



HAL
open science

L'expansion osseuse transversale pré-implantaire

Adeline Fonty

► **To cite this version:**

Adeline Fonty. L'expansion osseuse transversale pré-implantaire. Sciences du Vivant [q-bio]. 2019. hal-03298032

HAL Id: hal-03298032

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-03298032v1>

Submitted on 23 Jul 2021

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

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



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

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

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

Contact : ddoc-thesesexercice-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

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

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

**ACADEMIE DE NANCY-METZ
UNIVERSITÉ DE LORRAINE
FACULTÉ D'ODONTOLOGIE**

ANNÉE 2019

N°10826

THÈSE

pour le

DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

par

Adeline FONTY

née le 17 Février 1993 à BELFORT (90)

L'expansion osseuse transversale pré-implantaire

présentée et soutenue publiquement le 27 Septembre 2019

Examineurs de la thèse :

<u>Pr. P. AMBROSINI</u>	<u>Professeur des Universités</u>	<u>Président et Directeur de thèse</u>
Dr. D. JOSEPH	Maître de Conférences	Juge
Dr. J. GUILLET-THIBAUT	Maître de Conférences	Juge
Dr. C. EGLOFF-JURAS	Maître de Conférences	Juge
Dr. F. FAVÉ-LESAGE	Praticien attaché	Juge

Par délibération en date du 11 décembre 1972, la Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propre à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

Président : Professeur Pierre MUTZENHARDT
Doyen : Professeur Jean-Marc MARTRETTE
Vice-Doyens : Dr Céline CLEMENT – Dr Rémy BALTHAZARD – Dr Anne-Sophie VAILLANT

Membres Honoraires : Dr L. BABEL – Pr. S. DURIVAUX – Pr A. FONTAINE – Pr G. JACQUART – Pr D. ROZENCWEIG - Pr ARTIS - Pr M. VIVIER

Doyens Honoraires : Pr J. VADOT, Pr J.P. LOUIS

Professeur émérite : Pr M-P FILLEUL

Département Odontologie pédiatrique Sous-section 56-01	Mme <u>DROZ Dominique</u>	Maître de Conférences *
	Mme JAGER Stéphanie	Maître de Conférences *
	M. PREVOST Jacques	Maître de Conférences
	Mme HERNANDEZ Magali	Maître de Conférences *
	M. LEFAURE Quentin	Assistant
	Mme DARSAT Claire	Assistante*
Département Orthopédie dento-faciale Sous-section 56-01	Mme FANGET Alexia	Assistante
	M. <u>VANDE VANNET Bart</u>	Maître de Conférences associé *
	Mme SENG Marilyne	Assistante *
Département Prévention, épidémiologie, économie de la santé, odontologie légale Sous-section 56-02	Mme <u>CLÉMENT Céline</u>	Maître de Conférences *
	M. BAUDET Alexandre	Assistant *
	Mme NASREDDINE Greyce	Assistante
Département Parodontologie Sous-section 57-01	M. <u>AMBROSINI Pascal</u>	Professeur des Universités *
	Mme BISSON Catherine	Maître de Conférences *
	M. JOSEPH David	Maître de Conférences *
	M. LACH Patrick	Assistant
	Mme MAYER-COUPIN Florence	Assistante
	Mme PAOLI Nathalie	Enseignante univ. – Praticien attachée
Département Chirurgie orale Sous-section 57-01	Mme <u>GUILLET-THIBAUT Julie</u>	Maître de Conférences *
	M. BRAVETTI Pierre	Maître de Conférences
	Mme PHULPIN Bérengère	Maître de Conférences *
	M. CLERC Sébastien	Assistant*
	M. HASNAOUI Nasr	Assistant
	Mme KICHENBRAND Charlene	Enseignante univ. – Praticien attachée*
Département Biologie orale Sous-section 57-01	M. <u>YASUKAWA Kazutovo</u>	Maître de Conférences *
	M. MARTRETTE Jean-Marc	Professeur des Universités *
	Mme EGLOFF-JURAS Claire	Maître de Conférences *
Département Dentisterie restauratrice, endodontie Sous-section 58-01	M. <u>MORTIER Éric</u>	Professeur des Universités *
	M. AMORY Christophe	Maître de Conférences
	M. BALTHAZARD Rémy	Maître de Conférences *
	M. ENGELS-DEUTSCH Marc	Professeur des Universités *
	M. VINCENT Marin	Maître de Conférences*
	Mme GEBHARD Cécile	Assistante
	M. GIESS Renaud	Assistant *
Département Prothèses Sous-section 58-01	M. <u>DE MARCH Pascal</u>	Maître de Conférences
	M. SCHOUVER Jacques	Maître de Conférences
	Mme VAILLANT Anne-Sophie	Maître de Conférences *
	Mme CORNE Pascale	Maître de Conférences *
	M. CIESLAK Steve	Assistant
	M. HIRTZ Pierre	Enseignant univ. – Praticien attaché
	M. MAILLET Maxime	Assistant
	Mme MOEHREL Bethsabée	Assistante
	M. VUILLAUME Florian	Assistant
Département Fonction-dysfonction, imagerie, biomatériaux Sous-section 58-01	Mme <u>STRAZIELLE Catherine</u>	Professeur des Universités *
	Mme MOBY (STUTZMANN) Vanessa	Maître de Conférences *
	M. SALOMON Jean-Pierre	Maître de Conférences
	Mme JANTZEN-OSSOLA Caroline	Assistante associée

Souligné : responsable de département

* temps plein

Mis à jour le 09/09/2019

À NOTRE PRESIDENT ET DIRECTEUR DE THÈSE,

Monsieur le Professeur Pascal AMBROSINI

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université Henri Poincaré Nancy I

Habilité à diriger des recherches

Professeur des Universités - Praticien Hospitalier

Responsable du département de parodontologie

Nous vous remercions de nous avoir fait l'honneur de présider notre thèse.

C'est avec le plus grand respect que nous vous remercions d'avoir accepté de diriger notre travail.

Nous vous sommes reconnaissants pour vos précieux conseils, votre patience ainsi que votre disponibilité que vous nous avez témoignés. Votre expérience, votre sagesse et votre pédagogie, nous auront permis d'acquérir des compétences et des valeurs essentielles.

Veillez trouver en ce travail, l'expression de notre profonde considération.

À NOTRE JUGE,

Monsieur le Docteur David JOSEPH

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université de Lorraine, mention sciences de la vie et de la santé

Maître de Conférences – Praticien Hospitalier

Nous vous remercions de nous avoir fait l'honneur de faire parti de notre jury.

Nous vous remercions sincèrement pour votre humilité et votre gentillesse apportées au cours de nos années d'études.

Votre rigueur, alliée à votre empathie, persistera au-delà de nos années d'études.

Nous vous témoignons à travers ce travail, notre plus profond respect.

À NOTRE JUGE,

Madame le Docteur Julie GUILLET-THIBAULT

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université de Lorraine, mention sciences de la vie et de la santé

Spécialiste qualifié en chirurgie orale

Ancienne interne en odontologie

Maître de Conférences – Praticien Hospitalier

Responsable du département de chirurgie orale

*Nous vous remercions de nous avoir fait
l'honneur de faire parti de notre jury.*

*Nous tenions à vous remercier sincèrement pour
votre soutien au cours de notre stage hospitalier.
Vos qualités pédagogiques et votre disponibilité
l'ont rendu inoubliable.*

*Merci pour votre confiance et vos conseils qui
nous auront permis de progresser.*

*Veillez trouver dans ce travail, le témoignage
de notre profonde gratitude.*

À NOTRE JUGE,

Madame le Docteur Claire EGLOFF-JURAS

Docteur en Chirurgie Dentaire

Spécialiste qualifié en médecine bucco-dentaire

Ancienne interne en médecine bucco-dentaire

Maître de Conférences - Praticien Hospitalier

Nous vous remercions de nous avoir fait l'honneur de faire parti de notre jury.

Nous tenions particulièrement à vous remercier pour votre gentillesse, votre disponibilité et votre aide tout au long de nos années cliniques. Merci pour votre confiance et vos encouragements. Votre sollicitude restera dans nos mémoires.

Veillez trouver ici, le témoignage de notre considération.

À NOTRE JUGE,

Monsieur le Docteur FAVÉ-LESAGE

Docteur en Chirurgie Dentaire

Diplôme Universitaire d'implantologie et esthétique dentaire

Diplôme Inter Universitaire de Chirurgie reconstructrice pré et péri implantaire orale

Diplôme Universitaire Franco-Canadien en Chirurgie Implantaire Avancé

Praticien Attaché Hospitalier au CHRU de Nancy

Nous vous remercions de nous avoir fait l'honneur de faire parti de notre jury.

Nous vous sommes reconnaissants pour votre sollicitude et votre dévouement.

Merci sincèrement pour avoir accorder de la valeur à notre travail et pour nous avoir inspirer ce sujet.

Puissiez-vous trouver en ce travail, l'expression de notre profond respect.

SOMMAIRE

1 Introduction

2 Généralités

2.1 Rappels anatomiques et physiologiques

2.2 Réhabilitation implantaire de la crête alvéolaire édentée

2.3 Techniques d'augmentation osseuse latérale

3 L'expansion osseuse transversale

3.1 Généralités

3.2 Matériel

3.3 Méthodes

4 Discussion

4.1 Protocole opératoire

4.2 Résultats chirurgicaux

4.3 Niveau osseux marginal péri-implantaire

4.4 Résultats implantaires

4.5 Comparaison avec les autres techniques actuelles

5 Conclusion

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Le sinus maxillaire	15
Figure 2 : L'artère palatine descendante et l'artère alvéolaire postéro-supérieure ...	16
Figure 3 : Le foramen incisif et le foramen grand palatin	16
Figure 4 : La position et le trajet du canal mandibulaire et du foramen mentonnier..	17
Figure 5 : Une perforation de la corticale linguale et atteinte de l'artère faciale	17
Figure 6 : Le trajet du nerf lingual.....	18
Figure 7 : La classification de Cawood et Howell (1988).....	21
Figure 8 : La densité osseuse selon Lekholm et Zarb.....	24
Figure 9 : La répartition de la densité osseuse.....	24
Figure 10 : La classification de la quantité osseuse (Lekholm et Zarb).....	25
Figure 11 : Proposition d'un arbre décisionnel des options thérapeutiques au maxillaire	29
Figure 12 : Proposition d'un arbre décisionnel des options thérapeutiques à la mandibule.....	29
Figure 13 : De crêtes alvéolaires avec déficit osseux transversal.....	33
Figure 14 : Les crêtes alvéolaires idéales pour expansion osseuse transversale.....	33
Figure 15 : L'expansion alvéolaire transversale après avulsion	35
Figure 16 : Un exemple d'inserts coupants piézoélectriques	37
Figure 17 : Les ostéotomes de Tatum.....	38
Figure 18 : Les ostéotomes de Summers.....	38
Figure 19 : Un exemple de séquence de ciseaux à os.....	39
Figure 20 : Un kit d'expandeurs de crête verticaux.....	39
Figure 21 : Des exemples d'expandeurs de crête horizontaux.....	40
Figure 22 : Ligature métallique (à gauche), maillage en titane (à droite)	43
Figure 23 : vis d'ostéosynthèse	44
Figure 24 : Implant cylindrique (à gauche), implant conique, implant cylindro-conique (à droite).....	45
Figure 25 : Les incisions muqueuses	49
Figure 26 : Le lambeau d'épaisseur partielle et le lambeau de pleine épaisseur	49
Figure 27 : Les décollements en lingual et en palatin	50
Figure 28 : Les différentes corticotomies.....	50

Figure 29 : La corticotomie crestale	51
Figure 30 : Les corticotomies de décharge verticales	52
Figure 31 : La corticotomie horizontale apicale	53
Figure 32 : La séparation osseuse	54
Figure 33 : L'expansion osseuse	55
Figure 34 : L'espace final créé.....	55
Figure 35 : Les différentes étapes d'une expansion osseuse transversale.....	58
Figure 36 : Le protocole d'utilisation d'un système d'expansion horizontal.....	60
Figure 37 : Le protocole d'utilisation d'expandeur conique verticaux	61
Figure 38 : Comparaison de la perte osseuse verticale marginale entre les implants posés en sites augmentés (SC) et les implants posés en sites non augmentés (CG).....	79
Figure 39 : Le col usiné à surface lisse (groupe 1) et le col taraudé à surface rugueuse (groupe 2).....	83
Figure 40 : Les effets d'un implant sans « <i>platform-switching</i> » (a, b) et les effets d'un implant à « <i>platform-switching</i> » (c, d).....	84

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: La classification de Cawood et Howell	21
--	----

1 INTRODUCTION

L'insuffisance osseuse dans le plan transversal relatif à un édentement de longue durée, à un traumatisme ou à une agénésie principalement, représente un obstacle dans le cadre d'un traitement implantaire, contre-indiquant parfois celui-ci.

Les techniques actuelles nous permettent d'envisager une correction de ce déficit, dans une phase chirurgicale pré-implantaire, par l'application de techniques telles que la régénération osseuse guidée, la greffe de bloc osseux, la distraction osseuse ou encore l'expansion osseuse transversale.

Le recul clinique des procédures de régénération osseuse guidée en a fait une technique privilégiée mais dont le coût de mise en œuvre, le risque infectieux et le temps de cicatrisation restent toutefois élevés. Sa fiabilité est également remise en question en cas de reconstruction de grande étendue où le risque d'échec est majoré. La greffe de bloc osseux, quant à elle, constitue une intervention invasive où réside un risque de morbidité du site donneur et de résorption du greffon. Ainsi, l'expansion osseuse transversale représente une alternative possible.

L'expansion osseuse transversale par ostéotomie sagittale a été initialement décrite dans les années 1980. Cette technique consiste à créer une rainure intra-osseuse permettant la séparation puis la luxation contrôlée des murs osseux afin d'obtenir la largeur requise et adéquate à la pose implantaire. L'espace ainsi créé donne la possibilité d'une implantation immédiate ou d'un comblement par un matériau de substitution de différentes origines, jouant un rôle de mainteneur d'espace. Cette procédure repose sur la plasticité osseuse ainsi que sur le principe de cicatrisation des fractures osseuses au niveau des berges osseuses latérales et au niveau de la partie centrale, à celui d'une alvéole post-extractionnelle.

Initialement, limitée à des crêtes d'épaisseur initiale supérieure à 3 mm, l'avènement récent de la piézo-chirurgie a permis d'étendre cette procédure aux crêtes les plus fines. Cependant, de part son incapacité à augmenter la dimension verticale, cette procédure nécessite une hauteur de crête minimale. Cette technique présente alors des indications précises qui restent toutefois plus limitées que les procédures citées auparavant.

L'objectif de ce travail est alors de présenter les différentes techniques et variations chirurgicales en tenant compte des prérequis nécessaires, tout en évaluant son succès à plus ou moins long terme, tant d'un point de vue chirurgical qu'implantaire sous l'influence de certains facteurs. Il conviendra également d'évaluer son intérêt parmi les différentes techniques actuelles d'augmentation osseuse latérale.

2 GENERALITES

2.1 Rappels anatomiques et physiologiques

La connaissance des structures et des éléments anatomiques ainsi que la compréhension de leur physiologie constituent des prérequis majeurs et indispensables à maîtriser avant toute approche chirurgicale.

2.1.1 Eléments anatomiques majeurs du complexe maxillo-mandibulaire

Le maxillaire, tout comme la mandibule, comprend des éléments anatomiques nobles dont la situation anatomique doit être connue avant toute exploration chirurgicale.

En effet, au niveau de l'os maxillaire, il est nécessaire de prêter attention aux structures suivantes :

- Le sinus maxillaire (figure 1), cavité aérique située au centre de l'os maxillaire et proche des éléments dentaires, surtout en région postérieure (1,2).

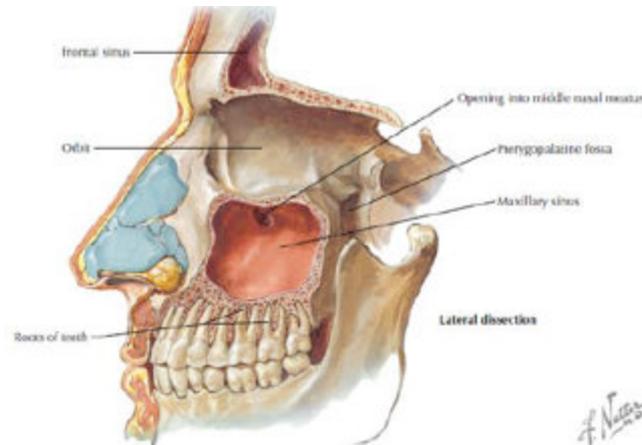
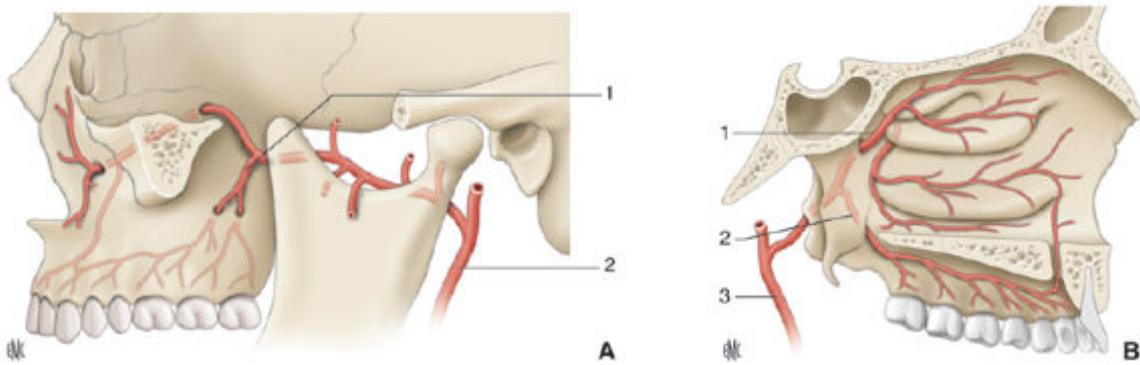


Figure 1 : Le sinus maxillaire
(source : Netter 2011) (3)

- L'artère palatine descendante et l'artère alvéolaire postéro-supérieure (branche terminale de l'artère maxillaire) (figure 2) (1)



A. 1. Artère alvéolaire postérosupérieure ; 2. artère carotide externe.
 B. 1. Artère sphéno-palatine ; 2. artère palatine descendante ; 3. artère carotide externe.

Figure 2 : L'artère palatine descendante et l'artère alvéolaire postéro-supérieure (source : Deffrennes et coll. 2016) (1)

- Le foramen incisif, par lequel transite le paquet vasculo-nerveux naso-palatin (figure 3).
- Les foramina grands palatins qui permettent le passage des vaisseaux palatins descendants et des nerfs grands palatins (figure 3).

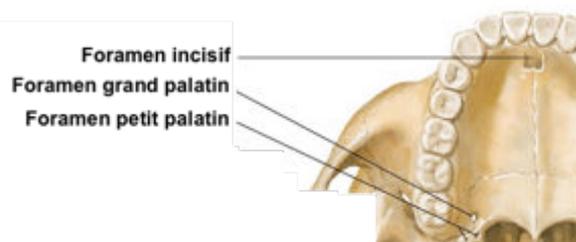


Figure 3 : Le foramen incisif et le foramen grand palatin (source : Netter 2011) (3)

La mandibule présente également des éléments anatomiques nobles à prendre en considération comme :

- Le canal mandibulaire, situé au sein du corps mandibulaire et abritant le nerf et l'artère alvéolaires inférieures.
- Les foramina mentonniers, situés entre les apex des deux prémolaires mandibulaires.
- Le canal incisif qui prolonge le canal mandibulaire jusqu'à l'incisive centrale abritant la branche intra-osseuse du nerf et de l'artère alvéolaires inférieures (1,4).

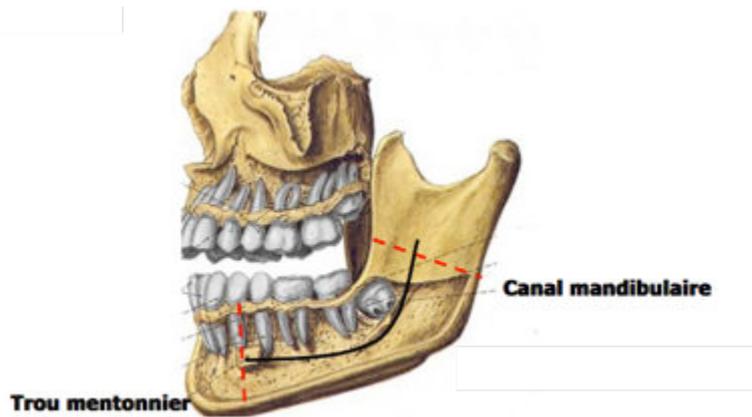


Figure 4 : La position et le trajet du canal mandibulaire et du foramen mentonnier
(source : <https://slideplayer.fr/slide/1297707/>)

- L'artère faciale est située dans la région de la deuxième molaire mandibulaire, sous le muscle mylo-hyoïdien et contre la corticale linguale de la mandibule. Elle est sujette aux perforations lors de la pose implantaire en raison de la présence de la glande submandibulaire qui rend la corticale osseuse plus fine (5).



Figure 5 : Une perforation de la corticale linguale et atteinte de l'artère faciale
(source : Sharawy 2016) (5)

- Le trajet du nerf lingual est responsable des plus fréquentes lésions nerveuses en chirurgie générale, avec le nerf alvéolaire inférieur (5,6).

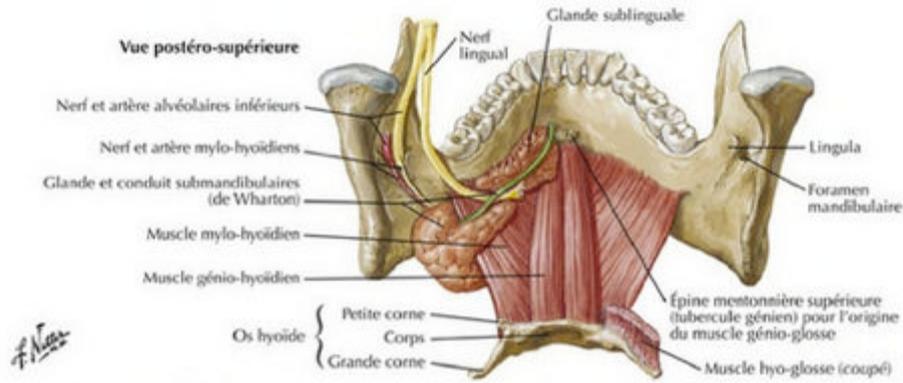


Figure 6 : Le trajet du nerf lingual
(source : Netter 2011) (3)

La prise en compte de ces éléments nobles est nécessaire lors des différentes étapes chirurgicales que sont la levée du lambeau, la réalisation des ostéotomies mais aussi lors du forage implantaire.

Le maxillaire et la mandibule sont les supports respectifs de la denture supérieure et inférieure. Ils sont constitués sur le plan anatomique d'un os basal et d'un os alvéolaire. Ces deux structures osseuses possèdent une structure histologique similaire et sont en parfaite continuité (7–9).

2.1.2 Anatomie de l'os alvéolaire

L'os alvéolaire ou encore appelé procès alvéolaire (10) est défini comme la structure de maintien et de support des dents. Ce dernier se développe concomitamment à la formation et à l'éruption dentaire. Contrairement à l'os basal, il se résorbe de façon progressive lors de la disparition de ces dernières (7–9,11).

Au niveau de sa surface externe, il est recouvert par le périoste, enveloppe du système squelettique, décrit pour la première fois par Blaisdell en 1925. Il s'agit d'une structure en deux couches qui adhère à l'os cortical. La couche interne est composée d'une couche « *cambiale* » encore appelée zone I (ostéogénique). Elle est impliquée dans les processus de formation et de réparation osseuse. La couche externe du périoste est quant à elle conçue d'un tissu fibreux rigide. Elle est plus épaisse que la précédente, désignée comme la zone II. Cette dernière couche est vascularisée et innervée (7,12–16).

Au niveau de sa surface interne, une structure similaire est retrouvée, en contact avec l'espace trabéculaire : l'endoste. À la différence du périoste, il est constitué uniquement d'une couche unique de cellules ostéoprogénitrices. Les deux réunis ont un rôle dans la régénération osseuse (8,12,15).

Tout au long de la vie, l'os alvéolaire est le siège d'un remodelage continu afin de répondre à la demande fonctionnelle. Grâce à sa constitution et aux cellules qui le composent, il sait s'adapter à différentes situations.

2.1.3 Histo-physiologie de l'os alvéolaire

L'os alvéolaire, en dépit de sa particularité, est considéré comme un tissu osseux à part entière. Il est le siège de multiples remaniements et d'interactions, faisant de lui une véritable structure vivante.

Initialement, le tissu osseux est immature (tissu osseux primaire ou tissé) de part la disposition anarchique des fibrilles de collagène. Sous l'influence de contraintes mécaniques (forces fonctionnelles), l'os primaire est le siège de remaniements qui aboutissent peu à peu à son remplacement par un tissu osseux dit secondaire. (8,11,12,17).

Lors d'un traumatisme, le tissu osseux subit un processus de réparation amenant à la cicatrisation (15). Il s'agit d'un processus complexe, continu pouvant cependant être scindé en trois étapes (18) :

- **La phase inflammatoire** qui intervient immédiatement après la lésion par la formation d'un caillot sanguin. Des ostéoclastes sont recrutés et débutent alors le processus de résorption de l'os lésé. Puis les cellules souches mésenchymateuses se différencient en ostéoblastes et en chondroblastes. Toutes ces étapes se déroulent sur une période de deux semaines (12,14,15).
- **La phase de réparation** qui est caractérisée par la formation d'un cal osseux mou (tissu osseux primaire). Au cours de cette étape, ce dernier entame sa minéralisation pour donner du tissu dur. Ce processus dure 6 à 12 semaine après le traumatisme (12,14,15).

- **La phase de remodelage** est dépendante des individus et se déroule sur une période de plusieurs mois. Il s'agit de la transformation du tissu osseux primaire immature en tissu osseux secondaire mature (12,15).

Au cours de ce processus de cicatrisation, le périoste joue également un rôle important. En effet, dans un contexte de fracture osseuse, une réaction inflammatoire se produit au niveau du périoste dans les 24 à 48 heures (19,20). Les cellules ostéoprogénitrices contenues dans la couche interne se différencient en ostéoblastes et en chondroblastes produisant un épaissement. Cette différenciation permet d'obtenir une stabilisation primaire du site. Colnot en 2009, a démontré dans une étude que les cellules de la moelle osseuse et de l'endoste ne participaient pas à la formation du cal osseux (21). Ainsi nous pouvons démontrer l'importance du périoste et son rôle majeur dans la cicatrisation osseuse. De même, c'est sur ce principe de cicatrisation que repose la réussite d'une expansion osseuse transversale.

L'os alvéolaire est un tissu osseux adaptatif et malléable dont le « *turnover* » cellulaire est plus rapide que tout autre tissu osseux de l'organisme (8). Il est capable de nombreux changements au cours de son existence, en particulier lors de la perte ou de l'absence d'éléments dentaires.

2.2 Réhabilitation implantaire de la crête alvéolaire édentée

2.2.1 Anatomie de la crête édentée

Le changement de fonction au sein de l'alvéole mais également à sa périphérie, lié à la perte de l'élément dentaire donne lieu à de multiples changements adaptatifs au niveau de la crête édentée.

La résorption post-extractionnelle de l'os alvéolaire est un phénomène inévitable (22). Ce processus est immuable et se produit à la fois dans le sens transversal que dans le sens vertical. Cependant, Cawood et Howell en 1988 ont observé de façon précoce que la dimension horizontale était prioritairement touchée avant d'atteindre la dimension verticale (23). Ils décrivent également les changements des procès alvéolaires dans leur classification (tableau 1), tant au maxillaire et à la mandibule qu'en région antérieure et postérieure. Cette

classification permet d'apprécier la quantité osseuse résiduelle ainsi que le relief de la crête édentée.

Tableau 1: La classification de Cawood et Howell

Cawood et Howell (1988) (23,24)	Classification
	Classe I : crête dentée
	Classe II : hauteur de crête immédiatement après extraction
	Classe III : crête bien arrondie, hauteur et largeur adéquates
	Classe IV : crête en lame de couteau, hauteur adéquate mais largeur insuffisante
	Classe V : crête plate, largeur et hauteur inadéquates
	Classe VI : crête négative avec perte de l'os basal

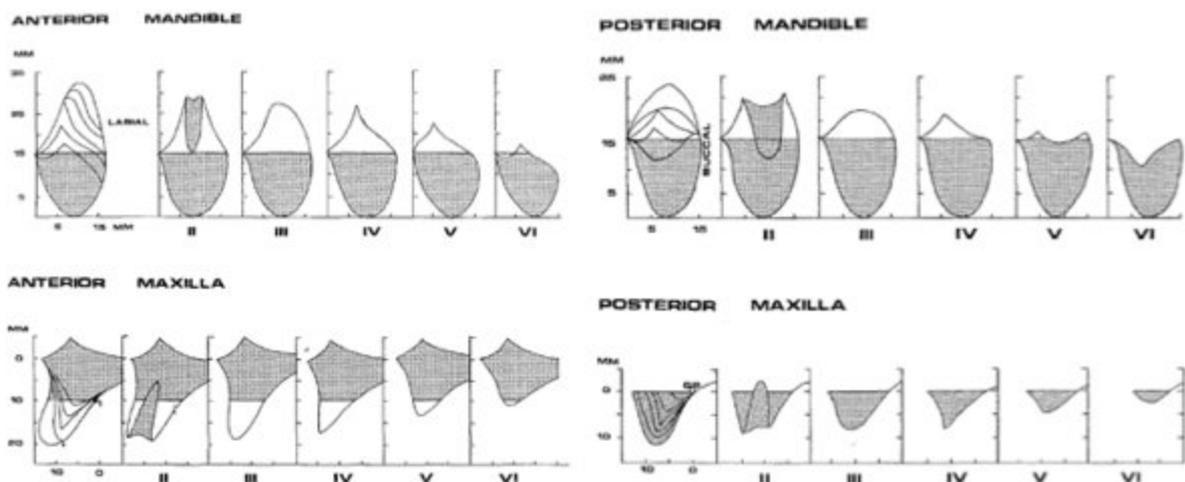


Figure 7 : La classification de Cawood et Howell (1988)
(source : Cawood et Howell 1988) (23)

Les corticales osseuses vestibulaire et palato-linguale sont toutes deux impliquées malgré des degrés de résorption qui diffère entre elles : elle est deux fois plus marquée en vestibulaire qu'en palato-lingual (25,26). Ce processus de résorption, qu'il s'agisse d'extractions multiples ou d'extraction simple, se produit tout de même et est exacerbée lors d'avulsions traumatiques (27–29). C'est au cours de la première année que le plus de volume osseux est perdu (entre 25% et 56% dans la dimension transversale, soit entre 3,8 mm et 7 mm) (26,30–35).

Cependant d'autres causes peuvent être à l'origine de ce phénomène comme les agénésies constitutionnelles (29,36), les infections chroniques non traitées (37), les traumatismes du massif facial (28), les maladies parodontales (28,37), les kystes et les tumeurs odontogènes (38) et les fractures radiculaires verticales (28). Enfin nous pouvons noter d'autres facteurs aggravants que sont le port de prothèse amovible et la durée de l'édentement (22,39–41).

La réhabilitation des secteurs édentés de manière fixe et pérenne, par l'intermédiaire de l'implantologie, requiert un certain volume osseux disponible. Or, la perte osseuse engendrée par ce processus physiologique peut être à l'origine de difficultés. Il est donc nécessaire de réaliser une analyse précise afin de déterminer la possibilité de cette solution thérapeutique.

2.2.2 Examens préalables

Le développement de l'implantologie au cours de ces dernières années en a fait une alternative prothétique fiable et durable pour la réhabilitation des sites édentés. Cette discipline nécessite cependant des examens préalables rigoureux permettant d'aboutir au succès thérapeutique. Afin d'en déterminer la faisabilité, une évaluation précise des conditions générales et locales, par l'intermédiaire d'un examen clinique complet, devra être réalisée. Grâce à une analyse exo-buccale puis endo-buccale, différents paramètres locaux tels que l'occlusion, l'état parodontal du patient ou les déterminants esthétiques, pourront être enregistrés.

A l'issue de cet examen clinique, une étude prothétique approfondie permettra de présenter les différentes options envisageables et de déterminer le futur projet prothétique qui guidera le traitement implantaire (42,43). Cette étude comprend alors plusieurs étapes essentielles comme l'analyse des moulages, l'analyse occlusale sur articulateur et la réalisation d'un montage directeur dont l'utilisation est primordiale (42,44). En effet, ce dernier permet de déterminer et de valider cliniquement les déterminants esthétiques, phonétiques et fonctionnels avec le patient (42,45–47). À l'issue de la validation, un duplicata du montage directeur est réalisé afin d'obtenir un guide radiologique en résine (45,48,49).

Les examens radiographiques sont cruciaux afin de soutenir la décision thérapeutique et constituent une étape indispensable (42,50). La tomographie volumique à faisceau conique (cone beam computed tomography, CBCT) représente à ce jour l'examen de choix du bilan pré-implantaire (47). Cet examen évalue les obstacles ainsi que les changements anatomiques de la crête, notamment dans la dimension transversale où les clichés deux dimensions (panoramique et rétro-alvéolaire) montrent leur limite (51–53).

La mise en place du guide radiologique lors de la prise du cliché tomographique permet d'opposer le projet prothétique à la situation osseuse réelle (évaluation de la quantité osseuse) (54). Le guide radiologique devient alors le référentiel des changements morphologiques de la crête (45,55).

L'implant doit se situer dans le prolongement de la future prothèse tout étant dans l'axe de la crête alvéolaire (45). Ainsi, l'analyse du cliché permet de révéler soit une concordance, soit un décalage nécessitant alors un compromis (55). Le guide radiologique guide alors le praticien sur la nécessité de chirurgie pré-implantaire et détermine le volume et les dimensions de la quantité osseuse nécessaire afin d'obtenir un support approprié à la restauration prothétique (56–58).

Cette analyse complète est nécessaire et indispensable afin d'envisager le positionnement de l'implant dans une position idéale et favorable sur les plans fonctionnels, esthétiques et chirurgicaux. Toutefois, la quantité ainsi que la qualité osseuse sont également des facteurs à prendre en compte dans le cadre d'un traitement implantaire.

2.2.3 Quantité et qualité osseuse

La disponibilité osseuse ainsi que sa densité sont deux paramètres importants à évaluer avant toute intervention à visée implantaire (59).

La qualité osseuse est un facteur déterminant à prendre en considération du fait de son influence sur le succès de la procédure (60–62). En effet, Martinez et al. en 2001 montrent des faibles taux de succès (de 50% à 94%) pour des implants

posés au niveau de sites de densité osseuse faible (de type IV) (63). *A contrario*, des précautions doivent être entreprises au niveau d'un tissu osseux très dense (type I) afin d'éviter une ischémie, une nécrose ou des micro-fractures du tissu osseux péri-implantaire (64,65).

Différentes classifications existent, dont la plus connue reste la classification de Lekholm et Zarb (1985) (66–68). Elle décrit quatre densités osseuses différentes :

- Groupe 1 : quasiment l'ensemble de l'os alvéolaire est de l'os compact homogène
- Groupe 2 : corticale osseuse épaisse entourant un os trabéculaire dense
- Groupe 3 : corticale osseuse fine entourant un os trabéculaire dense
- Groupe 4 : corticale osseuse fine entourant un os trabéculaire de densité faible

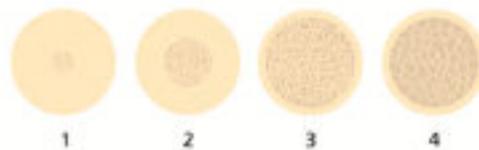


Figure 8 : La densité osseuse selon Lekholm et Zarb (source : Anagnostou 2013) (69)

La classification de Misch établie en 1990, propose également quatre qualités osseuses différentes et décrit leur répartition au niveau des maxillaires (figure 9) (65,70). Ces classifications orientent la procédure chirurgicale.

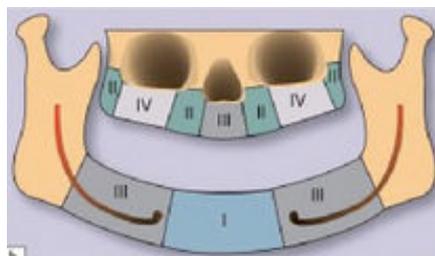


Figure 9 : La répartition de la densité osseuse (source : Szmukler-Moncler et coll. 2012) (60)

L'étude radiographique permet d'évaluer la qualité de l'os sous-jacent mais également le volume osseux disponible en évaluant la perte osseuse dans les trois dimensions de l'espace.

De multiples classifications décrivent les différentes catégories de défauts osseux et pour certaines, guident le praticien dans le choix thérapeutique d'une chirurgie reconstructrice. La plus communément utilisée est celle de Lekholm et Zarb (1985) décrivant l'évolution de la crête alvéolaire édentée en cinq classes (38,66,68) :

- Classe A : crête alvéolaire normale
- Classe B : résorption modérée de la crête alvéolaire
- Classe C : résorption avancée de la crête alvéolaire, os basal intact
- Classe D : résorption légère de l'os basal
- Classe E : résorption extrême de l'os basal

Cette classification permet de déterminer la position, le nombre d'implants à poser ainsi que la nécessité de réaliser des chirurgies pré-implantaires pour optimiser la position des futurs implants (67).

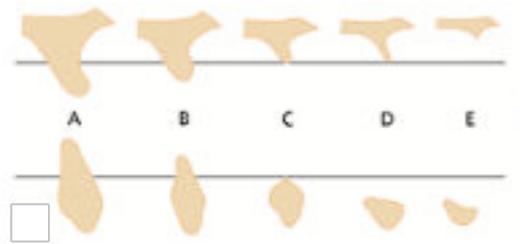


Figure 10 : La classification de la quantité osseuse (Lekholm et Zarb)
(source : Anagnostou 2013) (69)

D'autres classifications portant sur la forme de la crête résiduelle ont été proposées par différents auteurs comme : la classification d'Atwood (71), la classification de Seibert (72,73), la classification d'Allen (74), la classification de Misch et Judy (75), la classification de Jensen (59) et la classification de Wang et Schammari (38) par exemple.

La dimension transversale est cependant prioritairement touchée par ce processus de résorption, engendrant une perte d'épaisseur majeure de la crête alvéolaire (23,76). Cette insuffisance est mise en évidence lors de l'analyse radiographique des structures osseuses où la planification implantaire pose l'indication d'une chirurgie d'augmentation latérale pour acquérir un volume osseux adéquat (77–79). D'après la littérature, les crêtes osseuses édentées dont la largeur

est inférieure à 5 mm nécessiteront alors une procédure d'augmentation osseuse (80–83).

2.3 Techniques d'augmentation osseuse latérale

Une insuffisance osseuse dans le plan transversal nécessite de réaliser une procédure d'augmentation pré-implantaire afin d'acquérir une situation clinique favorable à la pose de l'implant et à sa réhabilitation prothétique.

Les techniques d'augmentation osseuse horizontale peuvent être classées en différentes catégories que sont : les régénérations osseuses guidées, les greffes de bloc osseux en onlay, les séparations osseuses ainsi que les distractions osseuses alvéolaires. Chaque procédure présente ses indications et contre-indications ainsi que ses propres avantages et inconvénients (84).

2.3.1 Techniques de régénération osseuse guidée (ROG)

La régénération osseuse guidée est la technique chirurgicale la plus documentée et la plus utilisée à ce jour (85–87). Celle-ci repose sur l'utilisation de matériaux de comblement (os autogénique, allogénique, xénogénique ou alloplastique (88)) et d'une membrane agissant comme une barrière afin de préserver le site à reconstruire d'une prolifération de cellules non ostéogéniques (cellules épithéliales et fibroblastes) (86,87).

Dans le cadre d'une insuffisance transversale, l'utilisation de cette technique a permis de regagner en épaisseur de crête alvéolaire (89,90). La régénération osseuse guidée est cependant préférable pour les défauts osseux de faible étendue limitée à deux dents absentes. En effet le risque d'exposition de la membrane semble être majoré pour des régénérations osseuses plus étendues. Dans ces situations, il est recommandé de réaliser une greffe de bloc osseux en onlay (91).

2.3.2 Technique de greffe osseuse en onlay

La technique de greffe osseuse afin de corriger une insuffisance osseuse a été initialement introduite en 1975 (92). Elle permet, par l'apposition d'un greffon

(d'origine autogène ou allogène) de reconstruire des édentements de plus ou moins longue étendue à la fois au maxillaire qu'à la mandibule (93). La greffe de bloc osseux autogène est encore considérée aujourd'hui comme le « gold standard » des procédures de régénération osseuse (94–96). Dans le cadre d'une augmentation transversale, elle reste la procédure de greffe la plus documentée (94,97,98).

Le site de prélèvement du greffon osseux peut être intra-oral au niveau de la symphyse mentonnière, de la branche montante et du corps mandibulaire ou encore de la tubérosité maxillaire (82,97,98). La quantité et le volume osseux disponibles sont toutefois limités en région intra-orale (99–103). Dans des situations cliniques présentant des défauts plus étendus, le recours à un site de prélèvement extra-oral (crâne, crête iliaque, tibia, fibula, scapula) est parfois nécessaire (98,104–107).

La greffe osseuse serait alors une alternative possible dans le cadre d'une augmentation osseuse latérale. D'autres procédures plus récentes ont pu être développées au cours de ces dernières années, telles que la distraction osseuse et l'expansion osseuse transversale.

2.3.3 Technique de distraction osseuse

La distraction osseuse alvéolaire est une alternative à la régénération osseuse guidée et à la greffe osseuse. Elle permet de pallier à la fois à un manque de tissu dur et de tissu mou (108,109) et est utilisée pour la première fois pour le développement du site implantaire en 1996 (110). De nombreux articles de la littérature décrivent l'usage de cette technique dans le cadre d'augmentation verticale ; c'est seulement en 2001 que celle-ci est envisagée dans la dimension transversale (111).

Cette procédure repose sur la possibilité du corps humain à générer de l'os quand deux segments sont écartés lentement par l'intermédiaire d'un dispositif (87). Cependant, de par son avènement récent, il n'existe pas de protocole standardisé ni de méthode établie. De nombreuses données cliniques manquent en raison du peu d'articles disponibles (112).

2.3.4 Orientation du choix thérapeutique

Différentes techniques d'augmentation osseuse horizontale ont été développées dans le but de reconstruire un site implantaire favorable. Cependant, les situations cliniques étant diverses et variées, il conviendra de choisir la méthode la plus favorable afin de minimiser les complications liées à son application (88).

Des classifications ont été proposées afin d'orienter le choix du praticien (38). Celles-ci doivent être suffisamment pertinentes sur le plan clinique et répondre aux critères anatomiques implantaires (113). Parmi elles, nous pouvons citer la classification de Wang et Al-Schammari de 2002. Elle permet, en fonction du type, de la taille du défaut et du plan de traitement prothétique (prothèse fixée ou implant), de présenter les différentes options chirurgicales (38).

Fu et Wang en 2011 quant à eux proposent un arbre décisionnel (88). Selon chaque dimension, des techniques sont recommandées après considération de certains facteurs tels que l'épaisseur des tissus mous, l'arcade à reconstruire et l'os autogène disponible.

Enfin, la classification de Tolstunov récemment parue en 2014 associe à chaque crête alvéolaire déficiente, les différentes options chirurgicales en fonction de sa largeur et de sa morphologie. Elle est fondée sur des mesures précises acquises par tomodynamométrie (113).

Une synthèse de ces différentes classifications nous a permis de proposer un arbre décisionnel afin d'aider et d'orienter le praticien vers une option chirurgicale appropriée au degré de résorption latérale de la crête édentée (figure 11, figure 12).

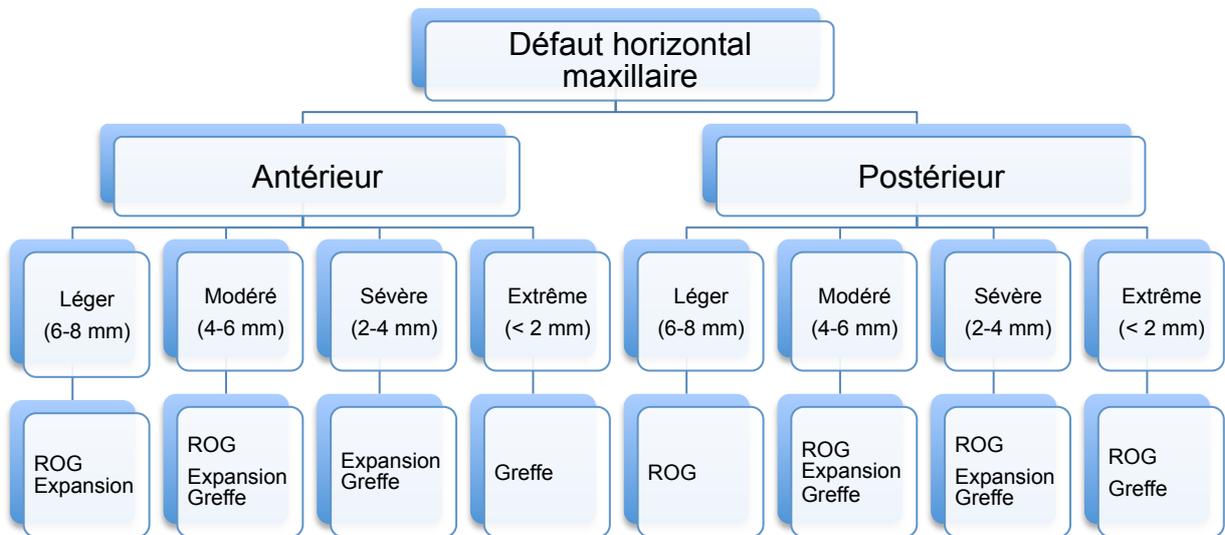


Figure 11 : Proposition d'un arbre décisionnel des options thérapeutiques au maxillaire

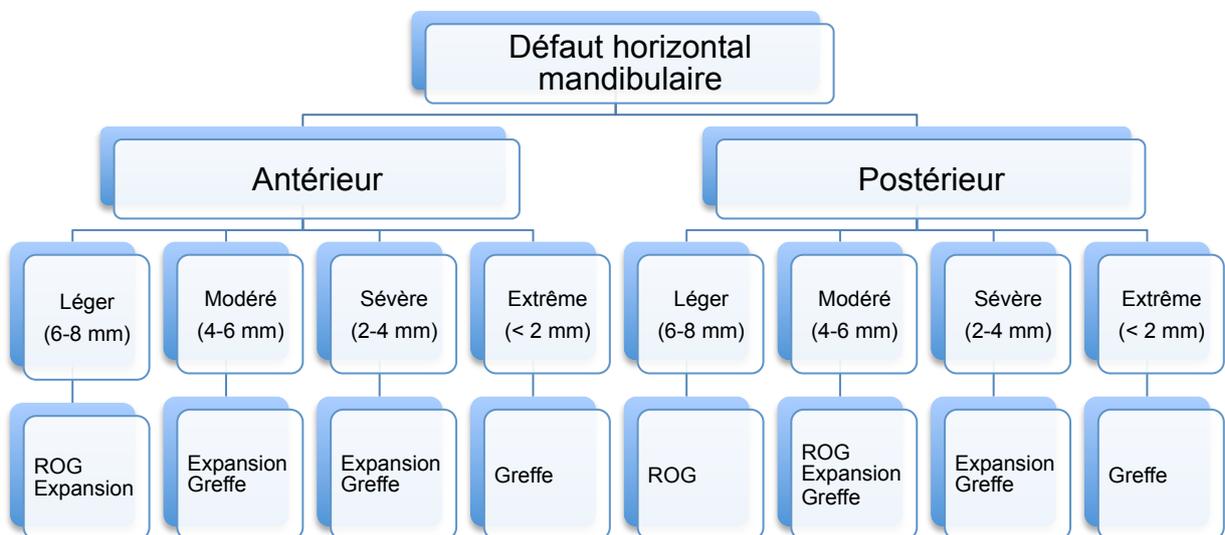


Figure 12 : Proposition d'un arbre décisionnel des options thérapeutiques à la mandibule

L'implantologie représente un domaine complexe de la dentisterie, dont le succès dépend du respect de nombreux paramètres. Les variations morphologiques liées à la perte de substance osseuse nécessitent parfois le recours à des procédures préalables comme la ROG, la greffe osseuse et la distraction osseuse. L'expansion osseuse transversale en fait également partie et est une option envisageable en cas de déficience horizontale.

3 L'EXPANSION OSSEUSE TRANSVERSALE

L'expansion osseuse transversale représente une alternative aux chirurgies de reconstruction osseuse conventionnelles. Elle peut être réalisée seule, ou en association avec une autre procédure, et dont le protocole est fiable et prédictible (114).

3.1 Généralités

3.1.1 Définition

L'expansion osseuse transversale, également dénommée « *ridge-splitting* » ou « *bone-splitting* », consiste à créer un site implantaire approprié par la séparation puis par l'expansion des corticales osseuses vestibulaire et palato-linguale (115–117). La création d'un nouvel espace implantaire par l'intermédiaire d'ostéotomies et de la luxation du fragment osseux vestibulaire obtenu après fracture en bois vert, permet d'obtenir les dimensions nécessaires à la pose d'implant dans des conditions favorables (28,114,117–121). Cette technique repose sur le principe de plasticité osseuse et le potentiel de cicatrisation de l'os alvéolaire et du périoste (29,122). L'espace créé chirurgicalement cicatrise de façon similaire à celle d'un site extractionnel : comblé par un os néoformé riche en ostéocytes (122,123).

L'expansion osseuse transversale fut décrite pour la première fois en 1986 par le Dr. Hilt Tatum puis successivement modifiée par différents auteurs (119,124,125). En effet, Simion et coll. en 1992 ont combiné l'expansion osseuse à la régénération tissulaire guidée par l'utilisation d'une membrane. Ils ont également introduit la notion de fracture en bois vert et la pose immédiate implantaire au cours de la procédure (119).

En 1992, Pikos introduit l'expansion osseuse transversale en deux étapes (pose implantaire différée) avec l'utilisation d'un matériau de comblement en tant que mainteneur d'espace (126).

Scipioni et coll. en 1994 ont, quant à eux, réalisé une expansion osseuse avec implantation immédiate sans interposition de matériau de comblement et sans avoir recours à l'utilisation d'une membrane. Ils mettent également en évidence

l'importance de la préservation vasculaire du fragment vestibulaire ainsi que la préservation de l'intégrité du périoste (125).

Duncan et Westwood en 1997 ont réalisé, concomitamment à l'expansion osseuse transversale, un soulèvement de sinus (127).

Toujours en association avec la technique de la ROG, Malchiodi et coll. en 1998 ont décrit l'utilisation d'un maillage en titane en remplacement des membranes traditionnelles au cours de la procédure d'expansion osseuse avec implantation immédiate (128).

En 2000, Vercellotti introduit l'utilisation de la piézochirurgie pour l'expansion osseuse transversale combinée à la technique de ROG et l'utilisation du plasma riche en plaquette (PRP) (129).

Enfin en 2012, Amato et coll. ont décrit l'utilisation de la technique d'expansion osseuse dans le cadre d'un traitement orthodontique afin de faciliter et accélérer le déplacement dentaire au niveau de crête édentée en lame de couteau (130).

L'expansion osseuse transversale, de part ses différentes variations décrites dans la littérature, permet d'élargir le domaine de l'implantologie aux situations cliniques auparavant contre-indiquées. Cependant, celle-ci implique un protocole chirurgical précis et nécessite certains prérequis essentiels à son succès.

3.1.2 Indications, contre-indications et impératifs anatomiques

Une analyse pré-opératoire rigoureuse, reposant sur les critères abordés précédemment, est indispensable avant d'envisager et d'entreprendre cette démarche thérapeutique. L'expansion osseuse transversale, contrairement à la R.O.G. ou à la greffe osseuse, présente des indications beaucoup plus limitées où la crête alvéolaire doit répondre à des impératifs anatomiques et morphologiques stricts (97,98,131–133).

Tout d'abord, le recours à cette procédure n'est indiqué que pour des crêtes osseuses présentant une insuffisance osseuse horizontale (figure 13 et 14).

Idéalement, celle-ci doit présenter une épaisseur de crête alvéolaire résiduelle de 4 à 5 mm (134). Cependant une largeur minimale de 3 mm est tolérée (99,117,135–137). Certains auteurs, principalement par l'emploi de la piézochirurgie, décrivent la

réalisation de cette technique sur des crêtes plus étroites de 1,0 mm à 3 mm, en dépit d'un risque majoré de complications (120,131,133,138–140).

Ensuite, de part l'impossibilité de palier à un défaut dans la dimension verticale, la hauteur de la crête alvéolaire doit mesurer entre 10 et 11 mm (47,117,119,131–133,141,142). De ce fait, en présence d'un déficit vertical associé, l'expansion osseuse transversale est alors contre-indiquée (131).

La forme et le profil de la crête sont aussi des critères de sélection. Les crêtes en lame de couteau (classe IV de Cawood et Howell) et de forme pyramidale (os basal plus large que le sommet de la crête alvéolaire), ne présentant pas de concavité au niveau de la paroi vestibulaire, sont des situations cliniques idéales (figure 14) (47,131–133,135,137,141).



Figure 13 : De crêtes alvéolaires avec déficit osseux transversal (source : Holtzclaw, Toscano, et Rosen 2010; Scarano et al. 2015) (132,143)

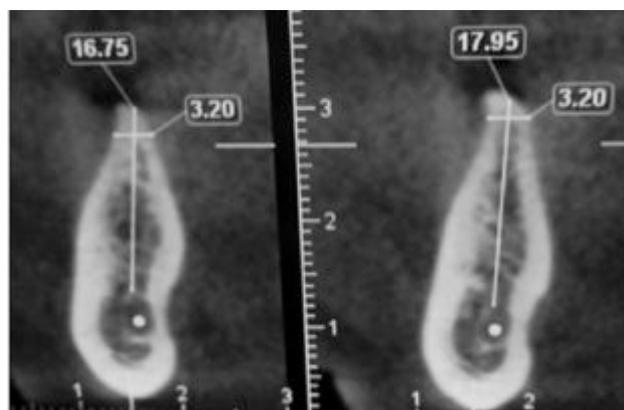


Figure 14 : Les crêtes alvéolaires idéales pour expansion osseuse transversale (source :Rahpeyma, Khajehahmadi, et Hosseini 2013) (144)

Pour finir, la présence d'une épaisseur minimale d'1 mm d'os spongieux est requise et est primordiale entre les tables osseuses afin de maintenir un bon apport vasculaire et cellulaire (cellules souches de la moelle osseuse de l'os trabéculaire) (47,97,145). De plus, la laxité osseuse de l'os spongieux facilitera l'insertion des instruments ainsi que l'extension osseuse tout en diminuant le risque de fractures (39,47,135,146). Enfin, la quantité d'os spongieux présent permet d'assurer un soutien correct de l'implant et réduit la résorption osseuse post-opératoire à court et moyen terme (39,146).

L'interprétation des clichés tridimensionnels permet de confirmer, ou d'infirmer, la présence d'une zone spongieuse inter-corticale et de poser l'indication de la chirurgie. En effet, l'absence de celle-ci témoigne d'une fusion des tables osseuses vestibulaire et palato-linguale. Le tissu osseux est alors totalement corticalisé et est considéré comme fin et inflexible. Dans ces circonstances, il devient difficile voir impossible de réaliser la procédure en raison d'un risque de fracture majoré. Ainsi, l'absence de tissu spongieux entre les corticales à séparer représente une contre-indication à l'expansion osseuse transversale (125,131,145,147).

L'expansion osseuse transversale est également indiquée pour des crêtes d'épaisseur appropriée (6-7 mm) pour des raisons esthétiques et prothétiques. En effet, la projection vestibulaire et le soutien de lèvre, en particulier chez le patient avec un sourire gingival (ligne du sourire haute) et une forte demande esthétique, peuvent être insuffisants et nécessitent une procédure d'augmentation osseuse. D'un point de vue prothétique, l'angulation de la crête peut ne pas correspondre avec l'axe implantaire désiré. De même que la présence d'un faible défaut osseux empêche la pose de l'implant en normocclusion (24,127).

La décision diagnostique est en partie subjective, fondée sur les connaissances, les capacités et l'expérience de l'opérateur (24). Cependant, le succès de la procédure d'expansion osseuse latérale repose également sur des critères objectifs à savoir une bonne analyse des défauts de la crête et des conditions d'applications cliniques (24,88).

3.1.3 Applications cliniques et principes chirurgicaux

L'expansion osseuse transversale peut être réalisée pour réhabiliter des édentements unitaire, partiel (jusqu'à l'hémi-arcade) ou total tant au maxillaire qu'à la mandibule (120,132,136,145,148–151). Elle est principalement utilisée en zone esthétique maxillaire et en zone postérieure mandibulaire. Toutefois, son application peut s'étendre à l'ensemble de la cavité buccale (87).

La plupart du temps, elle s'applique au niveau de crêtes alvéolaires cicatrisées qui constituent un environnement stable et idéal à son exécution. Plus rarement, sa réalisation peut avoir lieu immédiatement après une ou plusieurs avulsions dentaires, en prévention d'un effondrement futur de la corticale vestibulaire ou pour la reconstruction d'un édentement antérieur au site extractionnel (figure 15) (132,152).



Figure 15 : L'expansion alvéolaire transversale après avulsion (source : Holtzclaw, Toscano, et Rosen 2010) (132)

La réalisation de cette technique requiert d'être prudent quant à l'évaluation de la qualité osseuse et de l'épaisseur de crête initiale (117,151,153).

L'expansion de crête est plus répandue et plus facilement réalisable au maxillaire (116,154). En effet, de part la présence d'une densité osseuse relativement faible (os de type III et IV), de corticales osseuses fines et d'une forte vascularisation, la mobilisation latérale de la corticale est plus aisée (97,101,114,116,153). Cependant, un os de type III ou IV, devra subir une condensation osseuse afin de favoriser la stabilité primaire de l'implant (155).

En revanche, cette procédure est plus difficile à appliquer à la mandibule. De part l'épaisseur de ses corticales, sa densité osseuse importante (os de type I et II) et sa

faible quantité d'os spongieux. Le risque de fracture est majoré rendant la mobilisation des segments osseux plus délicate (98,117–119,125,151,153,156).

Enfin, pour aboutir à la réussite de la procédure, il est important d'accorder une attention particulière à la vascularisation qui joue un rôle prédominant. Elle permet la survie et le maintien de la vitalité du segment osseux à déplacer.

Au cours de l'expansion osseuse transversale et de son processus de cicatrisation, l'origine de celle-ci change : l'apport sanguin ne provient plus de l'os trabéculaire (origine interne) mais du périoste (origine externe) (118). Ainsi, il est important de préserver l'intégrité de ce dernier pour maintenir la vascularisation du fragment mobilisé qui, dans le cas échéant, serait le siège d'une nécrose (125,157). De plus, il a été démontré le rôle du périoste dans la néoformation osseuse. Selon Gray et coll. en 1982, au moins un tiers de l'ostéogenèse précoce peut être attribuée au périoste seulement (158).

Afin de respecter les conditions cliniques et les impératifs chirurgicaux, un plateau technique chirurgical adapté sera nécessaire.

3.2 Matériel

De nombreuses variations de cette technique se sont développées au cours des années. Celles-ci portent sur la méthode d'ostéotomie utilisée, sur l'éventuel comblement de l'espace résiduel et sur la stabilisation du fragment osseux mobilisé (132,153). Ainsi, de nombreux instruments, matériaux, kits et systèmes spécifiques relatifs à l'expansion transversale sont désormais à la disposition de l'opérateur dont le choix dépendra en partie de ses préférences (24,159).

3.2.1 Abord osseux

L'expansion transversale d'une crête alvéolaire atrophique repose sur le clivage puis sur l'expansion chirurgicale des corticales osseuses vestibulaire et palato-linguale.

La séparation de la crête débute par une corticotomie superficielle suivie d'une ostéotomie plus profonde. Traditionnellement, celles-ci sont réalisées par des instruments manuels avec l'utilisation éventuelle d'un maillet chirurgical :

- Ciseaux à os (115,119,120,125,139,148,150,151,160,161),
- Ostéotomes plats (29,47),
- Lame de bistouri (47,122).

Le recours à des instruments dynamiques reste toutefois possible avec l'utilisation :

- Fraises boules de petit diamètre (117,137,150).
- Fraises fissures (62).
- Disques diamantés flexibles (99,148–151).
- Micro-scies (rotatives ou à réciprocité) (99,160,162).

Plus récemment et concomitamment au développement de la technique d'expansion osseuse, sont apparus les instruments ultrasoniques avec Vercellotti en 2000 (129). Ils représentent une alternative aux instruments conventionnels lors de l'ostéotomie initiale (99,120,129,163). Celle-ci est réalisée par l'intermédiaire d'inserts coupants spécifiques comme par exemple l'insert OT7[®] (Mectron), l'insert BS1[®] (Acteon) et l'insert ES007[®] (American Dental System) par exemple (figure 16) (164,165).



Figure 16 : Un exemple d'inserts coupants piézoélectriques
(source : Harder et coll. 2009) (164)

Enfin, Sohn en 2009 décrit une nouvelle technique d'ostéotomie avec l'utilisation du LASER Erbium-YAG (150,166). L'utilisation de cette technologie à des fins chirurgicales doit cependant être approfondie de part le peu d'études réalisées.

L'expansion osseuse permet le déplacement du fragment osseux latéralement à partir du plan d'ostéotomie. Elle est très fréquemment réalisée à l'aide :

- D'une séquence d'ostéotomes droits ou coudés à impacter, de diamètre croissant (comme les ostéotomes de Summers ou les ostéotomes de Tatum) (figure 17 et 18) (47,115,117,148,167–170).



Figure 17 : Les ostéotomes de Tatum
(source : <http://www.tatumsurgical.com/dkit.php>)



Figure 18 : Les ostéotomes de Summers
(source : Commissionat et coll. 2007) (171)

- D'une séquence de ciseaux à os impactés avec un maillet chirurgical (figure 19) (119,137,156,166).



Figure 19 : Un exemple de séquence de ciseaux à os
(source : Tolstunov 2016b) (24)

- D'une séquence d'expandeurs de crête verticaux sous forme de vis conique de diamètre et de conicité croissante (par exemple le système split-control® de Meisinger) (figure 20) (172–175).



Figure 20 : Un kit d'expandeurs de crête verticaux
(source : Siddiqui et Sosovicka 2006, <https://en.meisinger.de/products/surgery/bone-spreading/>) (172)

- D'une séquence d'écarteurs de crête horizontaux (par exemple le système crest-control® de Meisinger ou le système Extension-Crest®). Ils se présentent

sous la forme de deux bras en acier avec une charnière apicale et une vis transversale (figure 21) (51,120,131,146,165,176).



Figure 21 : Des exemples d'expandeurs de crête horizontaux (source : Matteo Chiapasco et coll. 2006; Ella et coll. 2014) (51,146)

- D'expandeurs motorisés (177–179).
- D'ostéotomes piézoélectriques (129).
- D'une séquence de forage implantaire (122,145,160).

L'ostéotomie suivie par l'expansion osseuse peuvent être réalisées par l'intermédiaire de multiples instruments favorables à l'expansion osseuse qui présentent tous des avantages et des inconvénients (24,159). Les variations quant au choix du matériel d'ostéotomie s'imposent également au moment de la gestion de l'espace chirurgical obtenu (usage ou non de biomatériaux).

3.2.2 Comblement du site chirurgical

L'expansion osseuse transversale aboutit à la création d'un site chirurgical. Celui-ci pourra être maintenu par l'utilisation de biomatériaux (substituts osseux, membranes, concentrés plaquettaires, facteurs de croissance).

Les matériaux de substitution osseuse se présentent sous la forme de granule de porosité variable, dont l'origine peut être humaine (autogreffe ou allogreffe), animale (xélogreffe) ou synthétique (matériaux alloplastiques)(180). Ils possèdent tous des propriétés ostéo-conductrices mais seulement certains sont ostéo-inducteurs. Le choix quant au type de matériau de substitution repose principalement sur les préférences du chirurgien (180).

L'os autogène représente le meilleur matériau de comblement d'un point de vue biologique (fort potentiel ostéogénique et d'ostéo-induction) (181). Son prélèvement in situ peut être réalisé par des instruments spécifiques (« *bone scrapper* ») ou par récupération des copeaux issus de l'intervention et du forage implantaire. Cependant, la quantité recueillie est souvent faible et le recours à ce type de comblement n'est pas fréquent en raison de la nécessité d'un site de prélèvement secondaire (116,162,180).

Parmi les substituts osseux allogéniques d'origine humaine, deux grands types existent et peuvent être utilisés à ce jour dans le cadre d'une expansion osseuse transversale (180,181) :

- L'os humain lyophilisé (« *freeze dried bone allograft* » (FDBA))(132).
- L'os humain lyophilisé déminéralisé (« *demineralized freeze dried bone allograft* » (DFDBA))(145,154).

Les matériaux de comblement d'origine animale (principalement bovine ou porcine) peuvent être également envisagés (180,181). L'os bovin, de part le recul clinique et scientifique et de part sa structure similaire à l'os spongieux humain, est un matériau fréquemment choisi (104,121,180–182). Son utilisation dans les procédures d'expansion est plus répandue (117,131,136,137,142,174) que les xénogreffes porcines (143,169,183). Ces substituts sont amenés à subir des modifications physiologiques afin d'être partiellement remplacés par de l'os néoformé (181).

Les matériaux d'origine synthétique (alloplastiques) sont biocompatibles et faciles d'utilisation (181). Plusieurs études portant sur l'expansion osseuse ont utilisé ces biomatériaux dont l'origine peut être organique comme le collagène (122) ou inorganique, regroupant principalement :

- Les sulfates de calcium : plâtre de Paris.
- Les phosphates de calcium : hydroxyapatite (HA) (47,118), β -phosphates tricalciques (β -TCP)(144), phosphates biphasiques (HA/ β -TCP) (116,146,167,174).
- Les silicates : bioverres (129) (180).

En fonction du type, de la taille, de la porosité, de la macrostructure et de la microstructure des particules, la vitesse de résorption sera différente (180,181).

Enfin, certains auteurs décrivent l'utilisation d'un mélange de substituts osseux pour le comblement du site opératoire, notamment l'association d'os autogène avec un matériau allogénique (160), xénogénique (28,99,141) ou alloplastique (47).

La protection du site chirurgical par une membrane répond au principe d'exclusion tissulaire (180). Il s'agit d'une option possible dans le cadre de l'expansion osseuse transversale. Plusieurs types de membranes existent, à savoir :

- Les membranes non résorbables, notamment en polytétrafluoroéthylène expansé (ePTFE) (Gore-Tex[®] par exemple) (119,149). Elles sont peu utilisées en raison d'un risque infectieux élevé. De plus, elles nécessitent d'être déposées lors d'un second temps chirurgical (180).
- Les membranes résorbables synthétiques (Ossix[®], Résolute[®] par exemple) (99).
- Les membranes résorbables naturelles en collagène (Bio-Gide[®] par exemple)(28,131,146,156).

Ces deux dernières sont plus utilisées en raison de leur facilité de manipulation et d'un faible risque d'infection (180).

Le développement récent de l'ingénierie tissulaire pourrait avoir un intérêt futur pour la croissance et la régénération osseuse (152). L'emploi des concentrés plaquettaires tels que le PRP (plasma riche en plaquette) ou le PRF (plasma riche en fibrine) et aux facteurs de croissance comme le plasma riche en facteurs de croissance (PGRF), nécessite un biomatériau vecteur. Seulement quelques études ont eu recours à ce procédé en complément d'une expansion latérale de crête. En effet, Basa et coll. en 2004 et Blus et coll. en 2006 ont utilisés le PRP associé à de l'os xénogénique bovin ou à un matériau alloplastique tandis que Anitua et coll. en 2013, ont préféré la combinaison de PGRF à de l'os bovin xénogénique et autogène (120,151,178).

Le comblement du site chirurgical n'est pas indispensable au même titre que sa protection par une membrane. En effet, certains auteurs préfèrent l'utilisation d'une membrane seule (119,122,139), d'autres ne font part que de l'usage d'un substitut osseux (47,116–118,137,142,143) tandis que certaines études n'utilisent aucun biomatériau (51,120,125,172,173). Cette alternative se présente également quant à la stabilisation du fragment osseux déplacé.

3.2.3 Stabilisation du site

La mobilisation du fragment vestibulaire au cours de l'expansion peut entraîner parfois une certaine instabilité de celui-ci. La plupart du temps, les murs osseux sont suffisamment stables pour ne pas être fixés. Or, un fragment mobile entrave la stabilité implantaire et présente un risque de séquestration (160,184). De ce fait, certains auteurs préconisent l'utilisation de matériaux de fixation comme des micro-vis en titane (114,149,151,185), des ligatures résorbables (184), des ligatures métalliques (160) ou un maillage en titane (128) (figure 22 et 23).

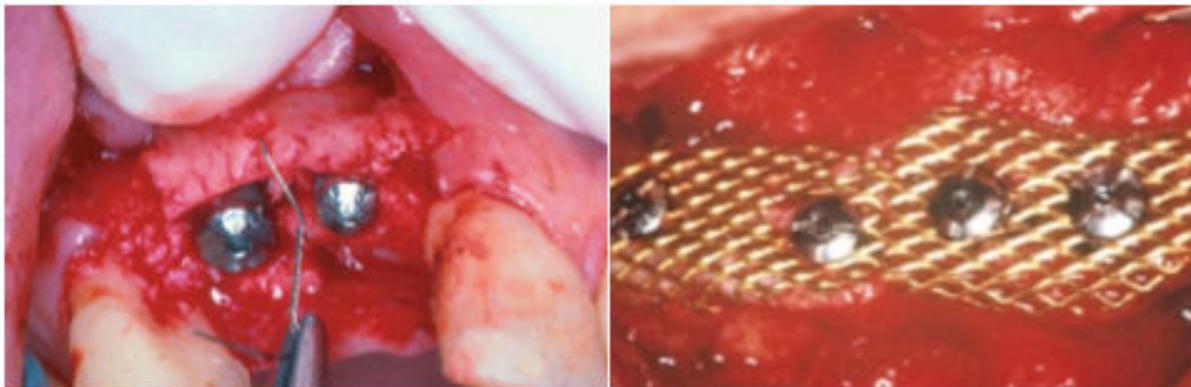


Figure 22 : Ligature métallique (à gauche), maillage en titane (à droite)
(source : Coatoam et Mariotti 2003; Malchiodi et coll. 1998) (128,160)

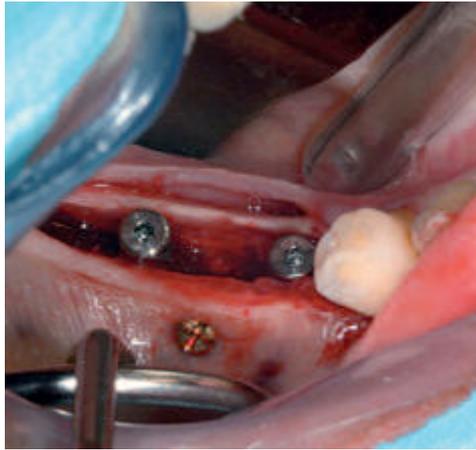


Figure 23 : vis d'ostéosynthèse
(source : Vinay, Fauroux, et Torres 2012) (114)

La micro-fixation du fragment mobilisé dans le cadre de l'expansion osseuse latérale représente alors une alternative possible et représente une des variations de la procédure initiale (132). Celle-ci permet d'obtenir une stabilisation du fragment vestibulaire déplacé ainsi que de l'implant posé dans le même temps opératoire, dont le choix est laissé à l'opérateur.

3.2.4 Choix implantaire

De nos jours, la démocratisation de l'implantologie dans le domaine de l'odontologie, a permis de développer différents types de systèmes implantaires.

Différentes formes implantaires existent dont la plus ancienne est la forme cylindrique (figure 24) (135,186,187). Cependant dans le cadre d'une expansion latérale, il est préférable de privilégier les formes conique et cylindro-conique (figure 24) (98,122,135,162).



Figure 24 : Implant cylindrique (à gauche), implant conique, implant cylindro-conique (à droite)
(source : Jakubowicz-Kohen et coll. 2012) (187)

Tous deux se rapprochent dans leur morphologie à l'anatomie radiculaire et s'intègrent de manière favorable au site chirurgical obtenu au cours de l'expansion osseuse transversale minimisant le risque de perforation et de fracture osseuse (28,98,122,135,186,188). Ils permettent également de favoriser la stabilité primaire implantaire par condensation osseuse (187). Ainsi, leur utilisation est préférable pour des densités osseuses faibles ou normales tandis qu'en présence d'un tissu osseux dense, l'implant cylindrique sera privilégié (186).

Au cours de la procédure d'expansion osseuse latérale, la morphologie de l'implant ainsi que ses dimensions sont principalement déterminées grâce au degré d'expansion obtenu, mais aussi en fonction des impératifs morphologiques et prothétiques de la zone édentée (quantité osseuse disponible, présence d'une concavité, degré de luxation préconisé et type de dent à remplacer) (29,127,147). Le choix sera également influencé par la technique opératoire sélectionnée. En effet, pour une procédure avec implantation immédiate, l'implant devra être suffisamment long pour assurer la stabilité primaire et de diamètre ajusté afin de limiter l'expansion. Tandis que pour une procédure par étape, le choix de l'implant suit les recommandations en vigueur (188). Enfin, dans le cas d'une implantation immédiate et de l'utilisation d'implants filetés, il faudra être vigilant à ce que les spires ne soient pas trop agressives afin d'éviter une perforation ou un ébranlement de la corticale osseuse (189).

3.2.5 Médications

Dans le cadre d'une procédure chirurgicale, l'usage de plusieurs familles médicamenteuses a permis d'améliorer les suites post-opératoires. Parmi elles nous retrouvons les antibiotiques, les antalgiques de palier I et les bains de bouche.

Les antibiotiques ont une implication avérée dans la prévention du risque infectieux (190). Cependant, le recours à l'antibioprophylaxie dans le domaine de l'implantologie reste encore très controversé (à l'exception des patients présentant une déficience immunitaire) (191–195).

Le recours aux antibiotiques s'évalue en fonction des situations cliniques et repose sur l'analyse de certains critères notamment (190) :

- La présence d'une maladie systémique nécessitant une antibioprophylaxie,
- La nécessité d'un lambeau d'accès chirurgical (augmente le risque infectieux),
- Le nombre d'implants à poser (plus il y a d'implants à poser, plus le risque est élevé),
- Le recours à une procédure d'augmentation osseuse,
- L'expérience du praticien (risque faible si ce dernier est expérimenté en raison d'une chirurgie moins longue et traumatisante).

Ainsi pour une procédure d'expansion osseuse transversale, plusieurs études préconisent l'utilisation des antibiotiques (principalement amoxicilline) en antibiothérapie de couverture (première prise 1h avant l'intervention jusqu'à 7 jours post-opératoires) (118,119,122,131,137,146,178).

En ce qui concerne la gestion de la douleur post-opératoire, il est possible de prescrire un antalgique de palier I comme le paracétamol ou un anti-inflammatoire non stéroïdien (par exemple : ibuprofène, kétoprofène, diclofénac) pendant quelques jours (119,122,137,143,146,178).

Pour une désinfection locale, le recours aux bains de bouche à base de chlorhexidine concentrée entre 0,12% et 0,2% est préférable, pendant une durée de 10 jours à 3 semaines (118,137,143,146,148,178).

Enfin, certains auteurs préconisent une prémédication d'anxiolytiques peu avant l'intervention (Midazolam, Diazépam par exemple) (119,178).

Avant toute procédure, il est nécessaire de faire le point sur le matériel à utiliser. La connaissance du matériel alliée à son utilisation adéquate permet de diminuer les risques et d'assurer le bon déroulement des différentes étapes chirurgicales.

3.3 Méthodes

3.3.1 Notion de phases et d'étapes chirurgicales

Dans le cadre de la réalisation d'une réhabilitation implantaire, il est important d'avoir une réelle compréhension des différentes phases et étapes chirurgicales nécessaires au bon déroulement du projet thérapeutique. En règle générale, il existe trois grandes phases chirurgicales que sont : la phase pré-implantaire correspondant à la reconstruction préalable de la crête édentée, la phase implantaire en elle-même et la phase post-implantaire (24).

La pose d'un implant au niveau de zones présentant un déficit osseux horizontal nécessitera une reconstruction préalable afin de répondre aux différents objectifs chirurgicaux et prothétiques. Dans le cadre d'une expansion osseuse transversale, cette phase pré-implantaire possède deux étapes que sont :

- Etape 1 : les corticotomies.
- Etape 2 : la séparation, l'expansion suivie éventuellement du comblement du site chirurgical obtenu.

Ces étapes peuvent être réalisées séparément (technique en 2 temps) ou simultanément (technique en 1 temps).

Une fois la correction du défaut de la crête alvéolaire réalisée, la pose de l'implant (phase implantaire) dans des conditions favorables pourra s'en suivre. Cette phase chirurgicale comprend également 2 étapes que sont :

- Etape 1 : la pose de l'implant.
- Etape 2 : la mise en place du pilier de cicatrisation (24).

La phase post-implantaire correspond aux éventuelles procédures de comblement (de tissus durs et/ou de tissus mous) nécessaires à la correction de défauts visibles après la restauration définitive et la mise en fonction de l'implant notamment en cas de péri-implantite (24).

La procédure d'expansion osseuse transversale demande une certaine rigueur et comprend des temps opératoires fondamentaux et définis.

3.3.2 Temps opératoires

La réalisation d'une expansion osseuse transversale répond à des étapes chirurgicales similaires quelque soit l'approche choisie. Celles-ci correspondent à l'accès au site opératoire (levée d'un lambeau), à l'étape de corticotomie et d'ostéotomie ainsi qu'à l'étape de séparation et d'expansion osseuse. L'approche en un temps ou en plusieurs temps opératoires se distingue réellement par le délai de préparation du lit implantaire et de la mise en place de l'implant (immédiate ou différée).

L'accès au site opératoire est permis grâce à la réalisation d'un lambeau qui peut être de différents types et dont la forme est donnée par l'incision muqueuse initiale.

Une première incision crestale est faite à l'aide d'une lame de bistouri 15 ou 15C au sommet de la crête (figure 25a) (117,137,146,196). Celle-ci peut être légèrement déportée en direction palatine ou linguale pour des raisons esthétiques ou pour faciliter la fermeture du site opératoire et l'enfouissement des implants (figure 25b) (28,47,62,122,125,150,160,162,165).

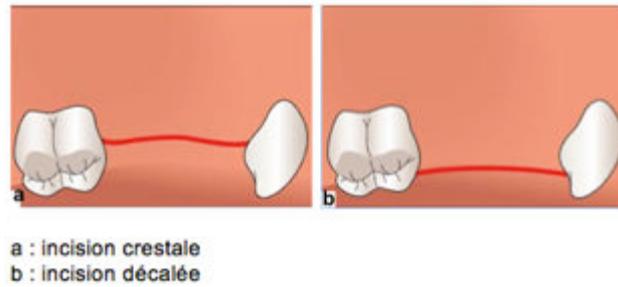


Figure 25 : Les incisions muqueuses
(source : <https://www.les-implants-dentaires.com/implants-multimedia/lambeau/incision.htm>)

La plupart du temps, deux incisions de décharge verticales sont effectuées en vestibulaire afin de gagner en laxité et d'obtenir une meilleure visibilité du site opératoire (28,62,119,125,137,150,162,196). Parfois, des incisions intra-sulculaires sont utilisées au niveau des dents adjacentes afin d'éviter la réalisation d'incisions de décharge (39,122,165).

La levée du lambeau peut se faire en épaisseur totale (figure 26b) (118,119,131,148,150) ou en épaisseur partielle en préservant l'attachement du périoste (figure 26a) (47,62,122,131,151).

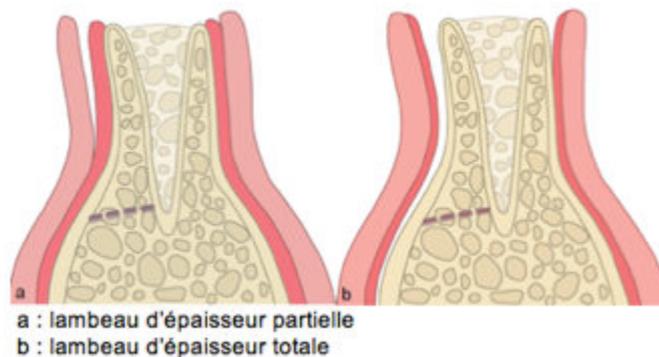
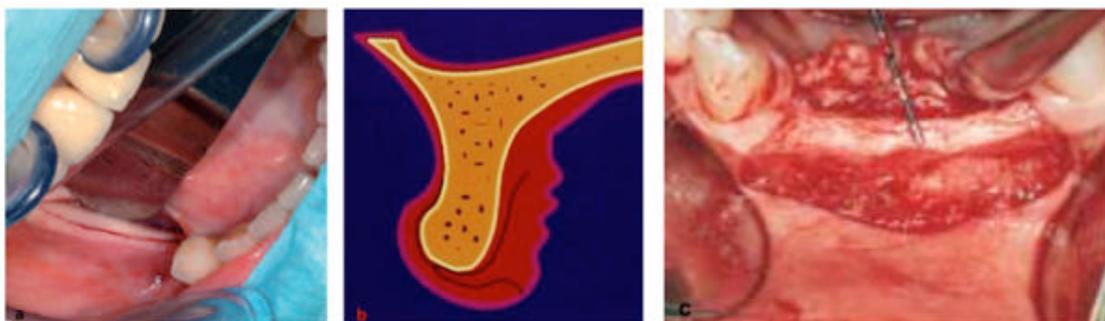


Figure 26 : Le lambeau d'épaisseur partielle et le lambeau de pleine épaisseur
(source : Elnayef et coll. 2015) (135)

Certains auteurs décrivent l'association de ces deux types de lambeaux (lambeau total partiel ou limité) afin de préserver la vascularisation. Un lambeau de pleine épaisseur est initié sur 3 à 5 mm de la crête alvéolaire pour ensuite être transformé en lambeau d'épaisseur partielle (28,51,133,136,137,146,149,162,196).

Généralement le décollement est réalisé au niveau du versant vestibulaire de la crête alvéolaire. Cependant, quelques auteurs procèdent au décollement de la muqueuse linguale ou palatine, seul ou en association avec le lambeau vestibulaire (figure 27) (62,114,118,119,125,150).



a : lambeau lingual de pleine épaisseur
 b : lambeau vestibulaire et palatin d'épaisseur partielle
 c : lambeau vestibulaire et lingual

Figure 27 : Les décollements en lingual et en palatin
 (source : Vinay, Fauroux, et Torres 2012; Scipioni, Bruschi, et Calesini 1994; Suh et coll. 2005) (114,125,162)

La première étape de l'expansion osseuse transversale correspond à la réalisation des incisions osseuses de surface à travers la corticale, encore appelées corticotomies (figure 28) (197).

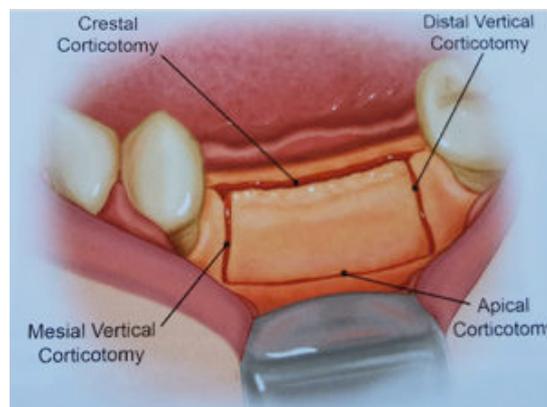


Figure 28 : Les différentes corticotomies
 (source : Tolstunov 2016e) (197)

La plus importante d'entre elles est l'incision osseuse horizontale, appelée corticotomie crestale, qui est réalisée au sommet de la crête à augmenter sur 2 à 3 mm de profondeur (figure 29) (118,197). Elle peut parfois être légèrement décalée en palato-lingual afin de respecter une épaisseur vestibulaire minimale de 1 mm (131,197). Son étendue dépend du nombre d'implants à poser et de leur diamètre (142,150). En zone édentée elle devra se prolonger de 3 à 5 mm du site implantaire (62,120,149). En revanche, en présence de dents adjacentes, une distance de 1 à 2 mm devra être respectée (51,116,120,137,142,150).

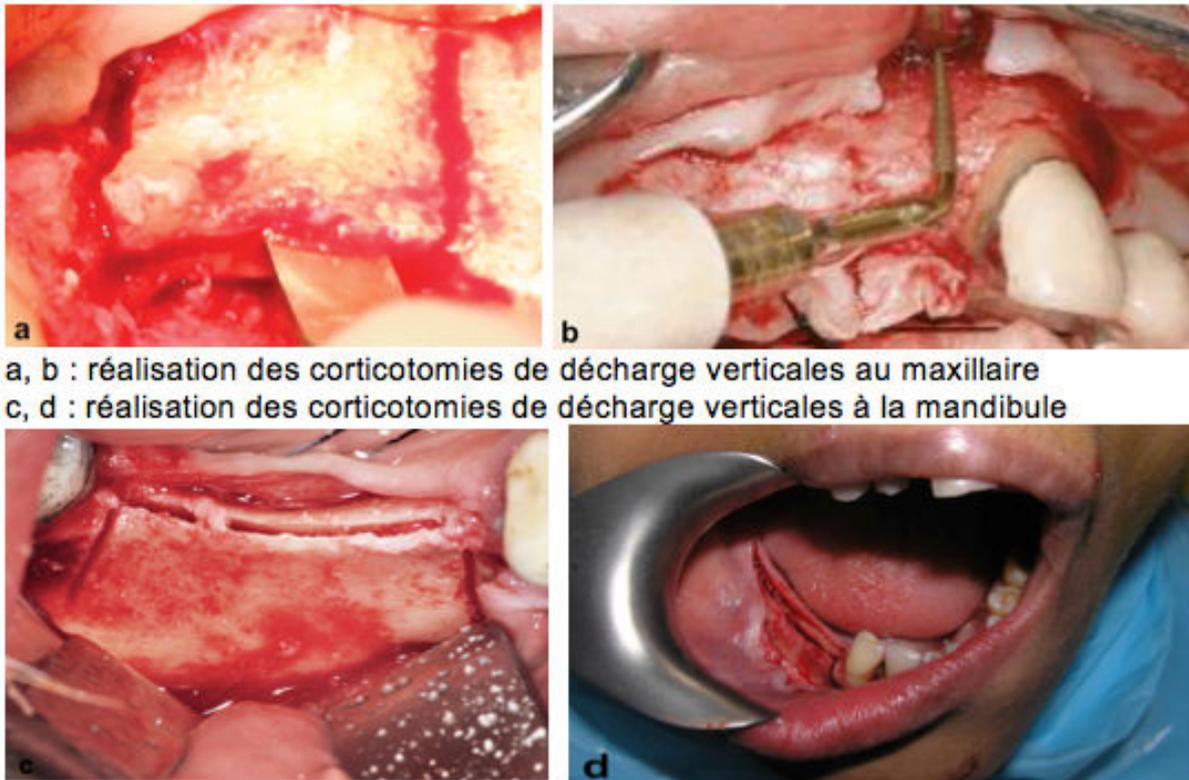


a : corticotomie crestale
b : corticotomie crestale maxillaire
c : corticotomie crestale mandibulaire

Figure 29 : La corticotomie crestale

(source : Scipioni, Bruschi, et Calesini 1994; Sammartino et coll. 2014) (125,196)

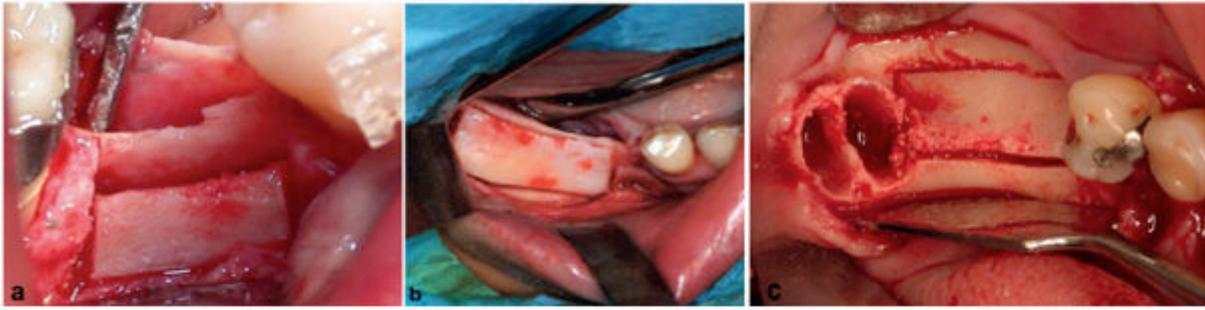
Des incisions osseuses verticales de décharge peuvent être associées à chaque extrémité (mésiale et/ou distale) de la corticotomie crestale, à 1 ou 2 mm des dents adjacentes (figure 30) (62,116,184,196). Leur profondeur est d'environ 2 mm, leur permettant de traverser la corticale vestibulaire tout en préservant l'os spongieux sous-jacent (118,142,162). Dans le cas d'un os alvéolaire fortement résorbée, elles s'étendront sur la moitié de l'épaisseur totale de la crête (132). La plupart du temps, elles sont réalisées sur le versant vestibulaire de la corticale osseuse sur une distance comprise entre la moitié et la totalité de la longueur de l'implant (150,156,175). Parfois, elles peuvent aussi avoir lieu au niveau de la corticale linguale ou palatine (120,198).



a, b : réalisation des corticotomies de décharge verticales au maxillaire
 c, d : réalisation des corticotomies de décharge verticales à la mandibule

Figure 30 : Les corticotomies de décharge verticales
 (source : Demetriades, Park, et Laskarides 2011; Horrocks 2010; Scarano et coll. 2015; Agrawal et coll. 2014) (116,117,143,165)

Parallèlement à l'incision crestale initiale, sur le versant vestibulaire du mur osseux, peut être réalisée une incision osseuse apicale (figure 31). Cette dernière est facultative pouvant être partielle, de façon à créer une encoche (117,118,132,142,150,156) ou totale, de façon à séparer complètement la fenêtre osseuse (151). À la mandibule, cette dernière doit être réalisée avec précaution et devra se situer à 2 mm minimum du canal mandibulaire (132,143).



a, b, c : corticotomie horizontale apicale à la mandibule
 b : corticotomie horizontale apicale au maxillaire



Figure 31 : La corticotomie horizontale apicale
 (source : Sammartino et coll. 2014; Vinay, Fauroux, et Torres 2012; Holtzclaw, Toscano, et Rosen 2010; Burton Langer, Langer, et Sullivan 2012)
 (114,132,145,196)

Dans le but de faciliter l'incision osseuse, des perforations préalables peuvent être réalisées le long de la crête préalablement à la corticotomie (28,162). De même, au cours de cette étape, la position des implants peut être marquée par un point d'impact au niveau du site déterminé, par l'intermédiaire ou non d'un guide chirurgical (39,47,178).

L'incision osseuse crestale est ensuite élargie et approfondie pour permettre la séparation osseuse et la mobilisation du segment vestibulaire (figure 32). Cette étape correspond à l'ostéotomie à proprement parler et s'étend sur 5 à 10 mm de profondeur (39,47,62,119,120,131,132,142,148). Celle-ci doit être plus courte que la longueur des implants d'environ 3 mm afin de laisser l'os basal intact (116,131,156). Cette étape est principalement initiée par l'utilisation de fins ciseaux à os ou d'ostéotomes plats qui peuvent être impactés doucement par un maillet jusqu'à la longueur déterminée.

On leur adjoint un mouvement de rotation pour ouvrir et déplacer légèrement le fragment vestibulaire (51,99,118,119,131,137,142,148,197,199). Il est également possible d'utiliser des inserts ultrasoniques spéciaux suivi de l'insertion de fins ciseaux à os afin d'agrandir l'ostéotomie (132,165,166).

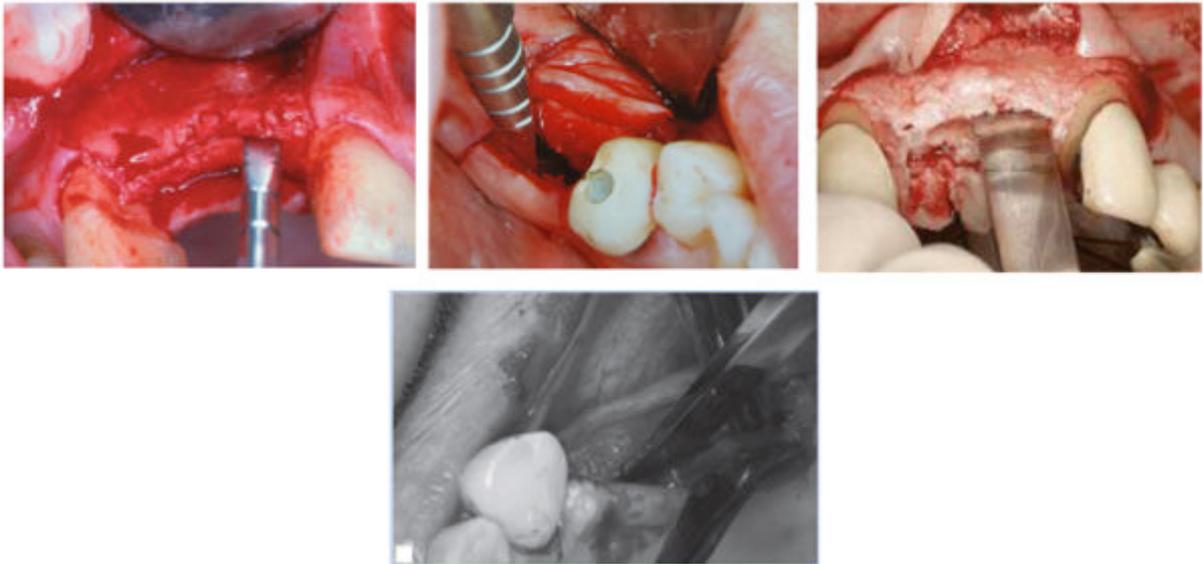


Figure 32 : La séparation osseuse
(source : Coatoam et Mariotti 2003; Tolstunov 2016e; Horrocks 2010; Santagata et coll. 2008a) (160,165,184,197)

L'espace obtenu à la suite de l'ostéotomie permet l'introduction d'instruments spécifiquement conçus pour l'expansion osseuse. Au cours de cette étape, le fragment osseux vestibulaire est déplacé latéralement jusqu'à l'épaisseur souhaitée grâce à l'obtention d'une fracture en bois vert (99,118,119,142,150). Cette étape peut être réalisée par des ostéotomes, des ciseaux à os ou des systèmes d'expandeurs coniques ou horizontaux (figure 33).

La procédure classique fait appel à l'utilisation d'ostéotomes de diamètre croissant allant de 1 à 3,5 mm de diamètre, doucement et progressivement impactés au sein de la rainure intra-osseuse par l'intermédiaire d'un maillet chirurgical (99,117,118,120,143,155,196). La force à appliquer sur ces derniers doit être rectiligne et correspondre à leur axe d'insertion (116,155). Une séquence d'ostéotomes plats à extrémité travaillante, alignés sur les parois osseuses et sur les dents adjacentes, peuvent également substituer les ostéotomes classiques (28,47).

Certains auteurs préfèrent quant à eux l'utilisation de ciseaux à os de diamètre croissant (132,150,156,160,162,167).

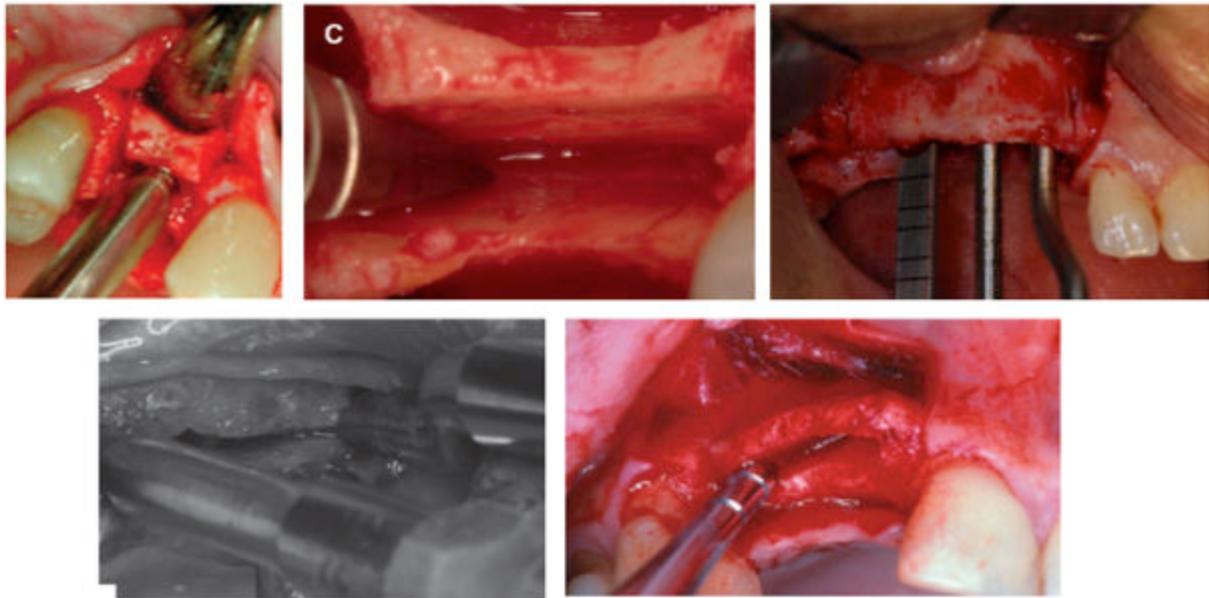


Figure 33 : L'expansion osseuse
(source : Blus et Szmukler-Moncler 2006; Holtzclaw, Toscano, et Rosen 2010;
González-García, Monje, et Moreno 2011; Santagata et coll. 2008a; Coatoam et
Mariotti 2003) (99,120,132,160,184)

L'expansion osseuse est réalisée jusqu'à atteindre une largeur suffisante au diamètre de l'implant à poser (figure 34) (122). Selon les études, l'ouverture peut être comprise entre 3 et 8 mm (118,132,147,176). Enfin, il est important de réaliser des pauses périodiques entre chaque passage d'instrument, de façon à laisser au tissu osseux le temps de s'adapter (116,172,199).



Figure 34 : L'espace final créé
(source : Holtzclaw, Toscano, et Rosen 2010; Horrocks 2010; Coatoam et Mariotti
2003) (132,160)

La préparation du lit implantaire peut être réalisée immédiatement après l'expansion du site chirurgical ou différée.

La préparation du lit implantaire dans le même temps chirurgical que l'expansion osseuse consiste, la plupart du temps, à préparer la portion basale laissée intacte tout en préservant la portion crestale. Il s'agira alors d'utiliser une séquence de forets chirurgicaux adaptée à l'implant sélectionné selon les procédures standards (47,51,118,119,131,143,146,156,160,162,165). Dans certaines situations, le lit implantaire est préparé uniquement par l'usage d'ostéotomes coniques ou d'expandeurs à vis (120,136,138,149,155,174,184).

Cette étape peut cependant être différée et réalisée lors d'un second temps chirurgical. Ainsi, l'espace obtenu peut être comblé par un matériau de comblement ou laissé vide, protégé ou non par une membrane (122,126,132,142,167,197,199).

La pose de l'implant peut également être concomitante à la réalisation de l'expansion osseuse pour laquelle la stabilité primaire sera mesurée, ou bien reportée.

Dans le cas d'une implantation immédiate, les implants peuvent être posés manuellement, mécaniquement avec un contre-angle ou par combinaison de ces deux procédés avec un torque pouvant varier entre 25 et 35 N.cm (28,62,120,122,143,175). La plupart du temps, les implants sont insérés jusqu'à atteindre le niveau juxta-osseux (28,117). En cas d'implantation multiple, Bravi et coll. en 2006 recommandent de commencer par l'implant le plus distal (120). A ce stade, la stabilité primaire de l'implant posé peut être évaluée soit manuellement, soit par l'intermédiaire d'instruments spécifiques comme le système Osstell® et le système Periotest® (99,140,143,200).

Les implants posés immédiatement après l'expansion osseuse obéissent généralement à un protocole en deux temps. Ainsi, la pose de vis de couverture permettra aux implants d'être enfouis (mise en nourrice) et de cicatriser sous la gencive à l'écart de toute force (47,99,116,122,125,131,156,174). Toutefois, quelques auteurs ont recours à un protocole en 1 temps avec mise en place des vis de cicatrisation et plus rarement, à un protocole de mise en charge immédiate (62,137,200,201).

L'espace résiduel inter-implantaire obtenu peut être laissé vide. Celui-ci est spontanément comblé par un caillot sanguin peu à peu remplacé par de l'os néoformé. C'est un processus similaire à la cicatrisation d'une alvéole post-extractionnelle ou à celui d'une fracture osseuse (62,97,120,122,125,147,152,165,196,200). Cependant, le comblement de cet espace, associé ou non à l'utilisation d'une membrane peut être envisagé (99,118,119,136,149,150,156).

La fermeture du site chirurgical peut être de première intention ou de seconde intention à l'issue d'une expansion osseuse transversale.

La fermeture primaire repose sur le rapprochement total des bords du lambeau (152). Elle est impérative pour la régénération osseuse, cependant elle reste difficile à obtenir après l'ouverture du site (152,160,202). De façon à obtenir une fermeture sans tension, une libération du lambeau par dissection supra-périostée dans le haut du vestibule au moyen d'une plastie de Rehrman est parfois nécessaire (117,132,136,148,160,162,175,196).

En cas de difficulté de fermeture complète du site, certains auteurs rapportent une cicatrisation de seconde intention. Par l'intermédiaire d'une membrane, le site chirurgical reste ouvert et repose sur la croissance des berges de la plaie (122,152,160,184).

Enfin, des précautions post-opératoires sont imposées de façon à éloigner toute force et pression masticatoire du site d'intervention. Ainsi, il est préconisé d'abolir le port de prothèse transitoire pendant 4 semaines, autorisant le patient à en avoir recours qu'en cas de nécessité esthétique (51,118,119,122,149,160). De même, un rebasage de la prothèse transitoire ainsi qu'une alimentation molle sont également recommandées (51,62,118,149).

3.3.3 Technique chirurgicale classique et variations

La technique classique d'expansion osseuse transversale repose sur une approche en 1 temps (principalement au maxillaire) ou en 2 temps (principalement à la mandibule). La phase implantaire est quant à elle différée et réalisée au cours

d'une intervention supplémentaire, après cicatrisation du site chirurgical (figure 35) (122,203).

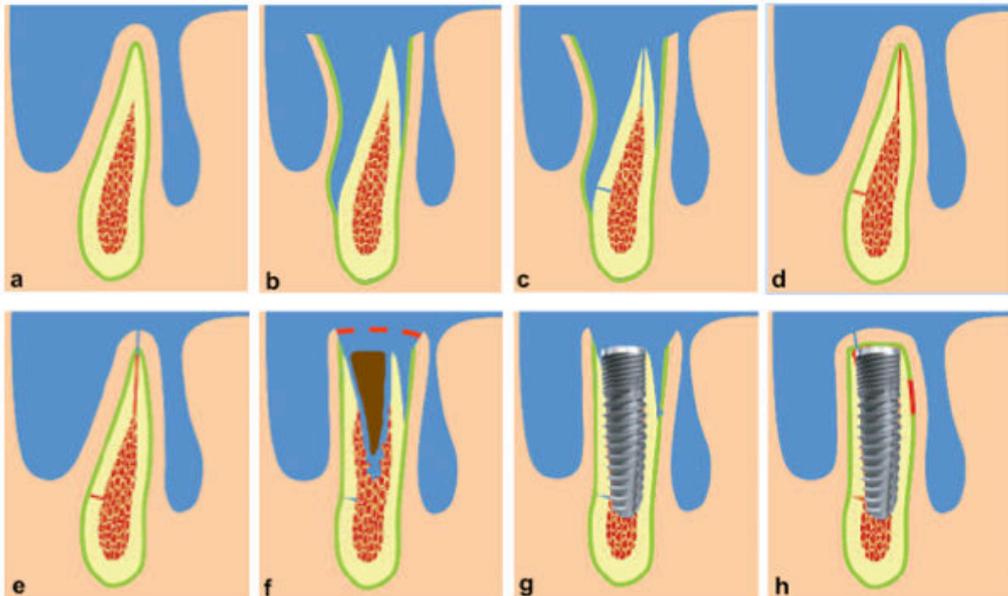


Figure 35 : Les différentes étapes d'une expansion osseuse transversale (source : Vinay, Fauroux, et Torres 2012) (114)

L'approche en 2 temps est conduite sur deux étapes chirurgicales, dont la première est considérée comme une phase préparatoire par la réalisation des corticotomies initiales (197). Par l'intermédiaire d'un lambeau d'épaisseur totale (figure 35b), celles-ci sont réalisées au sommet de la crête alvéolaire, suivi par deux incisions verticales dites de « décharge » jointes à leur extrémité apicale par une incision horizontale (figure 35c). Le lambeau est ensuite repositionné et suturé (figure 35d). Un délai de cicatrisation de 3 à 4 semaines pouvant aller jusqu'à 40 jours est respecté, préalablement à la seconde étape chirurgicale (117,118,122,142,143,150,167). Le but est d'obtenir un cal osseux mou (os immature) au niveau des incisions osseuses afin d'affaiblir la densité osseuse et de minimiser le risque de fracture lors de l'expansion (117,167).

La seconde étape chirurgicale consiste à séparer les corticales osseuses, suivi par l'expansion à proprement parlée. L'accès à la corticotomie crestale par l'abord muqueux, se fait dans le respect du périoste et de la vascularisation. L'opérateur a le choix entre un lambeau d'épaisseur totale semi-ouvert (seulement sur les premiers millimètres de la crête alvéolaire) (143,150,199), un lambeau d'épaisseur partielle (122) ou un lambeau d'épaisseur totale limitée (117). Certains auteurs plus

expérimentés n'utilisent pas de lambeau au cours de cette deuxième étape (142,167). Une fois l'expansion réalisée, le site est maintenu à l'aide d'un matériau de comblement dont le choix dépend des préférences du praticien (figure 35f) (142,167,197). La pose de l'implant est différée à l'issue d'une période de cicatrisation osseuse de 3 à 4 mois, nécessitant une troisième intervention chirurgicale (figure 35g) (142,167).

L'expansion osseuse transversale en 1 temps opératoire consiste à réunir ces deux étapes au sein de la même chirurgie. L'accès à la crête alvéolaire peut se faire soit par un lambeau d'épaisseur totale (99,119,155,156,198), un lambeau d'épaisseur partielle (47,62,122) ou par la combinaison des deux (figure 35b) (28,136,137,162). Généralement l'ostéotomie crestale se suffit à elle-même et l'expansion osseuse est ensuite réalisée. Le site opératoire est ensuite comblé par un substitut osseux afin de maintenir l'espace gagné et la pose de l'implant est différée lors d'un second temps chirurgical (figure 35g) (136,199).

Cependant cette technique est le siège de multiples modifications, amenant à des variations de la technique chirurgicale en fonction de l'opérateur et de son expérience, tant au maxillaire qu'à la mandibule (203). Il est alors possible, dans un objectif de réduire le temps de traitement, de regrouper les phases et étapes chirurgicales précédemment citées.

En effet, à la mandibule, de multiples possibilités ont été décrites, comme :

- L'expansion osseuse en 2 temps avec implantation immédiate (114,117,118,143,150). Une première intervention, à l'origine de la création d'une corticotomie crestale, de deux corticotomies verticales de décharge mésiale et distale et d'une corticotomie apicale, est réalisée. Après une période de cicatrisation pouvant aller jusqu'à 40 jours, la séparation osseuse, suivie par l'expansion puis par la pose de l'implant, est accomplie.
- L'expansion osseuse en 1 temps avec implantation différée (122,132,162,203). Les corticotomies sont réalisées (une crestale, deux verticales de décharge, une apicale facultative), suivies par la séparation et l'expansion osseuse. L'espace est maintenu par comblement du site et l'implant est mis en place après une période de cicatrisation osseuse de 4 à 6 mois (203).

- L'expansion osseuse en 1 temps avec implantation immédiate (116,133,145,150,156,196). L'ostéotomie crestale est associée à des corticotomies de décharges verticales avec l'usage ou non d'une corticotomie apicale. La séparation et l'expansion osseuse aboutissent à la pose immédiate de l'implant avec possibilité de comblement et de protection du site opératoire.
- L'expansion osseuse en 1 temps par l'intermédiaire d'un système d'expansion horizontale (figure 36) (51,120,131,138,146). La mise en place de ce type de dispositif au sein de la rainure intra-osseuse requiert la réalisation de corticotomies verticales de décharge et d'éventuellement d'une corticotomie apicale. Ce type de système permet d'écarter les crêtes de manière graduelle et contrôlée par l'activation d'une vis transversale dont chaque tour complet permet un élargissement de 0,5 mm. Une fois la dimension souhaitée acquise, le système est déposé suivi de la préparation du lit implantaire et de la pose d'implant.

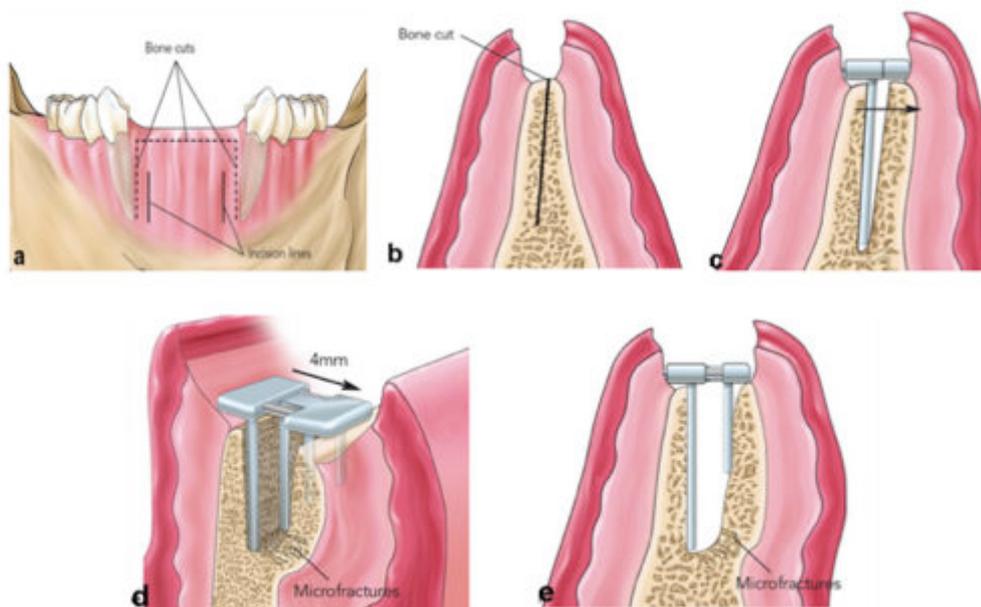


Figure 36 : Le protocole d'utilisation d'un système d'expansion horizontale (source : <https://pocketdentistry.com/5-rapid-alveolar-expansion-of-osteoperiosteal-flaps/>)

- L'expansion osseuse en 1 temps par l'intermédiaire d'expandeurs coniques verticaux (figure 37) (120,138,175,178,200). Préalablement à leur mise en place, la réalisation de l'ostéotomie crestale est réalisée sur une profondeur d'environ 10 mm, pouvant être associée à des corticotomies verticales. Un forage initial au niveau de l'emplacement implantaire par un foret pilote de faible diamètre est initié jusqu'à la longueur implantaire estimée. Une expansion douce et graduelle est permise par le passage d'une séquence d'expandeurs de diamètre croissant (de 2,5 mm à 4 mm de diamètre). Ce système permet de créer le lit implantaire dont le diamètre du dernier expandeur correspondra au diamètre de l'implant à poser (172,175,200).

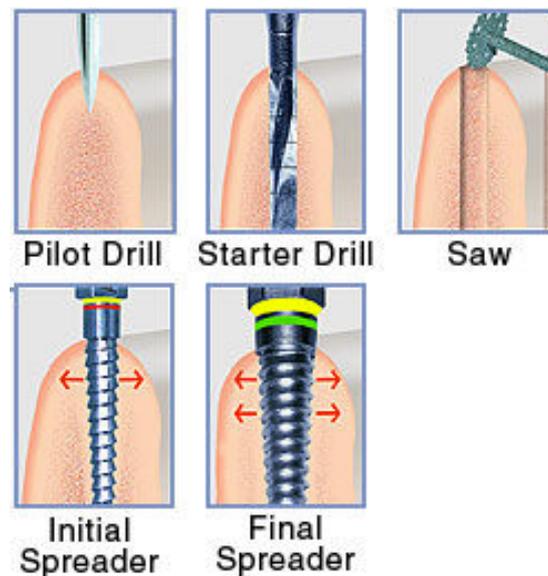


Figure 37 : Le protocole d'utilisation d'expandeur conique vertical (source : <https://www.salvin.com/bone-grafting/Bone-Spreaders.html>)

Au maxillaire, l'expansion osseuse transversale en 1 temps est fréquemment suivie par la pose immédiate du ou des implants.

Plusieurs variations de la méthode chirurgicale peuvent avoir lieu notamment concernant la réalisation des corticotomies. Certains auteurs n'ont recours qu'à l'incision osseuse crestale horizontale sans corticotomies de décharge (39,47,133,148,155,156,162,198) tandis que d'autres préfèrent les ajouter (28,62,120,122,125,137,160,176,184). Plus rarement une incision apicale sous forme d'encoche est réalisée (99,145).

L'utilisation d'expandeurs coniques verticaux et d'expandeurs horizontaux, suivant un protocole similaire qu'à la mandibule, est également possible (131,165,172,173,176,200,204). La mise en place de l'implant a lieu une fois l'expansion réalisée.

La technique d'expansion osseuse transversale peut être associée à d'autres procédures chirurgicales comme par exemple le soulèvement de sinus (127) ou la greffe de tissu conjonctif simultanée (160,184). Cependant, l'opérateur doit être conscient des risques inhérents aux différentes étapes de la procédure chirurgicale afin de prévenir et maîtriser les différentes complications.

3.3.4 Complications et gestions per-opératoires

Les complications opératoires rencontrées au cours de l'expansion osseuse transversale concernent la fracture de la crête alvéolaire, le manque de stabilité primaire ainsi qu'un placement incorrect de l'implant tant dans la dimension horizontale que dans la dimension verticale (47,136,145,149,150).

La fracture de la crête alvéolaire représente la principale complication et peut avoir lieu au cours des trois étapes fondamentales de la chirurgie : au moment de l'expansion (utilisation des ostéotomes), au moment de la préparation du site implantaire (utilisation des forêts) ou au moment de la pose de l'implant (28). Celle-ci peut atteindre la corticale vestibulaire ou palato-linguale, de façon partielle ou totale (28,120,134,144,155,205).

Des précautions afin d'éviter leur survenue ont été mise en œuvre au cours de la chirurgie, comme les corticotomies verticales (131,143,149), la création d'une encoche apicale additionnelle (132,143,162), l'utilisation d'une séquence instrumentale graduelle (47) ou d'une approche par étape (117,118,136,142,167). En cas de fracture, l'emploi de micro-fixations telles que les vis en titane ou les ligatures métalliques, permet la stabilisation du fragment mobilisé (99,120,131,144,151). Cependant, leur usage reste controversé dans ces situations. En effet, Strietzel et coll. en 2002 décrivent dans leur étude une cicatrisation sans événement pour une fracture partielle non stabilisée et Shibuya et coll. en 2014 concluent qu'en cas de

fractures complètes, le recours à des moyens de fixation n'est pas indispensable (155,206). Enfin, Tang et coll. en 2015, utilisent seulement des matériaux de comblement en différant la pose de l'implant (131).

L'espace obtenu grâce à l'expansion osseuse peut amener à un positionnement implantaire incorrect avec une inclinaison vestibulaire excessive, engendrant des problèmes fonctionnels et esthétiques (47,131,136,145,148–150). Dans ces situations, il est jugé préférable de différer la pose de l'implant afin de procéder à une réévaluation du site chirurgical (136,142).

Enfin le manque de stabilité primaire au moment de la pose de l'implant fait également parti des complications inhérentes à la procédure (47,136,145,149,150). Il est alors fortement recommandé de différer la mise en place de l'implant (29,150,156), néanmoins certains auteurs ont recours à une implantation immédiate en utilisant des moyens de fixation (149,184).

La technique d'expansion osseuse transversale demande certaines précautions ainsi qu'une certaine maîtrise du geste chirurgical afin de prévenir les complications relatives à cette procédure. Toutefois, le bon déroulement chirurgical n'exclue pas la possibilité de complications post-opératoires telles que la déhiscence de la paroi vestibulaire, la perte osseuse crestale, la récession des tissus mous, le manque d'ostéointégration ou encore l'échec implantaire (136). Ainsi, de nombreux paramètres seront à prendre en considération afin de minimiser leur impact et aboutir à la réussite du traitement, tant d'un point de vue chirurgical que d'un point de vue implantaire.

4 DISCUSSION

L'expansion osseuse transversale à visée implantaire représente une alternative aux méthodes conventionnelles (régénération osseuse guidée, greffe osseuse et distraction osseuse) et comprend de multiples variations portant à la fois sur le choix des instruments que sur la réalisation de l'acte chirurgical en lui-même, pouvant influencer les résultats chirurgicaux et implantaires.

4.1 Protocole opératoire

4.1.1 Protocole en 2 temps ou en 1 temps

Le choix d'une procédure d'expansion osseuse en 1 temps ou en 2 temps repose principalement sur la qualité osseuse et l'épaisseur initiale de la crête édentée (117).

En effet, une crête alvéolaire aux corticales osseuses relativement fines et présentant un os de faible densité osseuse (de type III ou IV) permet d'envisager une approche en 1 temps opératoire (122,152). En revanche, pour des crêtes présentant des corticales osseuses épaisses et une densité osseuse dense où l'élasticité osseuse est moindre (de type I ou II), une approche en 2 temps est recommandée (101,117,118,122,132,136,143,150,152). D'après Bravi et coll. en 2007, il est donc fréquent à la mandibule d'avoir recouru à une procédure par étape (44% des cas) mais plus rare au maxillaire (1,5% des cas). Toutefois, selon Sohn et coll. en 2010, il est envisageable de procéder à technique en 1 temps à la mandibule lorsque la densité osseuse et l'épaisseur des corticales le permettent (150).

De plus, les crêtes alvéolaires résiduelles très fines (inférieure à 3 mm), au maxillaire comme à la mandibule, ont une élasticité osseuse réduite et un risque de fracture majoré en raison d'un os spongieux réduit voir inexistant (29,47,125,134,135,147). De ce fait, une approche en 2 temps sera conseillée (117,134,143,150,162).

Une procédure en 1 temps opératoire présente l'avantage de réduire la durée du traitement (131,154), cependant elle peut être à l'origine de complications et difficile à réaliser, dans des situations particulières comme à la mandibule, pour un

praticien peu expérimenté (203). En dépit de l'allongement du temps de traitement, l'approche en 2 étapes permet de réduire les risques per-opératoires et semble être une approche plus fiable selon Enslidis et coll. en 2006 (118,136,142,150).

4.1.2 L'accès au site opératoire

L'accès au site opératoire est permis grâce à la réalisation d'un lambeau qui peut être d'épaisseur totale, d'épaisseur partielle ou combiné. Le type de lambeau réalisé aura une influence sur la vascularisation de la corticale osseuse (134).

Le lambeau d'épaisseur totale est fréquemment utilisé dans le cadre d'une expansion osseuse transversale (152). Le décollement du périoste permet une meilleure visibilité de la topographie de la crête alvéolaire, une limitation du saignement ainsi qu'une meilleure prise en charge des étapes chirurgicales (positionnement et angulation de l'ostéotomie, réduction du risque de perforations) (116,156,198). De plus, l'utilisation éventuelle d'une membrane est également possible (198). Cependant, un arrêt ou une perturbation de la vascularisation aura une influence sur la stabilité osseuse péri-implantaire (134).

D'après Scipioni et coll. en 1994, le lambeau d'épaisseur partielle représente le paramètre essentiel de l'expansion osseuse transversale et constitue un prérequis majeur en préservant l'intégrité du périoste et la vascularisation (125). Ce type de lambeau permet de maintenir la vitalité osseuse, de revasculariser rapidement le site opératoire ainsi que le fragment osseux déplacé tout en participant à l'immobilisation de celui-ci (28,125,134,141). Cependant pour des crêtes alvéolaires fines (de moins de 4 mm) présentant une faible épaisseur de tissu conjonctif, ce type de lambeau est difficile à réaliser. Il est alors recommandé d'avoir recours à un lambeau de pleine épaisseur (116,131,134). De plus, le recours à ce lambeau contre-indique l'emploi éventuel d'une membrane en cas de nécessité et masque toute fenestration ou déhiscence osseuse pouvant se produire au cours de l'expansion et de la pose implantaire (133,198).

La combinaison d'un lambeau d'épaisseur totale initié sur les premiers millimètres de la corticale vestibulaire suivi par un lambeau d'épaisseur partielle a permis d'établir

un compromis. Il permet de préserver la vascularisation de la paroi vestibulaire tout en permettant une meilleure visualisation, une meilleure approche au cours de la chirurgie et une protection de la paroi vestibulaire d'une fracture complète durant l'expansion (117,133,136,137,146). Elian et coll. en 2008, affirment que cette association est la meilleure option (136).

4.1.3 L'abord osseux

L'incision osseuse correspond à la première étape de l'expansion osseuse transversale et peut être réalisée à la fois par des instruments manuels, dynamiques ou ultrasoniques. Cette étape peut être simultanée à l'expansion à proprement parler ou bien préalable à celle-ci, dans le cadre d'une procédure en 2 temps classique.

L'usage des instruments manuels tels que les ostéotomes, les ciseaux à os ou les lames de bistouri, est suffisant pour des densités osseuses faibles comme au maxillaire (29,133,143,150,207). Cependant, pour des densités plus élevées comme à la mandibule, des instruments dynamiques sont préférables (29,133,207). L'avantage de l'instrumentation manuelle réside dans l'absence de production de chaleur tandis que les instruments dynamiques permettent un gain de temps et ne dépendent pas de la densité osseuse (120,133,153,208).

L'avènement des instruments ultrasoniques a permis d'élargir les indications de l'expansion osseuse transversale (incision des crêtes très étroites possible) (116,150) et de palier aux inconvénients des instruments traditionnels que sont :

- Pour les instruments manuels : l'inconfort du patient, la difficulté d'emploi dans les secteurs postérieurs, le manque de précision, l'expérience requise et le temps d'application principalement (120,139,153,167,200).
- Pour les instruments dynamiques : la production de chaleur, la possibilité d'atteinte des tissus mous et la difficulté d'emploi en présence de dents adjacentes notamment (120,153,167).

Toutefois, il n'existe pas de référence quant à la sélection d'un instrument spécifique. Le choix est souvent fait en fonction des préférences de l'opérateur qui détermine lequel est le plus confortable et offre de meilleures sensations tactiles (24,29,153).

L'incision osseuse crestale est une étape commune aux deux arcades maxillaire et mandibulaire. Généralement celle-ci est suffisante au maxillaire du fait de sa moindre densité osseuse, en revanche à la mandibule où celle-ci est plus importante (de type I ou II), des corticotomies verticales de décharge sont fréquemment réalisées (114,116,133,149,156). Ces incisions osseuses de décharge permettent de libérer les contraintes et de donner de la laxité osseuse (131,133,170). Elles sont quasiment indispensables à la mandibule et peuvent être une aide additionnelle au maxillaire notamment en présence de crêtes fines (< 3 mm) avec peu d'os spongieux (116,117,156,162). Cependant, selon Kang et coll. en 2012, elles représenteraient un risque supplémentaire de fracture et de perforation de la corticale vestibulaire et diminueraient la stabilité primaire implantaire au maxillaire (198).

L'incision osseuse apicale horizontale représente une mesure de précaution supplémentaire, particulièrement à la mandibule (156). Elle permet de contrôler, de prédéterminer et de guider la fracture en bois vert tout en augmentant la résilience du fragment osseux vestibulaire pour faciliter sa mobilisation (118,132,138,142,150).

4.1.4 L'expansion osseuse

L'étape d'expansion osseuse, visant à créer l'espace nécessaire à la pose de l'implant, peut être réalisée par des instruments traditionnels (les ostéotomes et les ciseaux à os à impacter avec un maillet chirurgical) ou par des instruments modernes (les expanseurs osseux motorisés, les systèmes d'expansion horizontaux et les expanseurs coniques) (159).

Parmi les différents instruments existants, les ostéotomes restent les plus populaires et montrent de bons résultats (159). Leur utilisation repose sur la viscoélasticité et la condensation osseuse, ainsi il est nécessaire d'être prudent quant à l'évaluation de la qualité osseuse (au même titre que les ciseaux à os) (155,159,209). En effet, leur usage est recommandé pour des densités osseuses faibles (de type III ou IV) tandis qu'il est préférable de privilégier d'autres instruments pour des tissus osseux de densité élevée (de type I ou II) en raison d'un risque de fracture majoré (149,155,175,207,209). Ils offrent de meilleures sensibilités tactiles

au praticien, cependant le déplacement du fragment vestibulaire reste traumatisant pour le patient avec un risque accru de complications si une force inappropriée est appliquée (172,175). De plus ils nécessitent une épaisseur de crête initiale de 3 à 4 mm (207,209).

Le développement des instruments modernes représente une alternative aux instruments traditionnels et a permis de palier, en partie, à leurs inconvénients (159). Ils sont indiqués pour des crêtes extrêmement résorbées (jusqu'à 2,5 mm d'épaisseur) (207,209). Les expandeurs coniques ont une force d'application graduelle et contrôlée. De part une distribution des forces d'expansion, ils permettent une mobilisation douce du fragment vestibulaire, limitant ainsi le risque de fracture même en présence de fortes densités osseuses (159,172,173,175,209). Leur taille réduite permet la gestion des secteurs postérieurs à la fois au maxillaire qu'à la mandibule (172,200). Les systèmes d'expansion horizontal présentent les mêmes avantages, à savoir une ouverture progressive et contrôlée tout en réduisant le risque de fracture (51,146).

4.1.5 Implantation immédiate ou différée ?

Dans le cadre d'une expansion osseuse transversale, la pose de l'implant peut être immédiate ou différée (117,137,142,150,167).

L'implantation immédiate à la suite de cette procédure d'augmentation, a été introduite dans les années 1990 par Simion et coll. (1992) puis par Scipioni et coll. (1994) (119,125). Elle permet de réduire le temps de traitement entre la phase chirurgicale et prothétique, de réduire les coûts liés à l'utilisation éventuelle de biomatériaux, de prévenir le risque de collapsus du volet osseux déplacé mais aussi de réduire l'inconfort d'une seconde intervention (144,153). Selon Waechter et al. en 2017, celle-ci est pratiquement toujours possible si la stabilité primaire de l'implant est obtenue (153). En effet, elle constitue un critère déterminant à obtenir à l'issue de l'expansion osseuse transversale (131,134,156,189). Dans le cas échéant, une implantation différée est recommandée ; l'implant sera posé après une période de cicatrisation de quelques mois (29,94,117,122,150,154,156,182,189).

Certains auteurs estiment qu'une implantation différée reste plus appropriée afin d'éviter les possibles complications per-opératoires (comme le manque de stabilité primaire, le mauvais placement implantaire ou la fracture de la crête) et post-opératoires (comme la déhiscence de la paroi vestibulaire, la perte osseuse crestale, la récession des tissus mous, le manque d'ostéo-intégration ou encore l'échec implantaire) (132,142,146,150). Selon Jensen et coll. en 2009 et Langer et coll. en 2012, la séparation de crêtes extrêmement fines (< 3 mm) avec peu d'os spongieux doit être combinée à une implantation différée (134,145). Enfin, une implantation différée permet une évaluation supplémentaire du site et de l'épaisseur osseuse obtenue après expansion (142,146,150).

4.1.6 Fermeture du site opératoire

La nécessité d'un comblement de l'espace intra-osseux obtenu à l'issue de l'expansion osseuse et de la pose implantaire n'est pas clairement établie à ce jour (94,159). De même, il n'existe toujours pas de consensus quant à l'utilisation d'une membrane ou de l'association de ces deux biomatériaux (132,165).

Malgré le fait qu'un matériau de substitution osseuse joue un rôle de mainteneur d'espace, dans la plupart des cas il n'est pas nécessaire lorsque l'espace entre les tables osseuses est stabilisé par un implant ou par des vis d'ostéosynthèse (126,147). Le caillot sanguin initie seul l'ostéogenèse et un tissu néoformé comblera spontanément le volume entre les corticales séparées (147,200). Dans leurs études sur la cicatrisation des implants posés immédiatement après une expansion osseuse (dont une chez le chien), Scipioni et coll. en 1997 et en 1999, démontrent qu'en dépit de la présence d'un espace entre la surface implantaire et le tissu osseux adjacent, la régénération osseuse et l'ostéo-intégration de l'implant se produisent (147,210). Ce processus correspond à la notion de « *jumping distance* » où l'os est capable de se régénérer même en l'absence de contact osseux initial. Toutefois, cette distance peut entraver l'ostéo-intégration si celle-ci est trop importante en engendrant la formation d'un tissu fibreux dont le seuil dépend du type d'implant utilisé. En effet, pour un implant à surface lisse, cet espace ne devra pas excéder 0,35 mm et pour un implant à surface rugueuse, 1,5 mm (211,212).

Ainsi, les espaces inférieurs à 3 mm (de part et d'autre de l'implant) ne nécessiteront pas de comblement (213). En revanche, si l'espace est trop large, l'utilisation d'un matériau de comblement et/ou d'une membrane est conseillée (123).

L'épaisseur initiale de la crête édentée et le degré de résorption sont également des facteurs à prendre en considération. En effet, pour des crêtes très fines pour lesquelles la résorption osseuse est sévère (épaisseur variant entre 3 et 4 mm), certains auteurs recommandent le comblement du site chirurgical (131,138,146,174,184).

En dépit de toutes ces variations, les résultats chirurgicaux témoignent que la procédure d'expansion osseuse transversale permet, *in fine*, d'élargir la dimension transversale des crêtes déficientes.

4.2 Résultats chirurgicaux

4.2.1 Facteurs influençant la cicatrisation osseuse

Une période de cicatrisation est requise après une procédure d'expansion osseuse transversale que ce soit après implantation immédiate ou non. Plusieurs facteurs peuvent influencer celle-ci à savoir le type de lambeau réalisé, les instruments utilisés ainsi que l'utilisation de biomatériaux.

En fonction de la préservation du périoste au cours de la réalisation du lambeau, la cicatrisation sera plus ou moins rapide. En effet, un lambeau de pleine épaisseur induit une cicatrisation osseuse retardée tandis qu'un lambeau d'épaisseur partielle permet une régénération osseuse plus rapide, améliorant ainsi le gain osseux (135).

Les instruments utilisés et notamment leurs effets biologiques sur la structure osseuse sont des préoccupations importantes par rapport à la survie cellulaire et par rapport à la cicatrisation (178). En effet, l'usage des instruments piézo-électriques semblerait efficace sur les premières étapes de la cicatrisation osseuse grâce à un accroissement précoces des protéines osseuses, à un contrôle du processus d'inflammation mais aussi grâce à une stimulation du remodelage osseux (214).

De même, des études ayant comparé la cicatrisation des incisions osseuses par piézochirurgie à celles réalisées par des instruments traditionnels, ont démontré une réduction du traumatisme et une cicatrisation plus rapide (214,215). En terme d'expansion, l'utilisation des instruments modernes favorise ce processus en étant atraumatique, en prévenant l'échauffement osseux et en minimisant le temps de travail nécessaire (159).

Enfin, l'utilisation de matériaux de comblement permet de favoriser la conservation et la reconstruction de la morphologie osseuse tridimensionnelle (216). De plus, l'apport d'agents biologiques (PRP autologue et PGRF) favoriserait la cicatrisation, la formation osseuse ainsi que la qualité de celui-ci grâce à ses propriétés structurales, sa concentration en facteurs de croissance et en protéines osseuses morphogénétiques (151,217–220).

4.2.2 Gain en épaisseur osseuse obtenue

À l'issue de la procédure d'expansion osseuse, il est difficile de prédire l'épaisseur finale gagnée (153). En effet, celle-ci peut varier en fonction de divers paramètres que nous étudierons.

D'une façon générale et selon plusieurs études, l'épaisseur gagnée peut varier entre 1 mm et 5,6 mm (51,118,119,132,133,136,142–144,151,167,177,184,220,221). D'une façon plus précise, certaines études de grande étendue permettent d'étayer et de préciser ces résultats.

En effet, Blus et Szmukler-Moncler en 2006, décrivent les résultats de leur étude dans laquelle la procédure d'expansion osseuse a été réalisée pour la réhabilitation de 230 sites (78 à la mandibule et 152 au maxillaire). L'épaisseur initiale des crêtes édentées était comprise entre 1,5 mm et 5 mm (moyenne 3,2 mm). A l'issue de la chirurgie, la dimension transversale de celle-ci variait entre 4 et 9 mm (moyenne de 6 mm) (120).

L'année suivante, Bravi et coll. en 2007 ont publié leurs résultats pour le traitement de 734 patients au maxillaire et à la mandibule pour 1715 implants posés. Le gain osseux enregistré est alors compris entre 2 et 5 mm (122).

Dans leur étude de 2010, Blus et coll. reportent la réalisation de 61 procédures d'expansion osseuse transversale sur des crêtes d'une largeur moyenne initiale de 3,3 +/- 0,7 mm. Ils enregistrent, *in fine*, une largeur crestale moyenne de 6,0 +/- 0,4 mm (138).

Enfin, d'après la revue de la littérature de Waechter et coll. en 2017 recensant 27 articles, 1732 patients et 4115 implants posés selon cette technique, le gain osseux moyen espéré est de 3,8 mm en moyenne, tout paramètre confondu. Selon eux, l'expansion de crête aboutit toujours à la dimension adéquate à la pose implantaire (153). Cette conclusion a été confirmée dans la revue de la littérature de Donos et coll. en 2008. Ils concluent que la procédure aboutit à une augmentation significative (entre 87,5% et 100%) de l'épaisseur de la crête initiale, permettant la pose des implants au sein de l'ostéotomie créée (93). De plus, Rahpeyma et coll. en 2013 témoignent d'une différence statistique entre l'épaisseur initiale et l'épaisseur finale des crêtes réhabilitées que ce soit au maxillaire comme à la mandibule (144).

En dépit de ces résultats satisfaisants, le gain osseux peut cependant être influencé par plusieurs facteurs comme la région réhabilitée (maxillaire ou mandibulaire), le type de lambeau réalisé et l'instrumentation utilisée notamment.

En terme d'augmentation osseuse à proprement parler, il existe une différence significative entre les deux arcades maxillaire et mandibulaire (47,117–119). Comme nous l'avons vu précédemment, l'expansion osseuse est plus facile à réaliser au maxillaire (en raison de ses caractéristiques osseuses) qu'à la mandibule. En effet, d'après la revue de la littérature de Waechter et coll. en 2017, les plus petites variations obtenues proviennent d'une étude réalisée à la mandibule tandis que les plus grandes proviennent d'une étude menée au maxillaire (153). Ces valeurs concordent avec les résultats de Simion et coll. en 1992 dans laquelle ils observent que l'expansion est plus importante au maxillaire (comprise entre 3 et 4 mm) qu'à la mandibule (comprise entre 1 et 1,5 mm), et plus récemment avec l'étude de Rahpeyma et coll. en 2013 (119,144).

Le type de lambeau réalisé semble également influencer la régénération osseuse et de ce fait, le gain osseux final. Dans leur revue de la littérature incluant 17 articles, Elnayef et coll. en 2015 décrivent un gain osseux moyen de 3,19 mm pour les quatre études ayant recours à un lambeau d'épaisseur totale et 4,13 +/- 3,13 mm pour une étude réalisant un lambeau d'épaisseur partielle (135).

En ce qui concerne l'influence du type d'instruments utilisés sur le gain osseux, la littérature se contredit. Selon les données de Waechter et coll. en 2017, sur 542 implants posés (9 études) en utilisant les instruments conventionnels, le gain osseux moyen est de 3,61 mm alors que sur 546 implants posés (7 études) en utilisant la piézochirurgie, l'augmentation est de 3,69 mm. Ainsi, ils concluent que l'expansion osseuse est efficace peu importe le type d'instruments utilisés et qu'il n'y a pas de référence quant à une meilleure instrumentation à utiliser (153). Cependant, Jha et coll. en 2017 affirment que l'utilisation d'expandeurs motorisés et de la piézochirurgie présentent un meilleur gain osseux que les instruments traditionnels (gain osseux moyen de 3,44 mm et de 3 mm respectivement) (159).

Enfin, le recours à différents matériaux de comblement, n'influence pas significativement le volume osseux gagné (153). De même, l'utilisation de membrane au cours de la procédure ne semble pas apporter d'effets bénéfiques, peu importe le type de lambeau réalisé (83,135).

4.2.3 Taux de réussite et taux de complications

L'expansion osseuse transversale, comme nous avons pu le constater précédemment, aboutit toujours à l'augmentation des crêtes atrophiées permettant ainsi, la mise en place de l'implant. Par ailleurs, Chiapasco et coll. en 2006 et en 2009, décrivent dans leurs revues de la littérature, un taux de succès chirurgical compris entre 98% et 100% (97,98). Cependant, celle-ci peut s'accompagner d'éventuelles complications per- et post-opératoires (fracture osseuse, récession tissulaire et la résorption osseuse principalement) en fonction des situations cliniques, rapportant un taux d'échec chirurgical compris entre 1,1% et 6,8% (131,135,205).

D'après Milinkovic et coll. en 2008 et Elnayef et coll. en 2015, la fracture osseuse est la complication la plus fréquente au cours d'une procédure d'expansion osseuse (135,205). Toutefois, certains paramètres ont une incidence sur ce risque. Sohn et coll. en 2010 comparent la technique en 1 temps (23 patients, 63 implants) et la technique en 2 temps (9 patients, 21 implants) pour des édentements mandibulaires présentant une épaisseur de crête entre 2 et 4 mm. Dans les deux techniques, les implants ont été posés dans l'immédiat. Ils reportent 5 fractures (21%) de la corticale vestibulaire au cours de la procédure en 1 temps avec pose immédiate tandis qu'aucune fracture n'a été reportée pour la seconde approche (150). De même, Rahpeyma et coll. en 2013 décrivent la survenue d'une fracture de la corticale linguale au moment de la pose immédiate de l'implant à la mandibule, pour une expansion osseuse réalisée en 1 temps (144). Alors que Scarano et coll. en 2015, dans leur étude effectuée sur 32 patients (64 implants) où la technique en 2 temps avec implantation immédiate a été employée à la mandibule, n'ont observé aucune fracture osseuse (143).

Selon une revue de la littérature parue en 2017, les fractures sont plus fréquentes en utilisant des ostéotomes (159). Cependant, Tang et coll. dans leur étude de 2013, enregistrent quant à eux la survenue de 11 fractures vestibulaires en dépit de l'utilisation d'un système d'expansion horizontal, pour une étude réalisée chez 168 patients à la mandibule (131).

L'épaisseur initiale de la crête a également une incidence sur le risque de fracture osseuse comme le témoigne une étude menée par Ella et coll. en 2014 chez 32 patients pour des crêtes d'épaisseur initiale de 3 et 4 mm à la mandibule. Ils reportent un taux de fracture du versant vestibulaire de 43% dont 40% au niveau des crêtes les plus fines (3 mm). Ainsi, ils attestent que plus la crête est étroite, plus le risque de fracture est élevé. D'autre part, leurs résultats mettent en évidence un facteur de genre : les femmes ont un risque de fracture plus important que les hommes. Enfin, ces derniers n'indiquent aucune différence significative concernant la localisation de l'intervention, que ce soit la région mandibulaire antérieure ou postérieure, sur le taux de fracture (146).

D'après une revue de la littérature, le taux de fracture osseuse au cours de l'expansion est plus élevé en région mandibulaire (159). De même, d'autres études affirment que le risque de fracture du fragment vestibulaire est plus élevé à la mandibule en raison de l'épaisseur des corticales et d'une densité osseuse importante (142,150). Notons alors que malgré la différence des paramètres utilisés, les études de Sohn et coll. en 2010, de Rahpeyma et coll. en 2013, de Tang et coll. en 2013 et de Ella et coll. en 2014 concernent la mandibule (131,144,146,150).

D'autres complications peuvent survenir comme des récessions gingivales, des problèmes sensoriels mineurs et des résorptions osseuses.

En effet, Jensen et coll. en 2009 dans leur étude où ils comparent les différents types de lambeaux réalisés lors d'une procédure d'expansion osseuse, affirment que les principales complications relatives à la procédure sont la survenue de récessions gingivales et la résorption osseuse. Ils enregistrent chez 10 sujets des récessions gingivales allant de 2 à 3 mm à la suite de la réalisation d'un lambeau de pleine épaisseur. Seulement 8 patients présentent une récession de 2 mm dans le cas d'un lambeau en épaisseur partielle et 1 patient uniquement lors d'une approche sans levée de lambeau (134).

Deux études révèlent la présence de désordres sensoriels comme une paresthésie dans la région du nerf alvéolaire inférieur ou des douleurs prolongées à la suite de l'intervention. En effet, Chiapasco et coll. en 2006, observent ces phénomènes pour deux patients dont les symptômes se sont résolus spontanément dans le mois suivant la chirurgie (51,98).

Enfin, plusieurs études décrivent un phénomène important de résorption osseuse. En effet, selon Jensen et coll. en 2009, ce processus est l'une des complications majeures de l'expansion osseuse. Dans leur étude, une résorption osseuse d'au moins 2 mm en hauteur est relevée dans 14,7% des cas (134). Demetriades et coll. en 2011 relèvent un cas de résorption osseuse totale en vestibulaire (117). Enfin, Ella et coll. enregistre également un taux de résorption de 47% (146).

D'autres études ne relèvent pas de complications liées à la procédure en elle-même (maxillaire et mandibule, toutes techniques confondues) (118,132,137,138,143,162,170). Cependant, l'évaluation de la réussite de la procédure d'expansion osseuse, selon Jensen et coll. en 2009, dépend de la stabilité osseuse marginale. La plupart des études utilisent comme référence le taux de succès implantaire. D'après Jensen et coll. il ne s'agit pas d'une bonne mesure du fait que certains paramètres n'ont pas d'influence sur le degré d'ostéo-intégration, à partir de l'instant où la stabilité primaire de l'implant est obtenue dans la zone apicale. De ce fait, selon Jensen et coll., l'évaluation du succès de la procédure ne dépend pas du succès implantaire mais de la stabilité osseuse marginale (134).

4.3 Niveau osseux marginal péri-implantaire

Le niveau osseux marginal péri-implantaire et plus particulièrement les dimensions et la stabilité de l'os marginal sont les principaux indicateurs de réussite de l'expansion osseuse transversale (134). Par ailleurs, l'évaluation verticale et horizontale du niveau osseux péri-implantaire est un critère important pour le succès implantaire (80). En effet, celle-ci fait partie des critères définis par Albrektsson et coll. en 1986 considérant comme un succès implantaire une résorption osseuse inférieure à 1,5 mm dans la première année de mise en fonction et inférieure à 0,2 mm annuellement les années suivantes (80). Différents facteurs peuvent influencer ce processus et doivent, par conséquent, être considérés.

4.3.1 Stabilité osseuse post-chirurgicale

Le remodelage osseux, à l'origine d'une résorption superficielle et d'une variation dimensionnelle de la crête alvéolaire, fait partie d'un processus physiologique. Cependant, selon Demetriades et coll. en 2011, une perte osseuse significative peut avoir un effet délétère sur l'ostéo-intégration. Ainsi une résorption de plus de 2 mm sur une période de 4 à 12 mois ou de 4 mm sur une période de 12 mois après la chirurgie, est considérée comme une complication (117). Ce processus se produit avant tout à la périphérie des dents naturelles mais s'observe également autour des implants (207,222–225).

Cette résorption osseuse marginale péri-implantaire s'observe principalement dans la dimension verticale (dans le sens transversal et sagittal) mais peut avoir lieu dans la dimension horizontale, au cours de différentes phases.

En effet, une perte osseuse marginale significative est observée au cours de la période de cicatrisation, soit entre la pose de l'implant (T0) et la mise en fonction (T1). Une étude menée par Tang et coll. enregistre une perte osseuse en moyenne de $-1,61 \pm 0,91$ mm au cours de cette période (131). De plus, l'étude de Bassetti et coll. en 2013, témoigne d'une résorption osseuse en moyenne de $-1,19 \pm 1,01$ mm entre T0 et T1 (133). Enfin, Bassetti et coll. en 2014 reporte dans leur étude comparative, une perte osseuse crestale de $-0,94 \pm 0,74$ mm (groupe 1) et de $-1,03 \pm 0,86$ mm (groupe 2) (226).

Au cours de la première année après la mise en fonction de l'implant (T1-T2), plusieurs études ont révélé une résorption osseuse crestale évidente (37,51,62,131,133,137,149). Tang et coll. reporte un résultat moyen de $-0,69 \pm 0,49$ mm et $-0,53 \pm 0,89$ mm pour Bassetti et coll. en 2013 (131,133). L'étude de Crespi et coll. en 2015 portant sur la mise en charge immédiate des implants posés simultanément à une expansion osseuse transversale, indique une perte osseuse de valeur moyenne $-1,02 \pm 0,48$ mm au cours de la première année suivant la pose implantaire (62). Garcez-Filho et coll. en 2015 quant à eux indiquent une perte osseuse moyenne de $-0,47 \pm 0,91$ mm dans les six premiers mois après la mise en fonction, les mesures débutant à cet instant (137). Quant à Bassetti et coll. en 2014, les valeurs correspondantes à cette période (T1-T2) sont équivalente à $-0,18 \pm 0,71$ mm (groupe 1) et $-0,22 \pm 0,93$ mm (groupe 2) (226).

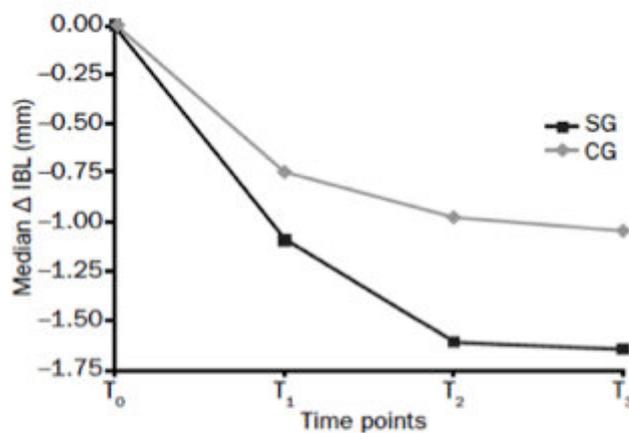
Les années suivantes, le niveau osseux crestal se stabilise (62,131,133,149). En effet, Tang et coll. en 2015 enregistre les années suivantes une perte osseuse marginale annuelle moyenne de $-0,06$ mm pour un suivi de 6 à 8 ans. Bassetti et coll. en 2013 quant à eux, ont réalisé un suivi jusqu'à 2 ans après la mise en fonction de l'implant. Il enregistre, après la première année de mise en fonction et la fin de la période de suivi (soit entre T2 et T3), une perte osseuse moyenne de $-0,11 \pm 1,20$ mm (133). Crespi et coll. en 2014, enregistre une résorption minimale de $-0,78 \pm 0,26$ mm, dans les 2 ans après la mise en fonction (62).

La perte osseuse marginale totale dans le plan vertical, enregistrée entre le moment de la chirurgie et la fin de la période de suivi est sensiblement équivalente entre les différentes études. Pour Bassetti et coll. (2013) avec un suivi de 2 ans, celle-ci est de $-1,68 \pm 0,90$ mm et pour Demetriades et coll. (2011), elle est de $-1,8$ mm à 24 mois (117,133). Une étude menée par Garcez-Filho et coll. en 2015 avec un suivi de 10 ans témoigne d'une perte de $-1,93 \pm 0,93$ mm (137).

La plupart des études tiennent compte de ces modifications osseuses par l'interprétation de clichés radiographiques en deux dimensions, évaluant ainsi uniquement les variations en mésial et en distal de chaque site (37,99,131,133,137). Or, dans le cadre d'une procédure d'expansion osseuse transversale, il est judicieux d'interpréter les changements dimensionnels en vestibulaire et en lingual. D'après la revue de la littérature de Bassetti et coll. en 2016, seulement une étude réalise un enregistrement de ces valeurs en réalisant un sondage parodontal (« *bone mapping* ») à la fois en mésio-distal qu'en vestibulo-lingual. Ainsi, Bassetti et coll. en 2013, par l'intermédiaire de cette technique d'évaluation, ont pu enregistrer les variations osseuses tridimensionnelles. Ils concluent que des taux similaires sont observés en mésial, en distal, en vestibulaire et en lingual, entre le moment de la chirurgie et la fin de la période de suivi. La perte osseuse verticale vestibulo-linguale moyenne est de $-1,54 \pm 0,85$ mm, qui est comparable la perte osseuse verticale mésio-distale moyenne ($-1,68 \pm 0,90$ mm) (133).

Ce phénomène est exacerbé par la technique chirurgicale en elle-même peu importe l'approche. Dans leur étude, Bassetti et coll. en 2013 comparent les variations osseuses péri-implantaires pour des implants posés avec expansion osseuse transversale (groupe 1) et pour des implants posés sans expansion (groupe 2) (figure 38). D'après leurs résultats, il existe une différence significative entre les deux groupes au cours des 27,4 mois de suivi, soit une résorption de $-1,68 \pm 0,90$ mm pour le groupe 1 et de $-1,04 \pm 0,78$ mm pour le groupe 2. Une résorption osseuse est principalement relevée au cours de la période de cicatrisation ($-0,94 \pm 0,78$ mm) pour les implants posés en sites non augmentés (groupe 2). Celle-ci est plus faible dès la première année de mise en fonction implantaire ($-0,05 \pm 0,45$ mm). Pour les implants posés en sites augmentés par expansion osseuse transversale (groupe 1), la perte osseuse marginale au cours de la période de

cicatrisation est similaire (-1,19 +/- 1,01 mm). Cette résorption osseuse, contrairement au groupe 2, augmente de manière significative la première année après la mise en fonction avec une valeur moyenne de -0,59 +/- 0,89 mm. La perte osseuse observée au cours de la deuxième année après mise en fonction est limitée et comparable aux implants posés en sites non augmentés, soit de -0,11 +/- 1,20 mm (groupe 1) et de -0,05 +/- 0,16 mm (groupe 2). Ainsi, Bassetti et coll. concluent que la stabilisation du processus de remodelage osseux semble être différée après une expansion osseuse transversale. De plus, l'application de cette technique tend à augmenter la perte osseuse verticale comparativement aux implants posés en sites non étendus, particulièrement un an après la mise en fonction implantaire (133,226).



Perte osseuse marginale à T₀ (chirurgie), T₁ (mise en charge), T₂ (1 an après mise en fonction), T₃ (2 ans après mise en fonction)

Figure 38 : Comparaison de la perte osseuse verticale marginale entre les implants posés en sites augmentés (SC) et les implants posés en sites non augmentés (CG) (source : R. Bassetti et coll. 2013) (133)

Dans le plan transversal, peu d'études évaluent les variations osseuses dimensionnelles. Une étude menée par González-García et coll. en 2011 n'a pas relevé de résorption osseuse latérale à la suite d'une procédure d'expansion osseuse (99). Annibali et coll. en 2012 enregistrent une résorption dans les 6 mois suivant la chirurgie de -0,31 +/- 0,16 mm et dans les 12 mois de -0,35 +/- 0,18 mm (37). Enfin, Chiapasco et coll. en 2006 témoignent d'une variation moyenne de -0,4 mm la première année après la mise en fonction puis de -0,5 mm la seconde année, -0,8 mm lors de la troisième et quatrième année (51).

Il est important d'être vigilant quant au choix du point de départ des mesures réalisées qui peut fortement influencer les valeurs enregistrées. En effet, un point de départ tardif comme par exemple au moment de la mise en fonction implantaire, ne témoignera pas des changements osseux se produisant au cours de la période de cicatrisation (207). De même, plusieurs facteurs peuvent influencer de manière positive ou négative ce processus.

4.3.2 Facteur anatomique

Des facteurs anatomiques comme la densité osseuse, l'épaisseur initiale de la crête alvéolaire ou la localisation de l'intervention, peuvent avoir une influence sur la résorption osseuse marginale.

Une étude de Strietzel et coll. en 2002, décrit la technique d'expansion par l'usage des ostéotomes chez 22 patients, pour des densités osseuses de type 2 et de type 3 au maxillaire. Ils enregistrent une perte osseuse marginale au cours de la période de cicatrisation et l'année suivant la mise en fonction implantaire. Ils concluent que celle-ci est significativement différente en fonction de la densité osseuse. En effet, les implants posés au niveau des sites de densité de type 2 présente une perte osseuse verticale moyenne de 1,00 mm tandis que celle des implants posés au niveau des sites de densité de type 3 est de 0,4 mm, 6 mois après la mise en fonction implantaire. Ainsi, dans le cadre d'une expansion osseuse transversale par l'usage des ostéotomes, la perte osseuse marginale péri-implantaire sera majorée pour une densité osseuse importante (155).

Ella et coll. en 2014, sur 32 patients traités par expansion osseuse transversale, 47% des crêtes réhabilitées présentent une résorption osseuse péri-implantaire dont 25% au niveau des crêtes les plus étroites initialement (3 mm). Ils concluent également, d'après leurs résultats, qu'aucune différence significative de résorption osseuse n'est observée entre la région antérieure et la région postérieure mandibulaire (146).

4.3.3 Facteur chirurgical

Des paramètres chirurgicaux peuvent également expliquer les modifications du niveau osseux péri-implantaires, à savoir le type de lambeau réalisé, le degré d'enfouissement implantaire et l'utilisation de matériaux de comblement et de membrane.

Certains auteurs préconisent préservation du périoste pour minimiser la résorption osseuse (47,122,125,139,170,200). Jensen et coll. en 2009 émettent l'hypothèse que l'arrêt ou la perturbation de la vascularisation de la corticale osseuse pourrait être influencée par le type de lambeau réalisé et de ce fait influencer la stabilité osseuse péri-implantaire. En effet, ils enregistrent des défauts verticaux de 2 mm ou plus au niveau de 11 sites, dont 10 avec abord muqueux total. Ils concluent alors qu'un lambeau d'épaisseur partielle aboutit à une réduction du risque de résorption osseuse verticale et apporte plus de stabilité osseuse les années suivantes l'augmentation osseuse (134). Cette affirmation est également soumise dans la revue de la littérature d'Elnayef et coll. en 2015 et étayée par un cas de résorption osseuse totale dans l'étude de Demetriades et coll. en 2011, lors de la réalisation d'un lambeau d'épaisseur totale (117,135). Enfin, selon Bassetti et coll. en 2013, le décollement du périoste semble causer à lui seul une perte osseuse d'environ 0,5 mm (133). De ce fait, les lambeaux d'épaisseur totale sont à l'origine d'une résorption osseuse de surface prévisible (135,227).

Un autre facteur pouvant expliquer ce phénomène est le positionnement de l'implant et donc la distance entre le col implantaire et la crête osseuse (degré d'enfouissement). Physiologiquement, la jonction implant/pilier entraîne un retrait apical du premier contact entre l'os et l'implant sur 1 à 2 mm. Ainsi, plus cette jonction est infra-osseuse, plus une résorption de la crête se produit (60). Plusieurs études ont démontré en situation normale, une augmentation de la résorption osseuse marginale en association avec un positionnement implantaire sous-crestal (228–231). Bassetti et coll. en 2014 ont mis en évidence dans le cadre d'une expansion osseuse transversale, une corrélation entre le degré d'enfouissement et la perte osseuse marginale péri-implantaire.

Statistiquement, ils certifient que plus le degré d'enfouissement de l'implant est important, plus la perte osseuse marginale péri-implantaire est importante (226).

D'après certains auteurs, l'utilisation des matériaux de comblement semble avoir un effet positif sur les variations osseuses post-chirurgicales.

Tout d'abord, Han et coll. en 2011 dans leur étude réalisée sur des chiens aboutissent à la conclusion que l'utilisation de matériaux de comblement avec ou sans membrane, améliore la prévention de la perte osseuse marginale à la suite d'une procédure d'expansion osseuse latérale (123). De même, dans une étude pilote sur des cobayes, Stricker et coll. en 2014 évaluent l'influence de la ROG en combinaison avec l'expansion osseuse transversale. Ils concluent que l'association d'un matériau de comblement et d'une membrane procure une meilleure préservation de la dimension verticale et de la dimension horizontale qu'en l'absence de ces derniers (232).

Des études humaines présentent également la même conclusion : le comblement avec des substituts osseux réduit significativement la résorption osseuse péri-implantaire (121,233,234). En effet, Ella et coll. en 2014 dans leur étude, 53% des sujets ont reçu un comblement et 47% n'ont pas reçu de comblement, indépendamment de l'épaisseur initiale de la crête. Sur l'ensemble de l'étude, 47% des crêtes alvéolaires présentent une perte osseuse, majoritairement pour les crêtes non comblées dont un plus fort taux (25%) pour les crêtes initialement très fines. Quant aux crêtes ayant reçues un comblement, dans 94% des cas elles ne présentent pas de perte osseuse. Ainsi, ce phénomène de résorption est majoré en l'absence de substituts osseux, d'où son importance pour maintenir le volume osseux, particulièrement dans la dimension horizontale et au niveau des crêtes fortement résorbées (146). De même, Annibali et coll. en 2012 ont comparé la perte osseuse marginale péri-implantaire en fonction de la combinaison avec la technique de ROG ou non. Ils concluent que la résorption osseuse crestale, évaluée à 3 mois après la mise en fonction implantaire, est significativement plus importante au niveau des implants posés sans recours à la ROG (37). Cependant, Tang et coll. en 2013, ne témoignent pas de différence entre les deux groupes sur la perte osseuse dans la dimension verticale (131).

4.3.4 Facteur mécanique et instrumental

Le niveau osseux marginal péri-implantaire peut être influencé par des facteurs mécaniques comme la répartition des charges au niveau du col implantaire mais également instrumentaux comme le choix implantaire en lui-même.

Dans un objectif de limiter au maximum ce phénomène, une hypothèse quant à l'utilisation d'un implant à col taraudé et rugueux a été soulevée. Ainsi, l'étude menée par Bassetti et coll. en 2014, compare la perte osseuse marginale en fonction de l'état de surface du col implantaire : usiné et lisse ou taraudé et rugueux (figure 39).

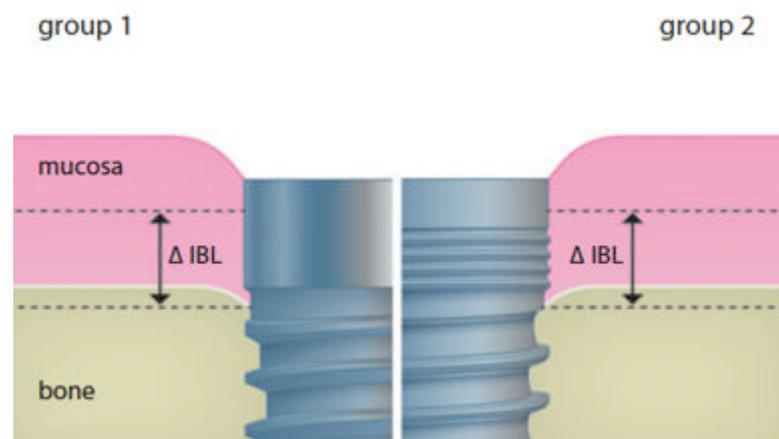


Figure 39 : Le col usiné à surface lisse (groupe 1) et le col taraudé à surface rugueuse (groupe 2)
(source : R. Bassetti et coll. 2014) (226)

Les résultats de leur étude ne montrent aucune différence statistique entre les deux groupes sur la perte osseuse marginale péri-implantaire. De même, d'autres paramètres ont été évalués notamment le diamètre et la longueur de l'implant, ne révélant aucune influence de ces derniers sur la résorption osseuse marginale.

Le facteur mécanique, représenté par la distribution des forces au niveau de l'interface implantaire en contact avec la surface osseuse représente une des explications liées à la perte osseuse (235). Le niveau de stress au niveau de la zone cervicale est dépendant du type de connexion entre l'implant et le pilier prothétique (236). Selon Horrocks et al. en 2010, l'interface implant/pilier doit minimiser le remodelage vertical (165). Ainsi certains auteurs préconisent l'emploi d'une

connexion cône-morse ou « *platform-switching* » pour réduire la résorption osseuse crestale (120,134,196,237). Le « *platform-switching* » permet, par une distance augmentée entre la jonction implant/pilier et le niveau osseux, de détourner le flux inflammatoire et de réduire le stress au niveau de l'os péri-implantaire (60,238).

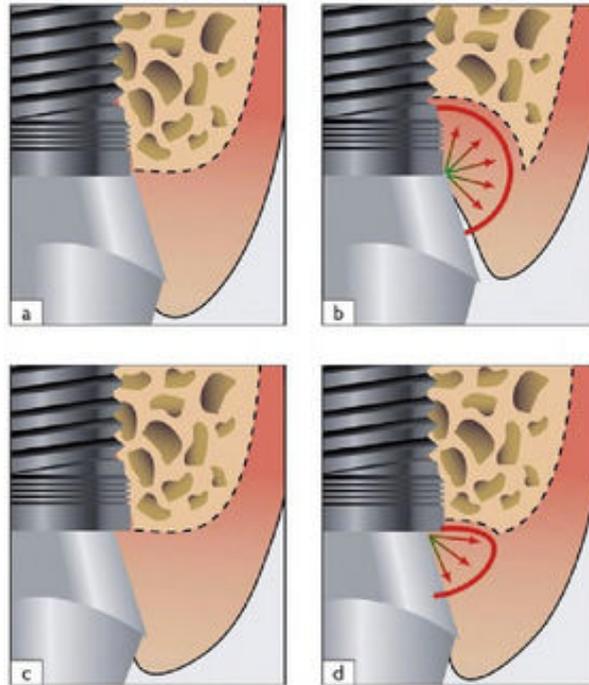


Figure 40 : Les effets d'un implant sans « *platform-switching* » (a, b) et les effets d'un implant à « *platform-switching* » (c, d)
(source : Szmukler-Moncler et coll. 2012) (60)

Ainsi, pour ce type de connexion implantaire, la perte osseuse verticale et horizontale est faible et limitée tandis que pour les implants sans « *platform-switching* », celle-ci est plus prononcée (figure 40) (60).

Le niveau osseux marginal péri-implantaire fait parti des critères de succès implantaire. L'objectif de l'expansion osseuse transversale est de fournir le volume osseux nécessaire à la pose des implants, tout en favorisant leur intégration et leur viabilité dans le temps.

4.4 Résultats implantaire

4.4.1 Taux de survie et de succès implantaire

La survie implantaire est définie comme le maintien de l'implant in situ au cours de la période de suivi sans tenir compte d'éventuels critères spécifiques (80,93,239). Le taux de succès implantaire quant à lui, prend en considération les différentes complications et obéit à des critères de succès. Il permet d'inclure des résultats prévisibles et stables notamment sur la fonction de l'implant (80,93,136,207).

Selon la revue de la littérature de Waechter et al. en 2017, il existe une grande hétérogénéité de critères de succès en fonction des études (153). En fonction de la définition des critères de succès, le taux de succès peut varier significativement (207). Deux critères de succès semblent toutefois être fréquemment utilisés : les critères de succès d'Albrektsson et coll. en 1986 et les critères de succès de Buser et al. en 1997 (80,153,240).

D'après la littérature, le taux de survie des implants posés en site étendu par expansion osseuse transversale varie entre 91% et 100% sur une période de suivi comprise entre 3 mois et 10 ans (97,98,135,153,207,241). Le taux de succès implantaire relatif à cette procédure est quant à lui compris entre 86,2% et 100% (97,98,207,241). De plus, d'après de nombreuses études, les taux de survie et de succès implantaire après expansion osseuse transversale sont similaires aux implants posés en site non étendu (47,97,133,137,148).

En dépit de ces résultats satisfaisants, des échecs implantaires peuvent survenir à différents stades du traitement dont l'origine varie.

4.4.2 Taux d'échec implantaire

Dans le cadre d'une procédure d'expansion osseuse transversale, les échecs implantaires sont relativement rares (93,147). Ces derniers peuvent être dus à un manque d'ostéointégration ou par la présence d'une infection, survenant de manière

précoce (avant la mise en fonction implantaire) ou de manière tardive (après la mise en fonction implantaire) (47,122,241).

La plupart des études révèlent des taux d'échecs différents en fonction du nombre d'implants posés, ayant lieu principalement avant la mise en fonction implantaire (147). Parmi les différentes études, le taux d'échec implantaire varie entre 2,7% et 5,4% indépendamment de la cause et du temps de cicatrisation (47,120,122,138,172,200).

La revue de la littérature de Mestas et coll. en 2016 recensant 3033 implants, témoigne de l'échec de 110 implants dont 78 de façon précoce et 32 de façon tardive (241). De même, Bravi et coll. en 2007 aboutissent à un taux d'échec de 4,3% (73 implants) pour 1715 implants, dont 71,2% (52 implants) précocement (122). Toutefois, les résultats de l'étude de Montero et coll. en 2012, révèlent que la plupart des échecs se produisent après la mise en charge implantaire avec un taux de 5,4% (200). Quant à Sethi et Kaus en 2000, pour 449 implants témoignent de la perte de 8 implants pour cause infectieuse et de 4 implants par manque d'ostéo-intégration (47).

Les échecs implantaires relatifs à cette technique chirurgicale restent faibles. De plus, la survenue de ces derniers n'altère pas la modification osseuse induite par l'expansion de crête : le nouvel os augmenté n'est pas perdu (122,137,147). Cependant, le degré de réussite implantaire, au même titre que le succès chirurgical, est également en partie corrélé à l'influence de certains facteurs pronostics.

4.4.3 Facteurs pronostics

Les résultats de plusieurs études ont permis de mettre en évidence les éventuels paramètres ayant ou non une incidence sur la survie et/ou le succès implantaire dans le cadre d'une expansion osseuse transversale. Parmi eux, les facteurs socio-démographiques (âge, genre, addiction), l'arcade réhabilitée ainsi que la localisation implantaire, la technique chirurgicale adoptée (technique en 1 temps ou en 2 temps), les instruments utilisés pour l'expansion osseuse, les matériaux de comblement, le type d'implant et le type de prothèse réalisé.

Selon les études de Montero et coll. en 2012 et de Garcez-Filho et coll. en 2015, ni l'âge, ni le genre (féminin ou masculin) ne semblent présenter un risque significatif sur la survie et sur le succès des implants posés au niveau des sites réhabilités (137,200). En revanche, d'après une étude menée par Bravi et coll. en 2007, le taux d'échec implantaire est majoré (1,5 fois plus grand) chez les personnes fumeuses (122).

La survie ainsi que le succès implantaire dépendent également de la localisation implantaire et de l'arcade considérée.

En effet, plusieurs études attestent que le maxillaire est plus à risque que la mandibule (122,200). De même, les échecs reportés dans l'étude de Blus et coll. en 2006 ont tous eu lieu au maxillaire (120). Quant à la revue de la littérature de Mestas et coll. en 2016, 91 échecs implantaires ont été relevés au maxillaire pour 13 échecs à la mandibule (241).

Enfin, la région postérieure maxillaire est plus à risque que la région antérieure selon plusieurs auteurs (120,122,200). D'après Bravi et coll. en 2007, cette affirmation ne peut être confirmée à la mandibule (122). Cependant, plus tardivement, Montero et coll. en 2012 affirment que la région postérieure mandibulaire présente également un risque plus élevé que la région antérieure (200).

La densité osseuse joue alors un rôle important non seulement dans le cadre de la procédure chirurgicale d'expansion osseuse mais aussi dans le cadre de la survie implantaire. Les résultats de Montero et ses collaborateurs montrent que la qualité osseuse idéale correspond à un os de type 2. Des taux d'échecs plus importants ont été enregistrés pour des densités osseuses de type 3 et de type 1 (200).

Seulement quelques études témoignent d'une influence de la technique chirurgicale en elle-même. Tout d'abord, la revue de la littérature menée par Elnayef et coll. en 2015 témoigne d'un taux de survie statistiquement indistinct selon le type de lambeau réalisé. En effet, leurs résultats indiquent un taux de survie implantaire de 97% pour un lambeau de pleine épaisseur (10 études) et de 95,7% pour un lambeau d'épaisseur partielle (7 études).

Selon Demetriades et coll. en 2011, aucune différence d'ostéo-intégration n'a été détectée entre une méthode d'expansion osseuse en 1 temps ou en 2 temps (117). De même, dans l'étude de Bravi et coll. en 2007, 1513 implants ont été posés grâce à une technique en 1 temps et 202 implants grâce à une technique en 2 temps. Les résultats indiquent que le taux de survie implantaire est similaire pour les deux techniques (122).

La technique d'expansion osseuse latérale en elle-même, d'après Bassetti et coll. en 2013 n'influence pas négativement le taux de survie implantaire (133). Celle-ci peut être réalisée seule ou en combinaison avec d'autres procédures comme un soulèvement de sinus. Cependant, d'après l'étude de Montero et coll. en 2012, le risque d'échec est significatif en cas de chirurgie combinée comparativement à une procédure d'expansion simple (200).

De nombreux instruments peuvent être utilisés aux différents moments de l'intervention chirurgicale.

En ce qui concerne l'étape de séparation osseuse et l'usage des instruments piézo-électriques sur la survie et le succès implantaire, la littérature se contredit. En effet, d'après une étude menée par Danza et coll. en 2009, le taux de succès implantaire des implants posés par l'intermédiaire de la piézochirurgie est similaire aux implants posés au niveau des sites non augmentés alors que plus d'échec a été relevé pour les autres méthodes de séparation osseuse (242). Or, une revue de la littérature plus récente de Waechter et coll. en 2017, le taux de survie implantaire pour l'usage des instruments manuels conventionnels est de 98% et celui des instruments ultrasoniques est de 99% (153).

En ce qui concerne l'expansion osseuse à proprement parler, elle peut être réalisée à l'aide d'ostéotomes, d'expandeurs coniques ou de systèmes d'expansion horizontal. En dépit, d'une absence d'étude comparative, ces derniers présentent tout de même des taux de survie et de succès implantaires proches. En effet, les études de Scipioni et coll. en 1994 et plus récemment de Bravi et coll. en 2007 utilisant des ostéotomes, montrent des taux de succès implantaires de 98,8% et de 95,7% respectivement (122,125). Une étude rétrospective menée par Montero et coll. en 2012 sur l'étude des expandeurs coniques, enregistre un taux de survie

implantaire de 91,9% (200). Ces résultats concordent avec les autres études utilisant des expandeurs coniques et notamment avec l'étude de Nishioka et coll. en 2009, révélant un taux de survie cumulé de 95,58% pour un suivi de 3 ans (127,149,173). Enfin, seule l'étude de Chiapasco et coll. en 2006 montrent un taux de survie implantaire cumulé de 97,3% et un taux de succès cumulé de 95,4% pour l'usage d'un système d'expansion horizontale (Extension-Crest®) (51).

Le bénéfice des matériaux de comblement sur la stabilité osseuse péri-implantaire a été démontré précédemment et ce critère peut être considéré comme un paramètre de succès par certains auteurs. Cependant, une étude comparative entre un groupe sans comblement (groupe 1) et un groupe avec comblement (groupe 2) a été réalisée par Tang et coll. en 2015. Les résultats de celle-ci montrent que les deux groupes présentent un taux de survie implantaire de 100% ainsi qu'un taux de succès de 93,2% pour le groupe 1 et de 95,6% pour le groupe 2 (131). Il semblerait également, selon les résultats recensés dans la revue de la littérature d'Elnayef et coll. en 2015, que le taux de survie implantaire pour une approche avec un lambeau d'épaisseur partielle serait amélioré lorsque l'espace résiduel est comblé par un matériau de comblement (135).

Un des facteurs pronostics importants correspond au choix de l'implant en lui-même. Dans le cadre d'une expansion osseuse transversale, des études témoignent que leur état de surface, leur longueur, leur diamètre ainsi que leur forme ont une influence sur le succès implantaire.

Les analyses des résultats des implants posés lors d'une expansion osseuse de l'étude menée par Engelke et coll. en 1997, montrent que le taux d'échec dépend principalement de l'état de surface des implants. En effet, ils témoignent que les échecs implantaires étaient plus nombreux pour les implants usinés que pour les implants à surface rugueuse (149).

L'étude de Bravi et coll. de 2007 sur 1715 implants posés de manière conventionnelle, révèle que le taux de succès augmente lorsque la longueur de l'implant augmente et que le pourcentage d'échec augmente lorsque le diamètre implantaire augmente également (122). Toutefois, une contradiction est apportée par Montero et coll. en 2012, qui concluent dans leur étude rétrospective que le diamètre

implantaire n'est pas un facteur pronostique. Cependant cette étude est réalisée chez 74 patients pour 157 implants de posés par l'utilisation d'expansurs coniques (200).

Enfin, Bravi et ses collaborateurs indiquent que le pourcentage d'échec pour les implants cylindriques est environ deux fois plus élevé que pour les implants cylindro-coniques (122).

4.5 Comparaison avec les autres techniques actuelles

Les procédures comme la régénération osseuse guidée, la greffe de bloc osseux ou l'expansion osseuse transversale, ont fait leur preuve dans le cadre de l'augmentation des crêtes alvéolaires édentées à déficit horizontal (205).

4.5.1 Résultats chirurgicaux et implantaire des techniques de régénération actuelles

La régénération osseuse guidée permet une formation osseuse prévisible et présente un taux de succès chirurgical compris entre 60% et 100% (87,93,98). La quantité osseuse obtenue est généralement comprise entre 2 mm et 4,5 mm (85,91,94,98,205). Cependant, ce volume gagné peut subir une contraction dans le temps pouvant aboutir à un taux de résorption latérale jusqu'à 40% (91). En dépit de la fiabilité démontrée de cette procédure, cette dernière présente un temps moyen de cicatrisation avant pose implantaire de 7,7 mois (94,205,243–245) et n'exclue pas la nécessité d'un comblement additionnel à l'issu de celui-ci (85,91,94).

D'après la littérature, certaines complications peuvent survenir dans 11,9% à 18%. Ces taux peuvent varier fortement en fonction des études (37,94,205). L'exposition précoce de la membrane est l'une des complications les plus fréquentes (entre 11,5% et 24,4%), représentant une potentielle source de contaminations bactériennes (93,98). La néoformation osseuse attendue est alors compromise même en l'absence d'infections avérées (37,91,243,246–249). L'effondrement, la déhiscence ou l'instabilité de la membrane font également partis de ces complications inhérentes à la chirurgie entraînant une croissance fibreuse ou une nécrose tissulaire du lambeau (87,99,245,250).

Selon la littérature, le taux de survie implantaire varie entre 76,8% et 100%, dont la majorité des études recensées dépasse les 90% après 1 an de mise en fonction implantaire (98,104,205,251,252). Quant au taux de succès, il varie entre 86% et 98,3% (91,93,98,243,244,252).

La greffe de bloc osseux présente, selon la littérature, un taux de succès chirurgical compris entre 84,3% et 100% (98,253). Dans la dimension transversale, un gain d'épaisseur de 2,7 à 5,0 mm peut être obtenu avec un taux de complication compris entre 3,8% et 6,3% (91,94,205). Le prélèvement osseux d'origine intra-oral est à privilégier en raison de la qualité osseuse, d'une bonne intégration du greffon et de l'absence de cicatrices cutanées (96,254). Cependant des paresthésies du nerf alvéolaire inférieur ont été reportées ainsi qu'un risque de dommage des dents adjacentes au site de prélèvement (perte de la vitalité pulpaire) et une modification du profil mentonnier (88,97,99,255). Il s'agit d'une intervention invasive où le risque de morbidité du site donneur ainsi que l'inconfort du patient, sont majorés (88,256,257).

Cette procédure chirurgicale est fiable cependant la capacité de la greffe à maintenir son volume est variable et les résultats de la littérature sont contradictoires (98). En effet, Chiapasco en 2006 relève une perte partielle de la greffe dans 3,3% des cas et une perte totale dans 1,4% des cas. Tandis que d'autres auteurs témoignent d'un taux de résorption de 20 à 50% dans les six mois post-opératoires (91,98,118,258–260). Enfin, il est important de souligner que le recours à cette procédure augmente le nombre d'interventions nécessaires et allonge le temps de traitement (256,257,261,262) avec une période de cicatrisation de 5 à 6 mois en règle générale, mais pouvant aller jusqu'à 1 an (94,116,205,258).

Indépendamment du site de prélèvement, le taux de survie implantaire oscille entre 60 et 100% et dont la majorité des articles présente un taux supérieur à 90% (91,93,94,98,104,205). Le taux de succès quant à lui varie entre 72,8% et 100% dont la majorité des études dépassent 84% (98,105,108,205,263).

L'augmentation horizontale par l'intermédiaire de la distraction présente plusieurs avantages notamment l'absence de second site chirurgical, le traitement d'édentements limités et étendus, une augmentation simultanée de la gencive kératinisée, une augmentation graduelle du segment osseux, une stabilité dimensionnelle, ainsi qu'une diminution des douleurs post-opératoires (87,98,98,112,264). Nous pouvons espérer, après la phase de consolidation, un gain osseux horizontal compris entre 3 et 6 mm avec un taux de succès chirurgical compris entre 96,7% et 100% (98,265–267).

Toutefois, cette technique est parfois difficile à réaliser pour des crêtes fines en raison d'un risque de fracture majoré et d'un faible contrôle de la trajectoire dans l'espace lors de la distraction (112,268,269). Des complications peuvent survenir et leurs taux varient entre 10% et 58% (266,267,270). Celles-ci incluent des paresthésies temporaires du nerf alvéolaire inférieur et du nerf facial, des perturbations occlusales mineures, des problèmes mécaniques du distracteur, des infections localisées, un vecteur de distraction incorrect (87,99,270,271). La plupart du temps, celles-ci sont mineures et se résolvent spontanément dans les 6 mois post-opératoires (87,264,267).

Quelques études enregistrent un taux de survie implantaire compris entre 88,6% et 100% (98,104,267) et un taux de succès compris entre 94,2% et 100% pour cette procédure (108,267,272).

Diverses possibilités thérapeutiques s'offrent au praticien pour la réhabilitation de crêtes déficientes. Parmi elles, l'expansion osseuse transversale présentant des résultats chirurgicaux et implantaires satisfaisants. Les avantages et les inconvénients relatifs à ces techniques, et particulièrement à cette procédure chirurgicale, peuvent orienter le chirurgien vers la meilleure stratégie à adopter.

4.5.2 Comparaison avec l'expansion osseuse transversale

L'expansion osseuse transversale est une technique chirurgicale fiable et peu invasive en raison de la présence d'un seul site opératoire, prenant l'avantage face à la greffe osseuse (51,120,135,137). La procédure aboutit à l'obtention d'un défaut

osseux à quatre murs permettant un excellent apport vasculaire et limite le risque d'exposition des implants (29,39,132). Généralement, la procédure en 1 temps avec une implantation immédiate est plus utilisée, permettant de réduire le temps de traitement (117,136,156). Une approche en 2 temps permet, quant à elle, d'adapter la procédure aux tissus osseux de forte densité limitant le risque de fracture (167). Enfin, l'expansion osseuse transversale permet de favoriser l'esthétique par l'amélioration le profil d'émergence et la restauration du volume de l'anatomie alvéolaire (29,122).

Cependant cette technique nécessite des compétences techniques à acquérir et ne permet d'augmenter uniquement la dimension transversale (39,51,117,148). En cas d'édentement unitaire celle-ci est plus difficilement réalisable comparativement à la réhabilitation d'une arcade totale où le praticien peut jouer sur la laxité osseuse (39). De plus, une mauvaise angulation de la crête alvéolaire contre-indique cette procédure, ainsi les techniques de régénération osseuse guidée ou de greffe osseuse sont plus appropriées (28,98).

D'après la littérature, il est difficile de prouver qu'une technique est meilleure qu'une autre, chaque technique présente ses avantages et ses inconvénients (97,98). Cependant, d'après les revues de la littérature de Donos et coll. en 2008 et de Jensen et Terheyden en 2009, il a été mis en évidence que le taux de survie des implants posés en site augmenté est similaire à celui des implants posés en site non augmenté, toutes techniques confondues (93,94). De plus, d'après Milinkovic et coll. en 2014, toutes les procédures sont un succès en terme d'augmentation osseuse, de ce fait, ils concluent qu'aucune indication claire ne peut être donnée pour chaque technique d'augmentation (205). Ainsi, selon Chiapasco et coll. en 2006 puis en 2009, la priorité doit être donnée à la procédure la plus simple et la moins invasive, dont le temps de traitement pour atteindre ses objectifs est le plus court (97,98). L'ultime responsabilité du choix final appartiendra donc au praticien (205).

5 CONCLUSION

L'expansion osseuse transversale représente une technique fiable et peu invasive, tout en minimisant la perte tissulaire.

D'un point de vue chirurgical, le recours à cette technique permet d'aboutir à une augmentation prévisible de la crête alvéolaire, dont le gain osseux peut atteindre jusqu'à 5,3 mm. Reposant sur le principe de la laxité osseuse, son application est plus favorable et plus aisée à l'arcade maxillaire en raison d'une densité osseuse plus faible qu'à la mandibule. Des précautions particulières sont alors requises afin de minimiser le risque de fracture osseuse du versant vestibulaire, principale complication liée à cette technique.

La création de ce nouvel espace aboutit, la plupart du temps, à la pose de l'implant dans la séance réduisant ainsi le temps de traitement, le temps de cicatrisation et le coût de l'intervention.

En terme de survie et de succès implantaire, cette procédure offre de bons résultats avec des taux variant de 91% à 100% et de 86,2% à 100% respectivement, pour des périodes de suivi allant jusqu'à 10 ans. En ce qui concerne les échecs implantaires corrélés à cette technique, ils sont relativement rares et leur apparition n'altère pas les modifications osseuses obtenues, ainsi l'épaisseur gagnée peut être préservée.

Sur le long terme, la littérature témoigne qu'aucune méthode d'augmentation n'est meilleure qu'une autre. Toutefois l'expansion osseuse engendre un gain osseux prévisible avec un risque de complications pouvant être maîtrisé et dont les résultats tant chirurgicaux qu'implantaires sont très satisfaisants, au même titre que la distraction osseuse dont les recherches nécessitent encore d'être approfondies.

BIBLIOGRAPHIE

1. Deffrennes G, Ferri J, Garreau E, Deffrennes D. Ostéotomies maxillomandibulaires : bases fondamentales et analytiques cliniques. EMC - Techniques chirurgicales - Tête et cou. 2016 ; 11(1) : 1-12 [Article 46-177].
2. Ballivet de Régloix S, Maurin O, Lisan Q, Pons E, Crambert A, Genestier L, et coll. Relations pathologiques entre dents et sinus maxillaire. EMC - Médecine buccale. 2015 ; 10(1) : 1-11 [Article 28-215-C-10].
3. Netter FH. Atlas of Human Anatomy. 5th edition. Philadelphia: Elsevier Saunders; 2011. 575 p.
4. Denhez F, Giraud O, Seigneuric J-B, Paraque AR. Fractures de la mandibule. EMC - Médecine buccale. 2008 ; 3(1) : 1-8 [Article 28-500-V-10].
5. Sharawy M. Applied Surgical Anatomy of the Jaws. Dans: Tolstunov L. Horizontal alveolar ridge augmentation in implant dentistry: A surgical manual. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.; 2016. p. 7-18.
6. Couly G. Dangerosité en chirurgie maxillofaciale. EMC - Stomatol. 2005 ; 1(4) : 345-52.
7. Goldberg M. Os des maxillaires et de la mandibule. EMC - Médecine buccale. 2015 ; 10(5) : 1-13 [Article 28-090-F-10].
8. Lorimier S, Kemoun P. Histophysiologie du parodonte. EMC - Médecine buccale. 2012 ; 7(6) : 1-23 [Article 28-090-C-10].
9. Auriol M-M, Charpentier YL, Naour GL. Histologie du parodonte. EMC - Médecine buccale. 2008 ; 3(1) : 1-23 [Article 28-115-P-10].
10. Saffar JL, Lasfargues JJ, Cherruau M. Alveolar bone and the alveolar process: the socket that is never stable. Periodontol 2000. 1997; 13: 76-90.
11. Lindhe J, Karring T, Araújo M. Anatomy of Periodontal Tissues. Dans: Lindhe J, Lang NP, Berglundh T, Giannobile WV, Sanz M. Clinical Periodontology and Implant Dentistry. 6th edition. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.; 2015. p. 3-47.
12. Elsalanty ME. Bone Development and Histogenesis of the Jaws. Dans: Tolstunov L. Horizontal alveolar ridge augmentation in implant dentistry: A surgical manual. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.; 2016. p. 19-24.
13. Allen MR, Hock JM, Burr DB. Periosteum: biology, regulation, and response to osteoporosis therapies. Bone. 2004; 35(5): 1003-12.
14. Lin Z, Fateh A, Salem DM, Intini G. Periosteum: biology and applications in craniofacial bone regeneration. J Dent Res. 2014; 93(2): 109-16.

15. Rios HF, Bashutski JD, Giannobile WV. Bone as a Living Organ. Dans: Lindhe J, Lang NP, Berglundh T, Giannobile WV, Sanz M. *Clinical Periodontology and Implant Dentistry*. 6th edition. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.; 2015. p. 48-64.
16. Blaisdell F. The osteogenic function of periosteum. *Arch Surg*. 1925; 11: 933.
17. Weiner S, Traub W, Wagner HD. Lamellar bone: structure-function relations. *J Struct Biol*. 1999; 126(3): 241-55.
18. Hadjidakis DJ, Androulakis II. Bone remodeling. *Ann N Y Acad Sci*. 2006; 1092: 385-96.
19. Colnot C, Thompson Z, Miclau T, Werb Z, Helms JA. Altered fracture repair in the absence of MMP9. *Dev Camb Engl*. 2003; 130(17): 4123-33.
20. Lu C, Miclau T, Hu D, Hansen E, Tsui K, Puttlitz C, et coll. Cellular basis for age-related changes in fracture repair. *J Orthop Res*. 2005; 23(6): 1300-7.
21. Colnot C. Skeletal cell fate decisions within periosteum and bone marrow during bone regeneration. *J Bone Miner Res*. 2009; 24(2): 274-82.
22. Bergman B, Carlsson GE. Clinical long-term study of complete denture wearers. *J Prosthet Dent*. 1985; 53(1): 56-61.
23. Cawood JI, Howell RA. A classification of the edentulous jaws. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 1988; 17(4): 232-6.
24. Tolstunov L. Diagnosis and Treatment Planning. Dans: Tolstunov L. *Horizontal alveolar ridge augmentation in implant dentistry: A surgical manual*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.; 2016. p. 173-84.
25. Pietrokovski J, Massler M. Alveolar ridge resorption following tooth extraction. *J Prosthet Dent*. 1967; 17(1): 21-7.
26. Schropp L, Wenzel A, Kostopoulos L, Karring T. Bone healing and soft tissue contour changes following single-tooth extraction: a clinical and radiographic 12-month prospective study. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2003; 23(4): 313-23.
27. Abrams H, Kopczyk RA, Kaplan AL. Incidence of anterior ridge deformities in partially edentulous patients. *J Prosthet Dent*. 1987; 57(2): 191-4.
28. Ferrigno N, Laureti M. Surgical advantages with ITI TE implants placement in conjunction with split crest technique. 18-month results of an ongoing prospective study. *Clin Oral Implants Res*. 2005; 16(2): 147-55.
29. Lalo J, Vérrons A-S, Lezy J-P. [Alveolar ridge augmentation with cortical osteotomies for dental implantation]. *Rev Stomatol Chir Maxillofac*. 2012; 113(4): 276-90.

30. Misch CE. *Contemporary Implant Dentistry*. 3rd edition. St. Louis: Mosby Elsevier; 2008. 1102 p.
31. Botticelli D, Berglundh T, Lindhe J. Hard-tissue alterations following immediate implant placement in extraction sites. *J Clin Periodontol*. 2004; 31(10): 820-8.
32. Chen ST, Wilson TG, Hämmerle CHF. Immediate or early placement of implants following tooth extraction: review of biologic basis, clinical procedures, and outcomes. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2004; 19 Suppl: 12-25.
33. Araújo MG, Lindhe J. Ridge alterations following tooth extraction with and without flap elevation: an experimental study in the dog. *Clin Oral Implants Res*. 2009; 20(6): 545-9.
34. Camargo PM, Lekovic V, Weinlaender M, Klokkevold PR, Kenney EB, Dimitrijevic B, et coll. Influence of bioactive glass on changes in alveolar process dimensions after exodontia. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2000; 90(5): 581-6.
35. Iasella JM, Greenwell H, Miller RL, Hill M, Drisko C, Bohra AA, et coll. Ridge preservation with freeze-dried bone allograft and a collagen membrane compared to extraction alone for implant site development: a clinical and histologic study in humans. *J Periodontol*. 2003; 74(7): 990-9.
36. Bruschi GB. *Alveolar Augmentation: New Applications for Implants*. Dans: Heimke G. *Osseo-Integrated Implants*. Boca Raton: CRC Press; 1990. p. 35-61.
37. Annibali S, Bignozzi I, Sammartino G, La Monaca G, Cristalli MP. Horizontal and vertical ridge augmentation in localized alveolar deficient sites: a retrospective case series. *Implant Dent*. 2012; 21(3): 175-85.
38. Wang H-L, Al-Shammari K. HVC ridge deficiency classification: a therapeutically oriented classification. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2002; 22(4): 335-43.
39. Dene L, Condos S. Ridge expansion and immediate implant placement in the esthetic zone. *N Y State Dent J*. 2010; 76(2): 28-31.
40. Atwood DA. Reduction of residual ridges: a major oral disease entity. *J Prosthet Dent*. 1971; 26(3): 266-79.
41. Tallgren A. The continuing reduction of the residual alveolar ridges in complete denture wearers: a mixed-longitudinal study covering 25 years. *J Prosthet Dent*. 1972; 27(2): 120-32.
42. Seban A, Bonnaud P. *Le bilan préopératoire à visée implantaire*. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2009. 314 p.

43. Boghanim P, Armand S, Campan P, Gaynard LP, Gineste L, Le Gac O. Observation du site implantaire : conséquences cliniques. *Stratégie Prothétique*. 2008; 8(2): 113-23.
44. Garcia LT, Bohnenkamp DM. The use of diagnostic wax-ups in treatment planning. *Compend Contin Educ Dent*. 2003; 24(3): 210-2, 214.
45. Baudoin C, Bennani V. Un projet prothétique en implantologie. Paris : Quintessence International ; 2003. 133 p.
46. Ludlow JB, Ivanovic M. Comparative dosimetry of dental CBCT devices and 64-slice CT for oral and maxillofacial radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2008; 106(1): 106-14.
47. Sethi A, Kaus T. Maxillary ridge expansion with simultaneous implant placement: 5-year results of an ongoing clinical study. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2000; 15(4): 491-9.
48. Morris GA. Prosthetic Comprehensive Oral Evaluation in Implant Dentistry: A Team Approach. Dans: Tolstunov L. Horizontal alveolar ridge augmentation in implant dentistry: A surgical manual. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.; 2016. p. 25-42.
49. Tyndall DA, Rathore S. Cone-beam CT diagnostic applications: caries, periodontal bone assessment, and endodontic applications. *Dent Clin North Am*. 2008; 52(4): 825-41, vii.
50. Verhoeven JW, Cune MS. [Radiographic planning and the evaluation of implant treatment]. *Ned Tijdschr Tandheelkd*. 2003; 110(3): 113-9.
51. Chiapasco M, Ferrini F, Casentini P, Accardi S, Zaniboni M. Dental implants placed in expanded narrow edentulous ridges with the Extension Crest device. A 1-3-year multicenter follow-up study. *Clin Oral Implants Res*. 2006; 17(3): 265-72.
52. Tyndall DA, Price JB, Tetradis S, Ganz SD, Hildebolt C, Scarfe WC, et coll. Position statement of the American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology on selection criteria for the use of radiology in dental implantology with emphasis on cone beam computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2012; 113(6): 817-26.
53. Rugani P, Kirnbauer B, Arnetzl GV, Jakse N. Cone beam computerized tomography: basics for digital planning in oral surgery and implantology. *Int J Comput Dent*. 2009; 12(2): 131-45.
54. Pesun IJ, Gardner FM. Fabrication of a guide for radiographic evaluation and surgical placement of implants. *J Prosthet Dent*. 1995; 73(6): 548-52.

55. Davarpanah K, Demurashvili G, Daas M, Rajzbaum P, Capelle-Ouadah N, Szmukler-Moncler S, et coll. Implantologie assistée par ordinateur. Dans : Davarpanah M, Szmukler-Moncler S, Rajzbaum P, Davarpanah K, Demurashvili G. Manuel d'implantologie clinique. Rueil-Malmaison : CdP ; 2012. p. 181-201.
56. Mandelaris G, Rosenfeld A. Bone anatomy. Dans: Sonick M, Hwang D, Saddoun A. Implant Site Development. Oxford: Wiley-Blackwell Publishing; 2012. p. 14-34.
57. Ganz S. CT/CBCT diagnosis and treatment planning concepts for bone grafting applications. Dans: Sonick M, Hwang D, Saddoun A. Implant Site Development. Oxford: Wiley-Blackwell Publishing; 2012. p. 101-20.
58. Cordaro L. Examen et planification préopératoires. Dans : Cordaro L, Terheyden H. ITI Treatment Guide. Berlin : Quintessence Publishing Co, Ltd ; 2014. p. 13-28.
59. Jensen O. Site classification for the osseointegrated implant. J Prosthet Dent. 1989; 61(2): 228-34.
60. Szmukler-Moncler S, Davarpanah M, Bernard JP, Jakubowicz-Kohen B, Khoury PM. Physiologie des tissus durs et mous. Dans : Davarpanah M, Szmukler-Moncler S, Rajzbaum P, Davarpanah K, Demurashvili G. Manuel d'implantologie clinique. Rueil-Malmaison : CdP ; 2012. p. 23-55.
61. Rathi S, Hatcher D. Radiographic evaluation of the alveolar ridge in implant dentistry. CBCT technology. Dans: Tolstunov L. Horizontal alveolar ridge augmentation in implant dentistry: A surgical manual. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.; 2016. p. 55-71.
62. Crespi R, Bruschi GB, Gastaldi G, Capparé P, Gherlone EF. Immediate Loaded Implants in Split-Crest Procedure. Clin Implant Dent Relat Res. 2015; 17 Suppl 2: 692-698.
63. Martinez H, Davarpanah M, Missika P, Celletti R, Lazzara R. Optimal implant stabilization in low density bone. Clin Oral Implants Res. 2001; 12(5): 423-32.
64. Eriksson RA, Albrektsson T. The effect of heat on bone regeneration: an experimental study in the rabbit using the bone growth chamber. J Oral Maxillofac Surg. 1984; 42(11): 705-11.
65. Martinez H, Abou Ibrahim R. Protocole implantaire : choix selon la qualité osseuse. Dans : Martinez H, Renault P, Georges-Renault G, Pierrisnard L, Rouach T. Les implants : chirurgie et prothèse. Rueil-Malmaison : CdP ; 2008. p. 63-80.
66. Lekholm U, Zarb GA. Patient selection and preparation. Dans: Brånemark PI, Zarb GA, Albrektsson T. Tissue Integrated Protheses Osseointegration in Clinical Dentistry. Chicago: Quintessence Books; 1985. p. 199-210.

67. Palacci P. Classification of Alveolar Ridge Defects in Implant Dentistry. Dans: Tolstunov L. Horizontal alveolar ridge augmentation in implant dentistry: A surgical manual. Hoboken: John Wiley & Sons, Ltd.; 2016. p. 72-80.
68. Juodzbaly G, Kubilius M. Clinical and radiological classification of the jawbone anatomy in endosseous dental implant treatment. *J Oral Maxillofac Res.* 2013; 4(2): e2.
69. Anagnostou F. Os à implanter et ostéointégration. Dans : Goudot P, Lacoste JP. Guide pratique d'implantologie. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson, SAS ; 2013. p. 43-57.
70. Misch CE. Divisions of available bone in implant dentistry. *Int J Oral Implantol.* 1990; 7(1): 9-17.
71. Atwood DA. Postextraction changes in the adult mandible as illustrated by microradiographs of midsagittal sections and serial cephalometric roentgenograms. *J Prosthet Dent.* 1963; 13(5): 810-24.
72. Seibert JS. Reconstruction of deformed, partially edentulous ridges, using full thickness onlay grafts. Part I. Technique and wound healing. *Compend Contin Educ Dent.* 1983; 4(5): 437-53.
73. Seibert JS. Reconstruction of deformed, partially edentulous ridges, using full thickness onlay grafts. Part II. Prosthetic/periodontal interrelationships. *Compend Contin Educ Dent.* 1983; 4(6): 549-62.
74. Allen EP, Gainza CS, Farthing GG, Newbold DA. Improved technique for localized ridge augmentation. A report of 21 cases. *J Periodontol.* 1985; 56(4): 195-9.
75. Misch CE, Judy KW. Classification of partially edentulous arches for implant dentistry. *Int J Oral Implantol.* 1987; 4(2): 7-13.
76. Zakhary IE, El-Mekkawi HA, Elsalanty ME. Alveolar ridge augmentation for implant fixation: status review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2012; 114(5 Suppl): S179-189.
77. Misch CE. Maxillary sinus augmentation for endosteal implants: organized alternative treatment plans. *Int J Oral Implantol.* 1987; 4(2): 49-58.
78. el Chaar E. Ridge augmentation for improved implant placement. *Compend Contin Educ Dent.* 1998; 19(12): 1193-8; quiz 1200.
79. Adell R, Eriksson B, Lekholm U, Brånemark PI, Jemt T. Long-term follow-up study of osseointegrated implants in the treatment of totally edentulous jaws. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1990; 5(4): 347-59.
80. Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, Eriksson AR. The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1986; 1(1): 11-25.

81. Shulman LB. Surgical considerations in implant dentistry. *J Dent Educ.* 1988; 52(12): 712-20.
82. Misch CM, Misch CE, Resnik RR, Ismail YH. Reconstruction of maxillary alveolar defects with mandibular symphysis grafts for dental implants: a preliminary procedural report. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1992; 7(3): 360-6.
83. de Wijs FL, Cune MS. Immediate labial contour restoration for improved esthetics: a radiographic study on bone splitting in anterior single-tooth replacement. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1997; 12(5): 686-96.
84. Tolstunov L. Introduction and bone augmentation classification. Dans: Tolstunov L. *Horizontal alveolar ridge augmentation in implant dentistry: A surgical manual.* Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.; 2016. p. 3-6.
85. Benic GI, Hämmerle CHF. Horizontal bone augmentation by means of guided bone regeneration. *Periodontol 2000.* 2014; 66(1): 13-40.
86. Conte GJ, Fagan MC, Kao RT. Implant site development with particulate bone grafts. Dans: Tolstunov L. *Horizontal alveolar ridge augmentation in implant dentistry: A surgical manual.* Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.; 2016. p. 97-106.
87. Herford AS, Nguyen K, Rojhani A. Alveolar ridge augmentation: an algorithmic approach. Dans: Tolstunov L. *Horizontal alveolar ridge augmentation in implant dentistry: A surgical manual.* Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.; 2016. p. 81-90.
88. Fu J-H, Wang H-L. Horizontal bone augmentation: the decision tree. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2011; 31(4): 429-36.
89. Buser D, Ingimarsson S, Dula K, Lussi A, Hirt HP, Belser UC. Long-term stability of osseointegrated implants in augmented bone: a 5-year prospective study in partially edentulous patients. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2002; 22(2): 109-17.
90. von Arx T, Buser D. Horizontal ridge augmentation using autogenous block grafts and the guided bone regeneration technique with collagen membranes: a clinical study with 42 patients. *Clin Oral Implants Res.* 2006; 17(4): 359-66.
91. Chiapasco M, Abati S, Romeo E, Vogel G. Clinical outcome of autogenous bone blocks or guided bone regeneration with e-PTFE membranes for the reconstruction of narrow edentulous ridges. *Clin Oral Implants Res.* 1999; 10(4): 278-88.
92. Brånemark PI, Lindström J, Hallén O, Breine U, Jeppson PH, Ohman A. Reconstruction of the defective mandible. *Scand J Plast Reconstr Surg.* 1975; 9(2): 116-28.

93. Donos N, Mardas N, Chadha V. Clinical outcomes of implants following lateral bone augmentation: systematic assessment of available options (barrier membranes, bone grafts, split osteotomy). *J Clin Periodontol*. 2008; 35(8 Suppl): 173-202.
94. Jensen SS, Terheyden H. Bone augmentation procedures in localized defects in the alveolar ridge: clinical results with different bone grafts and bone-substitute materials. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2009; 24 Suppl: 218-36.
95. Dimitriou R, Jones E, McGonagle D, Giannoudis PV. Bone regeneration: current concepts and future directions. *BMC Med*. 2011; 9: 66.
96. Aalam A-A, Nowzari H. Mandibular cortical bone grafts part 1: anatomy, healing process, and influencing factors. *Compend Contin Educ Dent*. 2007; 28(4): 206-12; quiz 213.
97. Chiapasco M, Casentini P, Zaniboni M. Bone augmentation procedures in implant dentistry. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2009; 24 Suppl: 23-59.
98. Chiapasco M, Zaniboni M, Boisco M. Augmentation procedures for the rehabilitation of deficient edentulous ridges with oral implants. *Clin Oral Implants Res*. 2006; 17 Suppl 2: 136-59.
99. González-García R, Monje F, Moreno C. Alveolar split osteotomy for the treatment of the severe narrow ridge maxillary atrophy: a modified technique. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2011; 40(1): 57-64.
100. Barone A, Covani U. Maxillary alveolar ridge reconstruction with nonvascularized autogenous block bone: clinical results. *J Oral Maxillofac Surg*. 2007; 65(10): 2039-46.
101. Misch CM. Implant site development using ridge splitting techniques. *Oral Maxillofac Surg Clin N Am*. 2004; 16(1): 65-74, vi.
102. Iizuka T, Smolka W, Hallermann W, Mericske-Stern R. Extensive augmentation of the alveolar ridge using autogenous calvarial split bone grafts for dental rehabilitation. *Clin Oral Implants Res*. 2004; 15(5): 607-15.
103. Rosenberg E, Rose LF. Biologic and clinical considerations for autografts and allografts in periodontal regeneration therapy. *Dent Clin North Am*. 1998; 42(3): 467-90.
104. Aghaloo TL, Moy PK. Which hard tissue augmentation techniques are the most successful in furnishing bony support for implant placement?. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2007; 22 Suppl: 49-70.
105. Clementini M, Morlupi A, Agrestini C, Ottria L. Success rate of dental implants inserted in autologous bone graft regenerated areas: a systematic review. *Oral Implantol*. 2011; 4(3-4): 3-10.

106. Zlotolow IM, Huryn JM, Piro JD, Lenchewski E, Hidalgo DA. Osseointegrated implants and functional prosthetic rehabilitation in microvascular fibula free flap reconstructed mandibles. *Am J Surg*. 1992; 164(6): 677-81.
107. Buchbinder D, Urken ML, Vickery C, Weinberg H, Sheiner A, Biller H. Functional mandibular reconstruction of patients with oral cancer. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1989; 68(4 Pt 2): 499-503; discussion 503-504.
108. Elo JA, Herford AS, Boyne PJ. Implant success in distracted bone versus autogenous bone-grafted sites. *J Oral Implantol*. 2009; 35(4): 181-4.
109. Herford AS. Distraction osteogenesis: a surgical option for restoring missing tissue in the anterior esthetic zone. *J Calif Dent Assoc*. 2005; 33(11): 889-95.
110. Chin M, Toth BA. Distraction osteogenesis in maxillofacial surgery using internal devices: review of five cases. *J Oral Maxillofac Surg*. 1996; 54(1): 45-53; discussion 54.
111. Aparicio C, Jensen OT. Alveolar ridge widening by distraction osteogenesis: a case report. *Pract Proced Aesthetic Dent*. 2001; 13(8): 663-8; quiz 670.
112. Takahashi T, Funaki K, Shintani H, Haruoka T. Use of horizontal alveolar distraction osteogenesis for implant placement in a narrow alveolar ridge: a case report. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2004; 19(2): 291-4.
113. Tolstunov L. Classification of the alveolar ridge width: implant-driven treatment considerations for the horizontally deficient alveolar ridges. *J Oral Implantol*. 2014; 40 Spec No: 365-70.
114. Vinay N, Fauroux M-A, Torres J-H. Expansion transversale de la crête alvéolaire mandibulaire en deux temps. Illustration par un cas clinique. *Actual Odonto-Stomatol*. 2012 ; (259) : 273-81.
115. Summers RB. A new concept in maxillary implant surgery: the osteotome technique. *Compend Newtown Pa*. 1994; 15(2): 152, 154-6, 158 passim; quiz 162.
116. Agrawal D, Gupta AS, Newaskar V, Gupta A, Garg S, Jain D. Narrow ridge management with ridge splitting with piezotome for implant placement: report of 2 cases. *J Indian Prosthodont Soc*. 2014; 14(3): 305-9.
117. Demetriades N, Park JI, Laskarides C. Alternative bone expansion technique for implant placement in atrophic edentulous maxilla and mandible. *J Oral Implantol*. 2011; 37(4): 463-71.
118. Enislidis G, Wittwer G, Ewers R. Preliminary report on a staged ridge splitting technique for implant placement in the mandible: a technical note. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2006; 21(3): 445-9.

119. Simion M, Baldoni M, Zaffe D. Jawbone enlargement using immediate implant placement associated with a split-crest technique and guided tissue regeneration. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 1992; 12(6): 462-73.
120. Blus C, Szmukler-Moncler S. Split-crest and immediate implant placement with ultra-sonic bone surgery: a 3-year life-table analysis with 230 treated sites. *Clin Oral Implants Res.* 2006; 17(6): 700-7.
121. Zitzmann NU, Schärer P, Marinello CP, Schüpbach P, Berglundh T. Alveolar ridge augmentation with Bio-Oss: a histologic study in humans. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2001; 21(3): 288-95.
122. Bravi F, Bruschi GB, Ferrini F. A 10-year multicenter retrospective clinical study of 1715 implants placed with the edentulous ridge expansion technique. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2007; 27(6): 557-65.
123. Han J-Y, Shin S-I, Herr Y, Kwon Y-H, Chung J-H. The effects of bone grafting material and a collagen membrane in the ridge splitting technique: an experimental study in dogs. *Clin Oral Implants Res.* 2011; 22(12): 1391-8.
124. Tatum H. Maxillary and sinus implant reconstructions. *Dent Clin North Am.* 1986; 30(2): 207-29.
125. Scipioni A, Bruschi GB, Calesini G. The edentulous ridge expansion technique: a five-year study. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 1994; 14(5): 451-9.
126. Pikos MA. Buccolingual expansion of the maxillary ridge. *Dent Implantol Update.* 1992; 3(11): 85-7.
127. Duncan JM, Westwood RM. Ridge widening for the thin maxilla: a clinical report. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1997; 12(2): 224-7.
128. Malchiodi L, Scarano A, Quaranta M, Piattelli A. Rigid fixation by means of titanium mesh in edentulous ridge expansion for horizontal ridge augmentation in the maxilla. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1998; 13(5): 701-5.
129. Vercellotti T. Piezoelectric surgery in implantology: a case report--a new piezoelectric ridge expansion technique. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2000; 20(4): 358-65.
130. Amato F, Mirabella AD, Borlizzi D. Rapid orthodontic treatment after the ridge-splitting technique--a combined surgical-orthodontic approach for implant site development: case report. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2012; 32(4): 395-402.
131. Tang Y-L, Yuan J, Song Y-L, Ma W, Chao X, Li D-H. Ridge expansion alone or in combination with guided bone regeneration to facilitate implant placement in narrow alveolar ridges: a retrospective study. *Clin Oral Implants Res.* 2015; 26(2): 204-11.

132. Holtzclaw DJ, Toscano NJ, Rosen PS. Reconstruction of posterior mandibular alveolar ridge deficiencies with the piezoelectric hinge-assisted ridge split technique: a retrospective observational report. *J Periodontol.* 2010; 81(11): 1580-6.
133. Bassetti R, Bassetti M, Mericske-Stern R, Enkling N. Piezoelectric alveolar ridge-splitting technique with simultaneous implant placement: a cohort study with 2-year radiographic results. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2013; 28(6): 1570-80.
134. Jensen OT, Cullum DR, Baer D. Marginal bone stability using 3 different flap approaches for alveolar split expansion for dental implants: a 1-year clinical study. *J Oral Maxillofac Surg.* 2009; 67(9): 1921-30.
135. Elnayef B, Monje A, Lin G-H, Gargallo-Albiol J, Chan H-L, Wang H-L, et coll. Alveolar ridge split on horizontal bone augmentation: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2015; 30(3): 596-606.
136. Elian N, Jalbout Z, Ehrlich B, Classi A, Cho S-C, Al-Kahtani F, et coll. A two-stage full-arch ridge expansion technique: review of the literature and clinical guidelines. *Implant Dent.* 2008; 17(1): 16-23.
137. Garcez-Filho J, Tolentino L, Sukekava F, Seabra M, Cesar-Neto JB, Araújo MG. Long-term outcomes from implants installed by using split-crest technique in posterior maxillae: 10 years of follow-up. *Clin Oral Implants Res.* 2015; 26(3): 326-31.
138. Blus C, Szmukler-Moncler S, Vozza I, Rispoli L, Polastri C. Split-crest and immediate implant placement with ultrasonic bone surgery (piezosurgery): 3-year follow-up of 180 treated implant sites. *Quintessence Int.* 2010; 41(6): 463-9.
139. Crespi R, Capparè P, Gherlone EF. Electrical mallet provides essential advantages in split-crest and immediate implant placement. *Oral Maxillofac Surg.* 2014; 18(1): 59-64.
140. Jamil FA, Al-Adili SS. Lateral Ridge Splitting (Expansion) With Immediate Placement of Endosseous Dental Implant Using Piezoelectric Device: A New Treatment Protocol. *J Craniofac Surg.* 2017; 28(2): 434-9.
141. Calvo Guirado JL, Yuguero MRS, Carrión del Valle MJ, Zamora GP. A maxillary ridge-splitting technique followed by immediate placement of implants: a case report. *Implant Dent.* 2005; 14(1): 14-20.
142. Hu G-H, Froum SJ, Alodadi A, Nose F, Yu Y-CP, Suzuki T, et coll. A Three-Stage Split-Crest Technique: Case Series of Horizontal Ridge Augmentation in the Atrophic Posterior Mandible. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2018; 38(4): 565–573.
143. Scarano A, Piattelli A, Murmura G, Iezzi G, Assenza B, Mancino C. Delayed expansion of the atrophic mandible by ultrasonic surgery: a clinical and histologic case series. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2015; 30(1): 144-9.

144. Rahpeyma A, Khajehahmadi S, Hosseini VR. Lateral ridge split and immediate implant placement in moderately resorbed alveolar ridges: How much is the added width?. *Dent Res J*. 2013; 10(5): 602-8.
145. Langer B, Langer L, Sullivan RM. Planned labial plate advancement with simultaneous single implant placement for narrow anterior ridges followed by reentry confirmation. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2012; 32(5): 509-19.
146. Ella B, Laurentjoye M, Sedarat C, Coutant J-C, Masson E, Rouas A. Mandibular ridge expansion using a horizontal bone-splitting technique and synthetic bone substitute: an alternative to bone block grafting?. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2014; 29(1): 135-40.
147. Scipioni A, Bruschi GB, Calesini G, Bruschi E, De Martino C. Bone regeneration in the edentulous ridge expansion technique: histologic and ultrastructural study of 20 clinical cases. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 1999; 19(3): 269-77.
148. Deliberador TM, Verbicaro T, Minerva L, Scariot R, Giovanini AF, Zielak JC. Horizontal alveolar ridge expansion followed by immediate placement of implants and rehabilitation with zirconia prosthesis. *J Indian Soc Periodontol*. 2017; 21(5): 417-21.
149. Engelke WG, Diederichs CG, Jacobs HG, Deckwer I. Alveolar reconstruction with splitting osteotomy and microfixation of implants. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1997; 12(3): 310-8.
150. Sohn D-S, Lee H-J, Heo J-U, Moon J-W, Park I-S, Romanos GE. Immediate and delayed lateral ridge expansion technique in the atrophic posterior mandibular ridge. *J Oral Maxillofac Surg*. 2010; 68(9): 2283-90.
151. Basa S, Varol A, Turker N. Alternative bone expansion technique for immediate placement of implants in the edentulous posterior mandibular ridge: a clinical report. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2004; 19(4): 554-8.
152. Tolstunov L. Surgical principles of the ridge-split procedure. Dans: Tolstunov L. Horizontal alveolar ridge augmentation in implant dentistry: A surgical manual. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.; 2016. p. 185-91.
153. Waechter J, Leite FR, Nascimento GG, Carmo Filho LC, Faot F. The split crest technique and dental implants: a systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2017; 46(1): 116-28.
154. Arora V, Kumar D. Alveolar ridge split technique for implant placement. *Med J Armed Forces India*. 2015; 71(Suppl 2): S496-498.
155. Strietzel FP, Nowak M, Küchler I, Friedmann A. Peri-implant alveolar bone loss with respect to bone quality after use of the osteotome technique: results of a retrospective study. *Clin Oral Implants Res*. 2002; 13(5): 508-13.

156. Koo S, Dibart S, Weber H-P. Ridge-splitting technique with simultaneous implant placement. *Compend Contin Educ Dent*. 2008; 29(2): 106-10.
157. Langer B, Sullivan DY. Osseointegration: its impact on the interrelationship of periodontics and restorative dentistry: Part I. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 1989; 9(2): 84-105.
158. Gray JC, Elves MW. Donor cells' contribution to osteogenesis in experimental cancellous bone grafts. *Clin Orthop*. 1982; (163): 261-71.
159. Jha N, Choi EH, Kaushik NK, Ryu JJ. Types of devices used in ridge split procedure for alveolar bone expansion: A systematic review. *PloS One*. 2017; 12(7): e0180342.
160. Coatoam GW, Mariotti A. The segmental ridge-split procedure. *J Periodontol*. 2003; 74(5): 757-70.
161. Oikarinen KS, Sàndor GKB, Kainulainen VT, Salonen-Kemppi M. Augmentation of the narrow traumatized anterior alveolar ridge to facilitate dental implant placement. *Dent Traumatol*. 2003; 19(1): 19-29.
162. Suh J-J, Shelemay A, Choi S-H, Chai J-K. Alveolar ridge splitting: a new microsaw technique. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2005; 25(2): 165-71.
163. Vercellotti T, De Paoli S, Nevins M. The piezoelectric bony window osteotomy and sinus membrane elevation: introduction of a new technique for simplification of the sinus augmentation procedure. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2001; 21(6): 561-7.
164. Harder S, Wolfart S, Mehl C, Kern M. Performance of ultrasonic devices for bone surgery and associated intraosseous temperature development. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2009; 24(3): 484-90.
165. Horrocks GB. The controlled assisted ridge expansion technique for implant placement in the anterior maxilla: a technical note. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2010; 30(5): 495-501.
166. Sohn D-S, Lee J-S, An K-M, Romanos GE. Erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet laser-assisted sinus graft procedure. *Lasers Med Sci*. 2009; 24(4): 673-7.
167. Kheur M, Gokhale S, Sumanth S, Jambekar S. Staged ridge splitting technique for horizontal expansion in mandible: a case report. *J Oral Implantol*. 2014; 40(4): 479-83.
168. Demarosi F, Leghissa GC, Sardella A, Lodi G, Carrassi A. Localised maxillary ridge expansion with simultaneous implant placement: a case series. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2009; 47(7): 535-40.

169. Santagata M, Guariniello L, Tartaro G. A modified edentulous ridge expansion technique for immediate placement of implants: a case report. *J Oral Implantol.* 2011; 37 Spec No: 114-9.
170. Santagata M, Guariniello L, Tartaro G. Modified edentulous ridge expansion technique and immediate implant placement: a 3-year follow-up. *J Oral Implantol.* 2015; 41(2): 184-7.
171. Commissionat Y, Princ G, Poulmaire F, Scortecci G, Odin G, Berg S. Techniques non invasives d'implantation sous-sinusienne (1re partie). *Actual Odonto-Stomatol.* 2007 ; (238) : 119-246.
172. Siddiqui AA, Sosovicka M. Lateral bone condensing and expansion for placement of endosseous dental implants: a new technique. *J Oral Implantol.* 2006; 32(2): 87-94.
173. Nishioka RS, Souza FA. Bone spreading and standardized dilation of horizontally resorbed bone: technical considerations. *Implant Dent.* 2009; 18(2): 119-25.
174. Cortes ARG, Cortes DN. Nontraumatic bone expansion for immediate dental implant placement: an analysis of 21 cases. *Implant Dent.* 2010; 19(2): 92-7.
175. Iraqui O, Lakhssassi N, Berrada S, Merzouk N. [Atraumatic bone expansion: Interest of piezo-surgery, conicals expanders and immediate implantation combination]. *Rev Stomatol Chir Maxillo-Faciale Chir Orale.* 2016; 117(3): 151-7.
176. Papathanasiou I, Vasilakos G, Baltiras S, Zouloumis L. Ridge Splitting Technique for Horizontal Augmentation and Immediate Implant Placement. *Balk J Dent Med.* 2014; 18(1): 41-7.
177. Anitua E, Begoña L, Orive G. Controlled ridge expansion using a two-stage split-crest technique with ultrasonic bone surgery. *Implant Dent.* 2012; 21(3): 163-70.
178. Anitua E, Begoña L, Orive G. Clinical Evaluation of Split-Crest Technique with Ultrasonic Bone Surgery for Narrow Ridge Expansion: Status of Soft and Hard Tissues and Implant Success. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2013; 15(2): 176-87.
179. Mazzocco F, Nart J, Cheung WS, Griffin TJ. Prospective evaluation of the use of motorized ridge expanders in guided bone regeneration for future implant sites. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2011; 31(5): 547-54.
180. Jakmakjian S, Jaumet V, Raignoux C, Sarfati A, Struillou X. Ingénierie tissulaire et régénération parodontale. Dans : Bouchard P. *Parodontologie et dentisterie implantaire.* Paris : Lavoisier ; 2016. p. 181-98.

181. Davarpanah K, Szmukler-Moncler S, Khoury PM, De Corbière S, Davarpanah M, Blus C, et coll. Techniques chirurgicales spécifiques. Dans : Davarpanah M, Szmukler-Moncler S, Rajzbaum P, Davarpanah K, Demurashvili G. Manuel d'implantologie clinique. 3e édition. Rueil-Malmaison : CdP ; 2012. p. 495-521.
182. Esposito M, Grusovin MG, Chew YS, Coulthard P, Worthington HV. Interventions for replacing missing teeth: 1- versus 2-stage implant placement. Cochrane Database Syst Rev. 2009; (3): CD006698.
183. Calvo Guirado JL, Pardo Zamora G, Saez Yuguero MR. Ridge splitting technique in atrophic anterior maxilla with immediate implants, bone regeneration and immediate temporisation: a case report. J Ir Dent Assoc. 2007; 53(4): 187-90.
184. Santagata M, Guariniello L, D'Andrea A, Tartaro G. A modified crestal ridge expansion technique for immediate placement of implants: a report of three cases. J Oral Implantol. 2008; 34(6): 319-24.
185. Piccinini M. Mandibular bone expansion technique in conjunction with root form implants: a case report. J Oral Maxillofac Surg. 2009; 67(9): 1931-6.
186. Davarpanah M. Choisir son implant. Dans : Belinchon-Sanchez A, Davarpanah K, Sater S, Demurashvili G, Szmukler-Moncler S, Davarpanah M. Les implants en odontologie l'essentiel pratique. 2e édition. Rueil-Malmaison : CdP ; 2015. p. 19-34.
187. Jakubowicz-Kohen B, Szmukler-Moncler S, Davarpanah M, Davarpanah K, Rajzbaum P. Les différentes morphologies implantaires. Dans : Davarpanah M, Szmukler-Moncler S, Rajzbaum P, Davarpanah K, Demurashvili G. Manuel d'implantologie clinique. 3e édition. Rueil-Malmaison : CdP ; 2012. p. 79-88.
188. Tolstunov L. Management of complications of ridge-split procedure and conclusion (10 commandments of success with ridge-split procedure). Dans: Tolstunov L. Horizontal alveolar ridge augmentation in implant dentistry : A surgical manual. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.; 2016. p. 226-9.
189. Lalo J, Chassignolle V, Beleh M, Djemil M. [Maxillary ridge expansion for dental implant placement with alveolar corticotomy]. Rev Stomatol Chir Maxillofac. 2008; 109(5): 316-22.
190. Davarpanah M, Khoury PM, Szmukler-Moncler S, Davarpanah K. Protocoles chirurgicaux en implantologie. Dans : Davarpanah M, Szmukler-Moncler S, Rajzbaum P, Davarpanah K, Demurashvili G. Manuel d'implantologie clinique. 3ème édition. Rueil-Malmaison : CdP ; 2012. p. 203-80.
191. Esposito M, Grusovin MG, Worthington HV. Interventions for replacing missing teeth: antibiotics at dental implant placement to prevent complications. Cochrane Database Syst Rev. 2013; (7): CD004152.

192. Esposito M, Worthington HV, Thomsen P, Coulthard P. Interventions for replacing missing teeth: different types of dental implants. *Cochrane Database Syst Rev.* 2003; (3): CD003815.
193. Laskin DM, Dent CD, Morris HF, Ochi S, Olson JW. The influence of preoperative antibiotics on success of endosseous implants at 36 months. *Ann Periodontol.* 2000; 5(1): 166-74.
194. Schwartz AB, Larson EL. Antibiotic prophylaxis and postoperative complications after tooth extraction and implant placement: a review of the literature. *J Dent.* 2007; 35(12): 881-8.
195. Gynther GW, Köndell PA, Moberg LE, Heimdahl A. Dental implant installation without antibiotic prophylaxis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1998; 85(5): 509-11.
196. Sammartino G, Cerone V, Gasparro R, Riccitiello F, Trosino O. The platform switching approach to optimize split crest technique. *Case Rep Dent.* 2014; 2014: 850470.
197. Tolstunov L. Mandibular two-stage alveolar ridge-split procedure. Dans: Tolstunov L. Horizontal alveolar ridge augmentation in implant dentistry: A surgical manual. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.; 2016. p. 192-9.
198. Kang T, Fien MJ, Gober D, Drennen CJ. A modified ridge Expansion technique in the maxilla. *Compend Contin Educ Dent.* 2012; 33(4): 250-2, 254, 256; quiz 258, 260.
199. Tolstunov L. Maxillary single-stage alveolar ridge-split procedure. Dans: Tolstunov L. Horizontal alveolar ridge augmentation in implant dentistry: A surgical manual. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.; 2016. p. 200-6.
200. Montero J, López-Valverde A, de Diego RG. A retrospective study of the risk factors for ridge expansion with self-tapping osteotomes in dental implant surgery. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2012; 27(1): 203-10.
201. Belleggia F, Pozzi A, Rocci M, Barlattani A, Gargari M. Piezoelectric surgery in mandibular split crest technique with immediate implant placement: a case report. *Oral Implantol.* 2009; 1(3-4): 116-23.
202. Hiatt WH, Schallhorn RG. Intraoral transplants of cancellous bone and marrow in periodontal lesions. *J Periodontol.* 1973; 44(4): 194-208.
203. Tolstunov L. Advanced Ridge-Split Techniques for an Experienced Practitioner. Dans: Tolstunov L. Horizontal alveolar ridge augmentation in implant dentistry: A surgical manual. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.; 2016. p. 207-12.

204. Chiapasco M, Romeo E, Casentini P, Rimondini L. Alveolar distraction osteogenesis vs. vertical guided bone regeneration for the correction of vertically deficient edentulous ridges: a 1-3-year prospective study on humans. *Clin Oral Implants Res.* 2004; 15(1): 82-95.
205. Milinkovic I, Cordaro L. Are there specific indications for the different alveolar bone augmentation procedures for implant placement?. A systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2014; 43(5): 606-25.
206. Shibuya Y, Yabase A, Ishida S, Kobayashi M, Komori T. Outcomes and treatments of mal fractures caused by the split-crest technique in the mandible. *Kobe J Med Sci.* 2014; 60(2): E37-42.
207. Bassetti MA, Bassetti RG, Bosshardt DD. The alveolar ridge splitting/expansion technique: a systematic review. *Clin Oral Implants Res.* 2016; 27(3): 310-24.
208. Hahn J. Clinical uses of osteotomes. *J Oral Implantol.* 1999; 25(1): 23-9.
209. Goyal S, Iyer S. Bone Manipulation Techniques. Iyer S, éditeur. *Int J Clin Implant Dent DVD.* 2009; 1(1): 22-31.
210. Scipioni A, Bruschi GB, Giargia M, Berglundh T, Lindhe J. Healing at implants with and without primary bone contact. An experimental study in dogs. *Clin Oral Implants Res.* 1997; 8(1): 39-47.
211. Carlsson L, Röstlund T, Albrektsson B, Albrektsson T, Brånemark PI. Osseointegration of titanium implants. *Acta Orthop Scand.* 1986; 57(4): 285-9.
212. Botticelli D, Berglundh T, Persson LG, Lindhe J. Bone regeneration at implants with turned or rough surfaces in self-contained defects. An experimental study in the dog. *J Clin Periodontol.* 2005; 32(5): 448-55.
213. Jensen OT, Ellis E. The book flap: a technical note. *J Oral Maxillofac Surg.* 2008; 66(5): 1010-4.
214. Preti G, Martinasso G, Peirone B, Navone R, Manzella C, Muzio G, et coll. Cytokines and growth factors involved in the osseointegration of oral titanium implants positioned using piezoelectric bone surgery versus a drill technique: a pilot study in minipigs. *J Periodontol.* 2007; 78(4): 716-22.
215. Vercellotti T, Nevins ML, Kim DM, Nevins M, Wada K, Schenk RK, et coll. Osseous response following resective therapy with piezosurgery. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2005; 25(6): 543-9.
216. Hämmerle CHF, Araújo MG, Simion M, Osteology Consensus Group 2011. Evidence-based knowledge on the biology and treatment of extraction sockets. *Clin Oral Implants Res.* 2012; 23 Suppl 5: 80-2.

217. Jung RE, Thoma DS, Hammerle CHF. Assessment of the potential of growth factors for localized alveolar ridge augmentation: a systematic review. *J Clin Periodontol.* 2008; 35(8 Suppl): 255-81.
218. Marx RE. Platelet-rich plasma (PRP): what is PRP and what is not PRP?. *Implant Dent.* 2001; 10(4): 225-8.
219. Kassolis JD, Rosen PS, Reynolds MA. Alveolar ridge and sinus augmentation utilizing platelet-rich plasma in combination with freeze-dried bone allograft: case series. *J Periodontol.* 2000; 71(10): 1654-61.
220. Anitua E, Orive G, Aguirre JJ, Andía I. Clinical outcome of immediately loaded dental implants bioactivated with plasma rich in growth factors: a 5-year retrospective study. *J Periodontol.* 2008; 79(7): 1168-76.
221. Huang Y, Ou Y, Song G. [Clinical application of maxillary endosseous implant with edentulous ridge expansion technique]. *West China J Stomatol.* 2003; 21(5): 374-6, 388.
222. Berglundh T, Lindhe J, Ericsson I, Marinello CP, Liljenberg B, Thomsen P. The soft tissue barrier at implants and teeth. *Clin Oral Implants Res.* 1991; 2(2): 81-90.
223. Berglundh T, Lindhe J. Dimension of the periimplant mucosa. Biological width revisited. *J Clin Periodontol.* 1996; 23(10): 971-3.
224. Cochran DL, Hermann JS, Schenk RK, Higginbottom FL, Buser D. Biologic width around titanium implants. A histometric analysis of the implanto-gingival junction around unloaded and loaded nonsubmerged implants in the canine mandible. *J Periodontol.* 1997; 68(2): 186-98.
225. Cochran DL. The scientific basis for and clinical experiences with Straumann implants including the ITI Dental Implant System: a consensus report. *Clin Oral Implants Res.* 2000; 11 Suppl 1: 33-58.
226. Bassetti R, Kaufmann R, Ebinger A, Mericske-Stern R, Enkling N. Is a grooved collar implant design superior to a machined design regarding bone level alteration?. An observational pilot study. *Quintessence Int.* 2014; 45(3): 221-9.
227. Fickl S, Kerschull M, Schupbach P, Zühr O, Schlagenhaut U, Hürzeler MB. Bone loss after full-thickness and partial-thickness flap elevation. *J Clin Periodontol.* 2011; 38(2): 157-62.
228. Cochran DL, Bosshardt DD, Grize L, Higginbottom FL, Jones AA, Jung RE, et al. Bone response to loaded implants with non-matching implant-abutment diameters in the canine mandible. *J Periodontol.* 2009; 80(4): 609-17.
229. Hermann JS, Buser D, Schenk RK, Cochran DL. Crestal bone changes around titanium implants. A histometric evaluation of unloaded non-submerged and submerged implants in the canine mandible. *J Periodontol.* 2000; 71(9): 1412-24.

230. Jung RE, Jones AA, Higginbottom FL, Wilson TG, Schoolfield J, Buser D, et coll. The influence of non-matching implant and abutment diameters on radiographic crestal bone levels in dogs. *J Periodontol.* 2008; 79(2): 260-70.
231. Hämmerle CH, Brägger U, Bürgin W, Lang NP. The effect of subcrestal placement of the polished surface of ITI implants on marginal soft and hard tissues. *Clin Oral Implants Res.* 1996; 7(2): 111-9.
232. Stricker A, Fleiner J, Dard M, Voss P, Sauerbier S, Bosshardt DD. Evaluation of a new experimental model to study bone healing after ridge expansion with simultaneous implant placement--a pilot study in minipigs. *Clin Oral Implants Res.* 2014; 25(11): 1265-72.
233. Norton MR, Odell EW, Thompson ID, Cook RJ. Efficacy of bovine bone mineral for alveolar augmentation: a human histologic study. *Clin Oral Implants Res.* 2003; 14(6): 775-83.
234. Hellem S, Astrand P, Stenström B, Engquist B, Bengtsson M, Dahlgren S. Implant treatment in combination with lateral augmentation of the alveolar process: a 3-year prospective study. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2003; 5(4): 233-40.
235. Duyck J, Rønold HJ, Van Oosterwyck H, Naert I, Vander Sloten J, Ellingsen JE. The influence of static and dynamic loading on marginal bone reactions around osseointegrated implants: an animal experimental study. *Clin Oral Implants Res.* 2001; 12(3): 207-18.
236. Maeda Y, Miura J, Taki I, Sogo M. Biomechanical analysis on platform switching: is there any biomechanical rationale?. *Clin Oral Implants Res.* 2007; 18(5): 581-4.
237. Degidi M, Iezzi G, Scarano A, Piattelli A. Immediately loaded titanium implant with a tissue-stabilizing/maintaining design ('beyond platform switch') retrieved from man after 4 weeks: a histological and histomorphometrical evaluation. A case report. *Clin Oral Implants Res.* 2008; 19(3): 276-82.
238. Prasad DK, Shetty M, Bansal N, Hegde C. Crestal bone preservation: a review of different approaches for successful implant therapy. *Indian J Dent Res.* 2011; 22(2): 317-23.
239. Lang NP, Pun L, Lau KY, Li KY, Wong MCM. A systematic review on survival and success rates of implants placed immediately into fresh extraction sockets after at least 1 year. *Clin Oral Implants Res.* 2012; 23 Suppl 5: 39-66.
240. Buser D, Mericske-Stern R, Bernard JP, Behneke A, Behneke N, Hirt HP, et coll. Long-term evaluation of non-submerged ITI implants. Part 1: 8-year life table analysis of a prospective multi-center study with 2359 implants. *Clin Oral Implants Res.* 1997; 8(3): 161-72.

241. Mestas G, Alarcón M, Chambrone L. Long-Term Survival Rates of Titanium Implants Placed in Expanded Alveolar Ridges Using Split Crest Procedures: A Systematic Review. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2016; 31(3): 591-9.
242. Danza M, Guidi R, Carinci F. Comparison between implants inserted into piezo split and unsplit alveolar crests. *J Oral Maxillofac Surg*. 2009; 67(11): 2460-5.
243. Nevins M, Mellonig JT, Clem DS, Reiser GM, Buser DA. Implants in regenerated bone: long-term survival. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 1998; 18(1): 34-45.
244. Brunel G, Brocard D, Duffort JF, Jacquet E, Justumus P, Simonet T, et coll. Bioabsorbable materials for guided bone regeneration prior to implant placement and 7-year follow-up: report of 14 cases. *J Periodontol*. 2001; 72(2): 257-64.
245. Buser D, Brägger U, Lang NP, Nyman S. Regeneration and enlargement of jaw bone using guided tissue regeneration. *Clin Oral Implants Res*. 1990; 1(1): 22-32.
246. Chiapasco M, Zaniboni M. Clinical outcomes of GBR procedures to correct peri-implant dehiscences and fenestrations: a systematic review. *Clin Oral Implants Res*. 2009; 20 Suppl 4: 113-23.
247. Machtei EE. The effect of membrane exposure on the outcome of regenerative procedures in humans: a meta-analysis. *J Periodontol*. 2001; 72(4): 512-6.
248. Moses O, Pitaru S, Artzi Z, Nemcovsky CE. Healing of dehiscence-type defects in implants placed together with different barrier membranes: a comparative clinical study. *Clin Oral Implants Res*. 2005; 16(2): 210-9.

249. Oh T-J, Meraw SJ, Lee E-J, Giannobile WV, Wang H-L. Comparative analysis of collagen membranes for the treatment of implant dehiscence defects. *Clin Oral Implants Res.* 2003; 14(1): 80-90.
250. Fagan MC, Conte GJ, Kao RT. Management of complications of guided bone regeneration. Dans: Tolstunov L. Horizontal alveolar ridge augmentation in implant dentistry: A surgical manual. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.; 2016. p. 120-3.
251. Blanco J, Alonso A, Sanz M. Long-term results and survival rate of implants treated with guided bone regeneration: a 5-year case series prospective study. *Clin Oral Implants Res.* 2005; 16(3): 294-301.
252. Juodzbaly G, Raustia AM, Kubilius R. A 5-year follow-up study on one-stage implants inserted concomitantly with localized alveolar ridge augmentation. *J Oral Rehabil.* 2007; 34(10): 781-9.
253. Triplett RG, Schow SR. Autologous bone grafts and endosseous implants: complementary techniques. *J Oral Maxillofac Surg.* 1996; 54(4): 486-94.
254. Schwartz-Arad D. Autologous intraoral block bone grafting for augmentation of severe atrophic maxilla: advantages of combined therapy. Dans: Tolstunov L. Horizontal alveolar ridge augmentation in implant dentistry: A surgical manual. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.; 2016. p. 127-35.
255. Leonetti JA, Daulton Keith, Jr J. Alternative intraoral block bone grafting techniques for horizontal alveolar ridge augmentation in implant dentistry - Part A: Localized alveolar ridge augmentation with block allograft. Dans: Tolstunov L. Horizontal alveolar ridge augmentation in implant dentistry: A surgical manual. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.; 2016. p. 153-65.
256. Wallace S, Gellin R. Clinical evaluation of freeze-dried cancellous block allografts for ridge augmentation and implant placement in the maxilla. *Implant Dent.* 2010; 19(4): 272-9.
257. Silva FMS, Cortez ALV, Moreira RWF, Mazzonetto R. Complications of intraoral donor site for bone grafting prior to implant placement. *Implant Dent.* 2006; 15(4): 420-6.
258. Cordaro L, Amadé DS, Cordaro M. Clinical results of alveolar ridge augmentation with mandibular block bone grafts in partially edentulous patients prior to implant placement. *Clin Oral Implants Res.* 2002; 13(1): 103-11.
259. Jemt T, Lekholm U. Measurements of buccal tissue volumes at single-implant restorations after local bone grafting in maxillas: a 3-year clinical prospective study case series. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2003; 5(2): 63-70.

260. ten Bruggenkate CM, Kraaijenhagen HA, van der Kwast WA, Krekeler G, Oosterbeek HS. Autogenous maxillary bone grafts in conjunction with placement of I.T.I. endosseous implants. A preliminary report. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 1992; 21(2): 81-4.
261. Lekholm U, Wannfors K, Isaksson S, Adielsson B. Oral implants in combination with bone grafts. A 3-year retrospective multicenter study using the Brånemark implant system. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 1999; 28(3): 181-7.
262. Bahat O, Fontanessi RV. Efficacy of implant placement after bone grafting for three-dimensional reconstruction of the posterior jaw. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2001; 21(3): 220-31.
263. Nyström E, Ahlqvist J, Gunne J, Kahnberg KE. 10-year follow-up of onlay bone grafts and implants in severely resorbed maxillae. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2004; 33(3): 258-62.
264. Nizam II SA, Aziz S. Horizontal alveolar distraction osteogenesis: diagnosis and treatment planning. Dans: Tolstunov L. Horizontal alveolar ridge augmentation in implant dentistry: A surgical manual. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.; 2016. p. 233-9.
265. Laster Z, Rachmiel A, Jensen OT. Alveolar width distraction osteogenesis for early implant placement. *J Oral Maxillofac Surg.* 2005; 63(12): 1724-30.
266. Watzak G, Zechner W, Tepper G, Vasak C, Busenlechner D, Bernhart T. Clinical study of horizontal alveolar distraction with modified micro bone screws and subsequent implant placement. *Clin Oral Implants Res.* 2006; 17(6): 723-9.
267. Yamauchi K, Takahashi T, Nogami S, Kataoka Y, Miyamoto I, Funaki K. Horizontal alveolar distraction osteogenesis for dental implant: long-term results. *Clin Oral Implants Res.* 2013; 24(5): 563-8.
268. Rachmiel A, Srouji S, Peled M. Alveolar ridge augmentation by distraction osteogenesis. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2001; 30(6): 510-7.
269. Jensen OT, Cockrell R, Kuhike L, Reed C. Anterior maxillary alveolar distraction osteogenesis: a prospective 5-year clinical study. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2002; 17(1): 52-68.
270. Swennen G, Schliephake H, Dempf R, Schierle H, Malevez C. Craniofacial distraction osteogenesis: a review of the literature: Part 1: clinical studies. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2001; 30(2): 89-103.
271. Verlinden CRA, van de Vijfeijken SECM, Jansma EP, Becking AG, Swennen GRJ. Complications of mandibular distraction osteogenesis for congenital deformities: a systematic review of the literature and proposal of a new classification for complications. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2015; 44(1): 37-43.

272. Gaggi A, Rainer H, Chiari FM. Horizontal distraction of the anterior maxilla in combination with bilateral sinuslift operation--preliminary report. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2005; 34(1): 37-44.

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION	12
2	GÉNÉRALITÉS	15
2.1	Rappels anatomiques et physiologiques	15
2.1.1	Éléments anatomiques majeurs du complexe maxillo-mandibulaire	15
2.1.2	Anatomie de l'os alvéolaire	18
2.1.3	Histo-physiologie de l'os alvéolaire	19
2.2	Réhabilitation implantaire de la crête alvéolaire édentée	20
2.2.1	Anatomie de la crête édentée	20
2.2.2	Examens préalables	22
2.2.3	Quantité et qualité osseuse	23
2.3	Techniques d'augmentation osseuse latérale	26
2.3.1	Techniques de régénération osseuse guidée (ROG)	26
2.3.2	Technique de greffe osseuse en onlay	26
2.3.3	Technique de distraction osseuse	27
2.3.4	Orientation du choix thérapeutique	28
3	L'EXPANSION OSSEUSE TRANSVERSALE	31
3.1	Généralités	31
3.1.1	Définition	31
3.1.2	Indications, contre-indications et impératifs anatomiques	32
3.1.3	Applications cliniques et principes chirurgicaux	35
3.2	Matériel	36
3.2.1	Abord osseux	36
3.2.2	Comblement du site chirurgical	40
3.2.3	Stabilisation du site	43
3.2.4	Choix implantaire	44
3.2.5	Médications	46
3.3	Méthodes	47
3.3.1	Notion de phases et d'étapes chirurgicales	47
3.3.2	Temps opératoires	48
3.3.3	Technique chirurgicale classique et variations	57

3.3.4	Complications et gestions per-opératoires	62
4	DISCUSSION	64
4.1	Protocole opératoire	64
4.1.1	Protocole en 2 temps ou en 1 temps	64
4.1.2	L'accès au site opératoire.....	65
4.1.3	L'abord osseux	66
4.1.4	L'expansion osseuse	67
4.1.5	Implantation immédiate ou différée ?.....	68
4.1.6	Fermeture du site opératoire	69
4.2	Résultats chirurgicaux	70
4.2.1	Facteurs influençant la cicatrisation osseuse	70
4.2.2	Gain en épaisseur osseuse obtenue	71
4.2.3	Taux de réussite et taux de complications.....	73
4.3	Niveau osseux marginal péri-implantaire	76
4.3.1	Stabilité osseuse post-chirurgicale	76
4.3.2	Facteur anatomique.....	80
4.3.3	Facteur chirurgical	81
4.3.4	Facteur mécanique et instrumental	83
4.4	Résultats implantaire	85
4.4.1	Taux de survie et de succès implantaire	85
4.4.2	Taux d'échec implantaire.....	85
4.4.3	Facteurs pronostics	86
4.5	Comparaison avec les autres techniques actuelles	90
4.5.1	Résultats chirurgicaux et implantaire des techniques de régénération actuelles	90
4.5.2	Comparaison avec l'expansion osseuse transversale.....	92
5	CONCLUSION	94
	BIBLIOGRAPHIE	95

FONTY Adeline - L'expansion osseuse transversale pré-implantaire.

Nancy 2019 : 119 pages. 40 figures ; 1 tableau.

Th. : Chir.- Dent. : Nancy 2019

Mots-clefs :

- Parodontologie
- Chirurgie orale
- Expansion osseuse
- Implantologie

Résumé :

L'insuffisance osseuse de la crête alvéolaire édentée, particulièrement dans la dimension transversale, représente une difficulté en implantologie. De multiples procédures, afin de palier à cet obstacle, ont déjà fait leur preuve. L'augmentation osseuse par l'intermédiaire de la régénération osseuse guidée et la greffe osseuse en onlay, demande un délai de traitement et chacune présente ses propres avantages et inconvénients. L'expansion osseuse transversale, développée récemment en 1986, repose sur les principes de la division de la crête alvéolaire et de la plasticité osseuse. De nombreuses variations sont apparues au fil des années, dans l'objectif d'améliorer la prise en charge. L'implantation immédiate est le plus souvent possible, permettant de réduire le temps de traitement et de favoriser le confort du patient. Cette procédure d'augmentation osseuse, d'après la littérature, présente de bons résultats chirurgicaux et implantaires à plus ou moins long terme avec un risque de complications plutôt faible.

Membres du jury :

<u>Pr. P. AMBROSINI</u>	<u>Professeur des Universités</u>	<u>Président et Directeur de thèse</u>
Dr. D. JOSEPH	Maître de Conférences	Juge
Dr. J. GUILLET-THIBAUT	Maître de Conférences	Juge
Dr. C. EGLOFF-JURAS	Maître de Conférences	Juge
Dr. F. FAVÉ-LESAGE	Praticien Attaché	Juge

Adresse de l'auteur :

Adeline FONTY
11 Boulevard de la Mothe
54000 NANCY

Jury : Président : P. AMBROSINI – Professeur des universités
 Juges : P. AMBROSINI – Professeur des universités
 D. JOSEPH – Maître de conférences des universités
 J. GUILLET-THIBAUT – Maître de conférences des universités
 C. EGLOFF-JURAS – Assistante hospitalo-universitaire
 F. FAVÉ-LESAGE – Praticien attaché

Thèse pour obtenir le diplôme d'État de docteur en chirurgie dentaire

Présentée par : **Mme FONTY Adeline**

Née à Belfort (Territoire de Belfort)

le 17 février 1993

et ayant pour titre : «L'expansion osseuse transversale pré-implantaire».

Le président du jury



P. AMBROSINI

Le doyen,
de la faculté d'odontologie de Lorraine



FACULTÉ
D'ODONTOLOGIE
DE LORRAINE

J.M. MARTRETTE

autorise à soutenir et imprimer la thèse *10826*

NANCY, le *6* SEP. 2019

Le président de l'université de Lorraine



P. MUTZENHARDT