

UNIVERSITE DE NANTES

UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Année : 2008

Thèse N° : 8

REGENERATION OSSEUSE EN IMPLANTOLOGIE

THESE POUR LE DIPLOME D'ETAT

DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement par

MARTENOT Florence

Née le 16 Septembre 1980

Le 25 mars 2008 devant le jury ci-dessous

Président : Monsieur le Professeur Bernard GIUMELLI

Assesseur : Monsieur le Docteur Afchine SAFFARZADEH

Assesseur : Monsieur le Docteur Jean François BREMONT

Directeur de thèse : Monsieur le Docteur Assem SOUEIDAN

Co-Directeur de thèse : Monsieur le Docteur Julien DEMOERSMAN

SOMMAIRE

Introduction	6
I. Le tissu osseux	7
I.1. Histologie osseuse.....	7
I.1.1. La matrice extra cellulaire.....	7
I.1.1.1. La phase minérale	7
I.1.1.2. La phase organique	7
I.1.1.2.1. Le collagène	7
I.1.1.2.2. Les protéines non collagéniques	8
I.1.2. Les cellules osseuses.....	8
I.1.2.1. Les ostéoblastes	8
I.1.2.2. Les cellules bordantes	9
I.1.2.3. Les ostéocytes	9
I.1.2.4. Les ostéoclastes.....	10
I.2. Les différents types de tissu osseux	10
I.2.1. Le tissu osseux primaire ou tissu osseux tissé	10
I.2.2. Le tissu osseux secondaire ou os lamellaire	10
I.2.2.1. L'os compact.....	11
I.2.2.2. L'os spongieux.....	11
I.2.2.3. Le périoste.....	11
I.3. Anatomie.....	12
I.3.1. Le maxillaire	12
I.3.1.1. Embryologie.....	12
I.3.1.2. Ostéologie	12
I.3.1.3. Innervation	13
I.3.1.4. Vascularisation.....	13
I.3.1.5. Les structures osseuses	13
I.3.2. La mandibule	14
I.3.2.1. Embryologie.....	14
I.3.2.2. Ostéologie	14
I.3.2.3. Innervation	15
I.3.2.4. Vascularisation.....	15
I.3.2.5. Les structures osseuses	15
I.3.3. L'os alvéolaire	16
I.3.3.1. Embryologie.....	16
I.3.3.2. Les structures osseuses	16
I.4. Physiologie du tissu osseux	17
I.4.1. Les remaniements osseux	17
I.4.1.1. Le modelage.....	17
I.4.1.2. Le remodelage.....	17
I.4.1.2.1. La phase d'activation	18
I.4.1.2.2. La phase de résorption	18
I.4.1.2.3. La phase d'inversion	18
I.4.1.2.4. La phase de formation.....	18
I.4.2. La cicatrisation osseuse.....	19
I.4.2.1. Le déroulement de la cicatrisation	19

I.4.2.1.1. La cicatrisation d'une plaie osseuse.....	19
I.4.2.1.2. La cicatrisation osseuse d'une alvéole d'extraction.....	20
I.4.2.1.3. La cicatrisation de l'os greffé	21
I.4.2.2. Origine des cellules ostéogéniques	23
I.4.3. L'influence des facteurs de croissance dans le remaniement osseux.....	23
I.4.3.1. Les facteurs de croissance.....	23
I.4.3.2. Les mécanismes d'action des facteurs de croissance sur le tissu osseux.....	25
I.4.3.2.1. Le Platelet Derived Growth Factor (PDGF)	25
I.4.3.2.2. Le Transforming Growth Factor (TGF).....	26
I.4.3.2.3. Les Bone morphogenetic proteins (BMP)	26
I.4.3.2.4. L'Insulin-like Growth Factor (IGF).....	26
I.4.3.2.5. L'Epidermal Growth Factor (EGF).....	27
I.4.3.2.6. Le Fibroblast Growth Factor (FGF).....	27
I.4.3.2.7. L'endothelial cell growth factor (ECGF).....	27
I.4.3.2.8. Tableau récapitulatif	28
II. Les défauts osseux	29
II.1. Les défauts osseux préimplantaires	29
II.1.1. Etiologies	29
II.1.2. Classifications.....	30
II.2. Les défauts osseux per et postimplantaires.....	33
II.2.1. Etiologies	33
II.2.2. Classification	34
III. Implantologie	36
III.1. Généralités.....	36
III.1.1. Définition	36
III.1.2. Origine.....	37
III.1.3. Objectifs	38
III.2. Les indications et contre indications à l'implantologie.....	39
III.2.1. Les indications.....	39
III.2.2. Les contre indications.....	39
III.2.2.1. Contres indications générales absolues	39
III.2.2.2. Contres indications générales relatives	40
III.2.2.3. Contres indications locales.....	40
III.3. Ostéointégration	40
III.3.1. Définition	40
III.3.2. Les critères de succès de l'ostéointégration	41
III.3.3. Les facteurs de réussite	41
III.3.3.1. Les facteurs dépendant de l'implant.....	41
III.3.3.1.1. La biocompatibilité du matériau	41
III.3.3.1.2. Le dessin de l'implant	42
III.3.3.1.3. L'état de surface des implants	42
III.3.3.2. Les facteurs dépendants de l'opérateur	43
III.3.3.2.1. La préparation du site osseux	43
III.3.3.2.2. La technique chirurgicale	43
III.3.3.2.3. Les conditions de mise en charge.....	43
III.4. La réponse osseuse péri implantaire.....	44
III.4.1. Le déroulement de la réponse osseuse	44
III.4.2. Les conditions nécessaires à la réparation osseuse	45
III.4.2.1. Les cellules appropriées	45
III.4.2.2. La nutrition appropriée des cellules osseuses.....	46

III.4.2.3. Le stimulus approprié à la réparation osseuse.....	46
III.5. Les conditions anatomiques nécessaires à la mise en place des implants.....	46
III.5.1. Le volume osseux.....	46
III.5.2. La qualité osseuse.....	47
IV. La régénération osseuse	48
IV.1. Les objectifs de la régénération.....	48
IV.1.1. Les objectifs fonctionnels	48
IV.1.2. Les objectifs esthétiques	48
IV.1.3. Cahier des charges	48
IV.2. Les différentes techniques de régénération	49
IV.2.1. Les greffes osseuses autogènes d'apposition	49
IV.2.1.1. Généralités	49
IV.2.1.2. Les différents sites de prélèvements	50
IV.2.1.2.1. Les sites de prélèvement intra oraux.....	50
IV.2.1.2.1.1. Le maxillaire	50
IV.2.1.2.1.2. La mandibule.....	51
IV.2.1.2.2. Les sites de prélèvements extraoraux.....	55
IV.2.1.2.2.1. L'os iliaque	55
IV.2.1.2.2.2. La voûte crânienne	56
IV.2.1.3. Le protocole opératoire	58
IV.2.2. La distraction alvéolaire.....	61
IV.2.2.1. Origine de la distraction alvéolaire	61
IV.2.2.2. Principe de la distraction alvéolaire	61
IV.2.2.3. Le protocole opératoire	62
IV.2.3. Le comblement sinusien.....	65
IV.2.3.1. Généralités	65
IV.2.3.2. Le protocole opératoire	65
IV.2.3.2.1. Technique de Caldwell modifiée	65
IV.2.3.2.2. La technique de Summers	69
IV.2.4. La régénération osseuse guidée (ROG)	70
IV.2.4.1. Généralités	70
IV.2.4.2. Les étapes biologiques	71
IV.2.4.3. Le protocole opératoire	71
IV.2.4.3.1. Approche simultanée.....	71
IV.2.4.3.2. Approche différée.....	72
IV.2.5. Les concentrés plaquettaires	75
IV.2.5.1. Historique et mode opératoire.....	75
IV.2.5.2. Indications et contre indications du PRP ET PRF	76
IV.2.5.3. Utilisation clinique.....	77
IV.2.6. Les protéines morphogénétiques osseuses recombinée (rhBMP).....	78
IV.2.6.1. Origine	78
IV.2.6.2. Protocole opératoire	78
IV.2.6.3. Utilisation clinique.....	79
IV.3. Place et choix de la technique	80
IV.3.1. En pré-implantaire.....	80
IV.3.1.1. La greffe osseuse d'apposition.....	81
IV.3.1.1.1. Indications	81
IV.3.1.1.2. Résorption du greffon	82
IV.3.1.1.3. Résultats	83
IV.3.1.1.3.1 Résultats au niveau de l'os.....	83

IV.3.1.1.3.2. Résultats au niveau des implants	84
IV.3.1.1.4. Complications	84
IV.3.1.2. Le comblement sous-sinusien	85
IV.3.1.2.1. Indications	85
IV.3.1.2.2. Choix du greffon et de la technique	85
IV.3.1.2.3. Résultats	86
IV.3.1.2.4. Complications	88
IV.3.1.3. La régénération osseuse guidée (ROG)	89
IV.3.1.3.1. Indications	89
IV.3.1.3.2. Résultats	89
IV.3.1.3.3. Complications	90
IV.3.1.4. La distraction ostéogénique alvéolaire	90
IV.3.1.4.1. Indications	90
IV.3.1.4.2. Résultats	91
IV.3.1.4.3. Complications	92
IV.3.1.5. Conclusions	93
IV.3.2. En per-implantaire	94
IV.3.2.1. La greffe osseuse	94
IV.3.2.1.1. Indications	94
IV.3.2.1.2. Résultats	94
IV.3.2.1.3. Complications	95
IV.3.2.2. Le comblement sinusien	96
IV.3.2.2.1. Indications	96
IV.3.2.2.2. Résultats	96
IV.3.2.2.3. Complications	97
IV.3.2.3. La régénération osseuse guidée	97
IV.3.2.3.1. Indications	97
IV.3.2.3.2. Résultats	98
IV.3.2.3.3. Complications	99
IV.3.2.4. Conclusions	99
IV.3.3. En post-implantaire	100
IV.3.3.1. Indications	100
IV.3.3.2. Résultats	101
IV.3.3.3. Complications	102
IV.3.3.4 Conclusions	103
V. Alternatives à la régénération osseuse	104
V.1. Les implants zygomatiques	104
V.2. Les implants courts	105
V.3. Les biomatériaux	106
VI. Perspectives	112
VII. Conclusion	113

Régénération osseuse et implantologie

Introduction

L'implantologie est une discipline en pleine expansion ces dernières années. Elle permet le remplacement d'une ou plusieurs dents absentes par la mise en place au niveau osseux d'une fixture nommée implant. Elle élargie ainsi pour les praticiens les possibilités thérapeutiques disponibles pour reconstituer à la fois fonction et esthétique.

La mise en place d'un implant permet de réaliser une reconstruction prothétique fixe dans les situations où les thérapeutiques prothétiques conventionnelles ne peuvent répondre que par une solution amovible (édentement postérieur libre) ou trop mutilante (bridge sur édentement encastré par des dents saines), et de stabiliser une prothèse amovible complète. Dans la plupart des cas elle peut répondre à la fois à une demande fonctionnelle mais aussi à une demande esthétique, de plus en plus souhaitée par les patients.

L'environnement osseux est un critère essentiel au succès implantaire. Outre l'état de santé général du patient, le choix du type d'implants (forme, taille, état de surface...) et la technique chirurgicale sont des facteurs influençant la réussite du traitement, mais l'absence ou l'insuffisance d'os sont des contre indications relatives à l'utilisation de cette thérapeutique. L'ostéointégration de l'implant est un préalable indispensable à la réussite du traitement. Les dernières évolutions techniques et technologiques ont eu pour but d'améliorer la qualité de cette ostéointégration, et permettre ainsi une prédictibilité importante des résultats, et un maintien de ces derniers dans le temps.

L'os avec lequel se lie l'implant lors de l'ostéointégration doit cependant répondre à des exigences qualitatives et quantitatives. Afin d'augmenter les situations où une réponse implantaire est réalisable, des techniques de régénération osseuse ont été développées pour palier un déficit osseux. Ces techniques peuvent être utiles avant, pendant ou après la mise en place de l'implant afin de restaurer de manière optimale une déficience à la fois esthétique et fonctionnelle.

Après un rappel sur le tissu osseux environnant et les implants dentaires, nous détaillerons les principales techniques de régénération osseuse pour lesquelles il existe un recul clinique suffisant et nous verrons leurs applications et les résultats que l'on peut en espérer.

I. Le tissu osseux

I.1. Histologie osseuse (8, 62)

I.1.1. La matrice extra cellulaire

La matrice extra cellulaire (MEC) du tissu osseux est composée d'une phase organique et d'une phase inorganique dite minérale.

I.1.1.1. La phase minérale

Elle représente 60 à 70 % du poids sec osseux et est constituée de cristaux d'hydroxyapatite de calcium qui procurent sa rigidité à l'os.

L'os constitue le réservoir de calcium de l'organisme.

I.1.1.2. La phase organique

La phase organique, qui représente 35 % du poids sec osseux, est composée par du collagène et des protéines non collagéniques.

I.1.1.2.1. Le collagène

Le collagène constitue la charpente du tissu osseux. Au sein de ce tissu, le type I est prédominant (90%), mais les types III, VI et VII sont aussi présents.

I.1.1.2.2. Les protéines non collagéniques

Les protéines non collagéniques sont constituées principalement par les glycoprotéines osseuses (phosphoprotéines, sialoprotéines protéoglycanes) et protéines osseuses vitamine K dépendante comme l'ostéocalcine et la gla-protéine matricielle. Il existe un échange protéique bidirectionnel entre le tissu osseux et la circulation sanguine. Un quart de ses constituants protéiques non collagéniques est issu du sérum et est stocké dans l'os.

Les glycoprotéines osseuses sont principalement représentées par l'ostéonectine une phosphoprotéine osseuse, qui est la plus abondante, mais aussi par l'ostéopontine, les BSP (Bone Sialoprotéine ou sialoprotéines osseuses), et des protéines sériques tels que l'albumine.

Les protéoglycanes sont une classe de glycoprotéines fortement glycosylées. Trois types existent au niveau du tissu osseux : la décorine, la biglycane et les glycoaminoglycanes (chondroïtine sulfate et héparane sulfate).

Ces protéines ont un rôle essentiel dans l'agencement du collagène et la minéralisation de la matrice. Elles sont sécrétées par les cellules osseuses et participent à la formation et au remaniement osseux, sous le contrôle de facteurs de croissance.

I.1.2. Les cellules osseuses

Quatre types de cellules sont présents dans le tissu osseux : les ostéoblastes, les ostéocytes, les ostéoclastes et les cellules bordantes.

Les cellules ostéoformatrices (ostéoblastes, ostéocytes, cellules bordantes) ont une origine mésenchymateuse alors que les cellules résorptrices (ostéoclastes) ont une origine hématopoïétique.

I.1.2.1. Les ostéoblastes

Les ostéoblastes sont des cellules qui interviennent lors de l'édification des structures tissulaires ou lors des phénomènes de remaniement. Ils sont retrouvés à la surface du tissu osseux.

Ils communiquent entre eux et avec les ostéocytes via des jonctions communicantes (jonctions GAP). Ce sont des cellules très différenciées qui existent sous deux formes :

- les ostéoblastes en phase active sont cubiques, d'une taille de 25 à 30 μm et possèdent un seul noyau de 9 à 11 μm .
- les ostéoblastes au repos ont une forme plus allongée. Ils forment les cellules bordantes.

Ils synthétisent les constituants organiques de la matrice extra cellulaire et élaborent ainsi une couche ostéoïde qui sera minéralisée dans un deuxième temps.

Les ostéoblastes actifs présentent un cytoplasme avec un réticulum endoplasmique granulaire abondant, un appareil de Golgi volumineux et des mitochondries. Leur membrane cytoplasmique présente de la phosphatase alcaline.

Ils sécrètent de nombreux facteurs de croissance tels que les BMP (bone morphogenetic proteins), TGF- β (transforming growth factor bêta), des IGF (insulin growth factor), PDGF (platelet derived growth factor) et du FGF (fibroblastic growth factor).

I.1.2.2. Les cellules bordantes

Les cellules bordantes sont donc des ostéoblastes au repos qui peuvent redevenir actifs sous l'influence de stimuli. Elles se situent au niveau des surfaces osseuses quiescentes. Allongées et composées de peu d'organites, elles sont reliées entre elles et les ostéocytes voisins via des jonctions communicantes.

I.1.2.3. Les ostéocytes

Les ostéocytes résultent de la différenciation des ostéoblastes. Leur aspect varie selon leur activité. Dans l'os lamellaire jeune, ils sont petits et leur lacune est incomplètement minéralisée avec des bords irréguliers. Tandis que dans de l'os lamellaire plus âgé, ils sont plus volumineux dans une lacune plus vaste avec des bords à distance du corps cellulaire.

Ces lacunes, également appelées ostéoplastes, émettent des prolongements cytoplasmiques dans des canalicules anastomosés permettant des échanges intercellulaires entre eux et les ostéoblastes.

Ainsi ils participent au maintien de la matrice osseuse et contribuent à l'homéostasie phosphocalcique.

Ils jouent également un rôle dans l'apposition périostéocytaire.

I.1.2.4. Les ostéoclastes

Les ostéoclastes sont des cellules post-mitotiques avec un volume cellulaire important (diamètre de 100 µm). Ils se caractérisent par la présence d'une bordure plissée et de plusieurs noyaux. Ils sont hautement mobiles et se déplacent le long des travées osseuses.

Ces cellules ostéorésorbantes forment des lacunes de résorption appelées aussi lacunes de Howship. Ce mécanisme se met en place au niveau de la bordure plissée, où la surface d'échange est augmentée. Une acidification du milieu est réalisée dans un premier temps par la libération d'acide chlorhydrique afin de dissoudre la phase minérale. La phase organique, devenue accessible, est ensuite dissoute par la sécrétion d'enzymes protéolytiques (cathepsine K, protéases). En microscopie électronique apparaît une zone claire qui constitue une interface d'attachement à la surface osseuse et entoure la bordure plissée délimitant ainsi la zone de résorption.

Le cytoplasme est chargé en vacuoles, vésicules et lysosomes contenant les enzymes nécessaires à la résorption.

I.2. Les différents types de tissu osseux (8, 62)

I.2.1. Le tissu osseux primaire ou tissu osseux tissé

Le tissu osseux primaire est un os immature que l'on retrouve chez le fœtus et chez le jeune enfant au cours de la croissance alors que les contraintes mécaniques sont faibles et peu directionnelles. Il réapparaît au cours de processus de réparation lors de fractures et dans certaines pathologies comme la maladie de Paget.

Il est de type fibreux, sa trame collagénique est peu orientée, les ostéocytes sont très nombreux et volumineux et sa MEC est peu calcifiée.

L'os primaire est remanié au cours de la croissance et remplacé par un os plus structuré, l'os secondaire.

I.2.2. Le tissu osseux secondaire ou os lamellaire

Le tissu osseux secondaire est un os mature, dit lamellaire car la matrice osseuse est disposée en lamelles superposées où les microfibrilles de collagène sont arrangées parallèlement selon une direction différente dans chaque lamelle successive.

L'os lamellaire se présente sous deux formes : l'os compact entouré d'une membrane appelée le périoste (les corticales) et l'os spongieux entouré par l'endoste.

I.2.2.1. L'os compact

Il est également appelé os cortical et se retrouve dans la zone externe du tissu osseux.

Il est composé par la juxtaposition d'ostéons ou systèmes de Havers composés de lamelles concentriques (15 à 16) disposées autour du canal de Havers. Ce dernier contient un axe vasculo-nerveux et des cellules indifférenciées.

Les canaux de Havers communiquent entre eux par des canaux transversaux appelés canaux de Volkmann.

Entre les ostéones se trouvent des systèmes de Havers incomplets correspondant à des ostéons anciens remaniés, qui constituent le système interstitiel.

Au sein de l'os compact, l'orientation des fibres de collagène confère une résistance mécanique optimale. Ces fibres ont la même orientation dans une même lamelle mais une orientation différente d'une lamelle à une autre.

I.2.2.2. L'os spongieux

L'os spongieux, également appelé os trabéculaire, se situe dans la partie interne de l'os. Il s'agit d'un os avec beaucoup d'espaces conjonctifs non minéralisés et de travées osseuses. Ces dernières sont constituées de tissu osseux non haversien avec des lamelles irrégulières, et sont recouvertes d'une membrane : l'endoste. Toutefois certaines travées très épaisses peuvent présenter un ostéone.

Entre ces travées, les espaces conjonctifs sont constitués de vaisseaux et d'un stroma médullaire composé de cellules hématopoïétiques, de cellules ostéoprogénitrices, de cellules dendritiques, de cellules adipeuses, de moelle osseuse et d'adipocytes.

I.2.2.3. Le périoste

Le périoste est la membrane externe qui entoure l'os. Il se présente en deux parties : une partie interne cellulaire et une partie externe fibreuse.

La partie interne est une couche cellulaire ostéogénique, formée de cellules précurseurs ostéogénitrices et à certains endroits d'ostéoclastes.

La couche la plus externe est riche en fibroblastes et en éléments fibrillaires.

I.3. Anatomie (36, 48, 59, 74)

I.3.1. Le maxillaire

I.3.1.1. Embryologie

La tête osseuse dérive du mésenchyme et se développe à partir de deux origines différentes, le neurocrâne pour les os du crâne et le viscérocrâne pour les os de la face.

Le premier arc pharyngien ou arc mandibulaire est visible à partir du 28^{ème} jour de la vie intra utérine (IU). De la partie latérale supérieure de cet arc se forme un deuxième arc : l'arc maxillaire. Ce dernier donnera l'os maxillaire par ossification membraneuse.

Il est issu de deux centres d'ossification principaux : le post maxillaire et le pré maxillaire.

A la 10^{ème} semaine IU apparaît une invagination dans la muqueuse du méat moyen des fosses nasales : c'est l'ébauche des sinus maxillaires. Cette invagination se développe très peu et elle aura atteint sa taille maximale embryonnaire au 5^{ème} mois.

I.3.1.2. Ostéologie

Le maxillaire, os pair, constitue la pièce principale du massif facial. Il s'articule avec tous les autres os de la face. Il participe à la formation des fosses nasales, des cavités orbitaires et de la cavité buccale.

Il a la forme d'une pyramide triangulaire à sommet tronqué et il est creusé d'une cavité pneumatique, le sinus maxillaire.

Il est composé d'une base médiane, formant la paroi latérale des fosses nasales, d'un sommet tronqué et de trois faces : supérieure ou orbitaire, antérolatérale ou jugale et postérolatérale ou infratemporale.

La face orbitaire forme une grande partie du plancher de l'orbite et elle est marquée par le canal infra-orbitaire qui se termine au niveau du foramen infra-orbitaire.

La face jugale comprend les fosses incisive et canine, séparée par la saillie verticale du jugum de la canine, et le foramen infra-orbitaire.

La face infratemporale, quant à elle, forme dans sa partie postérieure la tubérosité maxillaire.

Le maxillaire se prolonge de trois processus :

- Le processus frontal, supérieur, participe à la formation de la partie antérolatérale des cavités nasales et de l'orifice piriforme.
- Le processus palatin, médian et horizontal, forme le palais osseux séparant ainsi les cavités nasales et buccales. Il est marqué, sur sa face inférieure, par les sillons palatins qui prolongent le foramen grand palatin.
- Le processus alvéolaire est inférieur et arciforme. Il est sujet à des variations car son évolution est dépendante des dents. Son bord inférieur est creusé par les alvéoles dentaires.

I.3.1.3. Innervation

L'innervation est assurée par le nerf maxillaire, branche du trijumeau. Ce nerf a pour ramification le nerf alvéolaire supérieur postérieur et le nerf sous orbitaire. Celui-ci va donner les nerfs alvéolaires supérieurs antérieur et moyen à partir du conduit infra-orbitaire.

De plus, dans le canal grand palatin passe le nerf grand palatin.

I.3.1.4. Vascularisation

La vascularisation du maxillaire est assurée par un apport externe et un apport interne. L'apport externe est assurée par les artères sous orbitaire, jugale, sphénopalatine et palatine postérieure. L'irrigation interne comprend les artères sous orbitaire, jugale, antéro-alvéolaire et sphénopalatine.

Le risque chirurgical de la région molaire se situe au niveau du foramen grand palatin sur sa face palatine.

I.3.1.5. Les structures osseuses

Le maxillaire est composé de tissu osseux compact et spongieux.

Au niveau des tubérosités maxillaire, on peut noter la présence importante de tissu spongieux peu dense donnant à l'os une résistance réduite.

Dans la région des canines, la paroi vestibulaire est très fine et il y a une faible épaisseur d'os spongieux.

Dans la zone antérieure, on peut voir une faible épaisseur d'os spongieux et une corticale mince en vestibulaire, alors que la corticale palatine est épaisse et qu'un volume important d'os spongieux sépare les alvéoles.

I.3.2. La mandibule

I.3.2.1. Embryologie

Issu du premier arc, elle se forme dans les bourgeons mandibulaires droit et gauche.

A la 7^{ème} semaine IU apparaît le cartilage de Meckel au sein des bourgeons. Il induit l'apparition des centres d'ossification membranaire. Il disparaîtra au 6^{ème} mois IU.

Il s'agit également d'une ossification membranaire à partir d'un centre d'ossification par hémi-mandibule qui apparaît entre la 7^{ème} et 8^{ème} semaine IU.

I.3.2.2. Ostéologie

La mandibule est un os impair, médian et symétrique, elle forme le squelette du massif facial inférieur. C'est le seul os mobile du massif facial. Elle a la forme d'un arc de cercle ouvert vers l'arrière et est composée d'un corps, et de deux branches reliées au niveau des angles mandibulaires.

La face externe du corps mandibulaire comprend sur la ligne médiane une saillie triangulaire, la symphyse mentonnière délimitée à sa base par les tubercules mentonniers. Sur les côtés, il y a le foramen mentonnier au niveau de la 2^{ème} prémolaire et la crête buccinatrice, oblique en bas et en avant, au niveau du secteur molaire.

Sur sa face interne, on note la présence en antérieur des épines mentonnières et de la crête mylohyoïdienne, oblique en bas et en avant, en postérieur.

Le bord alvéolaire du corps mandibulaire est creusé, chez le sujet denté, d'alvéoles dentaires séparées par des septa inter-alvéolaire et interdentaire. La forme de ce bord évolue en permanence au cours de la croissance mandibulaire et suite à des extractions dentaires par des phénomènes de remodelage et de résorption.

Les branches sont de formes rectangulaires orientées en haut et en arrière. Elles prolongent en arrière le corps mandibulaires et se terminent par les processus coronoïde en avant et processus condyalaire en arrière.

La face interne des branches comprend en son centre le foramen mandibulaire qui est suivi par le sillon mylohyoïdien.

Le processus coronoïde, antérieur, est mince et triangulaire, tandis que le processus condyalaire, postérieur, est composé d'une tête et d'un col. La tête forme avec le temporal, par l'intermédiaire du disque temporo-mandibulaire, l'articulation temporo-mandibulaire (ou ATM). Les deux processus sont séparés par l'incisure mandibulaire.

Les branches et le corps mandibulaires sont creusés du foramen mandibulaire au foramen mentonnier par le canal mandibulaire.

I.3.2.3. Innervation

La mandibule est innervée par le nerf mandibulaire (branche du nerf trijumeau). Ce nerf rentre par le foramen mandibulaire et ressort au niveau du foramen mentonnier. Le nerf mandibulaire va donner le nerf alvéolaire inférieur à partir du foramen mandibulaire et le nerf lingual.

Le nerf alvéolaire inférieur devient le nerf mentonnier en sortant du foramen mentonnier et innerve la partie antérieure.

I.3.2.4. Vascularisation

L'apport externe est réalisé par les artères sous-mentales, massétéline, ptérygoïdienne, faciale et linguale. L'apport endo-osseux se fait par l'artère du condyle et l'artère alvéolaire inférieure.

I.3.2.5. Les structures osseuses

La mandibule est, elle aussi, composée par du tissu compact recouvrant le tissu spongieux.

Le corps de la mandibule est composée d'une corticale beaucoup plus épaisse latéralement et basalement que médialement et l'os spongieux est peu dense.

Au niveau des incisives, la corticale est épaisse en vestibulaire et linguale et l'os spongieux est dense.

I.3.3. L'os alvéolaire

I.3.3.1. Embryologie

A la fin du deuxième mois de la vie intra-utérine, les germes dentaires sont situés dans une gouttière excavant maxillaire et mandibule. L'os alvéolaire vient se déposer contre la paroi de l'alvéole. Cet os nouveau est édifié par les ostéoblastes qui dérivent des cellules mésenchymateuses du follicule dentaire.

Le développement de l'os alvéolaire est dépendant de la présence des dents.

I.3.3.2. Les structures osseuses

L'os alvéolaire est également appelé « procès alvéolaire ».

L'aspect de cet os dépend de la dent, uni ou pluriradiculée, de sa position sur l'arcade dentaire et la direction des forces occlusales.

Il comporte deux corticales, externe et interne, composées par un os compact. Ces corticales délimitent l'alvéole dentaire. Entre deux alvéoles, se dresse le septum interdentaire formé d'os spongieux.

Les corticales sont faites d'os compact et ont une épaisseur variable. Elles sont en générale plus minces au maxillaire qu'à la mandibule et plus minces en antérieur que dans la région postérieure pour les deux maxillaires.

Les alvéoles, logettes situées entre les deux corticales, sont de forme et de profondeur variable en fonction du type de dent. Pour les dents pluriradiculées, les alvéoles sont cloisonnées par des septas interradiculaires. Le fond de l'alvéole est en rapport avec différents éléments anatomiques selon sa localisation. En effet, au maxillaire, il est proche des fosses nasales pour les dents antérieures et des sinus maxillaires pour les dents postérieures, alors qu'à la mandibule les dents postérieures sont proches du canal mandibulaire. La paroi osseuse, appelée aussi « lame criblée » ou « lamina dura », qui limite les alvéoles est caractérisée par l'insertion des fibres de Sharpey du ligament alvéolo-dentaire. Cette paroi osseuse fusionne directement avec la corticale dans les zones

antérieures des maxillaires, tandis qu'au niveau postérieur, il y a interposition d'os spongieux.

Les septas interradiculaires, cloisonnant les dents pluriradiculées, et les septas interdentaires, séparant deux alvéoles contiguës, sont constitués d'os spongieux.

La réunion des corticales externe et interne et de la paroi alvéolaire est représentée par la crête alvéolaire.

I.4. Physiologie du tissu osseux

I.4.1. Les remaniements osseux (62)

Les remaniements osseux comportent deux processus : le modelage et le remodelage.

I.4.1.1. Le modelage

Le modelage est l'ensemble des mécanismes qui permettent d'adapter les os aux charges mécaniques auxquelles ils sont soumis durant la croissance. Leur forme est modifiée, déplaçant les surfaces osseuses par rapport à un axe ou une fonction précise. Il s'agit de l'obtention au cours de la période embryonnaire et le maintien pendant la croissance de la morphologie et de l'architecture osseuse génétiquement programmée et adaptée par l'influence de l'environnement.

L'activité de modelage prédomine sur les surfaces périostées. A partir de l'âge adulte, et ensuite au cours de la vie, elle persiste de façon très réduite et assure l'adaptation des surfaces anatomiques, par une activité de formation.

I.4.1.2. Le remodelage

Le remodelage est un cycle continu d'événements qui permet, tout au long de la vie, le remplacement de l'os ancien par de l'os nouveau. Il constitue l'essentiel des phénomènes de remaniements chez l'adulte.

Il se décompose en plusieurs étapes : l'activation, la résorption, l'inversion, la formation et d'une période longue de repos.

L'os est constitué d'unités de remodelage (ou « Bone Remodeling Unit » - BRU) (Frost, 1964). Ces unités sont indépendantes et activées de manière asynchrone.

I.4.1.2.1. La phase d'activation

La phase d'activation d'une unité de remodelage débute sous l'action d'un stimulus local ou d'un signal hormonal. Il se produit alors un recrutement des précurseurs des ostéoclastes qui, une fois sur le site à résorber (correspondant à l'unité activée), vont fusionner et se différencier en ostéoclastes.

I.4.1.2.2. La phase de résorption

La phase de résorption va alors commencer. Les ostéoclastes vont adhérer à la surface osseuse au niveau de la zone claire avec constitution d'une zone de scellement provoquant la polarisation de la cellule et la constitution de la bordure plissée.

L'acidité de la chambre de résorption est maintenue par des pompes à protons et permet ainsi la dissolution de la phase minérale de la MEC, en libérant le Ca^{2+} contenu dans les cristaux d'hydroxyapatite. Ce dernier est internalisé dans la cellule.

Les ostéoclastes libèrent des enzymes protéolytiques, par la fusion des lysosomes avec la membrane plissée, dans la lacune qui vont dégrader la matrice organique.

La résorption s'arrête lorsque la cavité atteint une profondeur de 40 à 100 μm . L'augmentation intracellulaire de Ca^{2+} entraîne le détachement de l'ostéoclaste qui va soit se déplacer sur un autre site de résorption soit mourir par apoptose.

I.4.1.2.3. La phase d'inversion

C'est au stade de l'inversion que le couplage résorption-formation a lieu. Il s'agit du phénomène par lequel les ostéoblastes arrivent au bon endroit, au bon moment et en quantité adéquate.

I.4.1.2.4. La phase de formation

Il s'agit de l'apposition d'une nouvelle matrice et de sa minéralisation qui permettront le remplacement plus ou moins complet de l'os.

Au fond de la lacune, appelée également ligne cémentante, les ostéoblastes s'alignent face à la surface osseuse et synthétisent la matrice collagénique ou tissu ostéoïde.

Au niveau du front de minéralisation, c'est-à-dire à la jonction du tissu ostéoïde et du tissu minéralisé, les cristaux d'hydroxyapatite se déposent sur les fibres de collagène. La libération de phosphatase alcaline par les ostéoblastes initie la minéralisation du tissu ostéoïde.

Une fois la minéralisation terminée, les ostéoblastes ont trois devenir : soit ils disparaissent, soit ils deviennent des cellules bordantes, soit des ostéocytes.

I.4.2. La cicatrisation osseuse (64, 79)

La cicatrisation correspond à la guérison d'une plaie. La particularité du tissu osseux réside en la faculté de former un os normal régénéré lors de la cicatrisation, là où les autres tissus forment un tissu cicatriciel. Le phénomène de réparation consiste à restaurer le tissu sans reproduire obligatoirement sa structure et sa fonction initiales, formant ainsi un tissu cicatriciel, tandis que la régénération est un phénomène aboutissant à la formation d'un tissu absolument identique à celui d'origine, formant alors un tissu néoformé. La cicatrisation osseuse peut correspondre soit à une réparation soit à une régénération en fonction de la taille de la lésion.

Cette cicatrisation peut être inhibée par l'absence de prolifération vasculaire dans la plaie, l'instabilité du coagulum et du tissu de granulation dans le défaut, l'invasion du site lésé par des cellules non ostéogéniques et la contamination bactérienne du site.

Malgré la capacité de l'os à se réparer, à se régénérer, le volume osseux initial ne sera pas retrouvé en cas de perte osseuse importante, d'où l'importance du maintien des parois osseuses lors d'une extraction.

I.4.2.1. Le déroulement de la cicatrisation

Différentes cicatrisations osseuses sont possibles selon la situation : la cicatrisation d'une plaie osseuse, la cicatrisation d'une alvéole d'extraction et la cicatrisation de l'os greffé.

I.4.2.1.1. La cicatrisation d'une plaie osseuse

Elle a lieu suite à un traumatisme et fait intervenir de multiples cellules locales pour restaurer la forme et la fonction de l'os à travers le déroulement de phénomènes

embryologiques. La formation osseuse au niveau du site nécessite la migration sur le site et la prolifération de cellules souches mésenchymateuses en cellules ostéoprogénitrices déterminées (ou pré ostéoblastes). Sous l'influence de facteurs de croissance tels que les protéines osseuses morphogénétiques (BMP), l'insulin like growth factor (IGF), le platelet derived growth factor (PDGF) et le fibroblast growth factor (FGF), les pré ostéoblastes se différencient et prolifèrent en ostéoblastes. Les ostéoblastes peuvent également provenir des péricytes sous l'influence des BMP.

I.4.2.1.2. La cicatrisation osseuse d'une alvéole d'extraction

Le déroulement de la cicatrisation osseuse lors de la fermeture d'une alvéole après extraction dentaire a été mis en évidence par l'étude d'Amler en 1969. La régénération complète d'une alvéole d'extraction est sous l'influence de différents facteurs comme la taille du défaut, la technique chirurgicale, etc.

D'après Lang et coll. (2003), la cicatrisation osseuse d'une alvéole d'extraction se déroule selon 4 phases :

- la formation du caillot sanguin
- la détersion de la plaie
- la formation tissulaire
- le modelage et remodelage tissulaire

Chronologiquement, la cicatrisation de l'alvéole d'extraction comprend différents phénomènes physiologiques :

- dans les 24h suivant l'extraction, l'alvéole se remplit de sang et le caillot sanguin se forme. Les plaquettes présentes sécrètent alors des facteurs de croissance tels que PDGF, TGF- β 1, VEGF et IGF1. Les vaisseaux se ferment et un réseau de fibrine se forme.

- dans les 48h – 72h, des cellules inflammatoires migrent dans le caillot le long du réseau de fibrine ainsi que des cytokines et des fibroblastes. Le caillot se resserre et est remplacé progressivement par la formation d'un tissu de granulation formé de vaisseaux et de fibres de collagène.

- à 3 jours, une augmentation de la densité des fibroblastes et le début de la prolifération épithéliale au niveau des berges de la plaie sont visibles. Le tiers apical de l'alvéole est composé d'un tissu de granulation jeune. Le remodelage de l'alvéole débute avec la présence d'ostéoclastes induisant une résorption osseuse.

- à 7 jours, l'alvéole est formée par un tissu de granulation composé par un réseau vasculaire, un tissu conjonctif jeune, la formation d'un tissu ostéoïde dans la portion apicale et la couverture épithéliale de la plaie.

- à 21 jours, le tissu de granulation est remplacé progressivement par un tissu conjonctif provisoire, le tissu épithélial de recouvrement est complètement cicatrisé et un tissu osseux trabéculaire apparaît sur les parois de l'alvéole.

- à 2 mois, la formation osseuse est terminée, mais la hauteur initiale de l'alvéole n'est pas encore atteinte et le tissu osseux trabéculaire est toujours remodelé.

Les étapes de la cicatrisation alvéolaire suite à une extraction sont illustrées ci-dessous :

Extraction dentaire	48-72 h après extraction	96 h après extraction	7 J après extraction	21 jours après extraction	6 semaines après extraction
Hémorragie Saignement Caillot sanguin	Caillot sanguin Début de la formation du tissu de granulation	Résidus du caillot sanguin Tissu de granulation Prolifération épithéliale	Tissu conjonctif jeune Formation d'un tissu ostéoïde primaire Prolifération épithéliale	Tissu conjonctif Début de minéralisation du tissu ostéoïde Réépithélialisation	Tissu conjonctif Tissu osseux primaire, trabéculaire Réépithélialisation
					
Après extraction, réparation par comblement de l'alvéole par du tissu ostéoïde, puis par du tissu osseux			Après extraction, résorption de la crête osseuse, liée à la cicatrisation et à l'absence de fonction		

Tableau 1 : Chronologie de la cicatrisation d'une alvéole post extractionnelle
(d'après Lang 2003)

I.4.2.1.3. La cicatrisation de l'os greffé

La cicatrisation de l'os greffé se met en place après l'incorporation d'un greffon osseux autogène qui est à la fois ostéoinducteur, ostéoconducteur et ostéogénique. La particularité de l'os greffé par rapport aux autres matériaux de greffe est de subir un remodelage constant à l'origine

d'une substitution spontanée de l'os greffé par l'os receveur. Elle a été qualifiée de substitution rampante par Phémister en 1914, d'après Monnet-Corti et coll. (2006).

L'incorporation de l'os greffé se fait selon un schéma bien défini :

- une phase inflammatoire
- une revascularisation
- une ostéogénèse
- une substitution rampante
- une phase de remodelage osseux

La phase inflammatoire, qui se déroule dans les premières 48h, correspond à une vasodilatation des vaisseaux, une augmentation du réseau capillaire, un exsudat plasmatique et l'apparition de leucocytes, d'histiocytes et de mastocytes. Ces cellules vont permettre la résorption de l'hématome. Tout cet ensemble forme un tissu nécrotique. Puis une vasoconstriction permet l'hémostase des vaisseaux lésés et entraîne une hypovascularisation du site. La prolifération cellulaire est tout d'abord périphérique, au niveau du périoste et des tissus mous adjacents, puis concerne toute l'alvéole.

Une revascularisation est nécessaire à l'incorporation de la greffe. Elle se déroule en deux étapes :

- une première étape de revascularisation proprement dite, rétablissant rapidement le flux sanguin dans le greffon
- une deuxième étape dite de recirculation, développant des anastomoses entre les vaisseaux du greffon et ceux du site receveur.

Elle assure la pénétration des cellules mésenchymateuses dans le greffon et est plus au moins aisée selon la nature du greffon (os cortical ou spongieux). Pour de l'os spongieux, la revascularisation débute au bout de 48h, progresse de 0,3mm/j et est complète au bout de 2 semaines, tandis que pour de l'os cortical la colonisation de la greffe se fait en 6 jours et se termine au bout de 1 à 2 mois avec une progression journalière lente de 0,15 mm. Dans le cas d'une greffe cortico-spongieuse, la revascularisation prendra 6 à 10 jours. Pour permettre la néovascularisation, le greffon doit être maintenu fixement pour éviter toutes forces de cisaillement.

La troisième phase ou ostéogénèse correspond à une régénération osseuse primaire. Elle est induite par l'action de facteurs de croissance issus du greffon sur les ostéoblastes et les ostéocytes de la matrice minérale et sur les cellules souches mésenchymateuses de la surface et du stroma des lamelles osseuses. Lors de la deuxième semaine apparaît un tissu de granulation, une augmentation capillaire et une vasodilatation.

Quant à la substitution rampante, elle se déroule à partir du 28^{ème} jour et se produit durant 6 mois selon le type d'os, le tissu osseux spongieux ayant une incorporation plus complète et plus rapide que l'os cortical. Elle correspond à l'ostéogénèse de proche en proche due aux ostéoblastes apportés par la néovascularisation. Le tissu formé est un tissu osseux primaire ou fibrillaire, encore appelé *woven bone*. La vascularisation redevient normale au bout de quelques mois.

Cette incorporation se termine par une phase de remodelage osseux qui dure entre 3 et 5 ans. Durant cette période l'os fibrillaire se transforme en os lamellaire appelé aussi tissu osseux secondaire ou os cortical haversien. Cette phase, similaire au processus de remodelage de l'os normal, est liée à l'apparition de contraintes mécaniques.

I.4.2.2. Origine des cellules ostéogéniques (100)

L'ostéogénèse nécessite la présence de cellules ostéogéniques. Ces dernières ont plusieurs origines :

- le périoste : cette couche fibrocellulaire recouvrant la corticale des os comprend dans sa partie interne plusieurs couches de préostéoblastes pouvant migrer et se différencier en ostéoblastes.
- les péricytes : cellules situées dans la membrane basale des vaisseaux à partir desquelles se développent des lignées ostéoblastiques.
- l'endoste : interface interne de l'os contenant des cellules ostéogéniques
- la moelle osseuse : issue des trabécules osseux perforés lors d'un acte chirurgical ou d'un traumatisme, elle est riche en cellules ostéoformatrices.

Le recrutement, la migration et la différenciation de ces cellules se font sous le contrôle de facteurs de croissance.

I.4.3. L'influence des facteurs de croissance dans le remaniement osseux (63, 78, 97, 101)

I.4.3.1. Les facteurs de croissance

Les facteurs de croissances sont des polypeptides naturels (de poids moléculaires variant de 5 à 30 kDa) qui agissent sur les cellules en influant sur la différenciation, la prolifération, la migration et la synthèse. Leur action peut être systémique avec un mode de diffusion endocrine (via la circulation sanguine) ou locale avec un mode de diffusion soit autocrine

(liaison aux récepteurs de la cellule qui les sécrète), soit paracrine (liaison aux récepteurs des cellules à proximité) (figure 1).

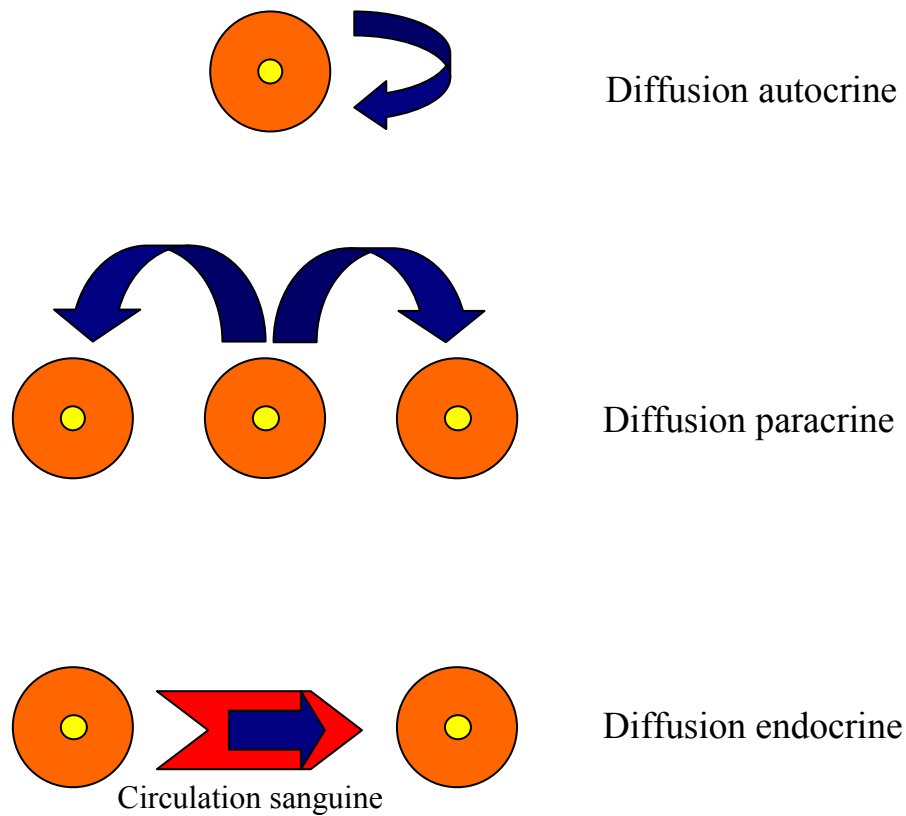


Figure 1 : Différents modes de diffusion des facteurs de croissance.

Les facteurs de croissance agissent en se fixant sur des récepteurs membranaires spécifiques des cellules cibles, et entraînent une cascade de réactions intra membranaires qui aboutit à l'activation du noyau de la cellule (figure 2).

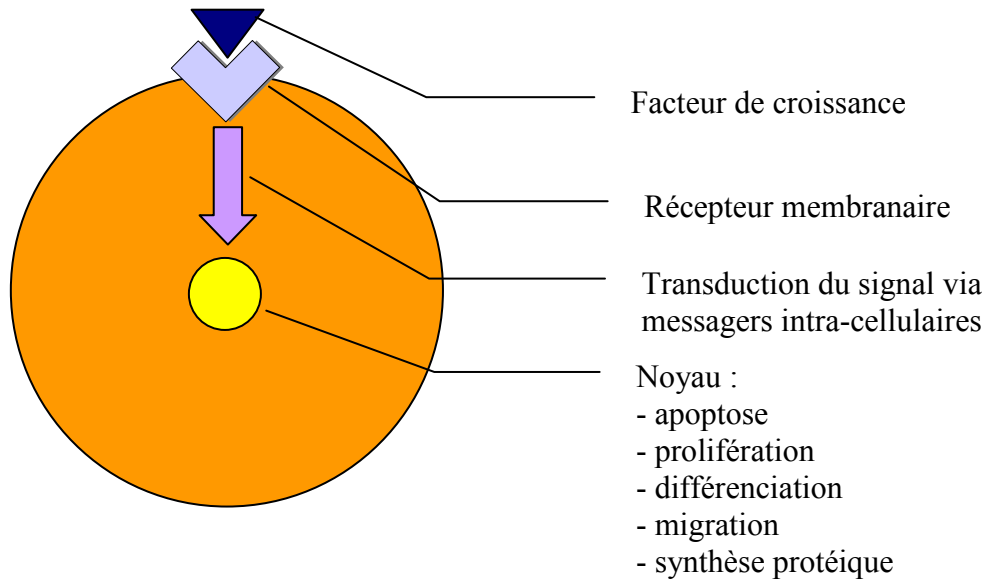


Figure 2 : Mode d'action des facteurs de croissance.

Le rôle des facteurs de croissance dans la cicatrisation osseuse est fondamental.

I.4.3.2. Les mécanismes d'action des facteurs de croissance sur le tissu osseux

I.4.3.2.1. Le Platelet Derived Growth Factor (PDGF)

Le PDGF est une glycoprotéine de poids moléculaire de 30 kDa, présent sous 3 isoformes : le PDGF-AA, le PDGF-BB et le PDGF-AB.

Le PDGF sécrété par les plaquettes sanguines agit dès le début de la cicatrisation osseuse, au stade de l'hémostase. Il assure le chimiotactisme et la prolifération des fibroblastes, la synthèse du collagène et des protéines non collagéniques. Il permet également la néovascularisation en agissant sur les cellules endothéliales et initie la différenciation des cellules souches mésenchymateuses en cellules ostéoprogénitrices développant ainsi la lignée ostéoblastique. Il potentialise aussi l'action d'autres facteurs de croissance tels que IGF-1.

I.4.3.2.2. Le Transforming Growth Factor (TGF)

Le TGF est une glycoprotéine de poids moléculaire variant de 25 à 30 kDa. La famille des TGF comprend plus de 30 protéines dont les BMP, le TGF- α et le TGF- β .

Le TGF- α rentre en compétition avec l'EGF du fait de leur structure qui présente 42% d'homologie. Il stimule les cellules endothéliales et les cellules épithéliales.

Le TGF- β est principalement présent dans les plaquettes et le tissu osseux. Présent sous forme latente dans la matrice osseuse, il se retrouve activé dans des conditions acides lors de la résorption osseuse et de l'inflammation. Il est à la fois stimulant et inhibiteur sur la prolifération des ostéoblastes, il favorise la formation de collagène et l'angiogénèse et augmente la formation de matrice osseuse.

I.4.3.2.3. Les Bone morphogenetic proteins (BMP)

Les BMP sont des homodimères de 15 à 18 kDa et font partie de la famille des TGF. Elles sont présentes dans la matrice osseuse et sont produites par différentes cellules dont les ostéoblastes. Elles sont connues pour leurs propriétés ostéoinductrices. Elles stimulent la différenciation et la prolifération des cellules souches mésenchymateuses en chondroblastes et en ostéoblastes durant les premières phases de la cicatrisation. Elles expriment au maximum leur potentiel ostéoinducteur en étant immobilisées au niveau du site. Elles ont donc besoin d'une matrice telle la matrice collagénique, la matrice osseuse déminéralisée ou des matrices synthétiques à base de polysaccharides. Elles ont également des effets chimiotactiques sur les ostéoblastes et les cellules ostéoprogénitrices.

I.4.3.2.4. L'Insulin-like Growth Factor (IGF)

L'IGF est un polypeptide de 7,6 kDa de poids moléculaires et se présente sous 2 isoformes : IGF-1 et IGF-2.

L'IGF est un facteur de progression qui permet de compléter le cycle cellulaire. Il stimule la prolifération des ostéoblastes et des cellules périostées, la production de collagène et régule le métabolisme des protéoglycanes, augmentant ainsi la formation osseuse. Il a été démontré in vitro que les IGF-1 interviendraient sur la différenciation en augmentant l'expression des sialoprotéines osseuses et des ostéopontines.

I.4.3.2.5. L'Epidermal Growth Factor (EGF)

L'EGF est un polypeptide de 6kDa de poids moléculaire. Il partage le même récepteur que le TGF α et est synthétisé par les glandes salivaires sous maxillaires, les plaquettes et les macrophages.

Son action mitotique favorise la différenciation terminale des préostéoblastes en ostéoblastes au niveau du site cicatriciel. Il stimule aussi la croissance des cellules épithéliales, endothéliales et mésenchymateuses.

I.4.3.2.6. Le Fibroblast Growth Factor (FGF)

Le FGF est un polypeptide de 15 à 18 kDa de poids moléculaires et se présente sous deux formes : une forme acide, aFGF et une forme basique, bFGF. La forme basique présente une activité plus importante que la forme acide. Il est synthétisé par les macrophages, les cellules endothéliales et les cellules osseuses.

Il a une action mitotique sur de nombreuses cellules dont les fibroblastes, les chondrocytes, les préostéoblastes et les cellules endothéliales. Ainsi, il favorise l'angiogénèse et la cicatrisation.

I.4.3.2.7. L'endothelial cell growth factor (ECGF)

L'ECGF est une glycoprotéine de 45 kDa de poids moléculaire, sous la forme d'une chaîne unique de polypeptide. Il est stocké dans les granules α des plaquettes sanguines et n'intervient qu'au cours de la réparation osseuse.

Il agit sur les cellules endothéliales en stimulant leur croissance : c'est un facteur essentiel de l'angiogénèse.

I.4.3.2.8. Tableau récapitulatif

	Cellules cibles	Cellules les synthétisant	Actions
PDGF	Ostéoblastes Cellules desmodontales Cellules endothéliales, Cellules mésenchymateuses Fibroblastes	Plaquettes sanguines (granules α) Monocytes Macrophages Fibroblastes Cellules endothéliales	Synthèse d'ADN Synthèse des collagènes osseux Néovascularisation Chimiotaxisme
TGF β	Ostéoblastes Fibroblastes Cellules desmodontales Monocytes	Ostéoblastes Plaquettes sanguines Macrophages	Synthèse collagénique Angiogenèse Antiprolifératif sur les cellules épithéliales Stimule ou inhibe la prolifération d'ostéoblastes
BMP	Cellules mésenchymateuses immatures	Ostéoblastes	Différenciation des cellules souches mésenchymateuses en chondroblastes et en ostéoblastes Chimiotaxie sur les ostéoblastes
IGF	Ostéoblastes Fibroblastes Monocytes Cellules endothéliales Cellules desmodontales	Ostéoblastes Plaquettes sanguines	Synthèse de collagène osseux Prolifération des cellules périostées Régule métabolisme des protéoglycanes Prolifération des ostéoblastes
EGF	Cellules mésenchymateuses Cellules endothéliales Fibroblastes Cellules épithéliales	Plaquettes sanguines Macrophages	Action mitotique sur les préostéoblastes Inhibe synthèse collagène Angiogenèse

FGF	Ostéoblastes Fibroblastes Cellules mésenchymateuses Chondrocytes	Macrophages Cellules endothéliales Cellules osseuses	Mitogène sur les préostéoblastes Active synthèse collagène Action angiogénique
ECGF	Cellules endothéliales	Plaquettes sanguines	Angiogénèse

II. Les défauts osseux

II.1. Les défauts osseux préimplantaires (16)

II.1.1. Etiologies

Les défauts osseux des crêtes édentées peuvent avoir plusieurs origines :

- congénitale,
- traumatique : suite à une fracture
- infectieuse : parodontale, endodontique ou échec implantaire
- chirurgicale : exérèse d'un kyste, avulsion dentaire (plus ou moins invasive)

Après une avulsion dentaire, un remodelage alvéolaire se produit comprenant à la fois une résorption de l'os alvéolaire et une apposition osseuse dans l'alvéole vide. Cette résorption est 10 fois plus importante la première année que les années suivantes et est 4 fois plus importante à la mandibule qu'au maxillaire. (Atwood, 1963)

Lors de l'extraction d'un organe dentaire, il est important d'effectuer un acte le plus atraumatique possible, de préserver les crêtes osseuses (surtout en vestibulaire) et de réaliser si besoin le comblement de la crête après l'avulsion à l'aide d'une membrane et/ou d'une greffe osseuse autogène. Le but est de prévenir la perte osseuse et de limiter les besoins de reconstruction ultérieure du volume perdu.

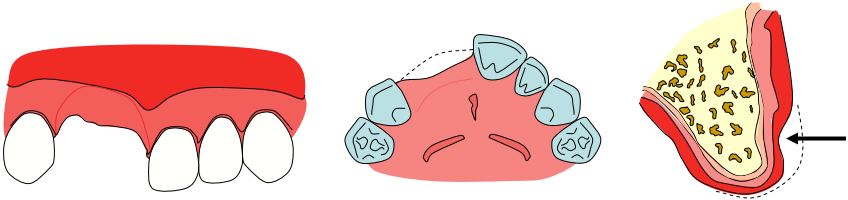
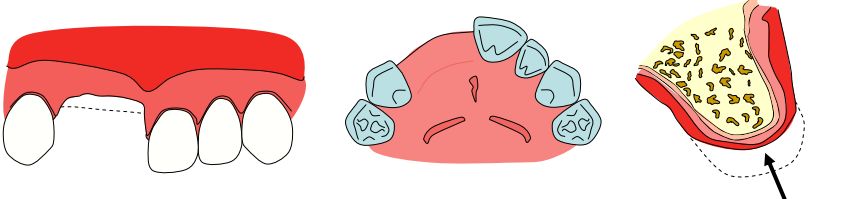
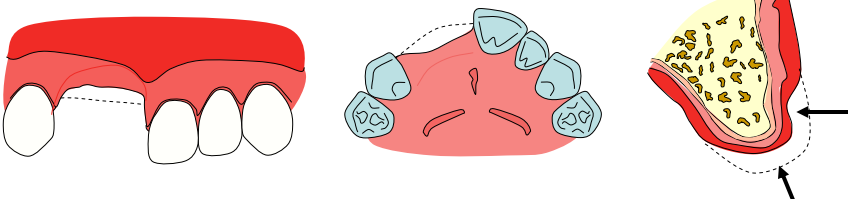
Le maxillaire subit une résorption centripète (verticale et vestibulaire) alors qu'à la mandibule la résorption est centrifuge (verticale et linguale). Les rapports inter arcades sont donc modifiés.

II.1.2. Classifications

Plusieurs classifications sont proposées pour déterminer la perte osseuse.

Trois classifications principales ont été proposées :

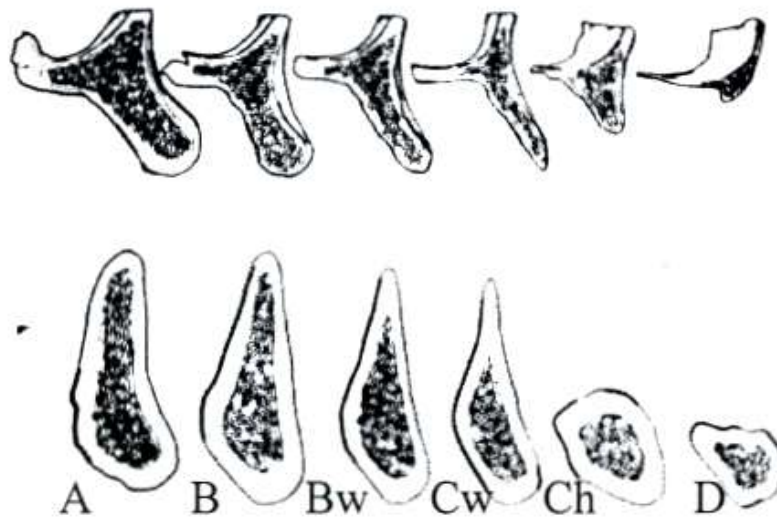
- la classification de la résorption osseuse de Seibert (1983) qui comprend :
 - trois classes principales :
 - type I perte horizontale (perte vestibulolingale)
 - type II perte verticale (perte apico-coronaire)
 - type III association des deux

Classe I : Perte de substance vestibulolinguale et hauteur de crête normale (perte dans le sens horizontal)	
Classe II : Perte de substance dans le sens apico-coronaire et largeur de crête normale	
Classe III : Perte à la fois horizontale et verticale	
<u>Figure 3 : Classification de Seibert (1983)</u>	

- la classification de Allen et coll. de 1985 reprend la classification de Seibert en ajoutant l'évaluation de la profondeur du défaut :

- trois classes principales : type A : perte verticale
type B : perte horizontale
type C : association des deux
- trois sous classes : légère : < 3 mm
modérée : entre 3 et 6 mm
sévère : > 3 mm

- la classification de Misch et Judy (1986) à visée thérapeutique, compte 6 catégories.



Cette classification illustre l'évolution morphologique et de la composition osseuse des crêtes édentées au cours du temps.

Le but de ces classifications est d'obtenir un pronostic du comblement de crête. Studer et coll. ont repris la classification de Seibert en tenant compte de la sévérité du défaut et de l'étendue de l'édentement afin d'évaluer le pronostic de succès d'une thérapeutique de comblement de crête.

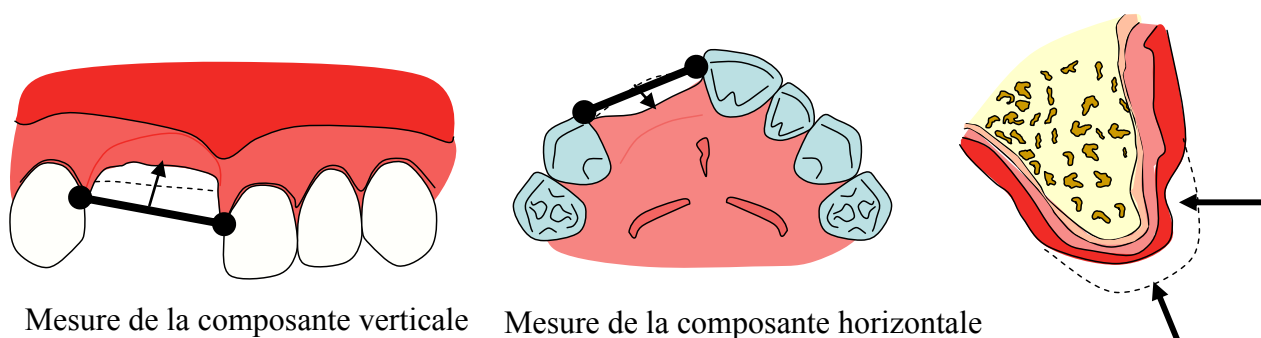


Figure 4 : Mesure de la sévérité du défaut

La sévérité du défaut (figure 4) est définie, pour la composante horizontale, par la distance entre le point le plus déclive de la perte de substance et une ligne reliant les points de jonction de la crête et de la dent bordant l'édentement. Pour la composante verticale, elle est définie par la distance entre le point le plus déclive du défaut et une tangente au sommet des papilles des dents adjacentes.

	Localisation			Dimension horizontale			Dimension verticale			Etendue			
	I	II	III	faible	modérée	sévère	faible	modérée	sévère	1 dent	2 dents	3 dents	4 dents
Pronostic	+	+/-	-	++	+	+/-	+	+/-	-	++	+	+/-	-

Faible : < 3 mm Modérée : 3-6 mm Sévère : > 6 mm
 ++ : très bon + : bon +/- : moyen - : discutable

Tableau 2 : Pronostic de succès thérapeutique

II.2. Les défauts osseux per et postimplantaires (10, 11, 110)

II.2.1. Etiologies

Les défauts osseux mis en évidence lors de la mise en place des implants sont dus soit à une implantation suite à une extraction soit à la présence de crêtes osseuses fines. En peropératoire une effraction osseuse peut apparaître sous la forme d'une déhiscence ou d'une fenestration. Les déhiscences sont des pertes osseuses partant de la crête et se dirigeant vers l'apex, tandis que les fenestrations sont des pertes situées dans la paroi osseuse, et laissant la crête intacte. En fonction du type, de la taille et de la localisation de la perte osseuse, l'attitude thérapeutique variera de la dépose de l'implant, suivi ou non par la mise en place immédiate d'une technique de régénération, au maintien de l'implant, associé ou non, à une technique de régénération immédiate ou différée.

En post-opératoire, sont considérées comme défauts osseux, les pertes osseuses supérieure à 3 mm (au-delà de la première spire). Ces défauts osseux résultent d'une perte d'ostéointégration liée à un facteur occlusal ou à un facteur bactérien, parfois associés. Le facteur occlusal correspond à une mise en charge occlusale anormale de l'implant provoquant un traumatisme occlusal. Ce traumatisme occlusal se manifeste radiologiquement par une résorption osseuse péri-implantaire horizontale avec un os marginal et une lamina dura bien minéralisés. L'observation clinique relève une absence d'inflammation locale et de poche. Le facteur bactérien est une infection qui aboutit à la maladie péri-implantaire. Cette maladie se présente au début sous la forme d'une mucosite qui peut évoluer par le temps en une forme plus avancée ou péri-implantite. La mucosite est une infection réversible des tissus mous péri-implantaires sans participation osseuse, à l'image de la gingivite au niveau d'une dent. Lorsque le contrôle de plaque n'est pas amélioré, elle peut évoluer en péri-implantite, qui, à l'instar d'une parodontite au niveau d'une dent, a, en plus d'une atteinte des tissus mous péri-implantaires, une participation osseuse suivant différents degrés de résorption. Elle est non réversible spontanément et nécessite un traitement. Cliniquement, elles se manifestent toutes les deux par des signes inflammatoires (œdème, des saignements spontanés ou provoqués, suintement purulent) et une poche supérieure à 3 mm au niveau du sillon péri-implantaire. Le diagnostic différentiel de la péri-implantite avec la mucosite est réalisé radiologiquement par la présence d'une radioclarité périphérique évoquant une résorption osseuse. Cette résorption est en forme de bol avec une absence d'os marginal.

II.2.2. Classification (110)

La classification des défauts osseux péri-implantaires est à visée thérapeutique, en permettant d'évaluer la quantité d'os à régénérer et de décider de la technique régénératrice la plus adaptée en fonction du type de défaut rencontré. Elle est utilisable aussi bien en perimplantaire qu'en postimplantaire. Il est également possible de quantifier l'étendue du défaut avec une sonde parodontale par des mesures effectuées autour de l'implant.

Les défauts osseux sont classés en fonction du nombre de parois osseuses présentes. Ils sont tout d'abord divisés en deux groupes : les défauts fermés et les défauts ouverts.

Les défauts fermés présentent des parois osseuses périphériques préservées. Ils présentent au moins 3 parois osseuses résiduelles. Leur morphologie en forme de bol ou de cratère est favorable à la régénération car elle assure la stabilité du caillot sanguin, le maintien des particules d'os greffé, évite les mouvements des tissus mous sus-jacents et l'effondrement de la membrane dans le défaut. Ce type de défaut permet d'avoir une régénération dont les résultats sont prévisibles, quelque soient leurs caractères morphologiques.

Quant aux défauts osseux ouverts, ils ont une ou plusieurs parois osseuses manquantes. Ils présentent donc moins de 3 parois osseuses résiduelles. Ils sont divisés en plusieurs sous-groupes selon l'étendue du contact os-implant sur les quatre faces du col implantaire. Six sous-groupes ont été décrits (figure 5) :

- ONs, défaut supra osseux avec aucun contact os-implant au niveau du col implantaire
- ON, défaut intra osseux avec aucun contact os-implant au niveau du col implantaire
- O1, un contact os-implant au niveau du col implantaire
- O2, deux contacts os-implant au niveau du col implantaire
- O3i, défaut intra osseux avec trois contacts os-implant au niveau du col implantaire (déhiscence interne à l'enveloppe)
- O3e, défaut extra osseux avec trois contacts os-implant au niveau du col implantaire (déhiscence extérieure à l'enveloppe).



Défaut ONs



Défaut ON



Défaut O1



Défaut O2



Défaut O3i

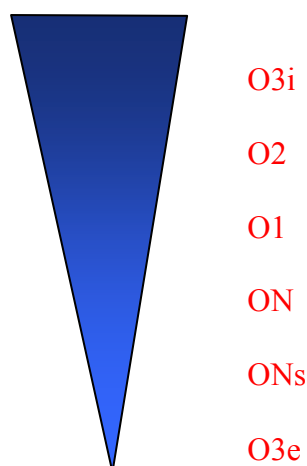


Défaut O3e

Figure 5 : Défauts osseux péri-implantaires
(d'après Van Den Bogaerde, 2004)

Les défauts ouverts sont plus difficiles à régénérer du fait de leur anatomie. L'absence d'une ou de plusieurs parois ne permet pas de maintenir un caillot sanguin stable, de maintenir des particules d'os greffé et une bonne tenue de la membrane. Toutefois, selon les sous groupes concernés, les résultats sont plus ou moins favorables. Les défauts supra osseux (ONs), par l'absence de parois osseuses périphériques, sont les plus complexes à traiter et ont les résultats les moins prédictifs. Par contre, les défauts intra osseux, par la présence de une ou plusieurs parois résiduelles, présentent des résultats plus prédictifs après régénération osseuse. Le pronostic est meilleur et la prédictibilité augmente avec le nombre de paroi : le taux de régénération croît du sous groupe ON au sous groupe O3i. Les sous groupe O3i et O3e correspondent aux déhiscences. Les O3e présentent le pronostic le plus défavorable de part l'émergence de l'implant du contour osseux.

Figure 6 : Prédictibilité de la régénération selon le défaut



III. Implantologie (36)

III.1. Généralités

III.1.1. Définition

L'implantologie est une thérapeutique qui, par l'utilisation de fixtures endo-osseuses buccodentaires disposées chirurgicalement a pour but de suppléer à une insuffisance fonctionnelle ou esthétique. Elles se présentent comme une alternative aux options

thérapeutiques prothétiques (amovibles ou fixées). Elles permettent dans la plupart des cas d'apporter une restauration fonctionnelle et esthétique plus adéquate aux exigences du praticien et du patient.

Ainsi, lors de la réalisation d'un traitement implantaire, la fixture endosseuse, aussi appelée implant, sera placée dans l'os alvéolaire en remplacement d'une dent absente. Il pourra alors servir de support à une reconstruction prothétique implantoportée ou implantosupportée.

Cet implant est constitué généralement par une vis en titane. Le choix du titane correspond aux exigences attendues : il est biocompatible, non résorbable, bio inerte et présente des qualités mécaniques suffisantes.

La forme (cylindrique ou cylindro-conique) et la surface (lisse ou rugueuse) de l'implant peuvent varier influençant ainsi les propriétés mécaniques et l'ostéointégration.

Il existe également des implants dits impactés, cylindriques, qui ne sont plus utilisés actuellement.

III.1.2. Origine

Les premières traces d'implantation remontent à la période antique (avant Jésus Christ à 1000 après Jésus Christ) dans les sociétés précolombiennes et égyptiennes. Ces populations utilisaient des dents d'animaux et des dents en ivoires pour remplacer les dents manquantes.

Ensuite durant la période médiévale (1000 à 1800) des cas de transplantations de dents humaines d'un individu à un autre ont été découverts.

De 1800 à 1910 différents matériaux comme le bois, l'or, la porcelaine et l'argent ont été utilisés en endosseux, comme remplacement dentaire. En 1888, Berry est le premier à parler de biocompatibilité, de stabilité immédiate et de matériaux évitant toute contamination.

Durant la période prémoderne de 1910 à 1930, Payne utilise un implant en or en forme de panier et pose immédiatement une couronne tenon en porcelaine. Greenfield, à la même époque, préconise une mise en charge différée de l'implant (6 à 8 semaines) et met en place le premier protocole implantaire, vers 1910, en insistant sur l'importance d'un contact étroit os/implant.

Ensuite, durant la période moderne de 1930 à 1978, la porcelaine, le vitallium puis le titane ont commencé à être utilisés. Adams et Alvin et Strock utilisent les premiers implants endo-osseux en forme de vis. Strock s'intéressera ensuite à des implants endodontiques en

1940. Vers 1941, les premiers implants sous-périostés font leur apparition en Suède. Ils sont mis en place en façonnant et en adaptant une forme standard, et ce n'est que dix ans plus tard que seront réalisées les premières empreintes osseuses par Lew pour assurer une meilleure stabilité. Dans les années 1940, réapparaissent des implants endo-osseux de formes variées comme l'implant hélicoïdal en spirale, l'implant en double hélice spirale, l'implant aiguille et l'implant lame. Au cours des années 50, 60 et 70, de nombreux essais seront réalisés qui aboutiront à des échecs à court et moyen terme. A cette époque une interface fibreuse péri-implantaire était souhaitée, pensant ainsi obtenir un nouveau ligament parodontal autour de l'implant, et l'ankylose était considérée comme un échec.

Au début des années 70, Brånemark et coll. publièrent les résultats des études scientifiques commencées en 1950. Ces recherches concernaient l'intégration tissulaire des matériaux. Elles prirent en compte différents matériaux, leur état de surface, le traumatisme chirurgical, l'influence de la température, des hormones et de l'âge. Un premier protocole a été mis en place chez l'animal, puis en 1965, un premier patient a été traité selon les principes de l'ostéointégration. Brånemark a introduit le concept d'ostéointégration avec des implants en titane au début des années 80.

III.1.3. Objectifs

Les implants représentent une alternative à la prothèse conventionnelle pour le remplacement des dents absentes. Ils permettent soit de remplacer une à plusieurs dents absentes soit de stabiliser une prothèse amovible partielle ou complète. Les objectifs comprennent une intégration sur 3 points :

- fonctionnelle : le but est de rétablir une stabilité occlusale, des rapports occlusaux harmonieux et une dimension verticale adéquate,
 - biologique : elle comprend l'ostéointégration de l'implant au niveau osseux et son assimilation parodontale et elle assure la pérennité de l'implant dans le temps.
 - esthétique : c'est souvent une demande majeure des patients. Par là sont sous entendus une harmonisation de la morphologie et un respect de la ligne du sourire et des papilles.
- Un bénéfice à long terme est attendu de cette option thérapeutique.

III.2. Les indications et contre indications à l'implantologie (10, 36)

III.2.1. Les indications

Les indications de la pose d'un ou plusieurs implants dentaires sont :

- le manque de rétention d'une prothèse adjointe
- l'instabilité d'une prothèse adjointe
- l'inconfort fonctionnel avec les prothèses adjointes
- le refus psychologique de port d'une prothèse adjointe
- la localisation et nombre inadéquats de piliers résiduels
- l'absence de piliers dentaires pour réaliser une prothèse fixée
- l'édentement unitaire avec des dents adjacentes saines
- l'agénésie dentaire
- la demande d'une thérapeutique conservatrice

III.2.2. Les contre indications

III.2.2.1. Contres indications générales absolues

Les contre indications générales absolues concernent :

- les cardiopathies à risque et à haut risque d'endocardite infectieuse
- les infarctus récents
- les insuffisances cardiaques sévères
- les déficits immunitaires congénitaux et acquis (SIDA)
- les traitements immunosuppresseurs ou corticoïdes au long cours
- les transplantations d'organes
- les cancers en évolution
- les affections du métabolisme osseux : ostéomalacie, maladie de Paget, ostéogénèse imparfaite
- l'âge : croissance des maxillaires terminée chez l'adolescent

III.2.2.2. Contres indications générales relatives

Ensuite viennent les contre indications générales relatives :

- le diabète non équilibré
- la grossesse
- l'insuffisance coronarienne, angor
- le traitement anticoagulant
- les maladies auto immunes (sclérodermie, lupus...)
- la séroposativité
- le tabagisme important
- les maladies psychiatriques ou les troubles psychologiques
- les toxicomanes et les alcooliques
- l'irradiation cervico-faciale.

III.2.2.3. Contres indications locales

Pour finir, les contre indications locales à la mise d'implants, nécessitant un traitement préalable, sont :

- les dermatoses buccales : candidoses, lichens plans, eczéma...
- les maladies parodontales
- l'occlusion défavorable, le bruxisme
- les volumes osseux limites et la proximité d'éléments anatomiques nobles
- des lésions osseuses proches : granulome, kyste, lésion endodontique...
- l'hygiène bucco-dentaire défavorable ou contrôle de plaque défectueux.

III.3. Ostéointégration (3, 15, 36)

III.3.1. Définition

La notion d'ostéointégration est apparue en 1969 avec Brånemark et coll. Elle correspond à un contact direct entre l'os haversien vivant et l'implant. L'ostéointégration est « une jonction anatomique et fonctionnelle direct entre l'os vivant remanié et la surface de l'implant mis en charge ».

Ce concept donne de bons résultats à 15 ans avec 91% de réussite à la mandibule et 82% au maxillaire selon l'étude de Adell et coll. (1981). Il est important de noter que ces résultats sont obtenus dès la première année. Actuellement avec l'évolution des implants, le taux de succès implantaire peut atteindre 97%.

La qualité de l'ostéointégration dépend du pourcentage de contact direct os/implant

III.3.2. Les critères de succès de l'ostéointégration

Les critères de succès de l'ostéointégration établis par Albrektsson et coll. en 1986 sont :

- cliniques : - immobilité
 - son clair à la percussion
 - absence de syndrome infectieux douloureux
 - absence de paresthésies permanentes
- radiologiques : - absence d'un espace radioclaire péri-implantaire
 - perte osseuse inférieure à 0,2 mm par an après la première année

De plus des taux de succès de 85% au bout de 5 ans et de 80% au bout de 10 ans sont des critères minima de succès.

III.3.3. Les facteurs de réussite

Selon Brånemark, la capacité d'ostéointégration d'un implant dépend de six facteurs qui se divisent en deux catégories : trois dépendent de l'implant et trois de l'opérateur.

III.3.3.1. Les facteurs dépendant de l'implant

Ces facteurs, au nombre de trois, comprennent la biocompatibilité du matériau, le dessin et l'état de surface de l'implant.

III.3.3.1.1. La biocompatibilité du matériau

La biocompatibilité du matériau est inévitable pour la pérennité de l'implant. Le matériau de choix à l'heure actuelle est le titane « commercialement pur » (moins de 0,25% d'impuretés), de par ses propriétés et du recul clinique (il fut utilisé par Brånemark). En effet, d'après Bert et Missika, de nombreuses études ont montré qu'aucune toxicité, aucune

action cancérogène, aucune action allergique au titane n'ont été relevées. Les cellules sont parfaitement viables au contact des implants. Ces derniers sont recouverts par une fine couche d'oxyde de titane qui leur procure la meilleure résistance à la corrosion de tous les métaux et permet l'ostéointégration.

III.3.3.1.2. Le dessin de l'implant

Les formes d'implants les plus utilisées actuellement sont les implants vis et les cylindres de part l'existence d'une instrumentation calibrée pour leur mise en place. Une étude comparative entre ces deux types d'implants fut réalisée par Bert et Missika en 1992. Il en résulte de meilleurs résultats à la mandibule pour les vis et au maxillaire pour les cylindres. Toutefois à huit ans, les implants vis ont une meilleure stabilité dans le temps au maxillaire. De plus, l'existence d'un pas de vis accroît la surface de contact os-implant augmentant ainsi la stabilité primaire, la résistance aux forces de cisaillement et la répartition des forces dans l'os. Enfin, une résorption circonférentielle avec les implants cylindriques a été notée.

III.3.3.1.3. L'état de surface des implants

Les propriétés physiques et chimiques de l'état de surface des implants influencent la réponse tissulaire péri-implantaire et donc l'ostéointégration.

Les travaux de Hoedt (1986) démontrent qu'une surface rugueuse confère une meilleure adhérence de l'os par rapport à une surface lisse. Ce type de surface peut être obtenue à un traitement soustractif par sablage ou mordantage acide ou un traitement additif par la technique du spray de plasma titane. Les meilleurs résultats (pourcentage de contact os-implant) sont obtenus avec le mordantage à l'acide. Cependant ces surfaces rugueuses ne permettent pas une bonne intégration tissulaire au niveau du col implantaire en favorisant la rétention de plaque bactérienne. Les implants hybrides ont donc été développés avec un état de surface lisse du sommet de l'implant jusqu'à la troisième spire et un état de surface mordancé à l'acide de la troisième spire jusqu'à l'apex.

Par ailleurs, toute contamination extérieure de l'implant doit être évitée, afin d'optimiser le contact sanguin au niveau de la surface implantaire. La présence d'impuretés peut empêcher la survenue d'une cicatrisation osseuse optimale et contrecarrer l'ostéointégration.

III.3.3.2. Les facteurs dépendants de l'opérateur

III.3.3.2.1. La préparation du site osseux

Les conditions de préparation du site osseux doivent être respectées pour permettre la cicatrisation de l'os. Et le principal facteur de perturbation de cette cicatrisation est la température à laquelle est soumise l'os. Eriksson et coll. en 1983, ont démontré qu'une température de 47°C pendant 1 minute était un seuil thermique au delà duquel un remodelage osseux normal à long terme n'était plus possible.

Pour ne pas échauffer l'os, plusieurs éléments doivent être respectés :

- l'efficacité de coupe maximale pour les instruments
- éviter l'encrassement du foret
- le respect des protocoles opératoires :
 - irrigations constantes
 - forage séquentiel en fonction du type osseux et de la taille du forage

III.3.3.2.2. La technique chirurgicale

La condition indispensable à toutes techniques chirurgicales est le respect de l'asepsie. Ainsi toutes contaminations bactériennes au cours de la chirurgie implantaire doivent être prévenues. L'asepsie concerne le matériel, la salle et le personnel, et nécessite de suivre un protocole rigoureux.

III.3.3.2.3. Les conditions de mise en charge

Brånemark préconise d'enfouir les implants et de réaliser une mise en charge différée pour éviter tous mouvements aux implants au cours de la cicatrisation assurant ainsi l'ostéointégration. En cas de mobilisation des implants au cours des premières semaines de cicatrisation, une interposition de tissu fibreux entre l'os et l'implant est possible engendrant une fibrointégration et donc la perte de l'implant à moyen et long terme. Les temps de cicatrisation préconisés sont alors de 6 mois au maxillaire et de 4 mois à la mandibule.

Ces 6 concepts énoncés par Brånemark ont évolué depuis suite au développement de nouvelles techniques implantaires ou à la conception de nouveaux types d'implants.

Actuellement des techniques de chirurgie implantaire en un temps opératoire (implants non enfouis) ont été élaborées et ont montrées leur fiabilité. De même, des protocoles de mise en charge rapide ou immédiate se sont développés. Ces techniques sont réalisées dans des indications précises, avec des implants adaptés et selon un protocole adapté.

III.4. La réponse osseuse péri implantaire (2, 20, 36)

III.4.1. Le déroulement de la réponse osseuse

La guérison du tissu osseux suite à la mise en place de l'implant est différente selon le type d'os et se déroule en plusieurs étapes. Suite au saignement induit par l'acte chirurgical et avant la formation d'un nouveau tissu osseux à la surface de l'implant, se produisent une résorption du tissu minéralisé et l'apparition d'un tissu nécrotique avasculaire. Dans le tissu osseux spongieux, la formation d'un tissu osseux primaire et l'ostéointégration se produit dès le début du processus de guérison.

La stabilité mécanique de l'implant est obtenue par un *press-fit* qui correspond au léger déplacement latéral du tissu osseux et le contact étroit établi entre l'implant et l'os cortical avasculaire dans les deux tiers coronaires de l'implant. Cette zone doit être environ de 1 mm mais son étendue varie en fonction de la température atteinte lors du forage et de la vascularisation du tissu osseux.

Pendant la préparation du site et la mise en place de l'implant, l'os trabéculaire de la partie apicale est déplacé dans la moelle, les vaisseaux sanguins sont rompus et le saignement commence. Entre le corps de l'implant et l'os se forme un caillot sanguin qui, au cours des jours suivants, va mûrir et être remplacé par un tissu de granulation riche en neutrophiles et macrophages. Par la suite, des leucocytes arrivent pour nettoyer la plaie et des structures vasculaires prolifèrent dans le tissu de granulation nouvellement formé à partir de la moelle située à la périphérie de l'os vital. Une semaine après la mise en place de l'implant, les macrophages et les cellules mésenchymateuses indifférenciées viennent sur le site, produisent et relarguent des facteurs de croissance. Ces derniers induisent une fibroplasie formant ainsi un tissu conjonctif indifférencié provisoire dans la partie apicale (os trabéculaire) et les *furcation sites* des implants en forme de vis (partie interne du pas de vis de l'implant sans contact avec l'os environnant après l'insertion). A ce stade, les ostéoclastes apparaissent dans des espaces de moelle osseuse plus éloignés de la surface des implants et commencent à résorber l'os nécrotique. Le tissu conjonctif provisoire est riche

en nouveaux vaisseaux sanguins, fibroblastes et cellules mésenchymateuses indifférenciées et va maturer progressivement en tissu ostéoïde puis en tissu osseux primaire. Cette phase correspond au modelage. Elle est suivie par une phase de remodelage durant laquelle l'os immature est remplacé par de l'os lamellaire avec un bon potentiel pour absorber et repartir les forces. L'os immature est enlevé via un processus de résorption ostéoclasique et remplacé par de l'os lamellaire et de la moelle osseuse.

La surface en titane de l'implant est au final recouverte d'une mince couche d'os lamellaire et plus latéralement de moelle osseuse riche en adipocytes. Dans les zones de *press fit* et dans le tissu osseux adjacent se trouve de l'os lamellaire composé d'ostéons secondaires typiques avec des lamelles concentriques et un canal de Havers central. Au cours de la cicatrisation, toutes les portions d'os original sont remplacées par de l'os nouvellement formé.

Toutefois si l'os ne cicatrise ou ne se régénère pas, une formation de tissu fibreux autour de l'implant suite à un traumatisme sévère (surchauffe lors du forage) ou la persistance de l'os mort peut se former. Pour obtenir une cicatrisation et une formation osseuse, plusieurs conditions doivent être réunies.

III.4.2. Les conditions nécessaires à la réparation osseuse

Trois conditions doivent être réunies pour favoriser la réparation :

- la présence de cellules adéquates
- la nutrition adéquate de ces cellules
- la stimulation adéquate à la réparation osseuse

III.4.2.1. Les cellules appropriées

Les cellules concernées sont les ostéoblastes, les ostéocytes et les ostéoclastes. Les ostéoblastes ont la capacité de produire jusqu'à 0,17 mm de matrice par jour et les ostéoclastes de résorber jusqu'à 100µm par jour. La réparation dépend de l'action simultanée des ostéoblastes et des ostéoclastes. En effet les ostéoclastes en résorbant l'os nécrosé vont permettre la néovascularisation du site pendant que les ostéoblastes forment un nouvel os.

La réparation osseuse débute au moment de la lésion grâce aux cellules différenciées déjà présentes sur le site. Par la suite, les cellules indifférenciées mésenchymateuses vont

devoir se différencier en cellules ostéogéniques pour continuer la formation osseuse suite à un stimulus approprié.

III.4.2.2. La nutrition appropriée des cellules osseuses

La nutrition des cellules permet leur bon fonctionnement, et la cicatrisation osseuse débute avec le rétablissement de la vascularisation. Etant donné que la progression vasculaire dans l'os cortical est de 0,05 mm par jour, de 0,5 mm dans l'os spongieux et que l'épaisseur de la zone nécrotique est au minimum de 0,5 mm, le remaniement osseux ne se fera pas avant le 10^{ème} jour et durera plusieurs mois.

III.4.2.3. Le stimulus approprié à la réparation osseuse

La réparation osseuse est induite par :

- un potentiel électrique lié au stress,
- un contact direct cellule à cellule
- une action inductrice de molécules solubles de la matrice.

Ces différents éléments peuvent être associés de différentes manières et contribuer ensemble à la réparation osseuse.

III.5. Les conditions anatomiques nécessaires à la mise en place des implants (36)

III.5.1. Le volume osseux

La mise en place des implants est dépendante de l'analyse préimplantaire qui va informer de la position optimale des implants selon des impératifs occlusaux, esthétiques et parodontaux. Cependant, le respect de ces impératifs doit être compatible avec le volume osseux résiduel. Ce dernier va déterminer la faisabilité d'un projet prothétique ou si un aménagement tissulaire préalable est nécessaire. Une angulation de l'implant positionné de manière optimale au niveau de la crête osseuse inférieure à 30° par rapport à l'axe prothétique peut être acceptée. Le volume osseux va influencer sur le positionnement et le choix des implants mais également sur leur taux de succès.

Afin d'assurer une stabilité primaire de l'implant, un rendu esthétique optimal et reproductible, et le respect des tissus parodontaux, le volume osseux disponible doit répondre à différents critères :

- la hauteur osseuse doit comprendre la longueur de l'implant (10 mm) et si besoin 2 mm séparant l'implant de structures anatomiques comme les sinus maxillaires et le canal mandibulaire.

- la largeur osseuse (sens vestibulo-lingual) comprend le diamètre de l'implant (variable selon le type de dents concernée) plus 1 mm de part et d'autre de l'implant soit un minimum de 6 mm.

- la longueur de l'édentement (sens mésio-distal) comprend également le diamètre de l'implant et 2 mm entre un implant et une dent ou 3 mm entre deux implants.

- la position de l'implant dans le sens vertical pour permettre une harmonisation esthétique avec les dents adjacentes et un alignement des collets.

III.5.2. La qualité osseuse

La qualité osseuse va aussi influencer sur le taux de succès de l'implant. Lekholm a établi une classification de cette qualité osseuse (1985) :

- classe I : os constitué presque uniquement d'os compact homogène
- classe II : os compact épais entourant un noyau spongieux à trabéculations denses
- classe III : os cortical fin entourant un noyau spongieux à trabéculations denses
- classe IV : os cortical fin entourant un os spongieux peu dense

Les taux de succès implantaire évoluent avec la qualité osseuse, les risques d'échec sont les plus élevés dans un os de type IV.

IV. La régénération osseuse (36)

IV.1. Les objectifs de la régénération

IV.1.1. Les objectifs fonctionnels

La régénération osseuse a pour objectif d'obtenir un volume osseux adéquat à la mise en place d'implants à la fois en largeur, en hauteur et en longueur, et de respecter une angulation entre l'axe implantaire et l'axe prothétique favorable et inférieure à 30°.

De plus, elle permet de répondre aux exigences prothétiques telles qu'un rapport couronne clinique/implant inférieur ou égal à 1. Elle restaure un espace prothétique approprié et un positionnement harmonieux des implants assurant une répartition des forces occlusales.

L'implant doit être positionné selon des critères prothétiques et non anatomiques.

IV.1.2. Les objectifs esthétiques

La régénération osseuse va permettre de répondre aux exigences esthétiques. En effet, en rétablissant un niveau et un volume osseux suffisant, la ligne du sourire sera conservée, l'alignement des collets maintenu, la prothèse supra implantaire alignée avec les couronnes adjacentes et le niveau des tissus mous respecté. L'intégration esthétique de la prothèse est possible par le respect de critères anatomiques appropriés.

IV.1.3. Cahier des charges

La régénération osseuse peut être réalisée avec différents matériels (distracteurs, membranes) et différents matériaux (autogreffe osseuse, allogreffe, xélogreffe, biomatériau). Un cahier des charges du matériau idéal a été défini, ce matériau idéal doit être :

- ostéogénique : induire la formation osseuse à partir des cellules vivantes présentes au sein du greffon
- ostéoconducteur : favoriser la croissance osseuse à la surface du matériau à partir de l'os environnant
- ostéoinducteur : permet la néoformation osseuse dans un site qui en est dépourvu à partir de cellules mésenchymateuses sous l'action des protéines morphogénétiques.
- biocompatible

- sain au niveau de toute transmission de pathologie
- reconstruire ad-integrum le tissu osseux
- résorbable totalement tout en étant remplacé par un tissu néoformé
- être prédictible
- aisé d'application
- aux suites opératoires minimales
- avec un ressenti favorable du patient
- un coût modéré

L'os autogène est considéré par de nombreux auteurs comme le biomatériau de choix lors de reconstruction osseuse car il est le seul matériau à la fois ostéogénique, ostéoconducteur et ostéoinducteur. De plus, il est totalement résorbable ce qui permet une régénération osseuse complète. Ainsi l'os autogène sera le biomatériau choisi comme référence dans l'analyse des différentes études.

IV.2. Les différentes techniques de régénération

IV.2.1. Les greffes osseuses autogènes d'apposition (36, 74, 108, 113)

IV.2.1.1. Généralités

Les greffes osseuses autogènes d'apposition peuvent être utilisées pour réaliser une régénération alvéolaire par apposition osseuse associée ou non à une membrane. L'os autogène est le seul matériau à être ostéogénique, ostéoconducteur et ostéo-inducteur.

La survie du greffon dépend de sa revascularisation et donc de la vascularisation du site receveur et des tissus mous environnants. Grâce à cette revascularisation, les processus physiologiques de résorption et de formation osseuse vont entraîner, plus ou moins complètement, le remplacement du greffon par de l'os néoformé.

La nature de l'os greffé peut varier en fonction du site de prélèvement. Il peut s'agir d'un os cortical ou d'un os spongieux, tous les deux ayant des particularités différentes et des indications différentes. L'os cortical, plus dense et compact, se résorbe moins et procure un meilleur ancrage pour les implants. Toutefois, l'os spongieux, plus malléable et richement vascularisé s'adapte mieux à la morphologie du site receveur et cicatrise plus vite. L'os

cortical est donc plus adapté pour des reconstructions de reliefs osseux alors que l'os spongieux est indiqué dans des cavités osseuses.

Les augmentations horizontales subissent peu de résorption. Inversement, les augmentations verticales ont un pronostic plus défavorable avec une résorption de 10 à 20 % de la masse greffée en cretal selon Tulasne (2005), allant jusqu'à 25% après 4 mois selon Widmark et coll. (1997). Toutefois les résultats sont généralement suffisants pour poser des implants.

Les greffes d'apposition ont pour but d'augmenter la largeur ou la hauteur de la crête alvéolaire résiduelle.

IV.2.1.2. Les différents sites de prélèvements (108)

Les sites de prélèvements sont soit intra oraux, au niveau du maxillaire ou de la mandibule, soit extra oraux avec l'os iliaque et la voûte crânienne.

Ces sites de prélèvement seront les mêmes que ceux utilisés pour les greffes osseuses intra sinusiennes.

IV.2.1.2.1. Les sites de prélèvement intra oraux

Les sites intra oraux ont la particularité d'avoir la même origine embryologique, membranaire, que le site receveur, ce qui leur confère une composition matricielle, un contenu cellulaire et des facteurs de croissance identiques au site receveur.

IV.2.1.2.1.1. Le maxillaire

Les régions concernées par le prélèvement osseux au maxillaire sont les régions tubérositaires. Elles sont constituées principalement par de l'os spongieux et ne permettent pas de prélever une quantité importante d'os (maximum 1 cm³). Le prélèvement s'effectue au trépan ou à la pince gouge et présente un risque de communication bucco sinusienne.

Ce site a comme avantages d'être facile d'accès et de permettre le prélèvement sous anesthésie locale. Toutefois, il existe des variabilités dimensionnelles selon les individus et un cliché scanner est nécessaire pour évaluer les dimensions et éviter les communications bucco sinusiennes.

De part ses propriétés, l'os prélevé dans les régions tubérositaires est plus indiqué pour les greffes avec membranes et les comblements sinusiers.

IV.2.1.2.1.2. La mandibule

La mandibule présente deux sites de prélèvement : la région antérieure et la région postérieure.

Pour la région antérieure ou symphyse, le site de prélèvement se situe entre les deux foramens mentonniers, le bord basilaire et les racines dentaires (figure 7). Il s'agit d'un os à la fois cortical et spongieux avec une proportion plus importante d'os cortical. Le prélèvement osseux se fait soit avec un trépan pour des petits fragments corticospongieux soit au disque ou à la fraise ronde n°2. L'ostéotomie pourra se faire également via des techniques ultrasonores (piezotomie®) ou via un laser (Er-Yag...). Les dimensions du greffon prélevé varient au niveau de l'os cortical entre 45 et 50 mm en longueur, 6 et 13 mm en largeur et 6 et 9 mm en épaisseur. La quantité l'os spongieux récupéré avec le greffon varie en fonction du type squelettique.

Même si les suites opératoires sont généralement sans douleur et sans oedème, des ecchymoses peuvent apparaître dans les jours suivant. Elles disparaîtront en deux semaines environs. Les risques opératoires peuvent être de différents ordres :

- vasculaires : une hémorragie vasculaire est à craindre seulement en cas d'ostéotomie bicorticale
- nerveux : des dysesthésies des incisives et des canines peuvent survenir dans 2 à 25% des cas suite à une lésion du pédicule incisivocanine, d'après Tulasne (2005). Par contre, des paresthésies labiomentonnières peuvent apparaître suite à une atteinte du nerf mentonnier
- dentaires : des mortifications des incisives et des canines peuvent être observées dans 3 à 10 % des cas, d'après Tulasne (2005), et, plus rarement, des dyschromies et des lésions périapicales
- osseux : il concerne le rebord basilaire, avec un risque de fracture si le trait d'ostéotomie est situé trop bas
- esthétiques : des contractures asymétriques définitives des muscles du menton dues soit à un décollement labial trop superficiel, soit à une organisation fibreuse d'un hématome non évacué peuvent être à l'origine d'une asymétrie disgracieuse du menton.

Le prélèvement osseux dans la région symphysaire présente deux avantages : l'accès est facile et il peut être réalisé sous anesthésie locale, mais la quantité osseuse est limitée. La nature et la quantité d'os obtenue indique ce site de prélèvement pour tous les types de greffes (comblement sinusien, apposition, sous une membrane lors d'une régénération osseuse guidée).

La région postérieure concerne la face latérale du corps mandibulaire en arrière du foramen mentonnier et la partie antérieure du ramus (figure 8). La nature du greffon est essentiellement corticale et les dimensions de ce dernier varient en longueur de 50 à 60 mm, en largeur de 10 à 20 mm et en épaisseur de 2 à 3 mm. L'ostéotomie peut se faire à l'aide d'une fraise boule n°2, d'une scie circulaire de Khoury après avoir contrôlé avec un scanner la position du canal mandibulaire, de techniques ultrasonores ou d'un laser. Le prélèvement se fait par clivage avec un ostéotome en luxant progressivement le greffon. Les difficultés sont liées à la taille du greffon, la mauvaise visibilité du site opératoire et la localisation du nerf alvéolaire inférieur.

Les suites opératoires de cette chirurgie sont similaires à celles de l'avulsion d'une 3^{ème} molaire incluse. Les risques liés à cette ostéotomie sont :

- nerveux : c'est le risque principal et peut se présenter en peropératoire ou postopératoire. En peropératoire, il peut s'agir d'une lésion du nerf alvéolaire inférieur ou du nerf lingual à l'origine de séquelles fonctionnelles définitives (paresthésie). En postopératoire, des dysesthésies du V3 peuvent être observées après exposition du nerf alvéolaire inférieur. Elles régressent normalement en quelques semaines. Ces lésions nerveuses peuvent apparaître lors de prélèvements de grande étendue ou lors d'une latéralisation du canal mandibulaire.
- vasculaires : ils peuvent survenir en per ou postopératoire. En peropératoire, ils peuvent concerner l'artère faciale, située au niveau du bord basilaire, proche de l'encoche préangulaire, d'où l'importance de la récliner pour la protéger lors de l'intervention. En postopératoire, les hémorragies peuvent aboutir à la formation d'un hématome collecté se traduisant par une tuméfaction dure persistante. Celui-ci devra être évacué pour éviter la formation d'une masse fibreuse.
- dentaires : l'exposition des racines devra être évitée par un tracé supérieur d'ostéotomie au dessus de la ligne oblique et lors de la luxation du greffon par une orientation juxtacorticale de l'ostéotome.

Ce greffon est indiqué principalement pour les greffes d'apposition, mais convient aussi pour les techniques de régénération osseuse et de greffe de comblement. Il a pour avantages d'avoir un accès aisé, par une chirurgie réalisable sous anesthésie locale et d'être un site de prélèvement intra buccal avec une cicatrice dissimulée. Toutefois, les suites opératoires peuvent être parfois pénibles et il apporte peu d'os spongieux.

Les sites intra oraux fournissent ainsi des greffons adéquats de part leur nature, leurs dimensions et leur morphologie pour la réalisation de greffes aussi bien d'apposition que de comblement. Les quantités disponibles permettent de les utiliser lors de pertes de substance de 1 à 3 dents mais ils doivent être associés avec d'autres greffons dans les reconstitutions de plus grande étendue.

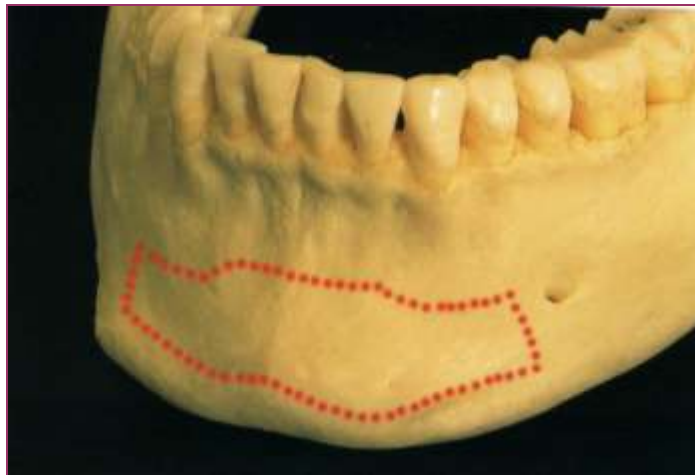


Figure 7: Site de prélèvement symphysaire (d'après Tulasne 2005)

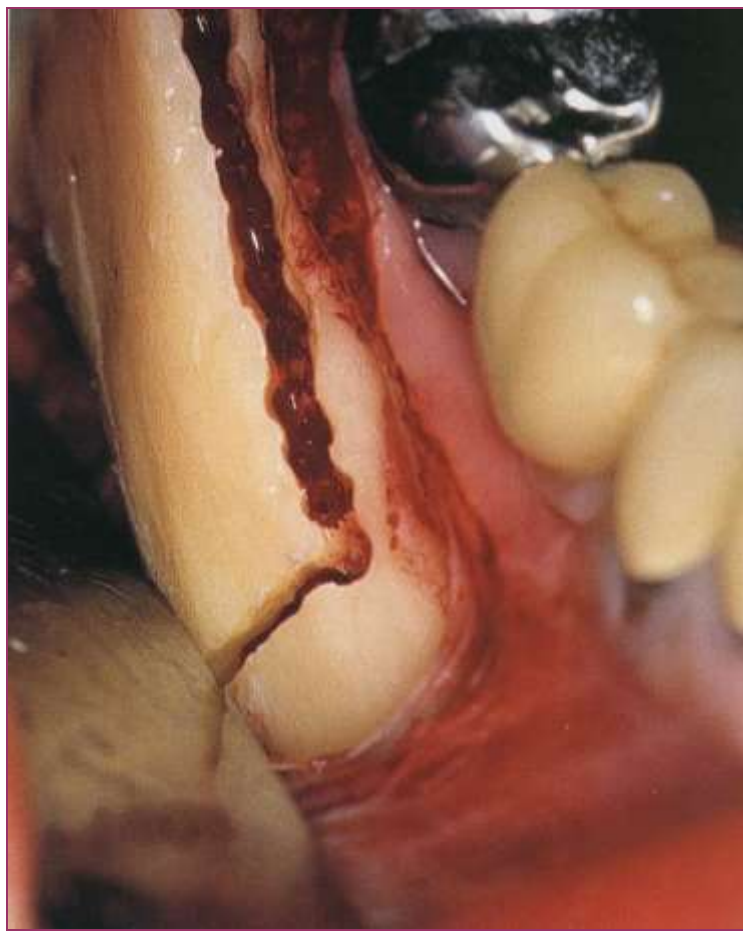
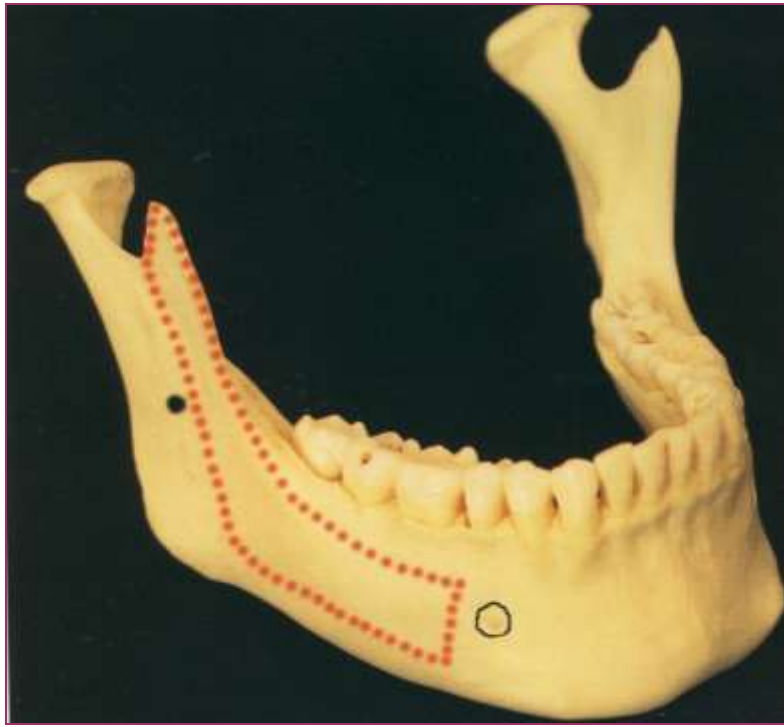


Figure 8: Site de prélèvement ramique (d'après Tulasne 2005)

IV.2.1.2.2. Les sites de prélèvements extraoraux

Les sites de prélèvements extraoraux se situent au niveau l'os iliaque et la voûte crânienne. L'os iliaque n'a pas d'homologie de par sa nature endochondrale avec le site receveur à l'inverse de la voûte crânienne qui est d'origine membranaire.

IV.2.1.2.2.1. L'os iliaque

L'os iliaque représente le site de prélèvement le plus utilisé en chirurgie osseuse depuis plus d'un siècle. La zone de prélèvement est située au niveau de la partie antérieure de la crête en arrière de l'épine iliaque antérosupérieure. La dissection se fait selon la technique de Tessier et permet le prélèvement de fragments corticospongieux. L'os obtenu présente une faible densité (os spongieux principalement), mais un volume osseux abondant peut être prélevé.

Le choix de l'os iliaque comme greffon nécessite une hospitalisation prolongée. Les suites opératoires sont généralement douloureuses et la marche peut être gênée pendant plusieurs jours voire plusieurs semaines. Les risques d'une telle chirurgie sont :

- neurologiques : une lésion du nerf sensitif fémoro-cutané passant à proximité du tracé d'incision est à éviter. Elle entraînerait une perte de la sensibilité cutanée de la face externe de la cuisse.
- osseux : une fracture de l'aile iliaque est possible dans les cas de prélèvement trop antérieur.
- esthétiques : la cicatrice cutanée et la modification de l'épine iliaque antérieure peuvent être visibles chez le sujet mince.

Les avantages de ce site de prélèvement sont liés à l'abondance osseuse et à la nature de l'os, essentiellement spongieux. Toutefois de nombreux inconvénients sont à noter : les douleurs postopératoires, l'hospitalisation de 2 à 3 jours minimum, l'anesthésie générale, la cicatrice cutanée et la faible densité osseuse.

Les greffons d'os iliaque sont indiqués de part leur nature pour les greffes de comblement et ne sont pas indiqués dans les reconstructions pré-implantaires où la densité osseuse des greffons est essentielle.

IV.2.1.2.2.2. La voûte crânienne

Au niveau de la voûte crânienne le prélèvement peut être réalisé en pariétal (figure 9). Cette technique a été développée par Paul Tessier au début des années 80. Le site de prélèvement concerne l'os pariétal. Les limites de l'ostéotomie se situent en arrière de la suture coronale, à distance de la suture sagittale en interne et incluent plus ou moins la crête temporale selon l'épaisseur de l'os à la radiographie. Lors du prélèvement, ces dernières sont tracées à la scie oscillante puis une première bande étroite est prélevée pour contrôler l'épaisseur de la table externe. Par la suite, la section complète de la corticale externe est réalisée avec une fraise cylindrique. Il est important de ne pas traverser alors la table interne et de risquer une plaie intracrânienne. Une fois la quantité de greffon prélevée, les berges sont aplanies afin d'éviter la dépression du cuir chevelu.

Les suites opératoires sont habituellement simples sans œdème et sans ecchymose. Le patient ressent seulement une simple tension du cuir chevelu qui peut être douloureuse. Une asthénie importante peut être parfois observée pendant la première semaine. Les risques d'une telle intervention sont principalement neurologiques, avec quelques rares accidents sévères. Des hématomes sous cutanés peuvent apparaître lorsque le drain est inefficace, suite à un saignement du cuir chevelu.

Les prélèvements d'os au niveau de la voûte crânienne ont l'avantage de fournir un os cortical et spongieux habituellement abondant, une cicatrice peu visible et des suites opératoires simples. Cependant, ils nécessitent une anesthésie générale et donc une hospitalisation. Pour les patients atteints de calvitie, une dépression du cuir chevelu peut être visible. Ces greffons sont ainsi conseillés pour toutes les greffes de reconstruction.

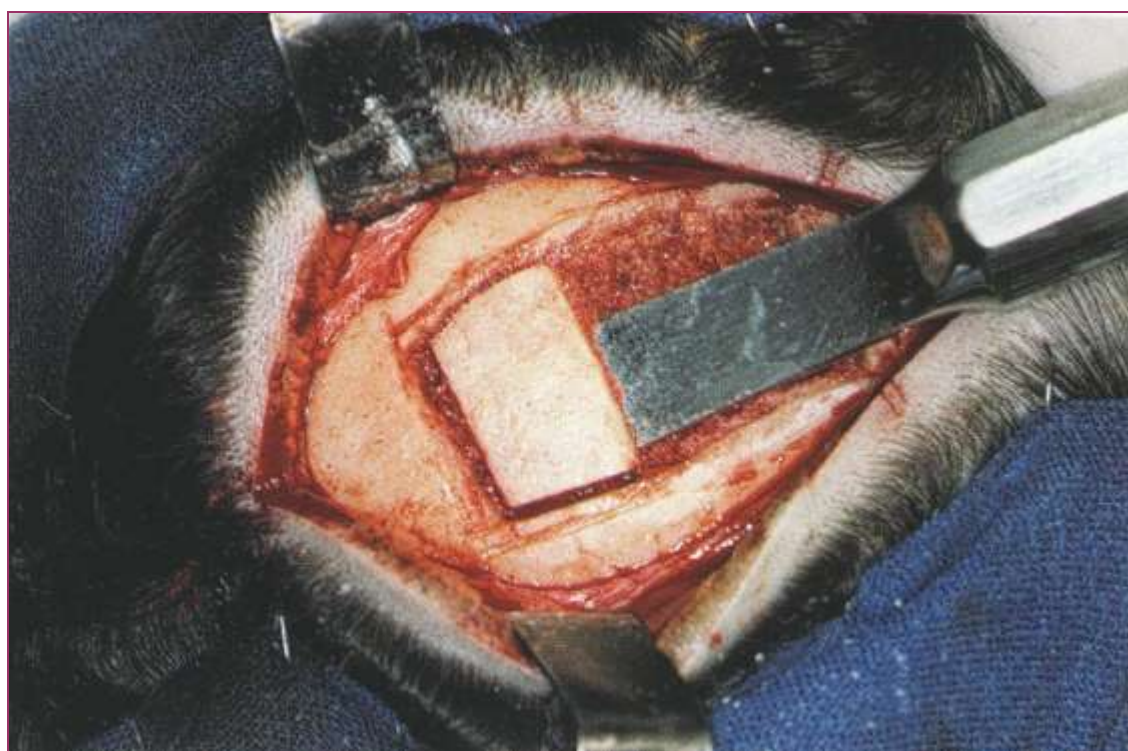
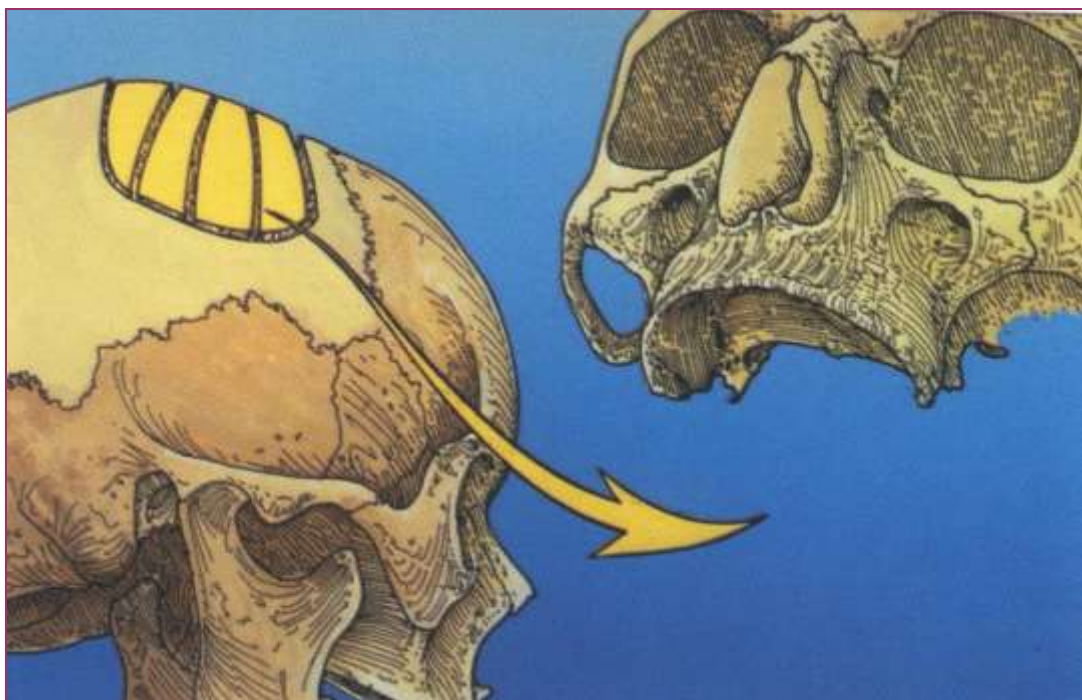


Figure 9: Site de prélèvement pariétal (d'après Tulasne (2005))

IV.2.1.3. Le protocole opératoire (figure 10)

Le principe même de la voie d'abord est de permettre l'exposition directe et large de la zone à greffer et le recouvrement aisé du greffon après sa mise en place. La voie d'abord est donc crestale avec deux incisions vestibulaires divergentes en mésial et distal, donnant ainsi un lambeau à base large.

Le décollement se fait en pleine épaisseur pour inciser le périoste à distance de la zone à greffer, et donner ainsi au lambeau une certaine laxité pour recouvrir le greffon. En lingual ou en palatin, le décollement ne sera réalisé qu'en cas de greffe à cet endroit.

La préparation du site receveur comprend le nettoyage minutieux des surfaces réceptrices pour ne laisser aucun débris muqueux ou conjonctif. L'os est abrasé jusqu'au saignement et des perforations de la corticale peuvent être réalisées à la fraise.

Le prélèvement des greffons osseux se fait seulement lorsque le site receveur est prêt et peut être guidé par un patron de la zone réceptrice.

La construction doit répondre à deux règles fondamentales : l'adaptation parfaite du greffon au site receveur et l'immobilisation totale du greffon lors de la cicatrisation. Le greffon est maintenu en place par des vis d'ostéosynthèse, les espaces vides sont comblés avec de l'os spongieux et les zones saillantes sont émoussées à l'aide d'une fraise.

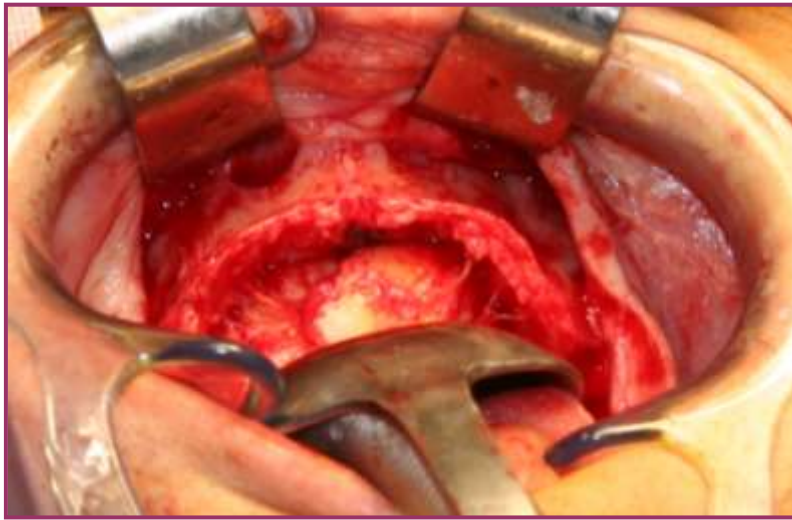
Après vérification de l'hémostase, le lambeau est repositionné et les sutures sont réalisées en évitant toute tension excessive et en évitant un contact entre le lambeau et les dents antagonistes.

En post opératoire, une antibiothérapie est préconisée ainsi qu'un contrôle à 8 jours. Un bridge provisoire peut être mis en place à condition qu'il n'y ait aucune compression de la zone opérée. Pour une prothèse adjointe provisoire, il est conseillé de patienter environ deux semaines.

Les résultats sont en fonction de la résorption du greffon qui peut compromettre l'esthétique de la future prothèse et l'ancrage des implants. Le remodelage complet du greffon osseux est terminé au bout de 5 à 6 mois mais la consolidation osseuse étant de 2 mois, il est possible de mettre en place les implants au 3^{ème} mois postopératoire après avoir vérifié à l'aide d'un scanner la qualité et le volume de la reconstruction.

L'utilisation de membranes avec des greffes osseuses permet de protéger l'os et limite les phénomènes de résorption. La membrane est utilisée aussi bien en couverture de blocs osseux qu'avec des particules osseuses. Des vis d'espacement peuvent être utilisées pour déterminer l'espace sous membranaire et faciliter la mise en place du greffon. La membrane

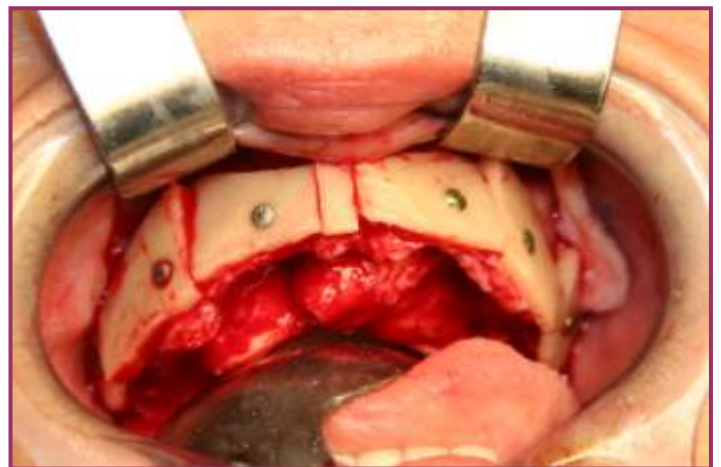
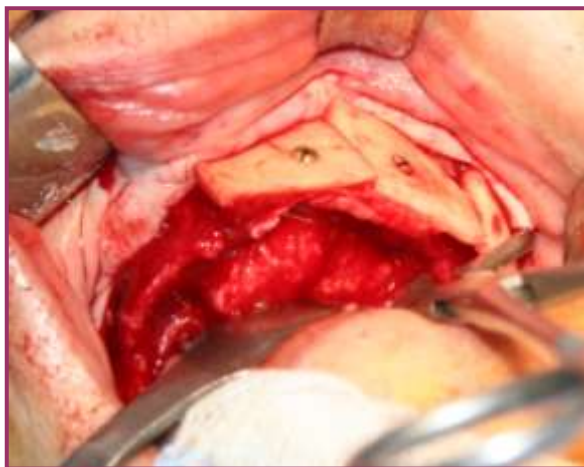
doit être parfaitement appliquée et stabilisée sur les greffons. Elle est déposée après 6 mois de cicatrisation en même temps que les vis d'espacement et la pose des implants.



Décollement d'un lambeau au maxillaire



Prélèvement d'un greffon pariétal



Apposition osseuse au maxillaire



Recouvrement et sutures



Cicatrisation à 5 mois



Pose des implants



Reconstruction finale : bridge implanto-porté

Figure 10 : Greffe osseuse autogène d'apposition au maxillaire
(photos du Dr Huet)

IV.2.2. La distraction alvéolaire (14, 98)

IV.2.2.1. Origine de la distraction alvéolaire

Les premiers cas de distraction osseuse ont été décrits par les orthopédistes. En 1905 Codivilla fût le premier à relater des cas d'allongement des membres inférieurs. Mais c'est dans les années 1950 que le concept de l'ostéogénèse par la contrainte en traction ainsi que les dispositifs spécifiques et les conditions techniques associées ont été établis par Ilizarov.

En chirurgie maxillo-faciale, Mac Carty a utilisé pour la première fois la distraction pour traiter des cas de microsomie hémifaciale en 1992. Mais c'est en 1996, que la technique de distraction fût utilisée sur le chien par Block pour augmenter verticalement l'os alvéolaire. Par la suite, il a étudié et démontré les capacités d'ostéointégration des implants dans cet os alvéolaire distracté. La même année Chin et Toth ont utilisé cette technique en chirurgie d'aménagement pré-implantaire chez l'homme à l'aide d'un distracteur endobuccal.

IV.2.2.2. Principe de la distraction alvéolaire

La distraction alvéolaire est l'application à l'os alvéolaire des principes de la distraction ostéogénique. Elle correspond à l'élévation localisée du rebord alvéolaire par déplacement contrôlé d'un segment d'os alvéolaire mobilisé progressivement afin de stimuler la formation osseuse. L'augmentation de l'os alvéolaire peut se faire dans le sens vertical et horizontal. La distraction osseuse peut s'appliquer aussi bien à l'os mandibulaire qu'à l'os maxillaire et elle augmente simultanément le volume osseux et muqueux.

Elle reprend les principes énoncés par Ilizarov dans les années 1950 :

- la préservation maximale de la vascularisation lors de l'ostéotomie
- la fixation stable du segment osseux séparé pour éviter tous les mouvements de cisaillement empêchant la minéralisation osseuse
- la phase de latence de 5 à 7 jours suite à la pose du distracteur
- la phase active : la séparation graduelle et contrôlée de 1 mm par jour réparti en 4 fois
- la phase de consolidation de 3 mois pour permettre la maturation osseuse.

La distraction alvéolaire a été essentiellement développée pour obtenir un gain osseux vertical. Toutefois certains auteurs ont utilisé le principe de distraction et modifié les techniques pour obtenir un gain osseux transversal. Cependant, la distraction horizontale reste

aujourd'hui encore marginale et nécessite d'être approfondie et documentée. Il existe plusieurs types de distracteurs :

- les distracteurs intra-osseux
- les distracteurs extra-osseux
- les implants distracteurs

Les distracteurs intra-osseux sont constitués entre autre par le distracteur LEAD (Leibinger Endosseous Alveolar distractor ; Stryker-Leibinger, Freiburg Germany), le distracteur OGD (OsteoGenic Distractor ; ACE surgical supply, brockton) et le distracteur GDD (Groningen Distractor Deviced ; Martin, Tuttlingen, Germany). Ce sont des dispositifs qui transpercent le fragment déplacé et ont donc un faible encombrement vestibulaire. Cependant ils présentent plusieurs inconvénients :

- leur dépose va créer un défaut osseux
- l'axe du distracteur est fonction de l'axe du procès alvéolaire
- en présence de segments étendus à distraire, plusieurs distracteurs sont nécessaires
- ils sont moins rigides lors de la distraction

Les distracteurs extra-osseux sont le TRACK (Tissue Regeneration Alveolar Callus distraction Köln, Martin, Tuttlinger, Germany), le V-2 (Alveolar distractor System, Medartis AG, Basel, Switzerland) et le 2D-CD (Bidirectional Crest Distractor ; Surgitec NV, Bruges, Belgium). Ces distracteurs sont fixés à l'aide de vis d'ostéosynthèse sur le versant vestibulaire du segment à déplacer. L'encombrement de ces dispositifs est plus important et il est difficile de rabattre le périoste sur la zone distraquée. Ils présentent par contre les avantages d'avoir un axe de distraction indépendant de l'axe du procès alvéolaire, une grande rigidité et un contrôle du vecteur facilité.

Les implants distracteurs permettent une technique chirurgicale peu invasive avec la mise en place en même temps du distracteur et de l'implant. Ils nécessitent donc de placer le distracteur dans la position idéal pour la restauration prothétique. L'implant distracteurs ayant été utilisé dans la plupart des études est le DISSIS (Distraction Implant System ; SIS, Klagenfurt, Austria).

IV.2.2.3. Le protocole opératoire (figure 11)

Il s'agit de la technique chirurgicale décrite par Chin (1998).

Une voie d'abord vestibulaire horizontale est réalisée sous la gencive attachée le long de la perte de substance osseuse alvéolaire. Un lambeau sous périoste est ensuite décollé jusqu'à

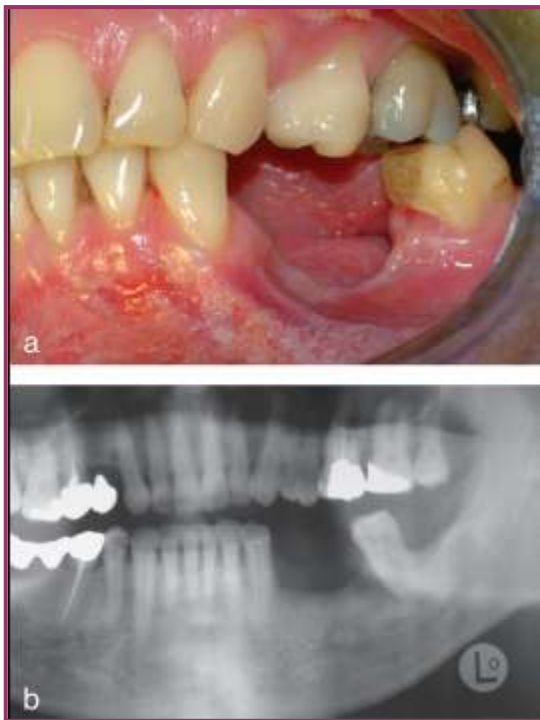
la crête alvéolaire et sur toute la surface osseuse nécessaire à la pose du distracteur. Le périoste lingual ou palatin doit être préservé afin de permettre la vascularisation du segment ascenseur. Le distracteur est alors positionné temporairement pour marquer les sites de corticotomie à l'aide d'une fraise.

Ensuite, après la dépose du distracteur, sont réalisées des ostéotomies bicorticales en respectant le périoste lingual ou palatin. Il s'agit d'une ostéotomie horizontale et deux ostéotomies verticales rejoignant la crête. Ces ostéotomies sont réalisées avec des microscies oscillantes ou alternatives. Les ostéotomies verticales sont réalisées dans un axe légèrement divergent par rapport à la crête pour permettre l'ascension du fragment transporté. La mobilité du fragment est vérifiée avec un élévateur.

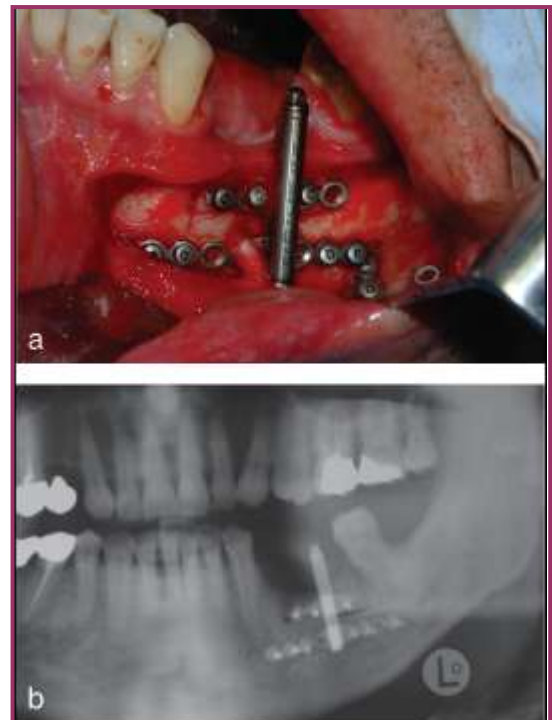
Le distracteur extra-osseux est posé et fixé avec des microvis monocorticales : une miniplaque fixe vers le bord basilaire et une miniplaque mobile solidaire à la vis de distraction sur le fragment ascenseur. Au niveau de la crête alvéolaire, un orifice est réalisé dans la gencive attachée pour permettre la sortie de la vis d'activation. Une fois le fonctionnement du distracteur vérifié, la suture muqueuse est effectuée laissant la vis d'activation en extramuqueux.

Pendant la distraction, une surveillance clinique et radiologique est conseillée pour contrôler l'élévation progressive et le vecteur du fragment mobilisé. Une hypercorrection de la hauteur alvéolaire (1 à 2 mm) est conseillée pour pallier la résorption osseuse survenant à la fin de la période de contention.

Le distracteur est déposé à la fin de la période de consolidation et les implants peuvent être placés à ce moment permettant ainsi l'économie d'un temps opératoire. La mise en charge des implants se fera dans les délais classiques nécessaires à l'ostéointégration.



Situation clinique et
radiographique pré-opératoire



Mise en place du distracteur après
ostéotomie



Découverte des implants trois mois
plus tard



Réhabilitation prothétique finale

Figure 11 : Distraction alvéolaire mandibulaire avant mise en place des implants
(Chiapasco et coll. 2006)

IV.2.3. Le comblement sinusien (5, 36, 108)

IV.2.3.1. Généralités

Le comblement sinusien est indiqué lorsque l'espace prothétique inter arcade est satisfaisant et est associé à un manque de hauteur osseuse au niveau des secteurs postérieurs maxillaires due à une pneumatisation des sinus conjuguée à la résorption crestale. De plus, l'activité ostéoclastique entraîne également une diminution de la densité osseuse et l'os présent est de type III ou IV selon la classification de Lekholm et Zarb (1985).

Cette technique consiste en une sur-élévation du plancher sinusien associée à une greffe osseuse de comblement pour permettre la mise en place d'implants. Elle a été décrite pour la première fois par Tatum en 1974 mais la première publication date de 1980 par Boyne et James. La technique utilisée avait un abord latéral (technique de Caldwell modifiée) et la greffe utilisée était autogène d'origine iliaque. Depuis de nombreuses variantes ont été décrites que ce soit dans la voie d'abord (abord crestale par la technique de Summers) et les matériaux de comblement utilisés (os autogène intra oral, allogreffe, xéno greffe, greffe alloplastique, greffe composite).

La technique de Caldwell modifiée est indiquée en présence d'une hauteur osseuse inférieure à 8 mm. Elle consiste à surélever le plancher sinusien avec un volet vestibulaire puis à réaliser une greffe osseuse sinusienne de comblement. La technique de Summers, quant à elle, utilise des ostéotomes et fût développée en 1994. Elle est indiquée face à une hauteur osseuse sous sinusienne de 5 à 8 mm associée à un os de faible qualité. Cette technique vise à obtenir une élévation du plancher sous-sinusien de plusieurs millimètres après préparation progressive du site implantaire. Le but est de conserver et d'augmenter le volume osseux disponible.

IV.2.3.2. Le protocole opératoire

IV.2.3.2.1. Technique de Caldwell modifiée (figure 12)

La technique de Caldwell modifiée, d'abord latéral, fût la première mise en place afin de combler le manque de hauteur osseuse sous sinusienne.

Dans un premier temps chirurgical, une incision d'épaisseur totale est réalisée sur la crête ou légèrement en palatin, et est complétée par des décharges verticales aux extrémités afin de décoller un lambeau mucopériosté.

La face vestibulaire de l'os maxillaire étant ainsi exposée, une ostéotomie vestibulaire en volet (en forme de rectangle ou de demi cercle) à charnière supérieure est réalisée à l'aide d'une fraise à os pour atteindre le sinus. Des curettes à courbure variable sont utilisées pour le décollement de la membrane sinusienne qui est délicat de par son adhérence et sa fragilité. Les déchirures de la membrane sinusienne sont assez fréquentes (jusqu'à 30%), et selon leur étendue elles seront soit laissées tel quelles pour les plus minimes soit refermées par des sutures pour les plus importantes. Les déchirures n'influent en rien sur le pronostic de survie des implants. Ensuite le volet est rabattu à l'intérieur et positionné à l'horizontal formant ainsi un nouveau plancher sinusien. Le comblement de la cavité est alors réalisé avec la greffe autogène en bloc ou particulaire.

Le lambeau mucopériosté est repositionné et des sutures hermétiques sont réalisées. Selon la hauteur osseuse initiale disponible, les implants sont placés immédiatement (hauteur de 5 à 8 mm) ou de façon différé (hauteur < 5 mm) après 6 à 8 mois de cicatrisation.

Des modifications ont été apportées à cette technique, notamment par Tulasne. Celui-ci propose un abord classique du sinus en découpant une fenêtre à la fraise dans la paroi antérolatérale du maxillaire. La membrane sinusienne est décollée des parois sinusiennes (antérieure, plancher, interne et postérieure) à l'aide de décolleurs de courbures et de longueurs différentes. Ensuite l'auteur recrée un plancher sinusien avec un bloc cortico-spongieux, préalablement perforé pour faciliter la vascularisation. La face corticale est placée au contact de la membrane sinusienne et le reste de la cavité est comblé par de l'os cortico-spongieux broyé, des biomatériaux ou un mélange des deux. Ensuite le site est refermé comme précédemment.

Les avantages de l'abord latéral sont :

- une visualisation directe de la zone à combler
- un contrôle de la compaction du greffon
- un contrôle de la position et de la pénétration des implants dans les cas de mise en place simultanée
- utilisation de greffon en bloc ou de particules

Les inconvénients sont :

- un risque de perforation de la membrane sinusienne élevé
- un lambeau de grande étendue
- un risque d'infection secondaire du greffon



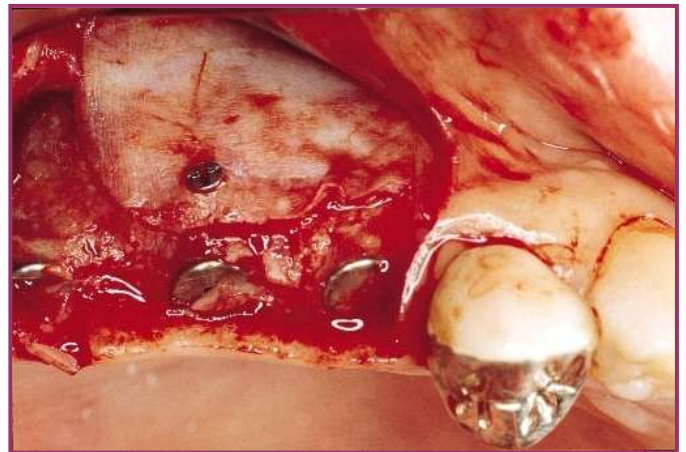
Vue préopératoire de la zone postérieure maxillaire



Lambeau d'épaisseur totale et abord sinusien par une fenêtre rectangulaire



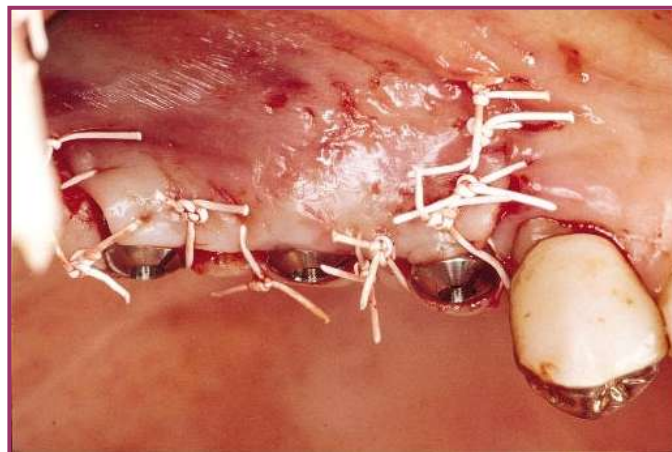
Mise en place de la greffe osseuse autogène d'origine mentonnière et des implants



Fermeture de la fenêtre à l'aide d'une membrane



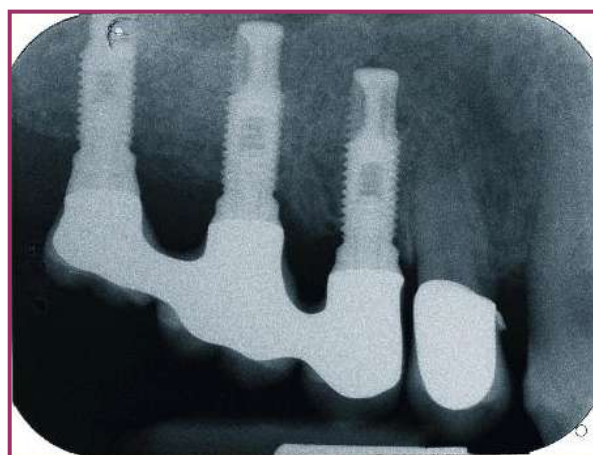
A 7 mois de cicatrisation fermeture de la fenêtre sinusienne par de l'os néoformé



Aménagement tissulaire grâce à un lambeau d'épaisseur totale puis partielle



Bridge final



Cliché radiographique du bridge à 1 an

Figure 12 : Comblement sous- sinusien avec une greffe osseuse autogène simultanément à la mise en place des implants (d'après Jovanovic et Hunt, 1999)

IV.2.3.2.2. La technique de Summers

La technique initiale développée par Summers utilisait des ostéotomes pour élever la membrane sinusienne. Cette technique a été par la suite modifiée par Lazzara qui a proposé la technique de l'ostéotome modifiée comprenant l'utilisation d'ostéotomes, de forêts et d'implants vissés. Cette technique est préconisée en présence d'une crête large (supérieure à 6 mm) et d'une hauteur sous sinusienne supérieure à 5 mm.

Après avoir levé un lambeau de pleine épaisseur au niveau de la crête, la préparation du site commence avec un foret de 2 mm. Le forage doit rester à 1mm du plancher sinusien. Ensuite le foret intermédiaire est de 3 mm (pour un implant de taille standard) sont utilisés en ne pénétrant jamais dans la cavité sinusienne.

Le matériau de comblement est alors introduit et avec l'ostéotome de Summers n°3, le plancher sinusien est fracturé et avec des apports successifs de matériau la membrane sinusienne est progressivement soulevée. L'ostéotome ne doit jamais pénétrer dans la cavité sinusienne. Une fois l'augmentation osseuse obtenue, le lambeau est repositionné et des sutures sont réalisées.

En cas de déchirure de la membrane sinusienne, deux solutions sont possibles : arrêter l'intervention et attendre 4 semaines de cicatrisation ou effectuer un abord vestibulaire de Caldwell.

Concernant de la mise en place des implants, les critères sont les mêmes que pour la technique précédente ; pour une hauteur inférieure ou égale à 4 mm l'implantation sera différée de 6 à 7 mois (technique en deux temps proposée par Summers : Futur Site Development ou FSD) et en présence d'une hauteur osseuse initiale comprise entre 5 et 8 mm l'implantation peut être réalisée en même temps que l'élévation du plancher sinusien.

Les avantages de l'abord crestal sont :

- un risque de perforation de la membrane sinusienne faible
- un lambeau de faible étendue
- une diminution du risque d'échec de l'ostéointégration suite à l'absence d'échauffement de l'os avec les ostéotomes

Les inconvénients sont :

- un contrôle indirect de la mise en place du greffon
- le degré de l'élévation de la membrane sinusienne non contrôlé
- les greffons sous forme de particules n'assurant pas la stabilité de l'implant

IV.2.4. La régénération osseuse guidée (ROG) (36, 74, 94)

IV.2.4.1. Généralités

La régénération osseuse guidée a fait suite à la régénération tissulaire guidée et a pour objectif l'augmentation du volume osseux crestal. Le principe biologique de la régénération osseuse guidée repose sur le concept de sélection cellulaire permettant la néoformation osseuse.

Ce concept de régénération osseuse a été élaboré par Murray et coll. en 1957. Les auteurs ont réalisé une cavité dans un os iliaque canin isolée par une cage en plastique et après cicatrisation la cavité était comblée par du tissu osseux. Le traitement des déficits osseux péri-implantaires par régénération osseuse guidée fût étudié dans plusieurs études tant chez l'homme que chez l'animal. Fiorellini et Nevins ont rapporté en 2003 des taux de réussite de 95,8% pour des implants placés dans de l'os régénéré, ce qui est similaire à ceux placés dans de l'os natif. De plus, l'os régénéré réagit de la même façon que l'os originel à la mise en place d'implants et aux charges fonctionnelles.

Lors de la régénération osseuse guidée, la cicatrisation compartimentalisée est obtenue avec une membrane qui sert de barrière physique. Les membranes classiquement utilisées actuellement sont des membranes non résorbables fabriquées à partir de polytétrafluoréthylène expansé (PTFE-e) : il s'agit de membranes GTAM (Gore Tex® Augmentation Material). Elles sont composées d'une partie interne plus rigide avec une porosité limitée assurant l'exclusion des cellules épithéliales et conjonctives et d'une partie externe plus souple permettant une parfaite adaptation sur les berges du site osseux. Les membranes ont une triple action:

- prévention de la prolifération cellulaire de la muqueuse de recouvrement
- stabilisation du caillot sanguin
- opposition à la résorption en cas de greffe

La régénération osseuse guidée est indiquée en préimplantaire pour l'augmentation localisée de la crête alvéolaire et le maintien du processus alvéolaire après extraction, en per et postimplantaires lors de défauts péri implantaires.

IV.2.4.2. Les étapes biologiques (94)

La régénération osseuse se déroule selon une séquence constituée par une suite d'étapes biologiques similaires à celles de la formation osseuse naturelle. Le déroulement fût décrit en détail par Schenk et coll. en 1994 et confirmé par Simion et coll. en 1999. Schenk et coll. ont étudié le schéma de cicatrisation à 2 et 4 mois après l'intervention.

Les différentes étapes sont :

- comblement des cavités de la moelle osseuse
- caillot sanguin résiduel au milieu du défaut
- formation d'un réseau de petits vaisseaux sanguins
- formation d'un fin tissu ostéoïde
- minéralisation
- formation d'os fibrillaire
- vascularisation des tissus ou spongiose primaire
- comblement des espaces intratrabéculaires
- maturation
- os lamellaire
- corticalisation (augmentation de la masse osseuse)
- remodelage (perte de densité) : remplacement des ostéons primaires par des ostéons secondaires
- spongiose secondaire.

La formation osseuse n'est pas terminée au bout de 4 mois selon les auteurs (Schenk et coll. 1994).

IV.2.4.3. Le protocole opératoire (10)

La régénération osseuse guidée peut être réalisée soit lors d'une approche simultanée soit lors d'une approche différée. (figure 13)

IV.2.4.3.1. Approche simultanée

Selon Buser et coll (1993), la membrane et l'implant peuvent être positionnés en même temps dans trois situations anatomiques :

- une largeur de crête insuffisante

- exposition d'une des faces de l'implant en position idéale
- implant dans une alvéole d'extraction

Le défaut ne doit pas être de volume trop important et l'obtention d'une stabilité primaire de l'implant doit être possible.

L'incision se fera au sommet de la crête ou légèrement décalée et des incisions de décharges seront réalisées de part et d'autre du site à planter à distance des bords de la membrane. Le lambeau doit avoir une base large pour assurer la vascularisation et il sera décollé en pleine épaisseur. L'implant est mis en place dans sa position idéale et dans le cas d'une implantation immédiate il sera positionné à 3 ou 4 mm plus apicalement que le fond de l'alvéole pour assurer une bonne stabilité. Le site présente alors soit un défaut vertical (déhiscence ou fenestration) soit un défaut circonferentiel. La membrane est alors découpée selon la morphologie du défaut avec un excès de 2 à 5 mm pour permettre une bonne adaptation sur les berges du défaut osseux. Tout angle vif doit être évité pour ne pas déchirer la muqueuse. L'os peut être stimulé en perforant la corticale pour ouvrir les espaces médullaires. La membrane positionnée est fixée à l'aide de vis ou mini clous. Pour éviter l'affaissement de la membrane, des renforts en titane, des vis en piquet de tente ou une greffe osseuse peuvent être utilisés. Le recouvrement du site par le lambeau doit être complet et les sutures sont réalisées sans traction du lambeau. Le port de prothèse amovible est interdit pendant 4 à 8 semaines et la membrane est déposée 8 à 12 mois plus tard.

IV.2.4.3.2. Approche différée

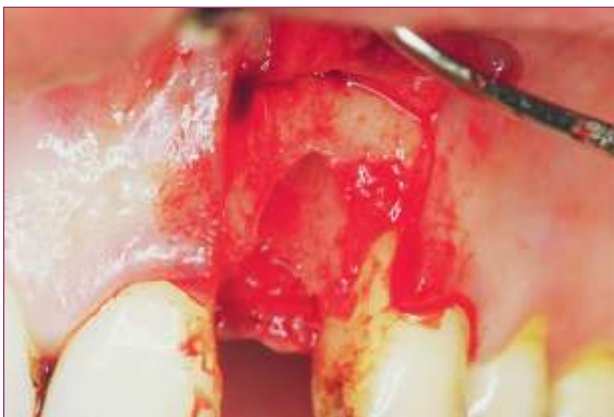
L'augmentation de volume, l'amélioration morphologique et le maintien ou l'augmentation osseuse suite à une extraction nécessite une approche différée. Elle sera alors envisagée lorsque les conditions citées ci-dessus ne sont pas remplies (principalement quand le défaut osseux est très volumineux et que la stabilité primaire de l'implant n'est pas possible).

La régénération osseuse guidée au niveau d'une alvéole déshabillée permet d'éviter une importante résorption de la crête alvéolaire. Elle peut soit se faire en même temps que l'extraction, soit 2 à 3 mois après l'extraction afin d'obtenir une cicatrisation de l'épithélium avant de réaliser la régénération osseuse comme l'ont suggéré Buser et coll. car le recouvrement complet de la membrane par les tissus mous est la clé de la prévisibilité de la régénération osseuse en limitant les risques d'infection. Les implants sont positionnés après régénération et maturation de l'os, soit 9 mois plus tard.

Le protocole opératoire est similaire à l'approche simultanée, la différence résidant dans le fait que les implants sont mis en place après la régénération soit au bout de 9 à 12 mois lors de la dépose de la membrane. L'inconvénient majeur de cette technique est la durée du traitement : 9 à 12 mois pour la ROG et 3 à 6 mois pour l'ostéointégration.



Situation clinique pré-opératoire : fracture radiculaire sur 22 et déhiscence vestibulaire



Décollement du lambeau vestibulaire : présence d'un défaut osseux vertical



Mise en place de la membrane. Sutures.



Dépose de la membrane



Sutures après dépose de la membrane



Cicatrisation à 6 mois



Radiographie de l'implant en place



Couronne sur implant

Figure 13 : Remplacement d'une 22 fracturée par un implant après régénération osseuse guidée.
(photos du Dr Struillou Xavier)

IV.2.5. Les concentrés plaquettaires (39, 40, 49, 73, 78)

IV.2.5.1. Historique et mode opératoire

Parmi l'arsenal thérapeutique antihémorragique, les colles de fibrine se sont développées dans les années 1970, notamment avec les travaux de Matras. Elles correspondent à un mécanisme biologique naturel amplifié de manière artificielle, la polymérisation de la fibrine au cours de l'hémostase. Ces colles sont des produits dérivés du sang issus de l'industrie pharmaceutique et représentent donc un risque de contamination virale. C'est pourquoi des protocoles de mise au point de colles de fibrine autologues se multiplièrent, mais sans succès. Les techniques artisanales présentaient un taux de fibrinogène moins élevé que dans les produits pharmaceutiques et les techniques industrielles présentaient des taux intéressants mais un protocole long et complexe. Il fallut attendre 1994 avec Tayapongsak et coll. pour avoir la description d'un protocole de centrifugations et de manipulations à partir d'un prélèvement de sang préopératoire aboutissant à ce qu'ils ont nommé AFA (autologus fibrin adhesion). Ce protocole est assez fastidieux mais a permis d'obtenir une colle de fibrine utilisable avec des greffes osseuses pour maintenir les fragments et éviter les séquestres osseux

De là, les premiers à mettre au point une technique pour enrichir le milieu de cicatrisation en plaquettes, furent Marx et coll. en 1998 avec le plasma riche en plaquettes ou *platelet rich plasma* : PRP. Le PRP est obtenu après une double centrifugation de sang total prélevé sous anticoagulant. La première centrifugation sépare le sang en trois couches :

- au fond du tube des hématies et des leucocytes (55% du volume total)
- à la surface du plasma pauvre en plaquettes, *poor platelet plasma* ou PPP (40% du volume total)
- au milieu une zone claire, manteau blanchâtre (*buffy coat*), contenant une forte concentration de plaquettes et du fibrinogène (5% du volume totale)

Le PPP, le PRP et un peu d'hématies sont ensuite aspirés avec une seringue stérile et mis dans un autre tube sans anticoagulant. Puis après une deuxième centrifugation, trois couches se distinguent à nouveau :

- au fond du tube, quelques hématies résiduelles
- à la surface le plasma acellulaire (PPP) (80% du volume total)
- entre les deux une couche blanchâtre : le cPRP (concentrated platelet rich plasma)

Le cPRP est recueilli à l'aide d'une seringue avec une petite dose de PPP nécessaire à la remise en suspension des plaquettes et des hématies d'où l'aspect rosé du cPRP final.

Enfin le cPRP est mélangé à de la thrombine bovine et du chlorure de calcium pour réaliser la gélification du concentré plaquettaire.

Par la suite de nombreux protocoles se sont développés à l'aide de machines qui nécessitent de bien connaître leur principe de fonctionnement pour les manipuler (protocoles Harvest, Platelet concentrated collections system de 3I, Curasan...).

En France, du fait d'une législation restrictive qui interdit la manipulation de produits dérivés du sang, Choukroun et coll. en 2001 ont mis au point un nouveau concept de concentrés plaquettaires : le PRF ou *platelet rich fibrin*. Le protocole est plus simple et ne nécessite ni anticoagulant, ni thrombine bovine (ou autre adjuvant gélifiant). Le sang est prélevé sans anticoagulant puis immédiatement centrifugé pendant 10 minutes. En quelques minutes les plaquettes sont activées et coagulation commence. On obtient un caillot de fibrine au cœur du plasma acellulaire (PPP) et un culot d'hématies dans le fond du tube. Le PRF peut être utilisé sous forme de gel, de membrane ou fragmenté. Il est composé de fibrine pontée naturellement présentant ainsi une architecture physiologique et une grande partie de leucocytes a été incorporée. Il est ainsi adapté à la conduction cellulaire, à l'échafaudage tissulaire et à la résistance à l'infection selon les auteurs.

IV.2.5.2. Indications et contre indications du PRP ET PRF

Les contre indications à l'utilisation des concentrés plaquettaires sont les pathologies de coagulations et plus particulièrement :

- les thrombocytopénies congénitales avec le syndrome de Wiskott-Aldrich
- les thrombocytopénies acquises :
 - infectieuses : virales (hépatites HIV), bactériennes (tuberculose, syphilis, diphtérie,...) ou protozoaires (paludisme)
 - allergies et intoxications médicamenteuses
 - alcoolisme chronique

Les indications des concentrés plaquettaires sont vastes et concernent de nombreux domaines médicaux : la chirurgie générale, la chirurgie ophtalmique, la chirurgie maxillo-faciale, la chirurgie plastique, la chirurgie orthopédique et la dermatologie.

En odontologie, leur utilisation concerne les tissus durs et les tissus mous afin d'obtenir une cicatrisation de bonne qualité et dans les meilleurs délais. Ils seront utilisés aussi bien en parodontologie qu'en implantologie :

- préparation des sites implantaire
- comblement sinusien
- comblement alvéolaire
- traitement des défauts osseux
- amélioration de l'ostéointégration dans les cas défavorables (patient diabétique, os de type IV...)
- cicatrisation parodontale

IV.2.5.3. Utilisation clinique (1, 4, 18, 34, 73, 77, 90)

L'étude de Marx et coll (1998) sert de référence sur l'utilisation clinique du PRP. Elle relate l'utilisation du PRP avec une greffe autologue à la mandibule. Après un temps de cicatrisation de 6 mois, l'indice de maturité de greffe est relevé par les auteurs (rapport entre la maturité de la greffe estimée radiologiquement et la maturité de la greffe actuelle en fonction du temps de cicatrisation). Celui-ci est deux fois plus important jusqu'à 4 mois avec l'utilisation de PRP, ensuite les résultats sont similaires. Ils en concluent donc que le PRP augmente et accélère la formation osseuse quand il est associé à une greffe osseuse.

Anitua (1999) utilise du PRP avec ou sans greffe osseuse dans des alvéoles d'extraction. Il relève 3 avantages à l'utilisation du PRP : la réépithélialisation rapide du site opéré, la quantité importante d'os régénéré et l'augmentation de la maturité osseuse.

L'utilisation de PRP mixé avec une greffe d'os iliaque à la mandibule a entraîné une augmentation de la cicatrisation osseuse (Al-Sukhun et coll. 2007), tandis que le PRP interposé entre une greffe osseuse en bloc et le lit receveur ne semble apporter aucune amélioration (Miranda et coll. 2006).

Lors de l'augmentation sinusienne, le PRP semble être moins efficace. Raghoobar et coll. (2005) et Boyapati et Wang (2006) ne rapportent aucun bénéfice notable à l'utilisation de PRP lors de greffe sinusienne. Quant à Consolo et coll. (2007), ils notent seulement une augmentation de la régénération osseuse à court terme (4 mois), ensuite les résultats sont similaires à la greffe autologue seule.

Actuellement les résultats concernant le PRP sont variables selon les études, allant d'une absence de bénéfice à une augmentation de la régénération osseuse et de la cicatrisation. Un

recul clinique plus important et des études supplémentaires semblent nécessaires pour évaluer réellement les effets du PRP.

Le PRF, quant à lui, est un produit qui n'a pas donné lieu à d'études autres que celles de Choukroun et coll. (2004). Choukroun et coll. ont réalisé des comblements sinusiens avec de l'os allogénique chez neuf patients avec ou sans PRF. Des prélèvements osseux sont effectués à 4 mois lors de la mise en place des implants pour les 6 patients avec PRF et à 8 mois pour ceux sans PRF en raison d'un aspect radiologique défavorable. Les auteurs concluent que le PRF permet de diminuer le volume et le temps de maturation du greffon (architecture osseuse comparable des greffons avec PRF à 4 mois et sans PRF à 8 mois).

IV.2.6. Les protéines morphogénétiques osseuses recombinée (rhBMP) (57, 114)

IV.2.6.1. Origine

L'hypothèse de l'existence des BMP a été émise dès 1938 par Levander. Il a observé une formation osseuse dans un site ectopique à partir de fragments osseux et en a déduit la présence de protéines solubles issues du tissu osseux capables de stimuler et de générer la formation d'un os néoformé. Urist a poursuivi les recherches sur ces protéines et leur a donné leur nom, *bone morphogenetic proteins* ou *BMP*, en 1965. Par la suite, il a montré qu'elles pouvaient être séparées du tissu osseux. Aujourd'hui plus de 20 BMPs sont connues ainsi que leurs caractéristiques biochimiques et biologiques et leurs séquences d'acides aminés. Les BMPs font partie de la grande famille des TGF β .

IV.2.6.2. Protocole opératoire

Afin de pouvoir les étudier et les utiliser, de grande quantité de BMP, ou BMPs recombinantes (rhBMP), ont été fabriquées par génie génétique. Des études ont montré que parmi les différentes BMP, seules les BMP-2, 4, 5, 6 et 7 étaient ostéoinductrices.

Les rhBMPs utilisées actuellement en implantologie sont les rhBMPs-2 et les rhBMPs-7. Leur application est réalisée à l'aide d'éponges de collagène résorbables imprégnées de rhBMPs et implantées dans le site osseux à régénérer.

L'utilisation des BMPs en implantologie est indiquée dans :

- la préservation et l'augmentation de crête alvéolaire

- le traitement des défauts péri-implantaires
- le comblement sinusien

IV.2.6.3. Utilisation clinique (19, 45)

Dans leur étude Fiorellini et coll. (2005) comparent la cicatrisation osseuse d'alvéoles d'extraction après l'utilisation de rhBMP-2 (selon deux dosages différents), d'un placebo ou sans traitement. Quatre vingt quinze défauts ont été étudiés sur 80 patients dont :

- 20 patients sans traitement
- 17 avec une éponge contenant 0,00mg/ml de rhBMP-2 (le placebo)
- 22 avec une éponge contenant 0,75mg/ml de rhBMP-2
- 21 avec une éponge contenant 1,5mg/ml de rhBMP-2.

L'augmentation osseuse la plus importante en largeur et en hauteur a été obtenue chez les patients avec le taux de 1,5mg/ml de rhBMP-2 permettant ainsi un placement implantaire adéquat et une moindre nécessité de seconde intervention.

Boyne et coll. (2005) comparent l'utilisation de deux dosages de rhBMP-2 (0,75mg/ml et 1,5mg/ml) avec la greffe osseuse seule dans l'augmentation sinusienne. Au niveau de la hauteur du mur alvéolaire, les augmentations sont semblables pour les 3 groupes avec 11,3 mm pour la greffe osseuse, 9,5 mm pour 0,75mg/ml et 10,2 mm pour 1,5mg/ml de rhBMP-2. A l'inverse, pour la largeur, les résultats sont différents au niveau crestal et se resserrent progressivement vers l'apex avec en crestal 4,7 mm pour la greffe, 2,0 mm pour 0,75 et 2,0 pour 1,5 mg/ml alors qu'au niveau du plancher la largeur est de 10,6 mm pour la greffe, 11,9 mm pour 0,75 mg/ml et 10,8 mm pour 1,5 mg/ml de rhBMP-2.

Groupe \ Gain osseux	Hauteur	Largeur crestale	Largeur apicale
Greffe osseuse seule	11,3 mm	4,7 mm	10,6 mm
0,75mg/ml rhBMP-2	9,5 mm	2,0 mm	11,9 mm
1,5mg/ml rhBMP-2	10,2 mm	2,0 mm	10,8 mm

Tableau 4 : Résultats de l'étude de Boyne et coll. (2005)

La densité osseuse à 4 mois dans les sites avec greffes osseuses est supérieure au groupe avec rhBMP-2 (350 vs 84 et 137 mg/cc) alors qu'à 6 mois, après la mise en fonction des implants, les résultats sont semblables (448 / 456 /508 mg/cc). Et au niveau implantaire, les résultats sont pour :

- le groupe avec greffe osseuse : -100% des patients ont reçu leurs implants
 - avec un taux de survie de 81%
- le groupe avec 0,75 mg/ml de rhBMP-2 : - 83% des patients ont reçu leurs implants
 - avec un taux de survie de 88%
- le groupe avec 1,5 mg/ml de rhBMP-2 : - 88% des patients ont reçu leurs implants
 - avec un taux de survie 79%.

Enfin la perte osseuse crestale au niveau des implants, entre leur mise en place et leur mise en charge, est de 1,3 mm pour le groupe avec la greffe osseuse, de 1,4 mm pour celui avec 0,75mg/ml et de 2mm dans le groupe avec 1,5 mg/ml de rhBMP-2.

Cette étude ne montre pas de différence significative au niveau du gain osseux et des résultats implantaires entre les deux concentrations de rhBMP-2 et la greffe osseuse seule, toutefois entre les deux concentrations de rhBMP-2, la concentration la plus élevée semble induire une formation osseuse plus rapide.

IV.3. Place et choix de la technique

La régénération osseuse peut être réalisée en pré-implantaire, en per-implantaire ou en post-implantaire. Il est important de savoir quelle technique est la plus adaptée au temps opératoire et au défaut osseux existant afin d'assurer un gain osseux satisfaisant ainsi que des résultats implantaires élevés.

Après avoir montré les différents résultats des techniques en fonction du temps opératoire, nous essaierons de faire ressortir les critères de choix des techniques de régénération.

IV.3.1. En pré-implantaire

En présence d'un déficit osseux important, une régénération osseuse pré-implantaire est indiquée afin de permettre la mise en place d'implants, d'assurer leur stabilité primaire et leur ostéointégration.

IV.3.1.1. La greffe osseuse d'apposition

IV.3.1.1.1. Indications (28, 47)

La greffe osseuse d'apposition est indiquée dans les reconstructions alvéolaires verticales et horizontales que se soit à la mandibule ou au maxillaire. Les reconstructions alvéolaires verticales sont indiquées en présence d'une hauteur osseuse insuffisante à la mise en place d'implants et d'un espace prothétique augmenté. L'étendue et la morphologie du défaut vont influencer sur le choix du greffon, l'utilisation ou non d'une membrane et la méthode de greffe en bloc ou en particules.

Les greffes en bloc sont indiquées pour les défauts de moyenne et grande étendues et avec peu de parois résiduelles, qu'ils soient horizontaux ou verticaux. Les greffes particulières doivent être maintenues en place et stabilisées par une membrane non résorbable et sont recommandées en présence de défauts de petites étendues et avec 3 ou 4 parois osseuses résiduelles.

Les greffons sont soit d'origine intra orale (symphyse, ramus et tubérosité maxillaire) soit extra orale (crête iliaque et voûte crânienne). Le choix du greffon se fait selon l'étendue du défaut, la quantité d'os disponible au niveau du site donneur et l'adhésion du patient. La crête iliaque et la voûte crânienne, par le volume osseux disponible, sont indiquées lors de la reconstruction de défauts de grande étendue alors que pour les défauts de petite et moyenne étendues les greffons d'origine intra orale sont suffisants. Le greffon symphysaire est choisi en présence :

- d'un défaut n'excédant pas 3 dents,
- d'un espace suffisant entre les racines des incisives mandibulaires et le bord inférieur de la mandibule pour réduire les risques de dommages sensitifs des dents
- en l'absence d'implant dans la région mentonnière

Le greffon ramique est, quant à lui, indiqué pour des défauts limités (≤ 2 dents) et lorsque le greffon symphysaire (mentonnier) est contre indiqué.

La résorption du greffon est inhérente à tous les types de greffons. Elle est la plus importante pendant la guérison de la greffe et la première année suivant la mise en charge de l'implant. L'origine du greffon influe également sur le taux de résorption; il est admis que les greffons d'origine membraneuse (même origine que le site receveur) se résorbent moins que les greffons d'origine endochondrale. L'os iliaque présente le taux de résorption le plus important allant de 12% à 60% alors que les greffons provenant de la voûte crânienne ont un taux de 0% à 15% pour des reconstruction alvéolaires verticales. La perte osseuse avec un greffon d'origine crânienne est, dans la majorité des cas, inférieure à 0,5 mm au bout de 19 mois alors que pour un greffon provenant de la crête iliaque la résorption rapportée est entre 1,49 et 2,2 mm la première année (Iizuka et coll. 2004). Une étude portant sur l'évolution du volume et de la densité des greffons issus de la voûte crânienne de Smolka et coll. (2006) a rapporté une réduction de volume de 16,2% au bout de 6 mois et de 19,2% au bout de une année alors que pour les greffons de la crête iliaque la réduction approche les 50%. De plus, l'os obtenue est de bonne qualité (80% de classe 1 et 20% de classe 2-3 de Lekholm et Zarb) avec une densité élevée au cours de la première année. Ainsi, il semble que les prélèvements crâniens soient plus favorables à ceux de la crête iliaque lors de reconstructions de grande étendue.

L'étude de Cordaro et coll. (2002) porte sur 15 patients nécessitant une augmentation osseuse alvéolaire verticale ou horizontale. Des greffons osseux en bloc issus de la symphyse ou du ramus de la mandibule non recouverts par une membrane sont utilisés pour la reconstruction. Les auteurs mettent en évidence la différence de résorption entre les reconstructions maxillaire et mandibulaire et entre les reconstructions horizontale et verticale:

- reconstruction horizontale : - maxillaire : résorption de 20%
 - mandibule : résorption de 27,5%
- reconstruction verticale : - maxillaire : résorption de 41,5%
 - mandibule : résorption de 43,5%

Ainsi il semblerait que la résorption du greffon soit plus importante à la mandibule qu'au maxillaire et pour les reconstructions verticales.

Afin d'anticiper la résorption, le greffon doit être un peu surdimensionné pour obtenir le volume osseux final adéquat. De plus les greffons cortico-spongieux sont conseillés car ils résistent mieux à la résorption que les greffons spongieux.

Pour diminuer la résorption du greffon certains auteurs ont préconisés l'utilisation de membrane non résorbables. L'étude de Antoun et coll. (2001) a mis en évidence un taux de résorption moindre dans les sites greffés (greffon symphysaire) avec une membrane non résorbable (e-PTFE) au bout de 6 mois :

- greffe + membrane : résorption de 0,3 mm (de 0 à 0,8)
- greffe seule : résorption de 2,3 mm (de 1,7 à 4,6)

Ceci est d'autant plus marqué que l'épaisseur des greffons utilisés seuls était supérieure à ceux utilisés avec la membrane.

L'utilisation d'un filet en titane (Ti-Mesh) pour une reconstruction alvéolaire verticale a été étudiée par Roccuzzo et coll. (2007). Ils ont obtenu un taux de résorption de 13,5% avec l'utilisation du filet et 34,5% sans filet pour des greffons issus du ramus de la mandibule.

Cependant, la revue de littérature sur les preuves de la prévention de la résorption des greffes par les membranes réalisée par Raghoobar et coll. (2007) rapporte un manque de données (études et critères) pour conclure de façon certaine à un bénéfice apporté par les membranes.

De plus, l'utilisation de membrane afin de diminuer la résorption doit être discutée en raison du temps opératoire qui est plus important, des complications plus importantes (risque d'exposition de la membrane) et du coût plus élevé.

Deux études récentes (Maiorana et coll. 2005 et Proussaefs et Lozada, 2005) ont utilisé de l'os bovin inorganique pour recouvrir la greffe en onlay afin de diminuer la résorption des greffons. Proussaefs et Lozada obtiennent une résorption de 17,4% au bout de 4-6 mois pour une augmentation verticale.

IV.3.1.1.3. Résultats

IV.3.1.1.3.1 Résultats au niveau de l'os (6, 9, 25, 29, 35, 93, 102)

Pour les reconstructions alvéolaires horizontales, les gains osseux obtenus à la mise en place des implants varient de 0 à 7 mm avec une moyenne comprise entre 2,9 à 5,2 mm et les résorptions sont comprises entre 0 et 4,6 mm avec une moyenne entre 0,3 et 2,3 mm. Les greffons utilisés lors de ces études étaient d'origine intra-orale (symphyse et ramus) hormis pour l'étude de Chiapasco et coll. de 1999 qui ne précise pas l'origine du greffon.

Pour les reconstructions alvéolaires verticales, les gains osseux varient de 0 à 7 mm avec une moyenne allant de 1,4 à 4,8 mm et les résorptions sont comprises entre 0,6 et 2 mm. Dans ces études tous les greffons proviennent du ramus ou de la symphyse.

Il est difficile de déterminer des facteurs influençant le gain osseux, par le manque de précision dans les résultats en fonction du site, de l'étendue et du greffon.

L'étude de Cordaro et coll. (2002) est la seule à faire la distinction entre la mandibule et le maxillaire et les augmentations verticale et horizontale dans ses résultats. Il semble que les gains osseux soient plus importants pour les reconstructions horizontales que pour les reconstructions verticales (5 vs 2,2 mm). Il en est de même pour le maxillaire vs mandibule (5,2 vs 4,75 mm en horizontal et 2,75 vs 1,4 mm à la verticale), ce qui correspond à une résorption plus importante à la mandibule.

Le taux de succès des greffes d'apposition est généralement entre 85% et 95% (Baccar et coll. 2005 et Schwartz-Arad et coll. 2005).

IV.3.1.1.3.2. Résultats au niveau des implants (25, 28, 82)

Le taux de survie des implants mis en place dans des sites greffés varie de 60% à 100% et pour la majorité des articles le taux est supérieur à 90%. Au maxillaire la moyenne du taux de survie des implants mis en place dans un délai de 4 à 8 mois après la greffe est de 93,4%. A la mandibule, ce taux est de 100%. Le taux de survie est en rapport avec l'origine du greffon : les greffons de la crête iliaque ont un taux d'échec implantaire de 17,5%, les greffons de la voûte crânienne de 5,1% et les greffons intraoraux de 2,9%.

Le taux de succès des implants quant à lui oscille entre 83% et 100%, mais peu d'articles le mentionnent dans leurs résultats.

IV.3.1.1.4. Complications (28, 108)

Les complications décrites dans les différentes études sont des perturbations neurologiques temporaires dans 10 à 50 % des cas pour les prélèvements symphysaires (dysesthésie au niveau des incisives et paresthésies labio-mentonnière) et dans 0 à 10 % pour le ramus (paresthésie sur le trajet du nerf alvéolo-dentaire inférieur). Au niveau de la crête iliaque, les patients ont présenté des suites opératoires douloureuses et un boitement et, au

niveau de la voûte crânienne, aucune complication n'a été décrite par les auteurs. Globalement les sites donneurs présentent un taux de morbidité bas.

Au niveau de la greffe, les pertes partielles du greffon sont survenues dans 3,3% des cas, et elles sont apparues suite à une déhiscence et ou une infection. Quant à la perte totale de la greffe, elle est très rare (1,4% des cas) et elle est souvent liée à la taille du défaut et à la nature du greffon.

IV.3.1.2. Le comblement sous-sinusien

IV.3.1.2.1. Indications (5, 36, 108)

Le comblement sous-sinusien avec la voie d'accès latérale ou avec la voie d'accès crestale est indiqué en pré-opératoire lorsque la hauteur de crête résiduelle est insuffisante à la mise en place d'implants, c'est-à-dire avec une crête alvéolaire inférieure à 5 mm.

La limite de 5mm correspond à l'obtention ou non de la stabilité primaire de l'implant. Il est admis que cette stabilité est obtenue à partir de 5 mm d'os résiduel. Une implantation immédiate de l'implant peut alors être envisagée.

IV.3.1.2.2. Choix du greffon et de la technique (36, 58, 75, 108)

Lors de comblement sinusien, différents greffons autogènes peuvent être utilisés : greffons extra oraux ou intra oraux. Les greffons d'origine extra orale (iliaque et crânien) sont préconisés pour les reconstructions de volume important, alors que les greffons intra oraux (ramus, symphyse et tubérositaire) sont plus indiqués dans les défauts de volume moins importants. Les greffons seront utilisés soit sous forme de bloc soit sous forme de particules. Pour la technique de comblement d'accès latéral, les deux formes de greffon peuvent être utilisées alors que pour l'abord crestal, seule la forme particulaire est utilisée. Les avantages et les inconvénients de la greffe d'os spongieux morcelé sont :

- avantages :
 - une revascularisation rapide
 - une consolidation rapide du greffon
- inconvénients :
 - une faible densité initiale du greffon
 - un risque de perte de volume après remodelage
 - une impossibilité de stabiliser l'implant si le plancher sinusien est trop fin

Et les avantages et inconvénients de la greffe monobloc d'os corticospongieux sont :

- avantages :
 - la facilité à stabiliser avec des vis
 - une stabilisation de l'implant quand le plancher sinusien est fin
 - la possibilité d'obtenir un volume osseux plus important après remodelage
 - une forte densité initiale
- inconvénients :
 - une lente revascularisation
 - une sensibilité à l'infection
 - la perte de densité pendant la première phase de remodelage et de revascularisation
 - un greffon techniquement plus difficile à adapter au site receveur

Lors de l'abord latéral, l'intérêt de l'utilisation d'une membrane pour refermer la fenêtre d'accès au sinus a été étudié par Tarnow et coll. (74) : ils ont obtenu un taux de survie implantaire de 100% dans les cas avec membrane et un taux de 92,6% sans membrane. De plus l'analyse histologique a montré un taux d'os vivant de 25,5% dans les sites avec membrane et un taux de 11,9% dans les sites sans membrane. L'utilisation de membrane résorbable ou non, ne semble pas influencer les résultats, étant donné que dans ce cas elles ont pour but de protéger et non pas de maintenir un espace clos.

IV.3.1.2.3. Résultats (5, 28, 56, 58, 85, 87, 91, 107, 116)

Les résultats implantaires sont variables d'une étude à une autre, et sont influencés, entre autre, par le greffon utilisé, le type d'édentement, l'implant mis en place et la technique utilisée. Le taux de survie implantaire varie de 80% à 100% et le taux de succès, très peu donné par les auteurs, se situe entre 90% et 100%.

La technique de comblement sinusien par abord crestal comprend peu d'études en pré-opératoire. Chiapasco et coll. (28) rapportent un taux de survie de 98,5% et un taux de succès de 97,8% suite à une augmentation de sinus simultanément à l'extraction de la molaire réalisée par Fugazzotto et coll. (2002). Et un taux de succès de 100% sur 57 implants placés dans des sites augmentés par « Futur Site Development » par Toffler (2002).

Suite à un comblement sous-sinusien par abord latéral, le gain osseux obtenu suite à la greffe est très rarement documenté. Raghoobar et coll. (2001) rapportent une hauteur de crête de 13mm au moins après la greffe avec au départ une crête de 3+/- 2 mm (allant de 1 à 7 mm). Iturriaga et Ruiz (2004) ont, quant à eux, relevé une hauteur de crête moyenne à la mise en charge des implants de 18mm (15 à +20 mm).

Lors de reconstruction par voie latérale, les greffons issus de la crête iliaque sont les plus utilisés de par la quantité disponible. Leur taux de survie varie de 92% à 99,5%. Dans l'étude de Raghoobar et coll. (2001) les taux de survie implantaire des greffons issus de la crête iliaque ou de la symphyse mentonnière sont mis en évidence avec respectivement 92,5% et 94,6%. L'étude d'Iturriaga et Ruiz (2004) concerne uniquement des greffons issus de la calvaria et sur les 223 implants placés, aucun n'a été perdu. Jovanovic et Hunt (1999) ont pour leur part utilisé des greffons d'origine intra orale (symphyse et tubérosité) et leur taux de survie était de 95,5%. Les implants placés dans des greffons d'origine membranaire ont les taux de survie les plus importants.

La forme du greffon, en bloc ou en particules, peut également influencer sur les résultats. Bien que la majorité des études utilisent les deux, Del Fabbro et coll. (2004) ont fait une analyse des résultats trouvés dans la littérature et ils ont rapporté un taux de succès de 82,9% pour les greffes de blocs, 89,4% pour les greffes combinées et 92,5% pour les greffes d'os en particules. De même, Wallace et Froum (74) ont obtenu des résultats semblables avec 83,3% pour les greffes de blocs et 92,3% pour les greffes de particules.

Dans leur étude, Raghoobar et coll. (2001) mettent en avant la différence entre les patients partiellement et totalement édentés. Une différence significative du taux de survie implantaire est notée avec 90,8% pour les patients totalement édentés et 97% pour les patients partiellement édentés. Les auteurs expliquent ces résultats par la présence chez les patients partiellement édentés de mâchoires moins résorbées et la répartition des forces occlusales de sur les dents naturelles. De plus, les patients édentés sont autorisés à porter leur prothèse durant la phase de cicatrisation et ils présentent une pauvre qualité osseuse.

Le type d'implant utilisé peut également influencer les résultats. La survie d'implants de type Brånemark à surface usinée et ITI à surface mordancée a été comparée dans l'étude de Pinholt (2003). Les reconstructions ont été réalisées avec des greffons issus de la crête iliaque, de la symphyse et du ramus. Les implants ont été placés 4,5 mois après la greffe et la reconstruction prothétique finale a été placée 6 à 8 mois. Le taux de survie des implants Brånemark est de 81% et celui des implants ITI de 98%. Dans l'étude de Stricker et coll. (2003) le taux de survie des implants ITI placés dans un sinus greffé avec de l'os iliaque est

de 99,5%. Les surfaces implantaires mordancées semblent donc augmenter les taux de survie implantaires.

IV.3.1.2.4. Complications (28)

Les guérisons se font principalement sans complication dans 87% des cas. Quand elles surviennent, elles concernent soit le site donneur soit le site receveur et apparaissent soit en per-opératoire soit en post-opératoire.

Au niveau du site donneur, aucune complication majeure n'est rapportée par les différents auteurs. L'apparition d'hématomes, de douleur minime ou d'inconfort, de gêne à la marche et de paresthésie de la gencive labiale a été rapportée. Lors de prélèvement au niveau de la calvaria (55), chez 3 patients sur 58, il y eut une pénétration dans la boîte crânienne et chez 2 patients 2 petits patches d'alopecie sont apparus.

La complication per-opératoire la plus fréquente est la perforation de la membrane sinusienne. Son taux varie de 5 à 40% selon les études. Selon l'étendue de la perforation, elle sera traitée ou non. L'étude de Karabuda et coll. en 2006 (115) conclut que la perforation de la membrane sinusienne ne compromet pas le processus d'ostéointégration ou le succès des implants placés dans les sinus maxillaires augmentés.

Parmi les complications post-opératoires, l'apparition de sinusites a lieu dans 5% des cas. Elles vont de la sinusite transitoire à la sinusite purulente. Suite à une déhiscence du lambeau, une perte totale ou partielle du greffon peut se produire mais ceci reste rare (0,1% des patients). La résorption du greffon iliaque a été évaluée à 29% à 3 mois dans l'étude de Zizelmann et coll. (2007). La résorption marginale est peu documentée mais l'on retrouve une résorption de 0,26 mm au cours de la première année de mise en charge des implants chez Stricker et coll. (2003) et une résorption de 1,5 mm à 2,5 mm pour 6% des implants avec Iturriaga et Ruiz (2004). Raghoobar et coll. (2001) ont rapporté les résorptions des 392 implants : une résorption inférieure au 1/3 de la longueur de l'implant pour 28 implants, une résorption comprise entre 1/3 et 1/2 de la longueur pour 4 implants et chez un patient une perte osseuse supérieure à la moitié de la longueur implantaire entraînant la perte de 5 implants. Pour les autres implants, aucune résorption n'est rapportée.

IV.3.1.3. La régénération osseuse guidée (ROG) (33, 52, 53, 64, 104, 105)

IV.3.1.3.1. Indications

En pré-implantaire, la régénération osseuse guidée est indiquée dans le but de préserver les tissus suite à une extraction afin de prévenir l'alvéolyse post extractionnelle et dans la reconstruction de défauts alvéolaires anfractueux verticaux et horizontaux. Les défauts alvéolaires doivent avoir une étendue limitée pour assurer le maintien de l'espace sous membranaire.

En 1994, Simion fût le premier à démontrer qu'une ROG dans le sens vertical était possible et que la hauteur maximale obtenue était de 4mm. Ainsi l'indication pour ROG verticale est la correction de défauts allant jusqu'à 4mm de hauteur.

IV.3.1.3.2. Résultats

Si le temps de guérison de 6 mois minimum est respecté pour la ROG, alors un os nouvellement formé comble de 90 à 100% l'espace sous membranaire. Après une durée de 3 à 5 mois sans toucher à la membrane, le comblement osseux sera de 0 à 60% de l'espace sous membranaire d'après Lang et coll. (2003).

Le taux de survie implantaire varie de 79% à 100% avec une majorité d'études avec un taux supérieur à 90% (Hämmerle et coll. 2002). Dans l'étude de Simion et coll. (2001), le taux de succès implantaire est de 97,5%. Cette étude compte trois groupes dont le premier concerne une ROG verticale avec une membrane ePTFE isolant un caillot sanguin. Dans ce groupe le gain osseux moyen obtenu est de 2,7 mm et est toujours inférieur à 4mm. La résorption crestale après la découverte est de 1,35mm en moyenne. Sur les 17 implants un seul a été perdu à 1 mois.

La résorption osseuse est variable et est due à l'interface membrane/os régénéré qui est composé d'un tissu conjonctif riche en cellules et vaisseaux. Cette couche est provoquée par les micromouvements de la membrane et l'infiltration de celle-ci par des fibroblastes. Dans une ROG verticale pure, cette résorption se stabilise afin d'obtenir 4 ± 1 mm quelque soit la hauteur initiale de la membrane. Elle sera plus importante si la guérison ne peut se faire sans contrainte (infection, exposition de la membrane). Christensen et coll. (2003) relève que

71,7% des sites ayant subi une approche en deux temps sont stables, 5,2% des sites ont perdu entre 0,5 et 1 mm et que 6,5% des sites ont perdu 1,5 mm d'os crestal.

IV.3.1.3.3. Complications (46)

La principale complication rencontrée lors d'une ROG est l'exposition de la membrane. Etant donné que la ROG est une technique très complexe, le taux de complication diminue avec l'augmentation de l'expérience et la dextérité du praticien. Le pourcentage d'exposition de la membrane est environ de 16% pour les ROG verticales et de 2,5 à 7% pour les ROG horizontales. Les conséquences de l'exposition prématurée de la membrane peuvent être soit mineures avec une dépose prématurée de la membrane et une croissance osseuse incomplète, soit majeures avec l'échec du traitement et la souffrance du patient.

L'exposition de la membrane suite à une déhiscence de la muqueuse entraîne une contamination bactérienne indiquant la dépose de la membrane (immédiate en présence d'un exsudat purulent ou différée de 3 ou 4 semaines sans exsudat purulent) associée à un traitement antiseptique et antibiotique si infection. Simion et coll. ont établi en 1994 que la régénération osseuse sous une membrane en e-PTFE s'arrête à 2 – 3 mm de la surface contaminée. La contamination bactérienne, suite à l'exposition, est cependant, d'après eux, retardée par la faible porosité de la membrane en e-PTFE.

Une infection peut se produire également sans exposition de la membrane. Elle peut se traduire par l'apparition d'un abcès suite à une contamination bactérienne par les dents adjacentes ou lors de la dépose des fils. La membrane sera alors déposée et le patient mis sous traitement antibiotique.

IV.3.1.4. La distraction ostéogénique alvéolaire

IV.3.1.4.1. Indications (23, 68)

La distraction ostéogénique alvéolaire peut être réalisée à la mandibule, au maxillaire, en antérieur et en postérieure. Elle est indiquée dans les situations cliniques suivantes :

- atrophie sévère d'une crête édentée
- déficience segmentaire d'une crête édentée compromettant le placement esthétique ou fonctionnel de l'implant
- crête alvéolaire étroite

Afin de réaliser une distraction alvéolaire, McAllister et Gaffaney (2003) préconisent un minimum de 6 à 7 mm de hauteur osseuse résiduelle au dessus des structures anatomiques vitales et la présence d'un défaut osseux vertical de 4 mm minimum.

Les avantages de la distraction alvéolaire par rapport aux autres techniques de régénération osseuse sont :

- l'absence de morbidité du site donneur
- l'éventualité moindre d'exposition des tissus mous et durs et de résorption osseuse
- une meilleure prédictibilité du volume de tissus mous et durs obtenus
- une période de consolidation plus courte réduisant le temps total de traitement

IV.3.1.4.2. Résultats (26, 27, 29, 42, 68, 76, 99)

Selon Enislidis et coll. (2005), la distraction alvéolaire permet d'obtenir un gain osseux maximal de 15 mm avec une moyenne comprise entre 5 et 9,9 mm. Dans leur étude, ils obtiennent un gain osseux moyen de 8,2 mm. Les meilleurs résultats sont obtenus avec les distracteurs extra-osseux.

Dans trois études différentes, Chiapasco et coll. (2004, 2006, 2007) obtiennent respectivement des valeurs allant de 4 à 9 mm, 5 à 9 mm avec une moyenne à 7 mm et de 2 à 8 mm avec une moyenne de 5,3 mm. Quant à Saulacic et coll. (2005), ils obtiennent une moyenne de 6 mm et Mazzonetto et coll. (2005) de 6,27 mm allant de 0 à 10,83 mm. Les valeurs les plus basses correspondent à l'apparition de complications mettant fin à la distraction.

Dans leur étude, Mazzonetto et coll. (2005) distinguent les résultats selon la localisation du site distracté. Ils obtiennent un gain de 4,60 mm en postérieur et de 6,73 mm en antérieur de la mandibule, et de 6,32 mm en postérieur et de 7,46 en antérieur du maxillaire.

Après la fin de la distraction, se produit une résorption osseuse. Elle débute dès la fin de la distraction ostéogénique. Saulacic et coll. (2005) ont étudié ce phénomène et ont obtenu une résorption osseuse d'environ 1,7 mm entre la fin de la distraction et la consolidation. De plus, il semblerait que les segments transportés de faible étendue aient une résorption plus importante que les segments de grande étendue (> 20mm). Chiapasco et coll. (2004 et 2007) étudient la résorption osseuse de la fin de la distraction à 3 et 4 ans respectivement. Une résorption de 0,37 et 0,3 mm est respectivement mise en évidence entre la fin de la distraction et la mise en place des implants. La différence entre les résultats de Saulacic et Chiapasco

tient peut être de l'utilisation d'un distracteur extra-osseux (plus rigide) pour Chiapasco et d'un distracteur intra-osseux pour Saulacic.

Afin de compenser la résorption osseuse post distraction, certains auteurs préconisent de réaliser au cours de la distraction une sur-correction. Saulacic et coll. (2005) ont établi qu'une sur-correction de 20% était suffisante pour pallier la résorption.

Les implants placés dans un site distracté présentent des taux de survie et de succès élevés. En effet, les trois études de Chiapasco et coll. (2004, 2006 et 2007) montrent des taux de survie implantaire de 100% et un taux de succès respectivement de 94,1% (à 4 ans), 95% (à 3 ans) et 94,7% (à 6 ans). Quant à Enislidis et coll. (2005), ils obtiennent un taux de survie implantaire de 95,7 % sur un suivi moyen de 39,4 mois (4,8 à 58,3 mois).

IV.3.1.4.3. Complications (23, 26, 29, 42, 76)

Dans leur étude, Enislidis et coll. (2005) font le point sur les différentes complications que l'on peut rencontrer au cours de la distraction alvéolaire jusqu'à la mise en charge des implants. Ils relèvent dans la littérature des taux de complications allant de 0% à 100% et trouvent dans leur étude un taux de 75,7% (28 des 37 patients et 45 distractions) avec principalement des complications mineures. En effet, les complications majeures concernent 21,6% des patients soit 8 patients. Ils ont noté que les distracteurs extra-osseux entraînaient plus de complications (62%) que les distracteurs intra-osseux (38%) mais un taux identique de complications majeures. De même, en fonction de la localisation de la distraction : les sites antérieurs présentaient un taux de complications de 11% et les sites postérieurs de 89% et les complications majeures ont eu lieu seulement dans les sites postérieurs. Toutefois il faut noter la différence significative entre le nombre de sites antérieurs (13%) et de sites postérieurs (87%).

Les différentes complications survenant tout au long du protocole sont la survenue de déhiscences (17/45), d'interférences occlusales (1/45), d'inclinaisons du segments (4/45), de douleurs (6/45), d'œdèmes (4/45), d'hypoesthésies (7/45), de vecteurs erronés (2/45), de fractures de l'os basal (3/45), de ruptures du distracteur (1/45), de problèmes mécaniques comme le blocage de la distraction (1/45), d'instabilité du distracteur (1/45) et le désengagement de la vis de distraction de la plaque basale (1/45), des infections (3/45), des inflammations (1/45) et la fracture du segment transporté (1/45). Les complications majeures sont la fracture de l'os basal et du segment transporté, les problèmes mécaniques et la rupture

du distracteur. Les complications les plus fréquentes dans cette étude sont les déhiscences dans 37,8% des cas.

Dans les études de Chiapasco et coll. (2006 et 2007), le principal problème rencontré au cours de la distraction est l'inclinaison linguale du fragment transporté dans 28,6% et 22% des cas ; dans ces deux études le nombre de patients est peu important (7 et 9 patients).

Mazzonetto et coll. (2005) quant à eux obtiennent un taux de complications compromettant le succès de la distraction de 8,44% soit 5 patients sur 55. Il s'agit du blocage de la distraction, de la fracture du fragment transporté, de la survenue de déhiscences, d'infection et de nécrose du segment transporté.

IV.3.1.5. Conclusions

Après avoir détaillé les différentes techniques de régénération osseuse utilisable en pré-implantaire, il apparaît qu'elles ont des intérêts différents selon les cas cliniques.

La ROG permettant un gain osseux modérée (2-3 mm) pour une durée de traitement longue avec un risque non négligeable de complications, elle ne semble pas présenter un intérêt majeur en pré-implantaire par rapport aux autres techniques et à une utilisation en per-implantaire. Toutefois, elle trouve son intérêt dans la préservation de crête suite à une extraction dentaire (même temps opératoire que l'extraction, pas de risque de perte de l'implant, pas de morbidité du site donneur).

Dans la région postérieure du maxillaire, le comblement sinusien permet d'obtenir une augmentation de hauteur de crête en présence d'un espace prothétique adéquat. En présence d'une hauteur alvéolaire inférieure à 5 mm, l'abord latéral semble être la technique la plus adaptée. En effet, le risque de perforation de la membrane sinusienne croissant avec la taille de l'augmentation osseuse, la voie d'abord latérale permet un meilleur contrôle par son accès direct.

La greffe osseuse d'apposition est indiquée dans les reconstructions horizontales et verticales, avec un gain osseux moyen de 4 mm (maximum 7 mm).

La distraction alvéolaire permet, quant à elle, de corriger les déficits verticaux les plus importants, avec un gain osseux moyen de 8-9 mm et un maximum pouvant atteindre 15 mm. Cependant, elle est envisageable pour des défauts supérieurs à 4 mm et en présence d'une hauteur osseuse résiduelle de 6 mm au dessus des structures anatomiques vitales.

IV.3.2. En per-implantaire

Dans les situations où la stabilité primaire de l'implant est assurée, la technique de régénération osseuse peut être réalisée en même temps que la pose des implants permettant ainsi de gagner un temps opératoire. Les techniques applicables en per-implantaire sont la greffe osseuse, le comblement sinusien et la ROG.

IV.3.2.1. La greffe osseuse (24, 28, 82, 83, 105, 111, 112)

IV.3.2.1.1. Indications

La greffe osseuse est indiquée en per-implantaire lors de la réalisation d'une implantation immédiate après une extraction dentaire, en présence de déhiscence ou de fenestration lors de l'implantation et lors de reconstructions alvéolaires horizontale ou verticale peu importante. Dans tous les cas la stabilité primaire des implants doit être obtenue. Elle s'effectue aussi bien à la mandibule qu'au maxillaire. La greffe peut se faire soit seule soit avec une membrane, sous forme de blocs ou de particules.

Les avantages théoriques de l'implantation simultanée à la greffe osseuse sont une diminution de la durée du traitement, une diminution du temps chirurgical et une diminution de la résorption de la greffe osseuse autour de l'implant.

IV.3.2.1.2. Résultats

Le taux de survie des implants mis en place dans le même temps chirurgical que la greffe osseuse varie pour le maxillaire de 72,8% à 92,3 % avec une moyenne de 79,3% et pour la mandibule de 88,2% à 100% avec une moyenne de 92,7%, et le taux de succès varie de 83% à 93%.

Dans leur étude, Nyström et coll. (2002), rapportent un gain osseux vertical de 8,3 mm en post-opératoire avec un greffon issu de la crête iliaque. Quant à Simion et coll. (2001), ils utilisent des particules osseuses et une membrane non résorbable (e-PTFE) et obtiennent une augmentation osseuse verticale allant de 0 à 8,5 mm avec une moyenne de 3,94 mm pour toutes les greffes et de 4,4 mm pour celles sans complication. Chen et coll. (2005) comparent différents types de régénération lors d'implantation immédiate : le groupe 3 correspond à l'utilisation d'une greffe avec une membrane résorbable et le groupe 4 à une greffe osseuse

seule. Ils ont évalué la réduction du défaut osseux en hauteur, en largeur et en profondeur. Pour le groupe 3, la réduction est en hauteur de 83,1 %, en largeur de 71,2% et en profondeur de 89,7% tandis que pour le groupe 4, la réduction est en hauteur de 75,3%, en largeur de 34,1% et en profondeur de 75,6%. L'utilisation d'une membrane semble avoir un impact, dans cette étude, sur la réduction en largeur des défauts.

La résorption osseuse varie de 12% à 25% (van der Meij et coll. 2005 et Verhoeven et coll. 2000), ce qui correspond aux résultats de Nyström et coll. (2002) qui évaluent la résorption de la greffe en hauteur et en largeur sur 5 ans : à partir d'une hauteur totale de 12,4 mm en post-opératoire, seul 10 mm restent au bout de 5 ans, et pour une largeur de 12 mm, seulement 8,7 mm. Dans leur étude, Chen et coll. (2005) constatent que le groupe 4 subit une résorption moins importante que le groupe 3 (0,9 contre 1,6 mm). Les auteurs expliquent cette différence par l'utilisation d'une membrane résorbable qui lors de sa dégradation influencerait sur la résorption du tissu osseux nouvellement formé. Simion et coll. (2001) relèvent la résorption marginale sur 5 ans d'une greffe osseuse de particules avec une membrane non résorbable. Ils notent une résorption de 0,36 mm au niveau de la connexion implantaire, 1,34 mm à 1 an, 1,36 à 2 ans, 1,27 à 3 ans, 1 à 4 ans et 1 à 5 ans soit une moyenne de 1,70 mm. Ces résultats sont similaires à ceux d'implants placés dans de l'os natif.

IV.3.2.1.3. Complications

Des complications au niveau du site donneur du greffon peuvent également survenir et être identiques à celles citées précédemment.

Lors de la mise en place de l'implant simultanément à la greffe osseuse, la principale complication est la survenue d'une déhiscence pouvant entraîner la perte de l'implant et la perte totale ou partielle de la greffe. Verhoeven et coll. (2000) indiquent une seule déhiscence, sur les 8 patients traités, qui a entraîné la perte de la greffe et van der Meij et coll. (2005) rapportent sur 17 patients 2 déhiscences mineures qui guérissent spontanément et deux déhiscences majeures dont une qui va entraîner la perte des deux implants et d'une partie de la greffe. Chen et coll. (2005) constatent l'apparition d'un abcès pour les deux groupes avec la perte d'un implant pour le groupe 4, ainsi qu'une exposition partielle et totale de la vis de couverture pour les groupes 3 (sur 13 sites) et 4 (sur 14 sites). Quant à Simion et coll. (2001), sur 82 implants, ils rapportent 15 complications : 12 expositions de la membrane et 3 abcès. Les complications semblent donc apparaître dans environ 15 % des cas.

IV.3.2.2. Le comblement sinusien

IV.3.2.2.1. Indications (28, 86)

Le comblement sinusien et la mise en place simultanée des implants sont réalisables avec les deux techniques de comblement sinusien : l'approche latérale et l'approche crestale.

L'obtention d'une stabilité primaire de l'implant doit être obtenue : un minimum de 5 mm de hauteur résiduelle de la crête osseuse est nécessaire.

Toutefois, Peleg et coll. (2006) ont obtenu dans leur étude de bons résultats implantaire avec une hauteur osseuse résiduelle allant de 1 à 5 mm. Pour cela ils ont réalisé une condensation osseuse péri-implantaire méticuleuse afin d'obtenir cette stabilité primaire.

IV.3.2.2.2. Résultats (7, 28, 38, 44, 86, 91)

En approche simultanée, le taux de survie implantaire avec l'approche crestale varie de 94,8 à 100% selon Chiapasco et coll. (2006). Ferrigno et coll. (2006) ont réalisé une étude prospective de 588 implants sur 12 ans. Le site d'implantation présentait une hauteur osseuse résiduelle de 6 à 9 mm avec une moyenne de 7,7 mm. Le comblement sinusien a été fait avec des particules osseuses issues du forage de l'emplacement de l'implant. Ils présentent un taux de survie de 94,8% et un taux de succès de 90,8%. Le taux de succès implantaire varie en fonction de la longueur de l'implant :

- pour un implant de 8 mm : taux de succès de 88,9%
- pour un implant de 10 mm : taux de succès de 90,5%
- pour un implant de 12 mm : taux de succès de 93,4%

Avec la technique de l'approche latérale, le taux de survie implantaire varie de 75,3 à 100% (Del Fabbro et coll. 2004) et la moyenne est de 92,17%. Afin d'obtenir de bons résultats, les auteurs préconisent de réaliser une implantation simultanée au comblement sinusien en présence d'une hauteur osseuse résiduelle de 5 mm. Toutefois Peleg et coll. (2006) obtiennent un taux de survie implantaire de 97,9% sur 9 ans alors que la hauteur osseuse résiduelle allait de 1 à 5 mm, avec 20,4% des implants placés dans des sites avec une hauteur résiduelle allant de 1 à 2 mm. Ils mettent en avant l'importance de la condensation de particules osseuses autour des implants pour obtenir la stabilité nécessaire aux implants et leur ostéointégration. Ardekian et coll. (2006) réalisent le comblement sous sinusien de 110

élevations de sinus avec des particules osseuses récupérées à l'aide d'un grattoir au niveau postérieur de la crête et de l'arcade zygomatique. Ils ont comparé les résultats implantaire en fonction de la survenue ou non d'une perforation de la membrane sinusienne. Ils obtiennent les résultats suivants :

- taux de succès avec perforation : 94,4%
- taux de succès sans perforation : 93,9%

Ils semblent que la perforation de la membrane sous sinusienne ne soit pas un facteur défavorable au taux de succès implantaire.

IV.3.2.2.3. Complications (7, 44)

Dans leur étude prospective, Ferrigno et coll. (2006) relèvent un taux de 2,2 % de perforations de la membrane sinusienne (soit 13/601). De plus, les causes de la perte des 9 implants sont liées à une infection récurrente pour 3, la mobilité de l'implant pour 3, la fracture de l'implant pour 1 et la perte osseuse progressive pour 2.

Les complications dues au site donneur de greffon sont les mêmes qu'en préimplantaire. Toutefois de part l'indication d'une hauteur osseuse résiduelle minimale de 5 mm, un volume moindre de greffon est nécessaire, permettant ainsi le prélèvement osseux à l'aide de grattoir ou la récupération de particules osseuses lors du forage implantaire. Les complications sont alors minimales voire inexistantes.

Ardekian et coll. (2006) notent 35 perforations de la membrane sinusienne sur 110 élevations de sinus. De plus, ils comparent l'incidence de la hauteur osseuse résiduelle sur le pourcentage de perforations :

- pour une hauteur de 3 mm : 85% de perforations
- pour une hauteur de 6 mm : 25% de perforations

La hauteur osseuse résiduelle semble donc avoir un impact sur le pourcentage de perforations de par l'importance du décollement de la membrane sinusienne.

IV.3.2.3. La régénération osseuse guidée

IV.3.2.3.1. Indications (28, 52)

La régénération osseuse guidée est indiquée en per-implantaire lors de l'apparition de déhiscence ou de fenestration à la mise en place de l'implant, de défauts osseux verticaux

exposant les premières spires de l'implant et au cours d'une implantation immédiate (suivant une extraction) pour favoriser la régénération osseuse dans les espaces vides autour de l'implant.

La ROG simultanée à la mise en place de l'implant permet de diminuer le taux de morbidité car une seule intervention chirurgicale est nécessaire, de diminuer la durée du traitement et de diminuer le coût.

IV.3.2.3.2. Résultats (24, 33, 66, 105)

Le taux de survie implantaire relevé est autour de 95%. Simion et coll. (2001) ont comparé l'utilisation d'une membrane seule, avec une allogreffe ou avec une autogreffe ainsi que l'ostéointégration des implants placés simultanément ou après une augmentation alvéolaire. Le groupe A correspond à l'utilisation d'une membrane seule dans le même temps opératoire que l'implantation et concerne 17 implants. Ces implants dépassent du niveau osseux de 4 à 7 mm. Un seul implant est perdu et le taux de survie est de 94,12%. Le gain osseux obtenu varie de 0,5 à 4 mm avec une moyenne de 3,18 mm. Cependant, les valeurs les plus basses sont en relation avec l'apparition de complications au cours de la période de cicatrisation. Sans prendre en compte ces deux implants, le gain osseux est de 3-4 mm avec une moyenne de 3,53 mm. Après un suivi de 6 ans, la résorption osseuse est en moyenne de 1,35 mm et elle est stable après la mise en fonction des implants.

Chen et coll. (2005) comparent différentes techniques d'augmentation osseuse lors de la mise en place des implants, et utilisent une ROG avec une membrane non résorbable pour le groupe 1 (12 patients) et pour le groupe 2 (11 patients) une membrane résorbable. Le taux de survie implantaire obtenue est de 96,8 %. Ils analysent la réduction du défaut dans ses dimensions verticales, horizontales et en profondeur.

Pour le groupe 1, la réduction est de :

- en hauteur : 74,9%
- en longueur : 67,3%
- en profondeur : 73,6%

Pour le groupe 2, la réduction est de :

- en hauteur : 69,1%
- en longueur : 60,6%
- en profondeur : 75,8%

L'utilisation de la ROG semble être efficace pour réduire la taille des défauts péri-implantaire et l'application d'une membrane résorbable ou non ne semble pas modifier les résultats. Toutefois le groupe avec la membrane résorbable a présenté une résorption plus importante (60,6 % contre 22,9%)

Christensen et coll. (2003) comparent l'utilisation de membrane de manière simultanée ou différée à l'implantation pour obtenir une augmentation osseuse. L'approche simultanée est réalisée chez 28 patients avec 32 implants. Ils analysent différents facteurs parodontaux ainsi que la résorption osseuse suite à la régénération. Cette dernière est stable dans 71,9% des cas, avec une perte de 0,5 à 1 mm pour 9,4% des sites et de 1,5 mm pour 14,1%.

IV.3.2.3.3. Complications (24, 52, 105)

Les complications sont les mêmes que celles rencontrées en pré-implantaire. Toutefois il faut noter que dans les cas de ROG réalisées au cours d'une implantation immédiate, de par la moindre quantité de tissu conjonctif, le risque d'exposition de la membrane est majoré. Hämmerle et Jung (2003) rapportent un taux d'exposition pouvant atteindre 60%. Simion et coll. (2001) ont réalisé une augmentation verticale avec une membrane non résorbable seule chez 6 patients avec 17 implants (groupe A). Dans cette étude, deux abcès sont à l'origine d'un échec de la régénération, avec cependant une augmentation osseuse de 0,5 mm, chez un même patient. Chen et coll. (2005) rapportent quant à eux, aucune complication dans le groupe 1 (12 patients) avec les membranes non résorbables et l'exposition partielle de la vis de couverture de l'implant chez deux patients du groupe 2 (11 patients) avec les membranes résorbables.

IV.3.2.4. Conclusions

Lors d'une régénération osseuse per-implantaire, l'utilisation d'une greffe autogène ou d'une ROG se fera principalement en fonction de la taille de la correction à réaliser. En effet la ROG est conseillée pour des défauts de faible étendue alors que la greffe osseuse permet des corrections plus importantes. La correction en largeur des défauts semble être augmentée par l'utilisation d'une greffe osseuse associée à une membrane. Toutefois l'utilisation d'une membrane résorbable pourrait augmenter la résorption du greffon.

Quant au comblement sous-sinusal, une hauteur osseuse résiduelle de 5 mm semble nécessaire à l'implantation simultanée à la régénération osseuse. Même si l'étude de Peleg et

coll. (2006) apporte de bons résultats avec des hauteurs osseuses initiales inférieures à 5 mm, elle reste isolée. L'abord latéral lors du comblement génère plus de complications (32 % de perforations contre 2,2 %) que l'abord crestal, mais les résultats implantaire sont similaires. Toutefois, l'intérêt de l'abord crestal est remis en question par certaines études qui ont mis en évidence une formation osseuse autour d'implants protrusifs dans le sinus ayant une bonne stabilité primaire sans matériau de comblement. Cette formation osseuse serait provoquée par le soulèvement de la membrane sinusienne.

IV.3.3. En post-implantaire

IV.3.3.1. Indications (65)

La régénération osseuse post-implantaire concerne les pertes osseuses péri-implantaires qui surviennent au cours de la maintenance, à distance de la mise en fonction des implants. La prise en charge de ces lésions dépend du degré d'atteinte des tissus. Cinq alternatives thérapeutiques sont rapportées par les auteurs :

- débridement mécanique
- traitement antiseptique
- traitement antibiotique
- approche chirurgicale (régénérative et résectrice)
- explantation

Lang et coll. (2000) ont établi un protocole (*Cumulative Interceptive Supportive Therapy (CIST)*) qui détaille les séquences thérapeutiques en fonction du type de lésion. Les critères de diagnostic sont cliniques et éventuellement radiologiques. Les paramètres sont :

- la présence ou l'absence de plaque dentaire (PII)
- la présence ou l'absence de saignement au sondage (BOP)
- la présence ou l'absence de suppuration
- la profondeur péri-implantaire au sondage (PD)
- les preuves radiographiques de perte osseuse (RX)

La chirurgie régénérative est indiquée en présence de plaque dentaire (PII +), de saignement au sondage (BOP +), d'une profondeur de poche supérieure à 5 mm, de preuves radiographiques de perte osseuse (RX ++++) mais la présence de suppuration n'est pas obligatoire.

La chirurgie régénérative est réalisée une fois l'infection contrôlée, en l'absence de suppuration et après réduction de l'oedème. Les considérations esthétiques et les caractéristiques morphologiques de la lésion doivent être pris en compte avant de décider de réaliser ou non une intervention.

La régénération osseuse peut être obtenue par l'utilisation de greffes osseuses associées ou non à une membrane et de membranes seules (ROG).

IV.3.3.2. Résultats (12, 13, 21, 50, 51, 62, 80, 95)

Deux études de Behneke et coll. (1997, 2000) rapportent l'utilisation de greffes osseuses seules pour compenser des défauts osseux péri-implantaires. Dans la première étude datant de 1997, 14 implants placés sur 10 patients sont étudiés. Sept de ces implants avec un défaut de 2 ou 3 murs osseux ont été traités avec des particules osseuses et les 7 autres (défaut à une paroi) avec des greffes en bloc. La profondeur au sondage des défauts était de 6 mm environ et la largeur de 2 mm environ. Après régénération, la profondeur au sondage était de 2,3 mm à 6 mois et de 2,5 mm à 2 ans. Radiologiquement le remplissage osseux du défaut était de 3 mm. Dans la deuxième étude de 2000, 17 patients et 25 implants sont concernés. Les implants présentaient au sondage des profondeurs de poche supérieures à 5 mm. Sept des implants ont été traités avec des particules osseuses et 18 avec des greffons en bloc. Un an après la régénération, la profondeur au sondage était passée de 5,3 à 2,2 mm et à 3 ans, à 1,6 mm. Il était également possible de constater à la radiographie un remplissage osseux de 3,9 mm à 1 an et de 4,2 mm à 3 ans. L'utilisation de greffe osseuse en post-implantaire semble apporter des résultats satisfaisants.

Dans leur étude Khoury et Buchmann (2001) comparent trois techniques de régénération osseuse sur 3 ans : le groupe 1 traité avec des greffes osseuses de particules ou en bloc, le groupe 2 avec des greffes osseuses associées à une membrane non résorbable et le groupe 3 avec des greffes osseuses et des membranes résorbables. Les auteurs ont mesuré dans les trois groupes la profondeur de poche au sondage, le niveau osseux au sondage et la hauteur du défaut intra-osseux à 6 mois, 1 an et 3 ans. Le traitement chirurgical n'a débuté qu'à 6 mois après un traitement anti-infectieux. Le groupe 1 comprend 7 patients avec 12 implants. Trois ans après le traitement, la profondeur de poche au sondage est passée de 6,5 à 2,9 mm soit un gain de 3,6 mm, le gain du niveau osseux au sondage était de 2,8 mm et le gain osseux vertical du défaut à la radiographie était de 2,2 mm. Les auteurs considèrent la greffe osseuse

autogène comme un traitement adapté aux pertes osseuses post-implantaires avec des résultats satisfaisants.

Dans leur étude, Büchter et coll. (2004) corrigent le défaut osseux situé sur la 42 d'une patiente avec de l'os spongieux, issu de la symphyse, associé à une membrane résorbable. Le sondage pré-opératoire relevait des poches allant de 8 à 11 mm tout autour de la dent, et un mois après le traitement les poches étaient de 3-4 mm. Le gain osseux est important mais le recul est très court : les éventuels phénomènes de résorption n'ont pas encore eu lieu.

Haas et coll. et Khoury et Buchmann respectivement en 2000 et 2001 ont utilisé une greffe autogène associée à une membrane résorbable (e-PTFE) ou non. Haas et coll. réalisent une greffe osseuse avec membrane non résorbable chez 17 patients et 24 implants. Ils obtiennent un remplissage osseux d'environ 2 mm (-0,5 à 7,3 mm) à 9,5 mois. Dans l'étude de Khoury et Buchmann, le groupe correspondant à l'utilisation d'une membrane non résorbable avec 11 patients et 20 implants montre qu'après 3 ans, la profondeur de poche au sondage est passée de 6,7 à 2,8 mm. Le gain du niveau osseux au sondage est de 3,1 mm et le remplissage osseux vertical du défaut à la radiographie est de 2,5 mm. Pour le groupe traité avec une membrane résorbable et comprenant 7 patients et 9 implants, une diminution de la profondeur de poche au sondage de 6,4 à 5,1 mm, un gain du niveau osseux au sondage de 1,9 mm et un remplissage osseux de 1,7 mm à la radiographie sont obtenus. Les résultats montrent une différence entre l'utilisation d'une membrane résorbable ou non avec un meilleur gain osseux avec les membranes non résorbables.

L'utilisation seule de membrane non résorbable (e-PTFE) a été documentée par Hämmerle et coll. (1995) et Muller et coll. (1999). L'analyse radiographique dans l'étude de Hämmerle et coll. sur 2 patients et 2 implants a révélé une perte osseuse allant de 2,6 à 7,1 mm. Après le traitement, au bout de 16 à 18 mois la profondeur au sondage est passée de 6,7 à 3,5 mm et le gain osseux moyen était de 2,3 mm (1,5 à 3,6 mm). L'étude de Muller et coll. porte sur un patient. La profondeur au sondage a évolué de 6,25 mm à 1,5 mm en 12 mois.

IV.3.3.3. Complications

A propos des greffes autogènes seules, Behneke et coll. (1997) et Khoury et Buchmann (2001) ne relèvent aucune complication suite à cette chirurgie. Toutefois en 2000, Behneke et

coll.1 rencontrent des complications : 4 implants sur 25 présentent une déhiscence du lambeau 2 à 3 semaines après la greffe et 2 implants un échec de la greffe entraînant sa dépose.

Lors de l'utilisation d'une membrane associée à la greffe osseuse, Haas et coll. (2000) notent une exposition prématurée de la membrane chez tous les patients qui est à l'origine du retrait de seulement deux implants à 10 et 35 mois. Quant à Khoury et Buchmann (2001), ils notent pour le groupe avec membrane non résorbable l'apparition de 12 complications sur 20 implants soit 60% de complications: 5 expositions de la membrane, 4 déhiscences du lambeau, 2 fistules et 1 séquestre osseux. Et pour le groupe avec membrane résorbable, il y a 5 complications sur 9 implants soit 55,6%: 1 exposition de la membrane, 2 déhiscences et 2 séquestres osseux. Le taux de complications liées à l'utilisation de membrane est élevé. Les auteurs préconisent l'utilisation de greffes osseuses seules et recommandent de n'utiliser les membranes qu'en présence d'un défaut osseux particulièrement étendu et de greffes osseuses en particules.

Hämmerle et coll. (1995) sont les seuls à relever des complications lors de l'utilisation d'une membrane seule pour régénérer une lésion osseuse. Pour les deux implants, il y a eu une exposition de la membrane qui a entraîné leur dépose à 4 et 6 mois.

IV.3.3.4. Conclusions

L'évaluation de la régénération osseuse en post-implantaire nécessiterait plus d'études. Par ailleurs, le peu d'études effectués sur ce sujet portent sur peu de cas traités. Il est difficile d'aboutir à une conclusion.

Nous pouvons tout de même relever des gains osseux similaires autour de 3 mm pour les trois techniques. A noter également dans l'étude de Khoury et Buchmann (2001), la présence d'un gain osseux moindre avec l'utilisation d'une membrane résorbable. Mais en raison d'un taux de complications, compromettant la régénération osseuse, beaucoup plus important avec les membranes (55-60%), les greffes osseuses seules semblent plus appropriées pour traiter les défauts osseux post-implantaire.

V. Alternatives à la régénération osseuse

La mise en place d'implants est également possible dans des conditions anatomiques défavorables sans réaliser de régénération osseuse avec les techniques décrites ci-dessus. Pour cela trois alternatives se présentent à nous : les implants zygomatiques, les implants courts et l'utilisation de biomatériaux.

V.1. Les implants zygomatiques (43, 71, 72, figure 14)

En présence d'un déficit osseux important en postérieur du maxillaire du à la pneumatisation des sinus et à la résorption de la crête alvéolaire, la mise en place d'implants standards est compromise sans la réalisation d'une augmentation du niveau osseux. Toutefois les implants zygomatiques sont une alternative car ils ne nécessitent pas de technique d'augmentation osseuse. Ils sont implantés dans l'os zygomatique et présentent une tête angulée de 45° afin de compenser l'angulation entre l'os zygomatique et le maxillaire. Ils émergent au niveau de la première molaire. Leur longueur varie de 30 à 52,5 mm et leur diamètre est de 4 mm au niveau de l'os zygomatique et de 4,5 mm au niveau du maxillaire. Leur mise en place se réalise soit sous anesthésie générale soit sous anesthésie locale associée à une sédation consciente. La principale complication de la mise en place d'implants zygomatiques est l'infection sinusienne.

Selon l'étude de Ferrara et Stella (2004), les critères nécessaires à la mise en place de ces implants sont :

- la résorption osseuse modérée à sévère du maxillaire édenté
- le maxillaire sans prémolaire ou molaire
- l'ouverture buccale suffisante et un accès chirurgical pour placer les implants
- l'absence de sinusite aigue ou purulente
- la présence de 2 ou plus implants traditionnels de 10 mm ou plus associés aux implants zygomatiques.

Selon la même étude, la résorption osseuse marginale d'implants inclinés est de 1,21 mm et celle d'implants "normaux" est de 0,92 mm. Les implants inclinés ne semblent donc pas présenter de résorption supérieure à des implants "normaux".

Les avantages des implants zygomatiques, avancés par ces auteurs, sont :

- un taux de succès supérieur à 96%
- un nombre diminué d'interventions chirurgicales pour le patient

- une absence de prélèvements osseux ou de greffe
- un temps au cabinet et un temps opératoire diminués pour le praticien
- une réalisation au cabinet sous anesthésie locale
- un positionnement précis et accessible de l'implant au niveau de la première molaire
- une restauration finale classique
- une absence de temps de laboratoire et prothétique supplémentaire
- des honoraires de laboratoire et prothétique égaux ou inférieurs à ceux des implants standards
- une économie pour le patient avec l'utilisation d'implants zygomatiques par rapport à la réalisation d'une greffe.

V.2. Les implants courts (17, 81, 92, figure 15)

L'intérêt des implants court a été mis en avant par certains auteurs au niveau du secteur postérieur du maxillaire afin de simplifier les protocoles chirurgicaux. Les implants sont définis comme courts lorsque leur longueur est inférieure ou égale à 8 mm.

La revue de littérature de Renouard et Nisand (2006) sur l'impact de la longueur et du diamètre des implants sur le taux de survie présentent des études récentes montrant un taux de survie des implants courts comparable à celui des implants standards (95,9 %). Ils semblent donc indiqués dans les sites à faible hauteur osseuse.

Nisand et Renouard (2007) ont établi une nouvelle classification à but thérapeutique des secteurs postérieurs maxillaires :

- hauteur inférieure ou égale à 5 mm :
 - impossibilité peropératoire de stabiliser le ou les implants avec un couple supérieur à 20 N/cm : une greffe osseuse par abord latéral avec implantation différée à 6 mois est recommandée
 - possibilité peropératoire de stabiliser le ou les implants avec un couple de 20 N/cm : greffe osseuse par abord latéral avec implantation immédiate est préconisée
- hauteur supérieure ou égale à 6 mm : indications des implants courts

Dans leur étude, ils constituent deux groupes de patients : le premier avec une hauteur osseuse sous-sinusienne comprise entre 6 et 9 mm et le deuxième groupe avec une hauteur sous-sinusienne inférieure ou égale à 5 mm. Ils obtiennent dans le groupe 1 (96 implants) un taux de survie cumulé de 94,6 % sur une période de 37,6 +/- 11,3 mois et une perte osseuse

moyenne de 0,45 +/- 0,51 mm en mésial et 0,43 +/- 0,53 mm en distal. Dans le groupe 2 (151 implants), le taux de survie cumulé est de 94,7 % sur une période de 36 +/- 10,4 mois et la perte osseuse est de 0,42 +/- 0,51 mm en mésial et 0,47 +/- 0,49 mm en distal. Les deux procédures chirurgicales montrent des résultats comparables, c'est pourquoi les auteurs préconisent l'utilisation de la greffe sinusienne sous-sinusienne dans les cas où la hauteur osseuse est inférieure ou égale à 5 mm. De plus dans cette étude, la complication peropératoire majeure du groupe 2 (la perforation de la membrane de Schneider) est apparue dans 26,1 % des cas.

Quant à Bourdin et coll. (2007), ils ont réalisé une étude rétrospective sur 139 implants courts de 6 à 8 mm placés chez 80 patients avec un suivi moyen de 22 mois. Les implants ont été placés aussi bien à la mandibule (68%) qu'au maxillaire. Leur diamètre était de 3,3 mm (2%), 4,1 mm (32%) et 4,8 mm (66%) et ils présentaient un état de surface texturé. Les auteurs ont obtenus un taux de survie implantaire de 98,8% avec aucun échec implantaire après la mise en charge des implants. Ils n'ont rapporté aucune complication mécanique ou infectieuse. Dans 87% des cas, les reconstructions prothétiques étaient fixes.

Les résultats implantaires sont satisfaisants pour les auteurs mais ils mettent en avant plusieurs facteurs pouvant avoir influé sur ces résultats : l'état de surface texturé des implants, le respect strict des recommandations du fabricant lors de la mise en place des implants et du délai d'ostéointégration et les réalisations prothétiques essentiellement fixes.

Toutefois les implants courts présentent une limite d'utilisation indéniable : la non-obtention de la stabilité primaire.

V.3. Les biomatériaux (75, 96, 103, 105, figure 16 et 17)

L'utilisation de biomatériaux (allogreffe, xélogreffe, matériau alloplastique), seul ou associés à de l'os autogène, lors de greffe sous-sinusienne semble présenter des taux de survie égaux ou supérieur à ceux avec de l'os autogène seul. Sur un plan mécanique, les biomatériaux sont plus rigides que l'os autogène d'où ces résultats, toutefois sur le plan histologique, ils présentent un taux de résorption nettement inférieur à l'os autogène. Par exemple, au bout de 4 ans, l'os anorganique bovin est parfaitement intégré mais toujours retrouvé.

Dans l'étude de Simion et coll. (2001), une allogreffe est utilisée avec une membrane non résorbable afin de régénérer du tissu osseux autour de 24 implants chez 11 patients. Le

gain osseux moyen obtenu est de 3 mm avec un maximum de 4 mm et la perte osseuse marginale est de 1,87 mm. Tous les implants sont stables.

Un mélange de Bio-Oss® (xénogreffe) et de d'os autogène est utilisé par Simion et coll. en 2007 chez 7 patients avec 27 implants. Un gain osseux moyen de 3,15 mm est obtenu avec un maximum de 4,5 mm. Des analyses histologiques ont montré un taux de résorption plus lent pour le Bio-Oss comparé à l'os autogène.

En post-implantaire, Roos-Jansaker et coll. (2007) ont utilisé un matériau alloplastique (Algipore®) pour traiter des déficits osseux péri-implantaires. Ils ont obtenu un remplissage du défaut d'environ 1,5 mm en moyenne au bout d'un an.



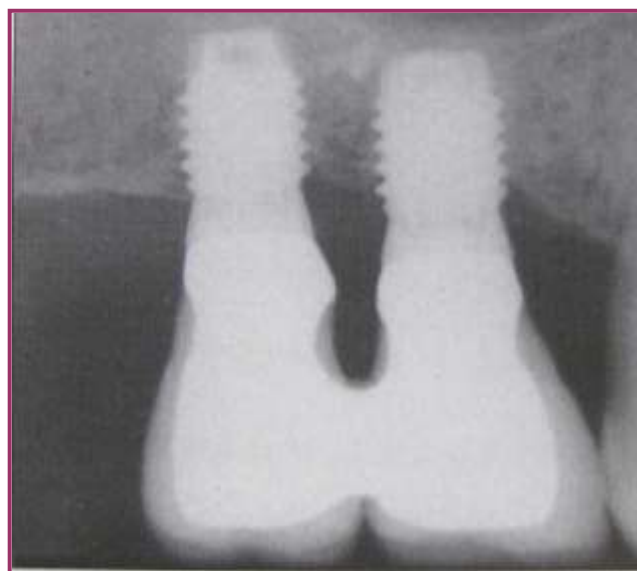
Prothèse finale avec deux implants zygomatiques et quatre implants standards

Radiographie d'implants zygomatiques

Figure 14 : Implants zygomatiques (Malevez et coll. 2003)



Vue radiographique préopératoire d'un édentement postérieur maxillaire



Cliché radiographique après 5 ans de mise en charge de deux implants courts de 6mm et 5 mm de diamètre

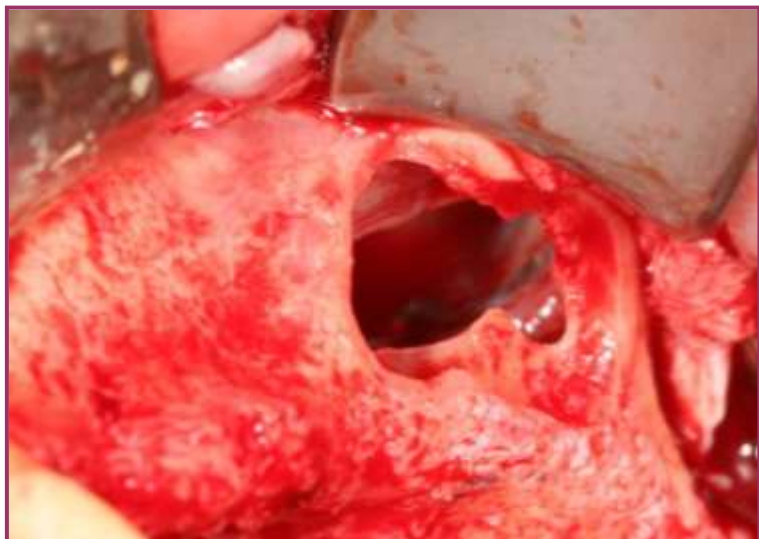
Figure 15: Implants courts (d'après Nisand et Renouard 2006)



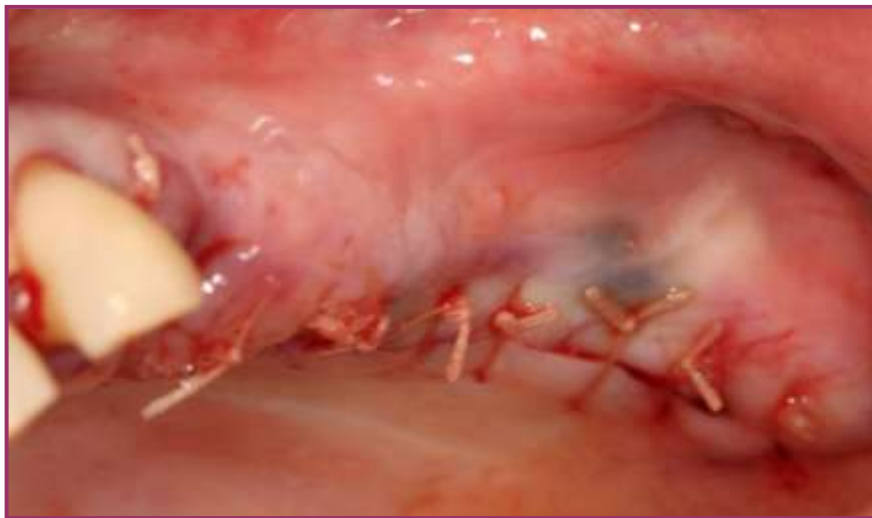
Radiographie panoramique pré-opératoire



Décollement du lambeau



Ouverture de la fenêtre puis mise en place du substitut osseux résorbable



Repositionnement du lambeau et sutures



Radiographie panoramique post-opératoire avec les implants en place

Figure 16: Comblement sous-sinusien avec du biomatériau avant mise en place d'implants (photos du service d'implantologie du centre de soins dentaires de Nantes).



Cicatrisation à 1 mois après
l'avulsion de 11



Décollement lambeau



Mise en place du Bio-Oss® et de la
membrane Biogide®



Sutures



Cicatrisation à deux mois

Figure 17 : Comblement de l'alvéole d'une incisive centrale avec un biomatériau et pose d'une membrane résorbable (photos du Dr Hoornaert et du Dr Saffarzadeh).

VI. Perspectives (37, 41, 55, 67, 69, 84, 109, 115)

Bien que les greffes osseuses autogènes restent actuellement le « gold standard » de la régénération osseuse de par leur propriétés ostéogéniques et biomécaniques, elles présentent deux inconvénients majeurs : leur quantité disponible limitée et leur morbidité. L'utilisation de biomatériaux et d'implants courts ou zygomatiques sont des thérapeutiques permettant d'éviter, dans certaines situations cliniques, l'utilisation des greffes osseuses. D'autres alternatives sont actuellement recherchées ou sont en cours d'évaluation en laboratoire afin de palier ses inconvénients tout en assurant une certaine prédictibilité des résultats, voire une régénération osseuse proprement dite à l'instar de l'os autogène.

Pour ces raisons, différentes recherches à la fois dans les domaines orthopédiques et maxillo-faciaux portent sur l'utilisation de facteurs de croissance combinés à différents supports (Oest et coll. 2007 et El-Ghannam et coll. 2007), secrétés par des cellules génétiquement modifiées et mis en place au niveau du défaut (Macdonald et coll. 2007) ou associés à des cellules souches transfectées (Lin et coll. 2007)

La bioingénierie osseuse est en effet en plein essor dans le but de régénérer de l'os de manière reproductible et avec un succès certains. Les recherches effectuées en orthopédie et maxillo-faciale pourraient avoir des applications futures au niveau buccal, notamment dans le cadre de la régénération osseuse pré, per ou post implantaire. Actuellement, seules des études in vitro et chez l'animal sont en cours.

L'utilisation des cellules souches mésenchymateuses (ou MSCs) est intéressante pour leur capacité importante à proliférer et leur potentiel ostéogène. Ces cellules souches sont prélevées dans la moelle osseuse (crête iliaque), le tissu adipeux, le périoste ou les cellules adhérentes du sang du sujet étudié. Elles sont cultivées en laboratoire et sont ensuite réutilisées localement à l'aide d'un support présentant des propriétés ostéoconductrices pour recréer de l'os. Différents biomatériaux peuvent être utilisés comme support : le corail, l'hydroxyapatite et le phosphate tricalcique. Les critères de choix de ces biomatériaux sont leur propriété biomécanique, leur porosité, leur biodégradabilité et leur biocompatibilité.

Dans le cadre du traitement de défauts osseux périimplantaire par ingénierie tissulaire, peu d'études sont actuellement disponibles. Deux études chez le chien en pré ou per implantaire ont été réalisées avec des cellules souches mésenchymateuses. C'est le cas de l'étude de Yamada et coll. (2004), où ils comblent des défauts osseux cylindriques, réalisés à l'aide de trépan à la mandibule de chien, avec un mélange de MSCs/PRP, une greffe osseuse autogène, du PRP seul et certains laissés vides ont servi de contrôle. Ensuite, à 8 semaines, les implants

sont mis en place et 8 semaines plus tard les chiens sont sacrifiés. Ils comparent alors la densité osseuse et le contact os/implant de chaque groupe. Les résultats obtenus montrent dans l'ordre décroissant de meilleurs résultats dans le groupe MSCs/PRP puis le groupe de greffe autogène le groupe de PRP seul et enfin le groupe contrôle. Ils notent la présence d'os mature et d'une néovascularisation pour les défauts traités avec MSCs/PRP et greffe osseuse. Le PRP semble, d'après les auteurs, améliorer la formation d'os nouveau, accélérer la cicatrisation et apporter les conditions nécessaires aux MSCs pour une régénération plus rapide et efficace. Quant à Ito et coll. (2006), ils ont utilisés des MSCs associées à du PRP et de la colle de fibrine en per-implantaire chez le chien afin de combler des défauts péri-implantaire. Ils ont établi quatre groupes en fonction de l'utilisation pour le comblement du défaut de MSCs/PRP/fibrine, de MSC/fibrine, de fibrine seule, l'absence de comblement qui sert de contrôle. Ils ont comparé le contact os/implants à 2, 4 et 8 semaines et ont rapporté des résultats supérieurs pour l'utilisation de MSCs/PRP/fibrine comparée aux autres groupes avec dans l'ordre MSCs/PRP/fibrine, MSC/fibrine, fibrine, contrôle. L'utilisation de MSCs semble induire une formation osseuse satisfaisante et cette formation est potentialisée par l'association de PRP aux MSCs. Les résultats actuels sont encourageants mais nécessitent d'autres études notamment chez l'homme afin de développer leur utilisation.

VII. Conclusion

La greffe osseuse, la régénération osseuse guidée, le comblement sinusien et la distraction alvéolaire sont des techniques avérées pour l'obtention d'un gain osseux en pré, per et post-implantaire.

Le comblement sinusien répond aux besoins de gain osseux dans la zone postérieure du maxillaire en présence d'un espace prothétique adéquat. En pré-opératoire (en présence d'une hauteur osseuse inférieure à 5 mm), l'abord latéral permet une élévation conséquente de la membrane sinusienne tout en contrôlant et limitant les perforations de la membrane. Néanmoins en per-opératoire, l'abord crestal est une réelle alternative à l'abord latéral classique, en diminuant les suites opératoires et les risques de perforations de la membrane tout en maintenant de bons résultats.

Quant aux autres techniques, elles sont réalisables aussi bien au maxillaire qu'à la mandibule et en antérieur qu'en postérieur. Le gain osseux maximal obtenu est variable selon la technique allant de 4 mm pour la ROG à 15 mm pour la distraction en passant par 7 mm pour la greffe osseuse. Le choix de la technique de régénération se fera en fonction du volume

osseux souhaité tout en tenant compte des autres résultats. En effet, la distraction alvéolaire assure un meilleur maintien du gain osseux obtenu. La résorption post régénération est supérieure avec les greffes osseuses et la ROG. Au niveau des complications, les greffes osseuses présentent une morbidité post opératoire plus importante en raison des sites donneurs de greffons. Les risques d'expositions de la membrane et d'infection lors de greffe ou de ROG peuvent compromettre les résultats de la régénération. La principale complication rencontrée avec la distraction alvéolaire est l'inclinaison linguale du segment distracté, qui se corrige par une traction orthodontique. Toutefois chez les patients totalement édentés, cet ancrage orthodontique peut être difficile à obtenir. Par ailleurs la distraction alvéolaire s'applique seulement en pré-implantaire et nécessite des conditions anatomiques particulières : défauts verticaux uniquement et hauteur osseuse initiale minimale de 6 mm. A contrario, les greffes osseuses et la ROG s'appliquent à tous types de défauts et permettent des augmentations aussi bien verticales qu'horizontales. De plus elles sont applicables aussi bien en pré, per et post opératoire.

Il est important de noter que la dextérité du praticien est à prendre en considération pour le choix de la technique. Elle influe directement sur les résultats et les complications. L'adhésion du patient est également nécessaire au succès de la régénération, notamment pour la distraction alvéolaire qui nécessite l'activation quotidienne du dispositif.

Il n'est donc pas possible de déterminer si une technique est supérieure à une autre. L'indication se fera au cas par cas, en fonction du défaut, du temps opératoire, du patient et du praticien.

D'autres techniques de régénération osseuse existent déjà, mais n'ont pas encore un recul clinique suffisant actuellement. Leur développement et la réalisation d'études de comparaison permettront d'augmenter le panel thérapeutique en matière de régénération et ainsi de palier les lacunes des techniques déjà existantes.

A l'avenir, les facteurs de croissance et la bioingénierie osseuse devraient apporter des réponses aux limites et inconvénients des techniques actuelles de régénération osseuse et permettre ainsi de diminuer les complications et les délais de cicatrisation et de former de l'os avec une prédictibilité satisfaisante. Pour cela de nouvelles études sont nécessaires afin d'établir les indications, les protocoles opératoires et les résultats attendus.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1	Différents modes de diffusion des facteurs de croissance	p 23
Figure 2	Mode d'action des facteurs de croissance	p 24
Figure 3	Classification de Seibert (1983)	p 29
Figure 4	Mesure de la sévérité du défaut	p 31
Figure 5	Défauts osseux péri-implantaire (d'après Van Den Bogaerde, 2004)	p 34
Figure 6	Prédictibilité de la régénération selon le défaut	p 35
Figure 7	Site de prélèvement symphysaire (d'après Tulasne, 2005)	p 52
Figure 8	Site de prélèvement ramique (d'après Tulasne, 2005)	p 53
Figure 9	Site de prélèvement pariétal (d'après Tulasne, 2005)	p 56
Figure 10	Grefe osseuse autogène d'apposition au maxillaire (photos du Dr Huet)	p 58-59
Figure 11	Distraction alvéolaire mandibulaire avant mise en place des implants (Chiapasco et coll. 2006)	p 63
Figure 12	Comblement sous-sinusien avec une greffe osseuse autogène simultanément à la mise en place des implants (d'après Jovanovic et Hunt, 1999)	p 66-67
Figure 13	Remplacement d'une 22 fracturée par un implant après régénération osseuse guidée (photos du Dr Struillou Xavier)	p 72-73
Figure 14	Implants zygomatiques (Malevez et coll. 2003)	p 107
Figure 15	Implants courts (D'après Nisand et Renouard, 2006)	p 107
Figure 16	Comblement sous-sinusien avec du biomatériau avant mise en place d'implants (photos du service d'implantologie du centre de soins dentaires de Nantes)	p 108-109
Figure 17	Comblement de l'alvéole d'une incisive centrale avec un biomatériau et pose d'une membrane résorbable (photos du Dr Hoornaert et du Dr Saffarzadeh)	p 110

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1-AL-SUKHUN J, HELENIUS M, LINDQVIST C et THOREN H.

Use platelet rich plasma (PRP) in the reconstruction of mandibular bony defects : clinical and radiographic follow-up.

Br J Oral Maxillofac Surg 2007 [article sous presse].

2-ALBREKTSSON T, BEGLUNDH T et JINDHE J.

Historic background and current concept.

In: LINDHE J, KARRING T, LANG N, eds. Clinical periodontology and implant dentistry. 3rd ed.

Copenhagen : Munksgaard, 2003:809-820.

3-ALBREKTSSON T et SENNERBY L.

Ancrage osseux direct des implants : considérations expérimentales et cliniques du concept d'ostéointégration.

Cah Prothèse 1990;71:41-51.

4-ANITUA E.

Plasma rich in growth factors : preliminary results of use in the preparation of future sites for implants.

Int J Oral Maxillofac Implants 1999;14(4):529-535.

5-ANTOUN H, EL-ZOGHBI H, CHERFANE P et MISIKA P.

Les ostéotomes de Summers : une alternative au volet latéral pour les soulevés de sinus ?

Implantodontie 2003;12:3-9.

6-ANTOUN H, SITBON JM, MARTINEZ H et MISSIKA P.

A prospective randomized study comparing two techniques of bone augmentation : onlay graft alone or associated with a membrane.

Clin Oral implants Res 2001;12(6):632-639.

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

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

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

8-AURIOL MM, LE CHARPENTIER Y et LE NAOUR G.

Histologie du parodonte.

Encycl Méd Chir (Paris), Stomatologie/Odontologie, 22-007-C-10, 2000, 23.

9-BACCAR MN, LAURE B, SURY F et coll.

Pré-implantation apposition grafts for edentulous anterior maxillary. Retrospective study of 36 patients.

Rev Stomatol Chir Maxillofac 2005;**106**(3):149-151.

10-BARTOLUCCI EG et MANGANO C.

Réussir les implants dentaires.

Paris : Masson, 2006.

11-BEGLUNDH T, LINDHE J, LANG NP et MAYFIELD L.

Mucositis and peri-implantitis.

In: LINDHE J, KARRING T, LANG N, eds. Clinical periodontology and implant dentistry. 3rd ed.

Copenhagen : Munksgaard, 2003:1014-1023.

12-BEHNEKE A, BEHNEKE N et D'HOEDT B.

Treatment of peri-implantitis defects with autogenous bone grafts: six month to 3 year results of a prospective study in 17 patients.

Int J Oral Maxillofac Implants 2000;**15**(1):125-138.

13-BEHNEKE A, BEHNEKE N, D'HOEDT B et WAGNER W.

Hard and soft tissue reactions to ITI screw implants: 3-year longitudinal results of a prospective study.

Int J Oral Maxillofac Implants 1997;**12**(6):749-757.

14-BENCHEMAM Y, BENATEAU H, LABBE D et coll.

Distraction alvéolaire.

Encycl Méd Chir (Paris), Stomatologie/Odontologie, 22-236-B-10, 2004, **14**.

15-BERT M et MISSIKA P.

Implantologie chirurgicale et prothétique.

Paris: CdP, 1996.

16-BORGHETTI A et MONNET-CORTI V.

Chirurgie plastique parodontale.

Paris : CdP, 2000.

17-BOURDIN D, SAFFARZADEH KERLANI A et LAUVERJAT Y.

Fiabilité clinique des implants courts : étude rétrospective de 139 implants.

J Parodontol Implantol Orale 2007;**26**(2):149-158.

18-BOYAPATI L et WANG HL.

The role of platelet-rich plasma in sinus augmentation : a critical review.

Implant Dent 2006;**15**(2):160-170.

19-BOYNE PJ, LILLY LC, MARX RE et coll.

De novo bone induction by recombinant human bone morphogenetic protein-2 (rhBMP-2) on maxillary sinus floor augmentation.

J Oral Maxillofac Surg 2005;**63**(12):1693-1707.

20-BRANEMARK PI, ZARB GA et ALBREKTSSON T.

Prothèses ostéo-intégrées.

Paris : CdP, 1988.

21-BUCHTER A, KLEINHEINZ J, MEYER U et JOOS U.

Treatment of severe peri-implant bone loss using autogenous bone and a bioabsorbable polymer that delivered doxycycline (Atridox®).

Br J Oral Maxillofac Surg 2004;**42**(5):454-456.

22-BUSER D, DULA K, HESS D et coll.

Localized ridge augmentation with autografts and barrier membranes.

Periodontol 2000 1999;**19**(1):151-163.

23-CANO J, CAMPO J, MORENO LA et BASCONES A.

Osteogenic alveolar distraction : a review of the literature.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2006;**101**(1):11-28.

24-CHEN ST, DARBY IB, ADAMS GG et REYNOLDS EC.

A prospective clinical study of bone augmentation techniques at immediate implants.

Clin Oral Implants Res 2005;**16**(2):176-184.

25-CHIAPASCO M, ABATI S, ROMEO E et 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):278-288.

26-CHIAPASCO M, LANG NP et BOSSHARDT DD.

Quality and quantity of bone following alveolar distraction osteogenesis in the human mandible.

Clin Oral Implants Res 2006;**17**(4):394-402.

27-CHIAPASCO M, ROMEO E, CASENTINI P et 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.

28-CHIAPASCO M, ZANIBONI M et BOISCO M.

Augmentation procedures for the rehabilitation of deficient edentulous ridges with oral implants.

Clin Oral Implants Res 2006;**17**(suppl.2):136-159.

29-CHIAPASCO M, ZANIBONI M et RIMONDINI L.

Autogenous onlay bone grafts vs. alveolar distraction osteogenesis for the correction of vertically deficient edentulous ridges : a 2-4 year prospective study on humans.

Clin Oral Implants Res 2007;**18**(4):432-440.

30-CHIN M.

The role of the distraction osteogenesis in oral and maxillofacial surgery.

J Oral Maxillofac Surg 1998;**56**(6):805-806.

31-CHOUKROUN J, ADDA F, SCHOEFFLER C et VERVELLE A.

Une opportunité en paro-implantologie : le PRF (Platelet Rich Fibrin).
Implantodontie 2001;**42**:55-62.

32-CHOUKROUN J, SIMONPIERI A, GIRARD MO et coll.

Concentrés plaquettaires : technologies, biologie associée, applications cliniques, analyses histologiques. 4^e partie : analyses histologiques.
Implantologie 2004;**13**:167-172.

33-CHRISTENSEN DK, KAROUSSIS IK, JOSS A et coll.

Simultaneous or staged installation with guided bone augmentation of transmucosal titanium implants. A 3 year prospective cohort study.
Clin Oral Implants Res 2003;**14**(6):680-686.

34-CONSOLO U, ZAFFE D, BERTOLDI C et coll.

Platelet-rich plasma activity on maxillary sinus floor augmentation by autologous bone.
Clin Oral Implants Res 2007;**18**(2):252-262.

35-CORDARO L, AMADE DS et 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):103-111.

36-DAVARPANA H M ET MARTINEZ H

Manuel d'implantologie clinique.
Paris : CdP, 2005.

37-DE KOK IJ, PETER SJ, ARCHAMBAULT M et coll.

Investigation of allogenic mesenchymal stem cell-based alveolar bone formation: preliminary findings.
Clin Oral Implants Res 2003;**14**(4):481-489.

38-DEL FABBRO M, TESTORI T, FRANCETTI L et WEINSTEIN R.

Systematic review of survival rates for implants placed in the grafted maxillary sinus.
Int J Periodont Rest Dent 2004;**24**(6):565-577.

39-DOHAN S, CHOUKROUN J, DOHAN A et coll.

Platelet rich fibrin (PRF) : un nouveau biomatériau de cicatrisation.
Biotechnologies et fibrine, plaquettes et cytokines, aspects immunitaires, implications thérapeutiques. 1^{ière} partie : biotechnologies et fibrine.
Implantodontie 2004;**13**(2):87-97.

40-DOHAN S, DOHAN A, CHOUKROUN J et coll.

De l'usage des concentrés plaquettaires autologues en application topique.
Encycl Méd Chir (Paris), Odontologie, 23-330-A-30, 2005, **26**.

41-EL-GHANNAM A, CUNNINGHAM L JR, PIENKOWSKI D et HART A.

Bone engineering of the rabbit ulna.
J Oral Maxillofac Surg 2007;**65**(8):1495-1502.

42-ENISLIDIS G, FOCK N, MILLESI-SCHOBEL G et coll.

Analysis of complications following alveolar distraction osteogenesis and implant placement in the partially edentulous mandible.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2005;**100**(1):25-30.

43-FERRARA ED et STELLA JP.

Restoration of the edentulous maxilla : the case for the zygomatic implants.

J Oral Maxillofac Surg 2004;**62**(11):1418-1422.

44-FERRIGNO N, LAURETI M et FANALI S.

Dental implants placement in conjunction with osteotome sinus floor elevation : a 12-year life-table analysis from a prospective study on 588 ITI° implants.

Clin Oral Implants Res 2006;**17**(2):194-205.

45-FIORELLINI JP, HOWELL TH, COCHRAN D et coll.

Randomized study evaluating recombinant human bone morphogenetic protein-2 for extraction socket augmentation.

J Periodontol 2005;**76**(4):605-613.

46-FONTANA F.

Gestion des complications en régénération osseuse guidée.

J Parodontol Implantol Orale 2007;**26**(1):79-88.

47-GARDELLA JP et RENOUEARD F.

Régénération osseuse guidée, greffe osseuse autogène : limites et indications.

J Parodontol Implantol Orale 1999;**18**(2):127-142.

48-GAUDY JF.

Atlas d'anatomie implantaire.

Paris : Masson, 2006.

49-GAUTIER F, NAVARRO G, DONSIMONI JM et DOHAN D.

Concentrés plaquettaires : technologies, biologie associée, applications cliniques, analyses.
3^{ème} partie : applications cliniques.

Implantodontie 2003;**13**(1):3-11.

50-HAAS R, BARON M, DORTBUDAK O et WATZEK G.

Lethal photosensitization, autogenous bone and e-PTFE membrane for the treatment of peri-implantitis : preliminary results.

Int J Oral Maxillofac Implants 2000;**15**(3):374-382.

51-HAMMERLE CH, FOURMOUSIS I, WINKLER JR et coll.

Successful bone fill in late peri-implant defects using guided tissue regeneration. A short communication.

J Periodontol 1995;**66**(4):303-308.

52-HAMMERLE CH et JUNG RE.

Bone augmentation by means of barrier membranes.

Periodontol 2000 2003;**33**:36-53.

53-HAMMERLE CH, JUNG RE et FELOUTZIS A.

A systematic review of the survival of implants in bone sites augmented with barrier membranes (guided bone regeneration) in partially edentulous patients.
J Clin Periodontol 2002;**29**(suppl 3):226-231.

54-IISUKA T, SMOLKA W, HALLERMANN W et 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):607-615.

55-ITO K, YAMADA Y, NAIKI T et UEDA M.

Simultaneous implant placement and bone regeneration around dental implants using tissue-engineered bone with fibrin glue, mesenchymal stem cells and platelet rich plasma.
Clin Oral Implants Res 2006;**17**(5):579-586.

56-ITURRIAGA MT et RUIZ CC.

Maxillary sinus reconstruction with calvarium bone grafts and endosseous implants.
J Oral Maxillofac Surg 2004;**62**(3):344-347.

57-JEPSEN S et TERHEYDEN H.

L'apport des facteurs de croissance et des protéines morphogénétiques à la régénération parodontale et à l'ostéointégration.
J Parodontol Implantol Orale 2000;**20**(3):289-314.

58-JOVANOVIC SA et HUNT DR.

Elévation localisée de sinus par technique de greffes osseuses : étude rétrospective de 1 à 5 ans.
J Parodontol Implantol Orale 1999;**18**(2):167-182.

59-KAMINA P et RENARD M.

Tête osseuse. 2^{ème} éd.
Paris : Maloine, 1996.

60-KARABUDA C, ARISAN V et HAKAN O.

Effects of sinus membrane perforations on the success of dental implants placed in the augmented sinus.
J Periodontol 2006;**77**(12):1991-1997.

61-KHOURY F et BUCHMANN R.

Surgical therapy of peri-implant disease : a 3 year follow-up study of cases treated with 3 different techniques of bone regeneration.
J Periodontol 2001;**72**(11):1498-1508.

62-KLAPISZ-WOLIKOW M.

Os alvéolaire.
In : GOLDBERG M, ed. Manuel d'histologie et de biologie buccale. La dent et ses tissus de soutien.
Paris : Masson, 1989:109-138.

63-KOSKIEVIC J, GAREL JM et ROUAH Y.

Facteurs de croissance plaquettaires en implantologie orale : mythes ou réalités ?
Implant 2003;9(4):263-281.

64-LANG NP, ARAUJO M et MARRING T.

Alveolar bone formation.

In: LINDHE J, KARRING T, LANG N, eds. Clinical periodontology and implant dentistry.
3rd ed.

Copenhagen : Munksgaard, 2003:866-896.

65-LANG NP, WILSON TG et CORBET EF.

Biological complications with dental implants: their prevention, diagnosis and treatment.
Clin Oral Implants Res 2000;11(suppl 1):146-155.

66-LEGHISSE GC, ZAFFE D, ASSENZA B et BOTTICELLI AR.

Guided bone regeneration using titanium grids: report of 10 cases.

Clin Oral Implants Res 1999;10(1):62-68.

67-LIN Y, TANG W, WU L et coll.

Bone regeneration by BMP-2 enhanced adipose stem cells loading on alginate gel.

Histochem Cell Biol 2007 [article sous presse].

68-MAC ALLISTER BS et GAFFANEY TE.

Distraction osteogenesis for vertical bone augmentation prior to oral implant reconstruction.

Periodontol 2000 2003;33:54-66.

69-MACDONALD KK, CHEUNG CY et ANSETH KS.

Cellular delivery of TGF beta1 promotes osteoinductive signalling for bone regeneration.

J Tissue Eng Regen Med 2007;1(4):314-317.

70-MAIORANA C, BERETTA M, SALINA S et SANTORO F.

Reduction of autogenous bone graft by means of Bio-Oss® coverage: a prospective study.

Int J Periodont Rest Dent 2005;25(1):19-25.

71-MALEVEZ C, ABARCA M, DURDU F et DAELEMANS P.

Clinical outcome of 103 consecutive zygomatic implants: a 6-48 months follow-up.

Clin Oral Implants Res 2004;15(1):18-22.

72-MALEVEZ C, DAELEMANS P, ADRIAENSSENS P et DURDU F.

Use of zygomatic implants to deal with resorbed posterior maxillae.

Periodontol 2000 2003;33:82-89.

73-MARX RE, CARLSON ER, EICHSTAEDT RM et coll.

Platelet-rich plasma: growth factor enhancement for bone grafts.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 1998;85(6):638-646.

74-MATTOUT P et MATTOUT C.

Les thérapeutiques parodontales et implantaires.

Paris : Quintessence International, 2003.

75-MAUJEAN E et STRUILLLOU X.

Comblement de sinus et biomatériaux : revue de littérature.
J Parodontol Implantol Orale 2006;**25**(1):35-43.

76-MAZZONETTO R et ALLAIS DE MAURETTE M.

Radiographic evaluation of alveolar distraction osteogenesis : analysis of 60 cases.
J Oral Maxillofac Surg 2005;**63**(12):1708-1711.

77-MIRANDA SR, NARY FILO H, PADOVAN LE et coll.

Use of platelet-rich plasma under autogenous onlay bone grafts.
Clin Oral Implants Res 2006;**17**(6):694-699.

78-MOLE C.

Rôles des concentrés plaquettaires dans la cicatrisation et la régénération osseuse.
J Parodontol Implantol Orale 2006;**25**(1):45-61.

79-MONNET-CORTI V et ROCHE-POGGI P.

Principes biologiques mis en jeu dans la cicatrisation osseuse.
J Parodontol Implantol Orale 2006;**25**(1):5-13.

80-MULLER E, GONZALEZ YM et ANDREANA S.

Treatment of peri-implantitis : longitudinal clinical and microbiological findings : a case report.
Implant Dent 1999;**8**(3):247-254.

81-NISAND D et RENOARD F.

Implants courts versus greffes osseuses sous-sinusiennes : étude clinique rétrospective.
J Parodontol Implantol Orale 2006;**25**(4):281-287.

82-NYSTROM E, AHLQVIST J, GUNNE J et KAHNBERG KE.

10-year follow-up of onlay bone grafts and implants in severely resorbed maxillae.
Int J Oral Maxillofac Surg 2004;**33**(3):258-262.

83-NYSTROM E, AHLQVIST J, LEGRELL PE et KAHNBERG KE.

Bone graft remodelling and implant success rate in the treatment of the severely resorbed maxilla : a 5 year longitudinal study.
Int J Oral Maxillofac Surg 2002;**31**(2):158-164.

84-OEST ME, DUPONT KM, KONG HJ et coll.

Quantitative assessment of scaffold and growth factor-mediated repair of critically sized bone defects.
J Orthop Res 2007;**25**(7):941-950.

85-PEJRONE G, LORENZETTI M, MOZZATI M et coll.

Sinus floor augmentation with autogenous iliac bone block grafts : a histological and histomorphometrical the two step surgical technique.
Int J Oral Maxillofac Surg 2002;**31**(4):383-388.

86-PELEG M, GARG AK et MAZOR Z.

Predictability of simultaneous implant placement in the severely atrophic posterior maxilla : a 9 year longitudinal experience study of 2132 implants placed into 731 human sinus grafts.
Int J Oral Maxillofac Implants 2006;**21**(1):94-102.

87-PINHOLT EM.

Brånemark and ITI dental implants in the human bone grafted maxilla : a comparative evaluation.

Clin Oral Implants Res 2003;**14**(5):584-592.

88-PROUSSAEFS P et LOZADA J.

The use of intraorally harvested autogenous bone grafts for vertical alveolar ridge augmentation : a human study.

Int J Periodont Rest Dent 2005;**25**(4):351-363.

89-RAGHOEBAR GM, GIELKENS PF, BOS RR et STEGENGA B.

Is there evidence that the barrier membranes prevent bone resorption in autologous bone grafts during the healing period ?

Int J Oral Maxillofac Implants 2007;**22**(3):390-398.

90-RAGHOEBAR GM, SCHORTINGHUIS J, LIEM RS et coll.

Does platelet-rich plasma promote remodeling of autologous bone grafts used for augmentation of the maxillary sinus floor ?

Clin Oral Implants Res 2005;**16**(3):349-356.

91-RAGHOEBAR GM, TIMMENG A NM, REINTSEMA H et coll.

Maxillary bone grafting for insertion of endosseous implants : results after 12-124 months.

Clin Oral Implants Res 2001;**12**(3):279-286.

92-RENOUARD F et NISAND D.

Impact of implant length and diameter on survival rates.

Clin Oral Implants Res 2006;**17**(suppl 2):35-51.

93-ROCCUZO M, RAMIERI G, BUNINO M et BERRONE S.

Autogenous bone graft alone or associated with titanium mesh for vertical ridge augmentation : a controlled clinical trial.

Clin Oral Implants Res 2007;**18**(3):286-294.

94-ROCHIETTA I.

Principes biologiques de la régénération osseuse guidée.

J Parodontol Implantol Orale 2007;**26**(1):7-13.

95-ROOS-JANSACKER AM, RENVERT S et EGELBERG J.

Treatment of peri-implant infections : a literature review.

J Clin Periodontol 2003;**30**(6):467-485.

96-ROOS-JANSACKER AM, RENVERT H, LINDAHL C et RENVERT S.

Surgical treatment of peri-implantitis using a bone substitute with or without a resorbable membrane : a prospective cohort study.

J Clin Periodontol 2007;**34**(7):625-632.

97-ROSENBERG E.

Utilisation des facteurs de croissance pour la régénération osseuse.
J Parodontol Implantol Orale 1999;**18**(3):301-311.

98-ROUSSEAU P.

La distraction alvéolaire : mode opératoire original.
J Parodontol Implantol Orale 2003;**22**(3):217-225.

99-SAULACIC N, SOMOZA-MARTIN M, GANDARA-VILA P et GARCIA-GARCIA A.

Relapse in alveolar distraction osteogenesis : an indication for overcorrection.
J Oral Maxillofac Surg 2005;**63**(7):978-981.

100-SAUTIER JM, LOTY C et LOTY S.

Biologie de la réparation osseuse.
Inf Dent 1995;**77**(38):2955-2960.

101-SAUTIER JM, MORA F et BERNHEIM H.

Facteurs biologiques intervenant dans la régénération de l'os alvéolaire.
J Parodontol 1993;**12**:237-245.

102-SCHWARTZ-ARD D, LEVIN L et SIGAL L.

Surgical success of intraoral autogenous block onlay bone grafting for alveolar ridge augmentation.
Implant Dent 2005;**14**(2):131-138.

103-SIMION M, FONTANA F, RASPERINI G et MAIORANA C.

Vertical ridge augmentation by expanded polytetrafluoroethylene membrane and a combination of intraoral autogenous bone graft and deproteinized anorganic bovine bone (Bio-Oss®).
Clin Oral Implants Res 2007;**18**(5):620-629.

104-SIMION M et IAMONI F.

Augmentation verticale de la crête alvéolaire.
J Parodontol Implantol Orale 1999;**18**(2):143-151.

105-SIMION M, JOVANOVIC SA, TINTI C et BENFENATI SP.

Long term evaluation of osseointegrated implants inserted at the time or after vertical ridge augmentation. A retrospective study on 123 implants with 1-5 year follow up.
Clin Oral Implants Res 2001;**12**(1):35-45.

106-SMOLKA W, EGGENSBERGER N, CAROLLO V et coll.

Changes in the volume and density of calvaria split bone grafts after alveolar ridge augmentation.
Clin Oral Implants Res 2006;**17**(2):149-155.

107-STRICKER A, VOSS PJ, GUTWALD R et coll.

Maxillary sinus floor augmentation with autogenous bone grafts to enable placement of SLA-surfaced implants : preliminary results after 15-40 months.
Clin Oral Implants Res 2003;**14**(2):207-212.

108-TULASNE JF et ANDREANI JF.

Les greffes osseuses en implantologie.
Paris : Quintessence International, 2005.

109-TURHANI D, WATZINGER E, WEIßENBOCK M et coll.

Three dimensional composites manufactured with human mesenchymal cambial layer precursor cells as an alternative for sinus floor augmentation: an in vitro study.
Clin Oral Implants Res 2005;**16**(4):417-424.

110-VAN DEN BOGAERDE L.

Nouvelle classification des défauts osseux péri-implantaires.
Parodont Dent Rest 2004;**24**:264-271.

111-VAN DEN MEIJ EH, BLANKESTIJN J, BERNIS RM et coll.

The combined use of two endosteal implants and iliac crest onlay grafts in the severely atrophic mandible by a modified surgical approach.
Int J Oral Maxillofac Surg 2005;**34**(2):152-157.

112-VERHOEVEN JW, RUIJTER J, CUNE MS et coll.

Onlay grafts in combination with endosseous implants in severe mandibular atrophy : one year results of a prospective, quantitative radiological study.
Clin Oral Implants Res 2000;**11**(6):583-594.

113-WIDMARK G, ANDERSSON B et IVANOFF CJ.

Mandibular bone graft in the anterior maxilla for single tooth implants.
Int J Oral Maxillofac Surg 1997;**26**(2):106-109.

114-WIKESJO UME, HANISCH O et DANESH-MEYER MJ.

Augmentation alvéolaire en dentisterie implantaire : ingénierie tissulaire avec la rhBMP-2.
J Parodontol Implantol Orale 2000;**19**(4):433-457.

115-YAMADA Y, UEDA M, NAIKI T, NAGASAKA T.

Tissue-engineered injectable bone regeneration for osseointegrated dental implants.
Clin Oral Implants Res 2004;**15**(5):589-597.

116-ZIZELMANN C, SCHOEN R, METZGER MC et coll.

Bone formation after sinus augmentation with engineered bone.
Clin Oral Implants Res 2007;**18**(1):69-73.

MARTENOT (Florence) -Régénération osseuse en implantologie- 113 p., ill., tabl., 116 réf., 30 cm.-(Thèse : Chir.Dent. ; Nantes ; 2008). N°	
Depuis le début des années 70, l'implantologie a beaucoup évolué et connu un essor important. Elle représente une solution prothétique attractive, alternative aux traitements conventionnels. Ses indications et ses limites sont bien précises, notamment sur le plan anatomique. En présence d'un édentement, l'os alvéolaire se modifie en qualité et en quantité, pouvant alors contre-indiquer la mise en place d'implants dans des conditions assurant sa viabilité et sa pérennité. Ainsi, des techniques de régénération osseuse ont été développées afin d'accroître le champs d'action de l'implantologie. Elles ont chacune leurs indications, leurs contre-indications, leurs complications et leurs résultats. Le praticien doit prendre en compte tous ces critères dans ses choix thérapeutiques avant, pendant et après la mise en place d'implant lorsqu'une régénération de l'os alvéolaire est nécessaire. Le but de ce travail est de présenter les différentes solutions disponibles pour un praticien pour régénérer l'os alvéolaire, ainsi que leur intérêt en préimplantaire, perimplantaire et postimplantaire.	
<u>Rubrique de classement</u> : Implantologie	
<u>Domaine Bibliodent</u> : Implantologie	
<u>Mots clés Bibliodent</u> : Implant Régénération osseuse Greffe osseuse Os alvéolaire	
<u>MeSH Anglais</u> : Dental implant, Bone regeneration, Bone transplantation, Bone alveolar	
<u>MeSH Français</u> : Implant dentaire, Régénération osseuse, Transplantation os, Os alvéolaire	
<u>Jury</u> : <u>Président</u> : Monsieur le Professeur B.GIUMELLI <u>Assesseur</u> : Monsieur le Docteur A.SAFFARZADEH Monsieur le Docteur Jean François BREMONT <u>Directeur</u> : Monsieur le Docteur A.SOUEIDAN Co-Directeur : Monsieur le Docteur J.DEMOERSMAN	
<u>Adresse de l'auteur</u> : 61 rue du moulin 44340 Bouguenais	