Medicine. janv 2023;12(4):1386.
6. Wagner J, Spille JH, Wiltfang J, Naujokat H. Systematic review on diabetes mellitus and dental implants: an update. International Journal of Implant Dentistry. 3 janv 2022;8(1):1.
7. Quisiguiña Salem C, Ruiz Delgado E, Crespo Reinoso PA, Robalino JJ. Alveolar ridge preservation: A review of concepts and controversies. Natl J Maxillofac Surg. 2023;14(2):167-76.
8. Nil Yakar<sup>1</sup>, Onurcem Duruel<sup>1</sup>, Güliz N. Güncü<sup>1</sup>, Erdem Karabulut<sup>2</sup>, Nermin Yamalık<sup>1</sup>. Factors affecting demand for dental implant treatment: a patient-centered observational study. Journal of the International Academy of Periodontology. vol. 24,. janv 2022;46-52.
9. Hu KF, Chou YH, Lan CC, Ho PS, Liu PF, Tseng CJ. Greater bone regeneration required for implants following periodontal extraction: a retrospective cross-sectional study. BMC Oral Health. 18 avr 2025;25(1):586.
10. Chatzopoulos GS, Wolff LF. Dental implant failure and bone augmentation: A retrospective study. J Clin Exp Dent. 1 mars 2023;15(3):e195-204.
11. Afota Franck. Le Fil Dentaire. 2022. La ROG « Sausage technique". Disponible sur: <https://www.lefildentaire.com/articles/rog-sausage-technique/>
12. Cawood JI, Howell RA. A classification of the edentulous jaws. International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. 1 août 1988;17(4):232-6.

13. Cawood JI, Howell RA. Reconstructive preprosthetic surgery: I. Anatomical considerations. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 1 avr 1991;20(2):75-82.
14. Florencio-Silva R, Sasso GR da S, Sasso-Cerri E, Simões MJ, Cerri PS. Biology of Bone Tissue: Structure, Function, and Factors That Influence Bone Cells. *BioMed Research International*. 2015;2015(1):421746.
15. Servier. ResearchGate. Figure I-2. Représentation schématique d'u cycle de remodelage osseux... Disponible sur: [https://www.researchgate.net/figure/Representation-schematique-du-cycle-de-remodelage-osseux-courtoisie-banque-dimages\\_fig2\\_321862706](https://www.researchgate.net/figure/Representation-schematique-du-cycle-de-remodelage-osseux-courtoisie-banque-dimages_fig2_321862706)
16. Venkataraman N, Bansal S, Bansal P, Narayan S. Dynamics of bone graft healing around implants. *Journal of the International Clinical Dental Research Organization*. déc 2015;7(Suppl 1):S40.
17. Grunder U, Gracis S, Capelli M. Influence of the 3-D bone-to-implant relationship on esthetics. *Int J Periodontics Restorative Dent*. avr 2005;25(2):113-9.
18. Buser D, Martin W, Belser UC. Optimizing esthetics for implant restorations in the anterior maxilla: anatomic and surgical considerations. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2004;19 Suppl:43-61.
19. Spray JR, Black CG, Morris HF, Ochi S. The influence of bone thickness on facial marginal bone response: stage 1 placement through stage 2 uncovering. *Ann Periodontol*. déc 2000;5(1):119-28.
20. Misch CE. *Contemporary Implant Dentistry*. 3<sup>e</sup> éd. St. Louis, Missouri: Mosby Elsevier; 2008. 1104 p.
21. Pieroni S, Miceli B, Giboli L, Romano L, Azzi L, Farronato D. Efficacy of the Sausage Technique in Rebuilding the Crestal Buccal Bone Thickness: A Retrospective Analysis. *Dentistry Journal*. juin 2024;12(6):180.
22. Choquet V, Hermans M, Adriaenssens P, Daelemans P, Tarnow DP, Malevez C. Clinical and radiographic evaluation of the papilla level adjacent to single-tooth dental implants. A retrospective study in the maxillary anterior region. *J Periodontol*. oct 2001;72(10):1364-71.
23. Tarnow DP, Magner AW, Fletcher P. The effect of the distance from the contact point to the crest of bone on the presence or absence of the interproximal dental papilla. *J Periodontol*. déc 1992;63(12):995-6.
24. Tarnow DP, Cho SC, Wallace SS. The effect of inter-implant distance on the height of inter-implant bone crest. *J Periodontol*. avr 2000;71(4):546-9.

25. Linkevicius T, Apse P, Grybauskas S, Puisys A. The influence of soft tissue thickness on crestal bone changes around implants: a 1-year prospective controlled clinical trial. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2009;24(4):712-9.
26. Tomar S, Saxena D, Kaur N. Marginal bone loss around implants with platform switching and platform matched connection: A systematic review. *J Prosthet Dent*. juill 2025;134(1):109-13.
27. Linkevicius T, Puisys A, Linkevicius R, Alkimavicius J, Gineviciute E, Linkeviciene L. The influence of submerged healing abutment or subcrestal implant placement on soft tissue thickness and crestal bone stability. A 2-year randomized clinical trial. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*. 2020;22(4):497-506.
28. Anitua E, Piñas L, Begoña L, Orive G. Long-term retrospective evaluation of short implants in the posterior areas: clinical results after 10-12 years. *J Clin Periodontol*. avr 2014;41(4):404-11.
29. Mangano C, Bianchi A, Mangano FG, Dana J, Colombo M, Solop I, et al. Custom-made 3D printed subperiosteal titanium implants for the prosthetic restoration of the atrophic posterior mandible of elderly patients: a case series. *3D Print Med*. 8 janv 2020;6(1):1.
30. Dr Arthur Arnaud. Drs. Arnaud, Hugentobler & Oeggerli | Chirurgie orale | Genève. Implants sous-périostés. Disponible sur: <https://chirurgieorale-geneve.ch/implantologie/implants-sous-periostes/>
31. Bedrossian E, Stumpel L, Beckely ML, Indresano T. The zygomatic implant: preliminary data on treatment of severely resorbed maxillae. A clinical report. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2002;17(6):861-5.
32. Pr Armand-Régis Paraque. Pr Armand-Régis Paraque. Implants dentaires zygomatiques à Paris. Disponible sur: <https://armand-paraque.com/chirurgie-maxillo-faciale/implants-dentaires-zygomatiques/>
33. Daculsi G, Passuti N, Martin S, Deudon C, Legeros RZ, Raher S. Macroporous calcium phosphate ceramic for long bone surgery in humans and dogs. Clinical and histological study. *J Biomed Mater Res*. mars 1990;24(3):379-96.
34. Nkenke E, Neukam FW. Autogenous bone harvesting and grafting in advanced jaw resorption: morbidity, resorption and implant survival. *Eur J Oral Implantol*. 2014;7 Suppl 2:S203-217.
35. Ferraz MP. Bone Grafts in Dental Medicine: An Overview of Autografts, Allografts and Synthetic Materials. *Materials (Basel)*. 31 mai 2023;16(11):4117.
36. Keller P. Reconstruction osseuse. *L'Information Dentaire*. 27 juin 2024;
37. Lomas R, Chandrasekar A, Board TN. Bone Allograft in the UK: Perceptions and Realities. *Hip Int*. sept 2013;23(5):427-33.

38. Salamanca E, Hsu CC, Huang HM, Teng NC, Lin CT, Pan YH, et al. Bone regeneration using a porcine bone substitute collagen composite in vitro and in vivo. *Sci Rep.* 17 janv 2018;8(1):984.
39. Albrektsson T, Johansson C. Osteoinduction, osteoconduction and osseointegration. *Eur Spine J.* oct 2001;10 Suppl 2(Suppl 2):S96-101.
40. Wang HL, Boyapati L. "PASS" Principles for Predictable Bone Regeneration. *Implant Dentistry.* mars 2006;15(1):8.
41. Dahlin C, Linde A, Gottlow J, Nyman S. Healing of bone defects by guided tissue regeneration. *Plast Reconstr Surg.* mai 1988;81(5):672-6.
42. Ronda, Marco, Rebaudi, Alberto, Torelli, Lucio, Stracchi, Claudio. Ovid. 2014. Expanded vs. dense polytetrafluoroethylene... : *Clinical Oral Implants Research.*
43. Starch-Jensen T, Becktor JP. Maxillary Alveolar Ridge Expansion with Split-Crest Technique Compared with Lateral Ridge Augmentation with Autogenous Bone Block Graft: a Systematic Review. *J Oral Maxillofac Res.* 30 déc 2019;10(4):e2.
44. Yang L. Alveolar distraction osteogenesis: a systematic literature review. 2014;34(3).
45. 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.* août 2021;10(8):749.
46. Mouzaoui Joris. Radio-anatomie du nerf alvéolaire inférieur et ses bifurcations [Internet] [Thèse d'exercice en chirurgie dentaire]. Nice; 2025. Disponible sur: <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-05036015v1/file/2025NICED008.pdf>
47. Bernabeu-Mira JC, Peñarrocha-Diago M, Peñarrocha-Oltra D. Prescription of Antibiotic Prophylaxis for Dental Implant Surgery in Healthy Patients: A Systematic Review of Survey-Based Studies. *Front Pharmacol.* 10 févr 2021;11:588333.
48. Lesclous P. Prescription des antibiotiques en pratique bucco-dentaire: Recommandations Afssaps 2011. *Med Buccale Chir Buccale.* nov 2011;17(4):334-46.
49. Melini M, Forni A, Cavallin F, Parotto M, Zanette G. Analgesics for Dental Implants: A Systematic Review. *Front Pharmacol.* 27 janv 2021;11:634963.
50. e-Anatomy IMAIOS [Internet]. Crâne Illustrations: anatomie normale. Disponible sur: <https://www.imaios.com/fr/e-anatomy/tete-et-cou/crane>
51. Aquaportail A. AquaPortail. Symphyse : définition et explications. Disponible sur: <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/3316/symphyse>
52. Servier. Dentsply Sirona France. Protecteur Frios MicroSaw. Disponible sur: <https://www.dentsplysirona.com/fr-fr/shop/ID-BP-1000215000/protecteur-frios-microsaw.html>

53. Keller P, Thomas C. Le Fil Dentaire. 2021. Méthodes et étude des suites post-opératoires du prélèvement osseux rétromolaire : une série de 43 patients. Disponible sur: <https://www.lefildentaire.com/articles/clinique/methodes-etude-suites-post-operatoires-prelevement-osseux-retromolaire-serie-de-43-patients/>
54. Laurent Venet. Reconstruction péri-implantaire. Présentation universitaire présentée à; 2024 sept.
55. Awad KAI, Tawik MAM, Hussein MM, El-Farag SAA, Sameaa SESA. Tooth shell versus bone shell technique for horizontal maxillary alveolar ridge augmentation. BMC Oral Health. 25 avr 2025;25(1):642.
56. Valles C, Vilarrasa J, Barallat L, Pascual A, Nart J. Efficacy of soft tissue augmentation procedures on tissue thickening around dental implants: A systematic review and meta-analysis. Clin Oral Implants Res. juin 2022;33 Suppl 23:72-99.
57. Khoury Fouad. Bone and Soft Tissue Augmentation in Implantology | Fouad Khoury (Editor). 1st Edition 2022. 2021. 768 p.
58. Kämmerer PW, Tunkel J, Götz W, Würdinger R, Kloss F, Pabst A. The allogeneic shell technique for alveolar ridge augmentation: a multicenter case series and experiences of more than 300 cases. International Journal of Implant Dentistry. 1 nov 2022;8(1):48.
59. Nyman S, Lindhe J, Karring T, Rylander H. New attachment following surgical treatment of human periodontal disease. J Clin Periodontol. juill 1982;9(4):290-6.
60. Tholozan L. La régénération parodontale des défauts intra osseux en secteur antérieur [Mémoire universitaire]. 2017.
61. Faculté de médecine ULiège [Internet]. 2022. Optimiser la régénération osseuse en dentisterie. Disponible sur: [https://www.facmed.uliege.be/cms/c\\_7995259/fr/optimiser-la-regeneration-osseuse-en-dentisterie](https://www.facmed.uliege.be/cms/c_7995259/fr/optimiser-la-regeneration-osseuse-en-dentisterie)
62. Kim YK, Ku JK. Guided bone regeneration. J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg. 31 oct 2020;46(5):361-6.
63. Lee SJ. The Sausage Technique using Collagen Membrane without Autogenous Bone Graft: A Case Report. J Implantol Appl Sci. 30 juin 2021;25(2):74-83.
64. Urban IA, Montero E, Amerio E, Palombo D, Monje A. Techniques on vertical ridge augmentation: Indications and effectiveness. Periodontology 2000. 2023;93(1):153-82.
65. Elgali I, Omar O, Dahlin C, Thomsen P. Guided bone regeneration: materials and biological mechanisms revisited. European Journal of Oral Sciences. 2017;125(5):315-37.

66. Mizraji G, Davidzohn A, Gursoy M, Gursoy UK, Shapira L, Wilensky A. Membrane barriers for guided bone regeneration: An overview of available biomaterials. *Periodontology 2000*. 2023;93(1):56-76.
67. Masson E. EM-Consulte. Les membranes en chirurgie pré-implantaire. Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/article/749399/alertePM>
68. Urban I, Traxler H, Romero-Bustillos M, Farkasdi S, Bartee B, Baksa G, et al. Effectiveness of Two Different Lingual Flap Advancing Techniques for Vertical Bone Augmentation in the Posterior Mandible: A Comparative, Split-Mouth Cadaver Study. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2018;38(1):35-40.
69. Lee J, Park J, Chung H, Song YW, Strauss F. Vertical ridge augmentation feasibility using unfixed collagen membranes and particulate bone substitutes: A 1- to 7-year retrospective single-cohort observational study. *Clin Implant Dent Relat Res*. juin 2022;24(3):372-81.
70. Istvan Urban. *Vertical and Horizontal Ridge Augmentation : New Perspectives*. 2017.
71. Kim KM, Choi SY, Park JH, Kim HY, Kim SJ, Kim JW. Six-month stability following extensive alveolar bone augmentation by sausage technique. *Maxillofac Plast Reconstr Surg*. 23 avr 2023;45(1):16.
72. Shaker AE, Salem AS, El-Farag SA, Abdel-Rahman FH, El-Kenawy MH. Comparison of Khoury's Bone Shell Technique vs Titanium-reinforced Polytetrafluoroethylene Membrane for 3D-bone Augmentation in Atrophic Posterior Mandible: A Randomized Clinical Trial. *J Contemp Dent Pract*. 1 juin 2024;25(6):518-26.
73. 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. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2013;33(3):299-307.
74. 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. *Molecules*. mai 2021;26(10):3007.
75. Cordaro L, Sarzi Amadè D, Cordaro M. Clinical results of alveolar ridge augmentation with mandibular block bone grafts in partially edentulous patients prior to implant placement. *Clinical Oral Implants Research*. mars 2002;13(1):103-11.
76. Li S, Zhao J, Xie Y, Tian T, Zhang T, Cai X. Hard tissue stability after guided bone regeneration: a comparison between digital titanium mesh and resorbable membrane. *International Journal of Oral Science*. 2021;13(37).
77. Baig M, Rajan M. Effects of smoking on the outcome of implant treatment: A literature review. *Indian J Dent Res*. 2007;18(4):190-4.

78. D'Ambrosio F, Amato A, Chiacchio A, Sisalli L, Giordano F. Do systemic diseases and medications influence dental implant osseointegration and dental implant health? An umbrella review. *Dentistry Journal*. juin 2023;11(6):146.
79. 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. *Clin Implant Dent Relat Res*. avr 2022;24(2):211-21.
80. Aludden et al. Radiographic changes in height and volume after lateral GBR procedures with different ratios of deproteinized bovine bone mineral and autogenous bone at different time points. An experimental study. *Clinical Oral Implants Research*. 22 déc 2020;32(2):167-79.
81. Silva et al. Complications of intraoral donor site for bone grafting prior to implant placement. *Implant Dentistry*. déc 2006;15(4):420-6.
82. Richa R, Osman E, Attia N, Arakji H, Shokry M. Evaluation of Modified Shell Technique in 3D Ridge Reconstruction: A Clinical and Radiographic Study. *European Journal of Dental and Oral Health*. 8 déc 2023;4(6):21-6.
83. Yu T, Liu J, Yin JJ, Xu XN, Yan SJ, Lan J. Effects of concentrated growth factors on relieving postoperative reaction of guided bone regeneration in the esthetic zone. *Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi*. 1 août 2019;37(4):398-402.
84. Urban IA, Nagursky H, Lozada JL. Horizontal ridge augmentation with a resorbable membrane and particulated autogenous bone with or without anorganic bovine bone-derived mineral: a prospective case series in 22 patients. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2011;26(2):404-14.
85. Fillion M, Aubazac d, Bessadet M, Allègre M, Nicolas E. The impact of implant treatment on oral health related quality of life in a private dental practice: a prospective cohort study. *Health Qual Life Outcomes*. 14 nov 2013;11:197.
86. Askar H, Di Gianfilippo R, Ravidia A, Tattan M, Majzoub J, Wang HL. Incidence and severity of postoperative complications following oral, periodontal, and implant surgeries: A retrospective study. *Journal of Periodontology*. nov 2019;90(11):1270-8.
87. Rahmani F, Nikeghbal D, Zarehgar S, Mohammadikhah M, Aryanezhad SS, Anzabi RM, et al. Managing Local Bleeding in Dentoalveolar Surgery: Practical Techniques and Best Practices: A Narrative Review. *Galen Medical Journal*. 29 déc 2024;13(SP1):e3686-e3686.
88. Kulkarni M, Shettar L, Bakshi P, Thakur S. A novel clinical protocol for the greater palatine compression suture: A case report. *Journal of Indian Society of Periodontology*. 1 sept 2018;22:456-8.
89. McAllister BS, Haghighat K. Bone Augmentation Techniques. *Journal of Periodontology*. 2007;78(3):377-96.

90. Urban IA; Bartee BK; Farkasdi S; Lozada JL. 3D vertical alveolar crest augmentation in the posterior mandible using the tunnel technique: A 10-year clinical study. *Int J Oral Maxillofac Implants*. févr 2020;35(1):123-32.
91. Kolte A, Kolte R, Bawankar P, R Rathi P, Warkad S, Bajaj P, et al. Comprehensive Classification System for Localized Alveolar Bone Deficiencies in Treatment Planning for Dental Implants: A Proposed Classification and Prevalence Study. *cureus*. août 2024;16(8):e67769.
92. Tang YL, Yuan J, Song YL, Ma W, Chao X, Li DH. Ridge expansion alone or in combination with guided bone regeneration to facilitate implant placement in narrow alveolar ridges: a retrospective study. *Clinical Oral Implants Research*. 2015;26(2):204-11.
93. Tarce M, Merheb J, Meeus M, de Faria Vasconcelos K, Quirynen M. Surgical guides for guided bone augmentation: An in vitro study. *Clin Oral Implants Res*. mai 2022;33(5):558-67.
94. Kim J, Kaenploy J, Lee DH, Ashsams N, Arany PR. Custom fabricated three-dimensional printed surgical guide for trephine bur in autogenous bone graft: A technique report. *Journal of Prosthodontics*. 10 juill 2024;n/a(n/a).
95. Penas Y. ITI Blog. 2024. Digital trends and 3D technologies in bone augmentation procedures. Disponible sur: <https://blog.iti.org/clinical-insights/digital-trends-and-3d-technologies-in-bone-augmentation-procedures/>
96. Ayman D, Shawky M, Aly LAA, Mounir M, Zekry AKA. Bone gain and accuracy assessment of computer-guided workflow for horizontal augmentation of atrophic anterior maxilla with symphyseal cortical plates: a randomized controlled trial. *BMC Oral Health*. 2 juill 2025;25:1039.
97. da Rosa JCM, Pértile de Oliveira Rosa AC, Huwais S. Use of the Immediate Dentoalveolar Restoration Technique Combined with Osseodensification in Periodontally Compromised Extraction Sites. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2019;39(4):527-34.

## Table des Illustrations :

Figure 1 – Classification de Cawood et Howell (1988) .....	15
Figure 2 - Représentation schématique du site du remodelage osseux.(15) .....	16
Figure 3 -Schéma d'Implants sous périostés (30).....	19
Figure 4 – Schéma d'implants zygomatiques (32) .....	19
Figure 5 – Schéma du nerf alvéolaire inférieur dans le canal mandibulaire et ses bifurcations (46) .....	25
Figure 6 – Schéma de la mandibule (50) .....	26
Figure 7-Schéma montrant la symphyse mandibulaire (51) .....	27
Figure 8-image d'une MicroSaw (52) .....	27
Figure 9-MicroSaw avec son carter de protection (3).....	27
Figure 10 – Ostéotomie verticale distale à l'aide la MicroSaw montée sur pièce à main . (53) .....	28
Figure 11 – Ostéotomie horizontale à l'aide de la MicroSaw montée sur contre-angle . (53) .....	28
Figure 12 – Perforations occluso-crestales à l'aide du foret drill monté sur pièce à main. (53) .....	28
Figure 13 – Luxation du bloc osseux au ciseau à os. (53) .....	28
Figure 14 – prélèvements osseux séparés en deux. (54) .....	29
Figure 15 – Image d'un récupérateur d'os type safescraper™ (54) .....	29
Figure 16 – Photo d'une reconstruction 3D avec les deux lamelles.(3) .....	30
Figure 17 – Photo de l'espace entre les blocs comblé par de l'os cortical concassé et de spongieux. (3).....	30
Figure 18 – Mode de fonctionnement d'une membrane dans la RTG. (60) .....	33
Figure 19 – Schéma montrant le principe de régénération osseuse guidée (61).....	33
Figure 20 – Vue schématique du principe de la régénération osseuse guidée. La membrane a un rôle de maintien de l'espace et de barrière cellulaire étanche vis-à-vis des cellules non-ostéogéniques (fibroblastes essentiellement) provenant des tissus mous avoisinant (67).....	36
Figure 21 -Perforation corticale à la mandibule (11) .....	36
Figure 22-Relaxation tissulaire et insertion du greffon autogène + xéno greffe. (11) .....	37
Figure 23 – image de CBCT montrant le gain osseux obtenu après 4 mois postopératoire (11) .....	38
Figure 24 – Photo de la réouverture du site montrant une crête osseuse de contour régulier, avec un volume suffisant pour la pose implantaire. (11) .....	38
Figure 25 – schéma d'une vue latérale montrant le système nerveux trigéminal.(46).....	48
Figure 26 – Schéma montrant l'angulation de la concavité maxillaire (46) .....	52
Figure 27 – Adaptation d'une membrane en PTFE renforcée par du titane au modèle 3D virtuellement régénéré et imprimé numériquement par rapport au modèle original et son adaptation au défaut (95) .....	55

Figure 28 – Planification préopératoire pour le prélèvement autogène (96) .....	55
Figure 29 – Phase peropératoire : guide fixé en place, puis les lamelles osseuses sont récoltées et fixées au 2 <sup>ème</sup> guide de positionnement (96) .....	56
Figure 30 – Phase peropératoire : positionnement du greffon au niveau du site receveur. (96) .....	56

## Table des Tableaux :

Tableau 1 – Explication et implications de la classification de Cawood et Howell. (1988). .....	15
Tableau 2 – Comparaison des potentialités ostéogéniques, ostéoinductrices et ostéoconductrices selon le type de greffon. (39) et (3) .....	23
Tableau 3 - Avantages et les inconvénients de la technique de Khoury .....	49
Tableau 4 – Avantages et inconvénients de la « technique de Sausage » selon Urban ....	50
Tableau 5 – Tableaux récapitulatif du choix de la technique d’augmentation osseuse selon les critères cliniques : .....	53
Tableau 6 – Arbre décisionnel de la chirurgie d’augmentation osseuse utilisée par rapport aux défauts osseux .....	53

N° 2026 LYO1D 006

DEVISMES Julie

**Comparaison de la prédictibilité de gain osseux et de succès entre la « technique Sausage » selon Urban et la Technique de Khoury.**

Résumé :

Les techniques de régénération osseuse guidée de type « Sausage » selon Urban et les techniques de coffrage osseux selon Khoury sont des procédures majeures de chirurgie d'augmentation osseuse pré-implantaire. Elles sont principalement indiquées pour la prise en charge des défauts osseux horizontaux, mais peuvent également concerner des défauts tridimensionnels.

Ces techniques visent à recréer un volume osseux suffisant et stable, permettant la pose d'implants dentaires dans des conditions fonctionnelles et esthétiques favorables à long terme. Bien que reposant sur des principes biologiques communs, ces deux techniques diffèrent par leur approche chirurgicale, les biomatériaux utilisés, la gestion des tissus mous, ainsi que par leur morbidité et leur courbe d'apprentissage. La technique de Khoury repose sur l'utilisation de blocs osseux autogènes sous forme de lamelles corticales, tandis que la « Sausage technique » d'Urban repose sur une régénération osseuse guidée à l'aide de membranes collagéniques mises en tension et de greffons particuliers.

L'objectif de ce travail est de comparer ces deux techniques, à travers une revue de la littérature scientifique, en analysant leurs indications cliniques, leur prédictibilité ainsi que les gains osseux obtenus. Les résultats cliniques, les taux de survie implantaire, les complications, la morbidité associée et la satisfaction des patients sont également pris en compte.

Cette comparaison vise à apporter des éléments d'aide à la décision clinique afin d'orienter le choix de la technique la plus appropriée selon la situation clinique.

Mots clés :

- Chirurgie pré-implantaire
- Augmentation osseuse horizontale
- Régénération osseuse guidée
- Sausage technique
- Technique de Khoury

Jury :

Président	Monsieur le Professeur Christophe JEANNIN
Assesseur	Monsieur le Professeur Arnaud LAFON
	Monsieur le Professeur Olivier ROBIN
	<u>Monsieur le Docteur Emmanuel PELLETIER</u>
	Monsieur le Docteur Laurent VENET

Adresse de l'auteur :

Julie DEVISMES  
92 G rue Pierre Delore,  
69008 Lyon