UNIVERSITÉ DE NANTES
UNITÉ DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Année 2014 N° 047

INTÉRÊTS ET LIMITES DE L'UTILISATION DES IMPLANTS FORTEMENT INCLINÉS : ANALYSE DE LA LITTÉRATURE

THÈSE POUR LE DIPLOME D'ÉTAT DE
DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée
Et soutenue publiquement par

DAUZAT Clément

Né le 10 juillet 1984

Le 20 novembre 2014 devant le jury ci-dessous :

Président :	M. le Professeur Philippe LESCLOUS
Assesseur :	M. le Docteur Saïd KIMAKHE
Assesseur :	Mme le Docteur Claire MACON
Membre invité :	M. le Docteur Gilles ROMIEUX

Directeur de thèse : M. le Docteur Alain HOORNAERT

UNIVERSITÉ DE NANTES	
Président	Pr. LABOUX Olivier
FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE	
Doyen	Pr. AMOURIQ Yves
Assesseurs	Dr. RENAUDIN Stéphane Pr. SOUEIDAN Assem Pr. WEISS Pierre
Professeurs des universités Praticiens hospitaliers des C.S.E.R.D.	
Monsieur AMOURIQ Yves Madame ALLIOT-LICHT Brigitte Monsieur GIUMELLI Bernard	Monsieur LESCLOUS Philippe Madame PEREZ Fabienne Monsieur SOUEIDAN Assem Monsieur WEISS Pierre
Professeurs des universités	
Monsieur BOHNE Wolf (Professeur Emérite) Monsieur JEAN Alain (Professeur Emérite)	Monsieur BOULER Jean-Michel
Praticiens Hospitaliers	
Madame DUPAS Cécile	Madame LEROUXEL Emmanuelle
Maîtres de Conférences Praticiens hospitaliers des C.S.E.R.D.	**Assistants hospitaliers universitaires des C.S.E.R.D.**
Monsieur AMADOR DEL VALLE Gilles Madame ARMENGOL Valérie Monsieur BADRAN Zahi Monsieur BODIC François Madame DAJEAN-TRUTAUD Sylvie Monsieur DENIAUD Joël Madame ENKEL Bénédicte Monsieur GAUDIN Alexis Monsieur HOORNAERT Alain Madame HOUCHMAND-CUNY Madline Madame JORDANA Fabienne Monsieur KIMAKHE Saïd Monsieur LAGARDE André Monsieur LE BARS Pierre Monsieur LE GUEHENNEC Laurent Madame LOPEZ-CAZAUX Séréna Monsieur MARION Dominique Monsieur NIVET Marc-Henri Monsieur RENAUDIN Stéphane Madame ROY Elisabeth Monsieur STRUILLOU Xavier Monsieur UNGER François Monsieur VERNER Christian	Madame BOEDEC Anne Monsieur CLÉE Thibaud Monsieur DAUZAT Antoine Madame DAZEL-LABOUR Sophie Monsieur DEUMIER Laurent Monsieur LE BOURHIS Antoine Monsieur KOUADIO Kouakou (assistant associé) Monsieur LANOISELEE Edouard Madame LEGOFFE Claire Madame MAÇON Claire Madame MALTHIERY Eve Madame MELIN Fanny Madame MERAMETDJIAN Laure Monsieur PILON Nicolas Monsieur PRUD'HOMME Tony Monsieur RESTOUX Gautier Madame RICHARD Catherine Monsieur ROLOT Morgan

Par délibération, en date du 6 décembre 1972, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'il n'entend leur donner aucune approbation, ni improbation.

TABLE DES MATIERES

1 Introduction 8
2 Rappels anatomiques et sur la résorption osseuse du site implantaire 10
2.1 Résorption osseuse : atrophie et perte de volume osseux 10
2.1.1 La prédisposition génétique 10
2.1.2 Les facteurs locaux 10
2.2 Mécanismes de cicatrisation alvéolaire 11
2.3 Classification de Cawood et Howell 11
2.4 Rappels anatomiques 12
2.4.1 Au maxillaire 12
2.4.2 A la mandibule 14
2.5 Difficultés et obstacles anatomiques à l'implantation 14
2.5.1 généralités sur la résorption : perte de hauteur d'origine crestale 14
2.5.1.1 Maladie parodontale 14
2.5.1.2 Edentement ancien 15
2.5.2 particularités au maxillaire 16
2.5.2.1 Résorption centripète du maxillaire 16
2.5.2.2 perte de hauteur d'origine crestale 17
2.5.2.3 Pneumatisation sinusienne 18
2.5.3 A la mandibule 21
2.5.3.1 Résorption centrifuge de la mandibule 21
2.5.3.2 perte de hauteur d'origine crestale 22
2.5.3.3 Nerf alvéolaire inférieur 23
3 Problématique 25
4 Définition d'un implant incliné 27
5 Biomécanique des implants inclinés 30
5.1 Les principales études biomécaniques 30

5.1.1 Etudes par éléments finis 30
5.1.1.1 Principes 30
5.1.1.2 Etudes par éléments finis relatives aux implants inclinés 31
5.1.2 Etudes in-vitro 39
5.1.2.1 Etude de Kim et al. (2010) 39
5.1.2.2 Etude d'Ogawa et al. (2010) 40
5.1.3 Etudes in-vivo 41
5.2 Analyse de la littérature 42
5.3 Application à la mastication 45
6 Taux de réussite des implants inclinés 47
6.1 Critères de réussite 47
6.2 Analyse de la littérature 47
6.2.1 Bibliométrie 47
6.2.2 Taux de survie 48
6.2.2.1 Taux de survie 49
6.2.2.2 Types et grades d'études 50
6.2.3 Perte osseuse marginale 51
7 Intérêts de l'utilisation des implants inclinés 53
7.1 Intérêts biomécaniques 53
7.1.1 Augmentation de la longueur enfouie de l'implant et amélioration de la stabilité primaire 53
7.1.2 Amélioration de la répartition des charges 54
7.1.3 Diminution de la longueur des cantilevers 54
7.2 Intérêts prothétiques 56
7.2.1 Augmentation de la circonférence prothétique 56
7.2.2 Optimisation de la distribution des piliers prothétiques 56
7.3 Intérêts pour le patient et le praticien 57
7.3.1 Traitement moins invasif 57
7.3.1.1 Au maxillaire 58
7.3.1.2 A la mandibule 59
7.3.2 Cout réduit et durée du plan de traitement 61
7.3.3 Intérêts médicaux 63
7.3.3.1 Rappels sur les indications et contre-indications en implantologie 63
7.3.3.2 Consommation de nicotine 64

7.3.3.3 Pathologies générales 65
7.3.4 Moins de temps opératoire et meilleure observance 66
7.3.5 Contournement des obstacles anatomiques 67
8 Limites des implants inclinés 68
8.1 Exemples de complications 69
8.2 Implantologie classique : revue systématique 70
8.3 Complications à moyen et long-terme des reconstitutions complètes associant implants inclinés et droits 72
8.3.1 Protocole de l'étude 72
8.3.2 Résultats 73
8.3.3 Comparaison des résultats : implants inclinés vs. implants axiaux 74
8.3.4 Conclusion sur les limites des implants inclinés 76
9 les implants zygomatiques 77
9.1 Présentation et définition 77
9.2 Indications et contre-indications 79
9.3 Anatomie régionale 81
9.4 La classification ZAGA : Zygoma Anatomy Guided Approach 82
9.5 Considérations biomécaniques et prothétiques 84
9.6 Analyse de la littérature 85
9.6.1 Bibliométrie 85
9.6.2 Taux de survie 86
9.6.3 Critères de réussite 89
9.6.4 Complications sinusiennes 90
9.6.4.1 Protocoles en 2 temps 91
9.6.4.2 Mise en charge immédiate 91
9.6.5 Comparaison des résultats 92
10 Application clinique : le All-on-four™ 93
10.1 Présentation 93
10.2 A la mandibule 94
10.2.1 Protocole chirurgical 94
10.2.2 Protocole prothétique 94
10.2.2.1 Prothèse provisoire 94
10.2.2.2 Prothèse d'usage 95
10.2.3 Cas clinique 95

10.3 Au maxillaire 97
11 Discussion 100
12 Conclusion 104
13 Bibliographie 105
14 Table des illustrations 126

1 INTRODUCTION

Dans les années 70, notre société a connu une diminution marquée de la natalité associée à un allongement net de l'espérance de vie de la génération du baby-boom. Ces phénomènes sont à l'origine de l'augmentation de la prévalence de la population âgée, d'après le rapport annuel de l'Organisation Mondiale de la Santé 2004. Ce vieillissement de la population a provoqué une augmentation de la prévalence de la population édentée. Les années 70 sont aussi le point de départ de l'implantologie, discipline que Brånemark a développée à travers ses travaux. Aujourd'hui, l'augmentation du nombre de patients, la diversification des indications (édentements partiels et totaux) et l'amélioration des techniques permettent à cette discipline d'occuper une place de plus en plus importante au sein de la chirurgie dentaire.

Le plus gros challenge de l'implantologie concerne les patients souffrants d'une arcade ou deux totalement édentées. En effet, ces patients sont traditionnellement porteurs d'une ou deux prothèses adjointes complètes et se plaignent fréquemment de reflexes nauséeux, de l'aspect esthétique de leur prothèse, de douleurs et de l'instabilité de leur prothèse.

Dans ce contexte, les bridges complets implanto-portés semblent être la réponse thérapeutique offrant le plus de promesses au patient, mais le praticien se retrouve confronté à plusieurs obstacles. En effet, la mise en place de ces traitements est souvent freinée par des obstacles anatomiques tels que le sinus maxillaire ou le nerf alvéolaire inférieur ou une hauteur d'os insuffisante consécutive à la résorption des maxillaires.

Au début des années 2000, le Docteur Paulo Malo a proposé le protocole All-on-four™ en présentant des séries de cas cliniques. Pour simplifier le concept, il s'agit d'un bridge complet soutenu par deux implants antérieurs droits et deux implants postérieurs inclinés (les 4 implants sont solidarisés par une barre). On a ainsi vu apparaître plusieurs concepts implanto-prothétiques avec implants postérieurs inclinés, dont l'objectif avoué est de se positionner en protocoles « universels ».

Pour étudier les implants inclinés, nous nous intéresseront succinctement à l'anatomie du site implantaire et à la résorption afin de comprendre les problématiques existantes autours des patients édentés. Nous définirons ce qu'est un implant incliné, nous verrons les aspects biomécaniques de l'inclinaison des implants et les intérêts et limites de celle-

ci. Des cas cliniques seront exposés, et nous conclurons ce travail et discutant les résultats et l’avenir de ce concept d’inclinaison.

2 RAPPELS ANATOMIQUES ET SUR LA RESORPTION OSSEUSE DU SITE IMPLANTAIRE

La fonction des processus alvéolaires maxillaire et mandibulaire est d'offrir un point d'ancrage aux dents. Après l'avulsion ou la perte d'une dent, une perte de la largeur puis de la hauteur du processus alvéolaire apparaît rapidement [167] [64].

2.1 RESORPTION OSSEUSE : ATROPHIE ET PERTE DE VOLUME OSSEUX

Il existe deux causes fondamentales au manque de volume osseux :

- La réduction de volume par une prédisposition génétique
- Les facteurs locaux défavorables

2.1.1 LA PREDISPOSITION GENETIQUE

Les modifications génétiques affectent la croissance osseuse dans les différentes phases du développement et sont associées à des défauts du complexe alvéolo-dentaire. La différence de croissance des différentes parties osseuses peut être compensée par adaptation.

Par exemple, une microdontie s'accompagne d'une croissance incomplete du complexe alvéolo-dentaire et d'une perte de volume consécutive de l'os alvéolaire. Il en résulte une quantité osseuse insuffisante pour une éventuelle implantation.

2.1.2 LES FACTEURS LOCAUX

Des perturbations dans la phase du développement dentaire conduisent à un déficit osseux local. Après la perte complète des dents, le manque chronique de pression et de stress entraine une résorption de l'os alvéolaire jusqu'à l'os basal (maxillaire ou mandibulaire) : ce phénomène est unique au sein du squelette. Cette involution peut être complète.

Lors de la mastication, la pression et le stress sont dirigés dans l'os alvéolaire, ce qui entraine une apposition osseuse. A l'inverse, il apparaît une résorption en cas de perte de fonction.

2.2 MECANISMES DE CICATRISATION ALVEOLAIRE

L'os alvéolaire présente des particularités par rapport aux os du reste du squelette dans le cadre de la guérison osseuse. Alors que de petites lésions osseuses des os du squelette sont réparées sans perte, l'os alvéolaire montre toujours une perte de volume : la cicatrisation de l'alvéole dentaire après extraction ne peut être comparée à celle d'autre traumatismes du squelette.

La guérison alvéolaire se déroule en plusieurs étapes :

- Comblement de l'alvéole par le caillot sanguin les 3 premiers jours. Les bords sont tapissés de cellules d'inflammation (granulocytes neutrophiles)
- Après 3 jours, organisation du caillot : il est remplacé depuis sa base par du tissu de granulation très vascularisé. La lyse des érythrocytes se déroule dans la partie centrale du caillot.
- Après 7 jours, les fibres desmodontales restantes sont dissoutes. L'alvéole contient alors des néovaisseaux, des leucocytes, des cellules mésenchymateuses et des fibres de collagène
- Après 14 jours, apparition des premiers tissus durs dans l'alvéole (os fibrillaire)
- Après 30 jours, apparition des premiers ostéons qui sont en contact avec l'os alvéolaire préexistant. L'alvéole est alors totalement recouverte de tissu épithélial
- Après 60 à 90 jours, un pont de tissu dur (os fibrillaire) recouvre le nouvel os spongieux
- Entre 120 à 180 jours, ce pont est remplacé par de l'os lamellaire

Suite au remodelage, une perte de largeur et de hauteur et de hauteur de l'alvéole est observée dans les 8 premières semaines.

2.3 CLASSIFICATION DE CAWOOD ET HOWELL

La plus grande résorption se produit durant l'année suivant la perte dentaire. Au-delà de cette période, la perte verticale atteint 0,1mm par an [26] [178]

En observe en général d'importantes variations individuelles avec des schémas de résorptions différenciés selon les sites anatomiques concernés. Chez un même individu, cela s'explique par le fait que les extractions n'ont généralement pas lieu en même temps, les stades de résorption sont donc différents [178].

Atwood a démontré en premier que la crête alvéolaire se résorbait selon un schéma assez caractéristique [26]. Fallschüssel a analysé ces phénomènes de résorption au maxillaire et a établi une classification de l'atrophie. Cette classification a été reprise et modifiée par Cawood et Howell [63] [64] [178].

RKL 1	Crête dentée
RKL 2	Alvéole vide juste après extraction
RKL 3	L'alvéole a cicatrisé, le processus alvéolaire est haut, large et arrondi
RKL 4	Crête haute, mais fine (tranchante)
RKL 5	Crête assez large mais fortement réduite en hauteur
RKL 6	Processus alvéolaire maxillaire entièrement résorbé. Dans les cas extrêmes, le processus est dans le même plan que le palais dur

FIGURE 1 : CLASSIFICATION DES TYPES DE RESORPTION ("RKL", "CLASSIFICATION OF RESIDUAL RIDGES") SELON CAWOOD ET HOWELL (1988, 1991)

Un processus alvéolaire entièrement résorbé doit être considéré comme pathologique. L'addition de plusieurs facteurs semble à l'origine de ces atrophies extrêmes. Ces situations requièrent généralement d'importantes mesures de chirurgie pré-prothétique [178].

2.4 RAPPELS ANATOMIQUES

2.4.1 AU MAXILLAIRE

Le maxillaire est un os pair d'origine membraneuse et appartenant au viscérocrâne. Il s'articule avec tous les os de la face, ainsi qu'avec son homologue controlatéral pour former la plus grande partie du massif facial supérieur. Il est situé au-dessus de la cavité buccale, au-dessous des cavités orbitaires et en dehors des fosses nasales.

Il a une forme de pyramide triangulaire à sommet orienté en dehors. Il présente 4 faces (la face jugale, infra-temporale, orbitaire et nasale), un sommet orienté en dehors, une base et 4 processus (frontal, zygomatique, palatin et alvéolaire)

La face jugale :

- Antérieure, sous-cutanée et palpable
- Limitée en haut par le bord infra-orbitaire
- En bas par l'arcade alvéolaire
- Mésialement par l'incisure nasale
- Marquée en bas par la saillie du jugum de la canine

La face infra-temporale :

- Elle est postéro-latérale
- Sa paroi latérale constitue la paroi antérieure de la fosse infra-temporale
- Sa paroi postérieure constitue la tubérosité maxillaire

La face orbitaire constitue la plus grande partie du plancher orbitaire et est formée de 3 bords :

- Un bord antérieur infra-orbitaire
- Un bord médian présentant l'incisure lacrymale dans sa partie antérieure
- Un bord postérieur qui forme le rebord antérieur de la fissure orbitaire inférieure

La face nasale :

- Elle est mésiale
- Elle forme une partie de la paroi latérale de la cavité nasale
- Elle présente au centre un hiatus maxillaire
- Elle présente en arrière du hiatus le sillon grand palatin

De ce corps se détachent :

- Le processus zygomatique, qui est pyramidal avec un apex latéral
- Le processus frontal, qui est vertical, supérieur et aplati
- Le processus palatin, qui est horizontal, médial et épais

Situé dans le corps du maxillaire, le sinus maxillaire est le plus grand sinus de la face. Il est décrit comme ayant la forme d'une pyramide couchée sur le côté, à base médiale et dont le sommet est situé dans le processus alvéolaire du maxillaire.

2.4.2 A LA MANDIBULE

La mandibule est un os impair, médian et symétrique. Elle est le seul os mobile du massif crânio-facial. Elle forme un fer à cheval à extrémités redressées vers le haut. Elle présente :

- Un corps horizontal, arqué, à concavité postérieure, avec une face latérale, une face médiale, une partie alvéolaire et une base
- Deux branches en forme de quadrilatère orienté en haut et en arrière. Ces branches prolongent en arrière le corps mandibulaire. Chaque branche présente deux faces (latérale et médiale) et se termine à son extrémité supérieure par le processus condylaire en arrière et le processus coronoïde.

2.5 DIFFICULTES ET OBSTACLES ANATOMIQUES A L'IMPLANTATION

2.5.1 GENERALITES SUR LA RESORPTION : PERTE DE HAUTEUR D'ORIGINE CRESTALE

Il existe plusieurs mécanismes de résorption en fonction de la cause de la perte de l'organe dentaire [93]. Les insuffisances verticales de l'os alvéolaire font très souvent suite à une maladie parodontale ou une avulsion, provoquant ainsi l'affaissement de la crête alvéolaire et atteignant particulièrement les secteurs molaires [172].

2.5.1.1 MALADIE PARODONTALE

En présence d'une parodontite, la résorption osseuse plus importante entraine une diminution de la hauteur des parois alvéolaires. Ces dernières ne peuvent donc pas ou peu se combler consécutivement à une avulsion (les parois osseuses serventde guide) [92].

Une étude de 1987 montre que 91% des patients atteints de maladie parodontale présentent une forte perte de substance crestale au niveau des zones édentées [1].

Becker et al. montrent que les plus importantes pertes osseuses liées à la maladie parodontale sont localisées dans les secteurs postérieurs maxillaires [33]. De plus, une étude

confirme que les dents les plus souvent perdues consécutivement à une maladie parodontale sont les molaires maxillaires [96].

2.5.1.2 EDENTEMENT ANCIEN

Inévitablement, une avulsion provoque une alvéolyse. Cette résorption de l'os alvéolaire, très active au cours des premiers mois de cicatrisation, est accélérée 3 mois après avulsions dans le sens transversal, vertical et horizontal [162].

Cette résorption est qualifiée de chronique, progressive et irréversible par Atwood, qui la constate plus aggravée sur l'os trabéculaire que sur l'os cortical [26].

Une étude montre que 1 an après une extraction, une perte osseuse verticale de 2 à 3 mm est constatée au maxillaire [169]. Une autre constate que cette résorption de l'os alvéolaire est tridimensionnelle [126]. Chanavaz la décrit comme un déséquilibre entre ostéogénèse et ostéolyse [65].

Cette diminution résulterait en fait d'une ostéosynthèse au centre de l'alvéole associée à une résorption de la partie supérieure des parois alvéolaires, ce qui induit rapidement un changement morphologique du site après l'extraction. De plus, la diminution de la vascularisation et des stimulations musculaires ont un impact sur la résorption : le transfert des forces masticatoires vers l'os est assuré par les racines dentaires – particulièrement au niveau des molaires – et cette stimulation entretient le processus d'apposition/résorption responsable du maintien de la structure des procès alvéolaires.

Quelle que soit leur origine, ces changements morphologiques rendent plus délicate l'implantation de ces sites. Il existe aussi des particularités au maxillaire et à la mandibule :

- La résorption est décrite comme centripète au maxillaire et centrifuge à la mandibule
- Le phénomène continu de pneumatisation du sinus maxillaire
- L'impact de la résorption sur la proximité du nerf alvéolaire inférieur

Atwood et al. mettent en avant une interaction entre 4 cofacteurs de laquelle résulte une résorption propre à chaque individu :

- Un cofacteur anatomique : la qualité de l'os et l'épaisseur des corticales

- Un cofacteur métabolique : la vascularisation et la sénescence du tissu osseux
- Un cofacteur fonctionnel : l'intensité, la fréquence et la durée de l'application des forces locales
- Un cofacteur prothétique : la qualité de la prothèse en terme de sustentation, de stabilité et de surcharge occlusale

2.5.2 PARTICULARITES AU MAXILLAIRE

2.5.2.1 RESORPTION CENTRIPETE DU MAXILLAIRE

Une étude de 1988 réalisée sur un échantillon de 300 crânes a constaté une diminution de la largeur de la crête résiduelle en l'absence de dents. Au niveau du maxillaire postérieur, la résorption est plus importante au niveau de la paroi vestibulaire : on parle de résorption centripète du maxillaire [63].

Une étude plus récente de 2007 met aussi cette résorption centripète en évidence. Pour cela, les auteurs ont rassemblé 24 maxillaires édentés au département d'anatomie de l'université de Tel-Aviv afin de réaliser des mesures. La largeur d'arcade a été mesurée de la partie postérieure d'une tubérosité à l'autre (ligne A). La longueur a été mesurée de la crête résiduelle incisive à la ligne inter-tubérositaire au centre du palais (ligne B).

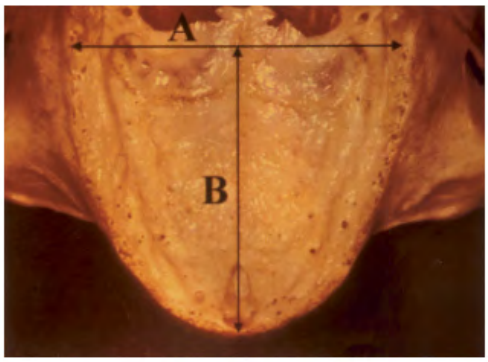

FIGURE 2 : MESURES DE LA LARGEUR ET DE LA LONGUEUR DES ARCADES MAXILLAIRES EDENTEES, D'APRES PIETROKOVSKI ET AL. (2007)

	Moyenne	Ecart-type	Variation
Largeur	48 mm	2,3 mm	39-60
Longueur	47 mm	3,1 mm	40-54

FIGURE 3 : RESULTATS DES MESURES D'ARCADES MAXILLAIRES EDENTEES, D'APRES PIETROKOVSKI ET AL. (2007)

Ces résultats nous montrent que ces 24 maxillaires édentés peuvent avoir une résorption centripète plus ou moins importante, mais que celle-ci peut entrainer des maxillaires ayant jusqu'à seulement 4 cm de largeur et de longueur. Cette étude manque néanmoins de références antérieures [163]. Il faut noter aussi que les auteurs ont constaté 3 types de formes d'arcades édentées : ovoïde (65%), triangulaire (25%) ou irrégulière (10%).

2.5.2.2 PERTE DE HAUTEUR D'ORIGINE CRESTALE

Dans le cadre d'un édentement ancien, Chanavaz a constaté que la perte prématurée de la première molaire maxillaire pouvait conduire à une disparition de la quasi-totalité de l'os, avec la persistance d'une fine lamelle osseuse seulement.

La faible densité osseuse du maxillaire par rapport à la mandibule est responsable des importantes pertes osseuses liées aux maladies parodontales [33].

L'étude de 2007 de Pietrokovski et al. [163] montre différents types de crêtes en fonction de leur largeur, leur localisation (molaire, prémolaire et incisive) et leur forme.

	Moyenne	Ecart-type	Variation	Lame de couteau	Plat/arrondi
Incisive	3 mm	2,5 mm	1-6 mm	47%	53%
Prémolaire	4 mm	1,4 mm	2-7 mm	10%	90%
Molaire	5 mm	3,1 mm	2-7 mm	10%	90%

FIGURE 4 : LARGEUR DE LA CRETE RESIDUELLE AU MAXILLAIRE, D'APRES PIETROKOVSKI ET AL. (2007)

Ces résultats nous montrent que dans les secteurs postérieurs, malgré au moins un maxillaire présentant des crêtes de 2 mm de largeur, les crêtes édentées mesurent en moyenne 5 mm de diamètre, et leur forme est à 90% plate ou arrondie.

FIGURE 5 : EXEMPLE 1 DE MAXILLAIRE EDENTE, D'APRES PIETROKOVSKI ET AL. (2007)

FIGURE 6 : EXEMPLE 2 DE MAXILLAIRE EDENTE, D'APRES PIETROKOVSKI ET AL. (2007)

2.5.2.3 PNEUMATISATION SINUSIENNE

La circulation d'air permanente dans le sinus maxillaire provoque une augmentation de la pression. Ce phénomène entretient la pneumatisation qui est à l'origine de la formation des sinus de la face. Ces forces sont faibles et limitées mais elles provoquent une augmentation continue du volume sinusien. Cette augmentation est plus rapide en l'absence des dents « sous-sinusiennes », les racines de ces dernières auraient un effet rétenteur sur le plancher sinusien.

Une étude radiographique rétrospective publiée en 2008 met en avant cette pneumatisation accélérée par les extractions dentaires. Ce travail compare d'une part un secteur

édenté à un secteur denté chez un même patient, et d'une autre part le volume sinusien avant et après avulsions chez un même patient.

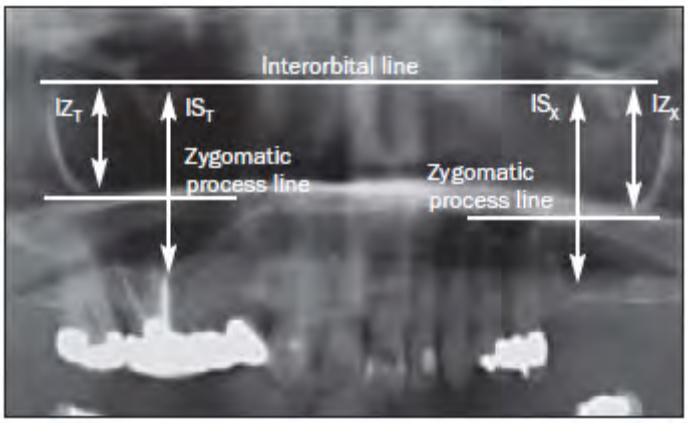

FIGURE 7 : RADIOGRAPHIE PANORAMIQUE LES LIGNES DE REFERENCES UTILISEES POUR MESURER LES DISTANCES DANS L'ETUDE

Pour comparer les sites dentés et édentés chez un même patient, un échantillon de 152 radiographies panoramiques a été étudié à partir de lignes et de points de référence. Chacune des radiographies incluses dans l'étude a été sélectionnée dans le dossier d'un patient présentant un édentement postérieur unilatéral (classe 2 de Kennedy-Applegate). La moyenne d'âge est de 40 ans. Les résultats de cette partie de l'étude montrent une hauteur du plancher sinusien significativement plus basse de 2,18 ± 2,89 mm du côté édenté, sans différence an fonction du sexe.

Pour comparer la différence de volume sinusien entre avant et après une extraction, 58 paires de radiographies ont été sélectionnées, avec une paire par patient, ceux-ci ayants 41 ans d'âge moyen. Le premier cliché a été pris en présence de toutes les dents sous-sinusiennes, et le deuxième a été pris au moins 6 mois après avulsion (jusqu'à 67 mois) de la deuxième prémolaire, la première molaire et/ou la seconde molaire. Les résultats montrent une différence significative entre la hauteur du plancher sinusien avant et après avulsion d'une des dents sous-sinusienne.

Il faut aussi noter que des différences ont été enregistrées en fonction du type de relation entre les dents concernées et le sinus :

- Type 0 : pas de contact avec la corticale sinusienne
- Type 1 : un plancher sinusien incurvé vers le bas, avec contact entre la racine dentaire et la corticale sinusienne

- Type 2 : un plancher sinusien incurvé vers le bas, avec une racine dentaire projetée latéralement dans le sinus, mais avec l'apex en dehors du sinus
- Type 3 : un plancher sinusien incurvé vers le bas, avec un apex radiculaire projeté à l'intérieur de la cavité sinusienne
- Type 4 : un plancher sinusien incurvé vers le haut enveloppant tout ou partie de la racine dentaire

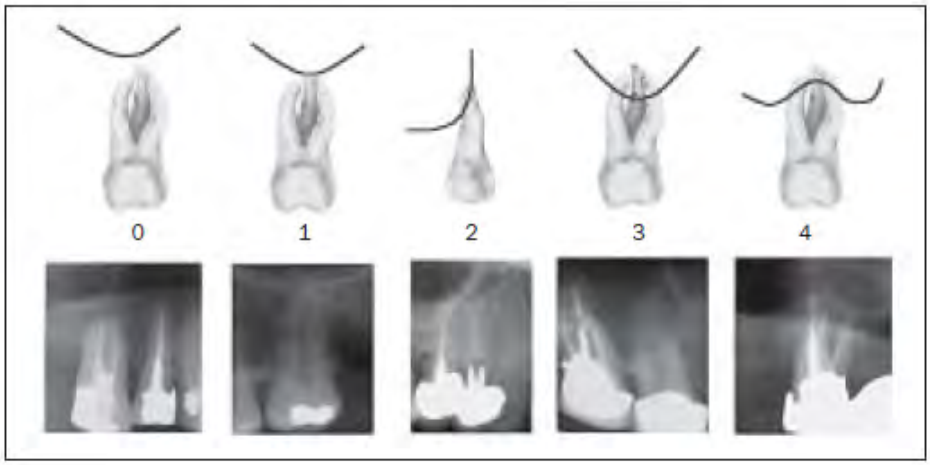

FIGURE 8 : CLASSIFICATION DES 5 TYPES DE RELATIONS ENTRE LES RACINES DES DENTS MAXILLAIRES ET LE SINUS, D'APRES SHARAN ET MADJAR (2008)

Les résultats montrent un abaissement du plancher sinusien très important pour les dents du type 4. La pneumatisation semble aussi être plus importante quand les apex sont projetés dans la cavité sinusienne (types 3 et 4).

Type de rapport	Nombre de cas	Abaissement du sinus	Variation
Types 0 à 2	21	0,58 mm	± 1,07 mm
Type 3	24	0,90 mm	± 1,80 mm
Type 4	14	5,27 mm	± 1,59 mm

FIGURE 9 : RESULTATS DE L'EXPENSION SINUSIENNE EN FONCTION DU TYPE DE RAPPORT ENTRE DENTS ET SINUS, D'APRES SHARAN ET MAJDAR (2008)

Les résultats de cette étude (grade 3) nous montrent une augmentation de la pneumatisation sinusienne après la perte des dents.

2.5.3 A LA MANDIBULE

2.5.3.1 RESORPTION CENTRIFUGE DE LA MANDIBULE

La résorption de l'os alvéolaire à la mandibule est plus rapide en lingual qu'en vestibulaire : on parle de résorption centrifuge [72].

L'étude de Pietrokovski et al. [163] s'intéresse aussi à la morphologie de la mandibule édentée : par le même procédé que pour le maxillaire, 99 mandibules totalement édentées ont été rassemblées au département d'anatomie de l'université de Tel-Aviv.

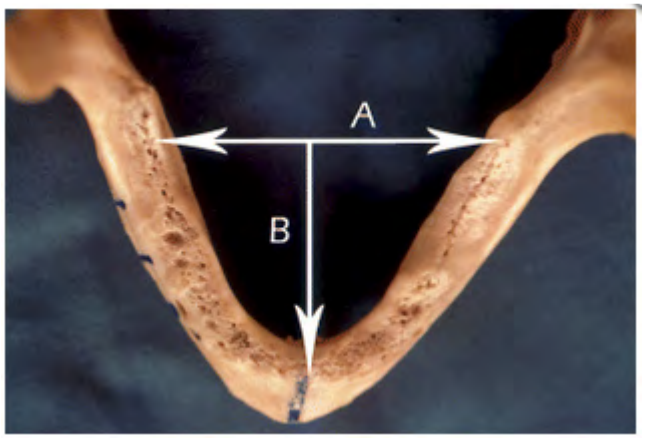

FIGURE 10 : MESURES DE LA RESORPTION CENTRIFUGE A LA MANDIBULE, D'APRES PIETROKOVSKI ET AL. (2007)

La largeur de la mandibule a été mesurée de gauche à droite, au niveau molaire, à l'angle du corps et des branches ascendantes. La longueur de l'arc a été mesurée entre cette dernière ligne et le milieu de la crête des incisives centrales.

	Moyenne	Ecart-type	Variation
Largeur	78 mm	9,4 mm	73-84
Longueur	61 mm	8 mm	53-67

FIGURE 11 : RESULTATS DES MESURES D'ARCADES MANDIBULES EDENTEES, D'APRES PIETROKOVSKI ET AL. (2007)

La largeur moyenne de ces 99 mandibules édentées est de 78 mm et la longueur de 61 mm. Nous pouvons aussi constater une variation de largeur moins importante qu'au maxillaire malgré un échantillon de mandibules plus grand. Les auteurs ont également souligné que la forme d'arcade mandibulaire était principalement ovoïde (77%), mais que des formes carrées (11%) et irrégulières (12%) avaient été trouvées.

Si l'on compare les résultats moyens de cette étude, nous constatons une largeur moyenne inter-crêtes de plus grande de 30 mm à la mandibule, ainsi qu'une longueur plus grande de 14 mm. Ces différences mettent également en évidence les résorptions centripètes et centrifuges, respectivement au maxillaire et à la mandibule.

FIGURE 12 : ASPECT FRONTAL D'UN MAXILLAIRE ET D'UNE MANDIBULE EDENTES EN RELATION CENTREE, D'APRES PIETROKOVSKI ET AL. (2007)

FIGURE 13 : ASPECT LATERAL D'UN MAXILLAIRE ET D'UNE MANDIBULE EDENTES EN RELATION CENTREE, D'APRES PIESTROKOVSKI ET AL. (2007)

2.5.3.2 PERTE DE HAUTEUR D'ORIGINE CRESTALE

Le principe est le même qu'au maxillaire, avec une perte de hauteur plus importante pour les édentements anciens, les parodontites et les avulsions non conservatrices. Mais cette perte de hauteur amène à différents types de crêtes osseuses à la mandibule [163].

	Moyenne	Ecart-type	Variation	Lame de couteau	Plat/arrondi
Incisive	3 mm	2,2 mm	1-7 mm	75%	25%
Prémolaire	7 mm	3 mm	1-16 mm	38%	62%
Molaire	9 mm	4 mm	1-18 mm	15%	85%

FIGURE 14 : LARGEUR DE LA CRETE RESIDUELLE A LA MANDIBULE, D'APRES PIETROKOVSKI ET AL. (2007)

Les formes de crêtes présentent plus de différences qu'au maxillaire. Par exemple, au niveau prémolaire, les largeurs de crêtes édentées varient de 1 à 16 mm, avec 38% de formes en lame de couteau et 62% plates et arrondies [163].

2.5.3.3 NERF ALVEOLAIRE INFERIEUR

Il représente l'obstacle majeur en implantologie. Il concerne l'implantation des secteurs molaires et prémolaires. Il chemine dans le canal mandibulaire, entre les foramen mandibulaire et mentonnier. Son rapport de distance avec la crête édentée évolue en continu : c'est un effet indirect de la résorption.

Une étude de Lee et al. met en évidence ce changement et son influence sur la hauteur d'os disponible en implantologie [125]. Ce travail a été réalisé à partir d'images de tomodensitométrie.

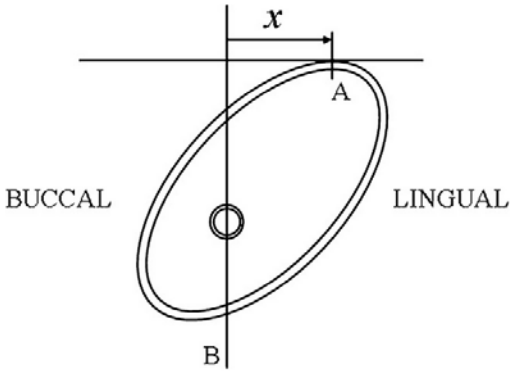

FIGURE 15 : 4 TYPES DE RAPPORTS ANTRE LE SOMMET DE LA CRETE ALVEOLAIRE ET LE CANAL MANDIBULAIRE, D'APRES LEE ET AL. (2007)

Sur ce schéma, le point A représente le sommet de la crête alvéolaire, et le point B correspond à une ligne verticale passant par le centre du canal mandibulaire. Pour cette étude, 4 types d'emplacements de A ont été définis :

- Type 1 : le point A est buccal par rapport à la ligne B, ou placé sur cette ligne B
- Type 2 : le point A est lingual et X est inférieur à 2 mm
- Type 3 : le point A est lingual et X est compris entre 2 et 4 mm
- Type 4 : le point A est lingual et X est supérieur à 4 mm

Les mesures de hauteur d’os disponible (ABH : available bone height) ont été calculées entre les 2 lignes horizontales passant par le sommet de la crête alvéolaire et le bord supérieur du canal mandibulaire.

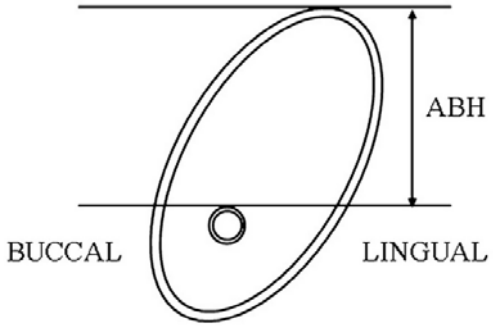

FIGURE 16 : DEFINITION DE LA HAUTEUR D'OS DISPONIBLE ABH, D'APRES LEE ET AL. (2007)

Sur les 92 cas sélectionnés, les auteurs ont noté la présence de 20 types 1, 20 types 2, 31 types 3 et 21 types 4. Aucune analyse statistique sur la hauteur d’os disponible n’a été réalisée sur cette étude qui s’intéresse surtout aux variations constatées entre les images panoramiques et de scanners.

3 PROBLEMATIQUE

Dans ce contexte, la prise en charge d'un patient édenté représente un challenge pour le praticien qui devra satisfaire le patient tant sur un plan fonctionnel qu'esthétique. Classiquement, ces patients étaient traités par des prothèses amovibles conventionnelles et exprimaient fréquemment des doléances esthétiques, fonctionnelles et douloureuses. Les patients se plaignant aussi spécifiquement de reflexes nauséeux au maxillaire et d'instabilité à la mandibule.

L'apport de l'implantologie à la prothèse amovible a abouti au développement de la prothèse amovible complète supra-implantaire (PACSI), ou prothèse implanto-stabilisée, qui est une prothèse complète qui recouvre et s'appuie partiellement sur des implants dentaires. Concrètement, ce traitement correspond à une prothèse stabilisée par 2 implants para-symphysaire à la mandibule et 4 implants au maxillaire. Le consensus international prothétique de Mac Gill de 2002 considère la stabilisation d'une prothèse complète mandibulaire par 2 implants comme le traitement de l'édentation totale mandibulaire répondant le mieux aux données acquises de la science [183]. Ce traitement confère au patient un confort fonctionnel et moral incontestable [81].

Afin d'améliorer encore le confort des patients présentant au moins une arcade édentée, l'implantologie développe aujourd'hui la prothèse fixée sur implants, considérée subjectivement comme solution thérapeutique la plus satisfaisante. Celle-ci peut être de 2 types : la prothèse fixée conventionnelle (bridge sur implants) et la prothèse de recouvrement sur barre de solidarisation ou non (bridge de Brånemark).

La première solution parait la plus séduisante. Mais le praticien se retrouve confronté à une morphologie défavorable du site implantaire et à des contraintes anatomiques. Ce type de traitement nécessite des étapes de chirurgie pré et péri-implantaires supplémentaires augmentant la morbidité de la thérapeutique (greffes osseuses). Du point de vue du patient, c'est la solution la plus couteuse et dont la réalisation est la plus longue.

La seconde alternative, celle qui va nous intéresser, le bridge de Brånemark ou bridge « sur pilotis » est une solution développée depuis plus de 30 ans. Il s'agit de prothèses en métal et en résine transvissées sur 5 à 6 implants répartis dans la symphyse mentonnière de la mandibule. Ces prothèses ne sont pas en contact avec la gencive. Ce type de protocole

présente de nombreux avantages : un recul clinique correct, un coût modéré et une gestion de l'esthétique assurée par la fausse gencive. Mais elle présente le même inconvénient majeur que le bridge complet sur implant : le praticien se retrouve fréquemment confronté à un manque quantitatif d'os lors de la planification du traitement implantaire, ce qui fait perdre le bénéfice du coût modéré en compensant ce manque d'os par des greffes osseuse. De plus, afin d'éviter les effets néfastes du porte-à-faux sur la prothèse et les implants, un consensus prône l'utilisation de seulement 10 dents pour ce type de bridge (de deuxième prémolaire à deuxième prémolaire controlatérale)

Depuis le début des années 2000, plusieurs questions ont été posées afin de déterminer un protocole qui bénéficierait des avantages du bridge de Brånemark en limitant au maximum ses inconvénients :

- Peut-on obtenir une solution durable fixe et complète sur 4 implants ?
- Comment contourner les obstacles anatomiques lors de la pose des implants ?
- Comment réduire la longueur des porte-à-faux afin d'améliorer la répartition des charges masticatoires ?
- Comment compenser les difficultés rencontrées à cause de la résorption ?

L'inclinaison distale des implants postérieurs a été proposée, pour répondre partiellement ou totalement à ces questions. Mais qu'est-ce qu'un implant incliné ?

4 DEFINITION D'UN IMPLANT INCLINE

Le terme d'implant incliné fait référence, d'après Block et al., à un implant incliné d'au moins 30 degrés par rapport à un implant axial/vertical conventionnel [47].

D'autres études utilisent le terme d'implants inclinés en testant plusieurs types d'angulation :

- Les études de Begg et al. [38] et Bevilacqua et al. [41] proposent des angulations de 15, 30 et 45 degrés
- L'étude de Silva-Neto et al. [177] définie l'inclinaison à 30 degrés et réalise des tests sur des inclinaisons de 30 à 45 degrés
- Naini et al. [148] ne s'intéressent qu'à une angulation de 45 degrés
- Fazi et al. [85] testent deux angulations de 17 et 34 degrés

Il existe donc quasiment autant de définitions que d'études sur le sujet. Comme ce travail porte sur l'utilisation des implants « fortement inclinés », qu'il n'existe aucun consensus et que le bénéfice de l'inclinaison n'est pas significatif pour les « petites » angulations, nous définirons un implant incliné comme ayant une angulation d'au moins 30 degrés.

Bien que Begg et al. [38] aient émis l'hypothèse qu'une angulation de 45 degrés pouvait être néfaste pour le tissu osseux péri-implantaire, d'autres auteurs ont mis en évidence des avantages à une telle angulation [41] [177].

Le terme d'implants inclinés ne correspond pas à l'angulation par rapport à la verticale mais par rapport à l'axe des dents qu'ils remplacent : par exemple, les implants antérieurs sont le plus souvent angulés dans le plan sagittal, mais suivent plus ou moins la racine de la dent qu'ils remplacent.

Nous verrons pendant cette étude des angulations mésiales, voire palatines par rapport à l'axe implantaire conventionnel, mais une grande partie des publications et protocoles ne s'intéresse qu'à l'inclinaison distale des implants postérieurs, dans le cadre de la prise en charge thérapeutique des édentés complets. Il faut préciser également que la plupart de ces protocoles fonctionnent grâce à la présence d'une barre de solidarisation reliant les implants entre aux.

S’il apparaît évident que l’inclinaison d’un implant pour soutenir une couronne unitaire ne présente aucun intérêt biomécanique ou autre, très peu de publications s’intéressent aux édentements partiels que nous n’aborderons pas au cours de ce travail.

Cliniquement, il faut différencier l’angulation au maxillaire et à la mandibule :

- Au maxillaire, les implants postérieurs inclinés sont parallèles à la paroi antérieure du sinus maxillaire, de façon à être posés et ostéointégrés dans de l’os cortical.
- A la mandibule, les apex des implants postérieurs inclinés sont situés dans la symphyse mentonnière mais leur émergence est distale par rapport au foramen mentonnier afin de mieux répartir les forces masticatoires et de diminuer les zones de porte-à-faux.

FIGURE 17 : EXEMPLE DE RADIOGRAPHIE D'UN PATIENT TRAITES PAR IMPLANTS INCLINES, PHOTO DE DR. SCHULTE

FIGURE 18 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DE PROTOCOLES AVEC IMPLANTS INCLINES

5 BIOMECANIQUE DES IMPLANTS INCLINES

D'un point de vue biomécanique, l'utilisation des implants inclinés distaux est justifiée directement par la diminution de la longueur des cantilevers, et indirectement par l'amélioration de la répartition des charges [186].

5.1 LES PRINCIPALES ETUDES BIOMECANIQUES

Depuis le début des années 2000, plusieurs auteurs se sont intéressés aux aspects biomécaniques de l'inclinaison des implants distaux. Il s'agit d'enregistrer ou de simuler les contraintes dues à la mastication et transmises au tissu osseux. Ces études sont des analyses par éléments finis traitées par informatique, des études in-vitro à l'aide de modèles reconstitués de maxillaires et de mandibules, ou d'études in-vivo en enregistrant directement les conséquences de la mastication.

5.1.1 ETUDES PAR ELEMENTS FINIS

5.1.1.1 PRINCIPES

Les analyses par éléments finis permettent de modéliser les propriétés mécaniques des biomatériaux à partir de leur structure. Il s'agit d'une méthode d'analyse des contraintes d'un ou de plusieurs corps solides en modélisant par informatique ce ou ces corps (par exemple, de l'os et des implants).

Dans le domaine de l'implantologie orale, les études 3D par éléments finis sont réalisées à partir d'images radiologiques (tomographie, imagerie par résonnance magnétique). Ces images sont segmentées par un logiciel 3D afin d'obtenir une structure découpée en un ensemble d'éléments. Ces éléments sont constitués d'un nombre fini de points : les nœuds. Ce sont ces nœuds qui assurent les connexions entre chaque élément fini. Cet ensemble d'éléments finis connectés par les nœuds forme le maillage de la structure à étudier.

Le maillage peut être constitué d'un grand nombre d'éléments, ce qui augmente la précision de la structure modélisée mais complique la phase de calculs.

L’analyse par éléments finis en 3D d’un matériau nécessite les valeurs de comportement biomécanique propres au matériau que l’on cherche à modéliser (module d’Young, coefficient de Poisson)

5.1.1.2 ETUDES PAR ELEMENTS FINIS RELATIVES AUX IMPLANTS INCLINES

5.1.1.2.1 Etude de Favot et al. (2013), grade C [84]

Dans cette étude récente de 2013, les auteurs ont utilisé une mandibule composite et la méthode des éléments finis en 3D afin d’étudier le comportement biomécanique d’une mandibule édentée restaurée en comparant celui-ci aux valeurs d’une mandibule dentée.

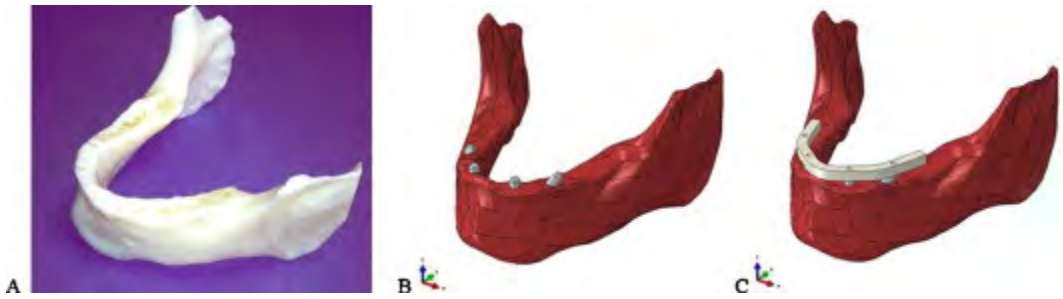

FIGURE 19 : MANDIBULE ARTIFICIELLE (A), MANDIBULE CAO AVEC 4 IMPLANTS (B) ET MANDIBULE CAO AVEC STRUCTURE IMPLANTO-PROTHETIQUE COMPLETE (C), D'APRES FAVOT ET AL. (2013)

Le modèle et l’étude par éléments finis ont été paramétrés en fonction de plusieurs critères :

- L’épaisseur d’os cortical (3 épaisseurs différentes)
- L’inclinaison ou non des implants distaux
- Le matériau utilisé pour la barre de solidarisation (nickel-titane ; or ; zircone ; titane)
- Le type de forces exercées par la simulation de mouvements masticatoires (occlusion d’intercuspidation maximale ; incision ; serrage molaire unilatéral)

Les auteurs ont constaté les résultats suivants :

- Les contraintes mécaniques les plus importantes ont été transmises par la barre en zircone, et les contraintes les moins importantes par le nickel-titane.

- Les contraintes les plus importantes enregistrées à l'interface os-implant l'ont été en occlusion d'intercuspidation maximale.
- La rigidité du matériau utilisé pour la barre de solidarisation est négligeable pour les implants axiaux soumis à des contraintes de mastication. Mais le choix de ce matériau est à prendre en considération pour les implants inclinés et au niveau du mouvement de serrage molaire unilatéral.
- La flexion mandibulaire diminue avec l'épaisseur d'os cortical lors des mouvements de mastication.

Favot et al. préconisent l'emploi de nickel-titane comme matériau de choix pour la barre de solidarisation des implants, dans le cadre de réhabilitation prothétiques totales implanto-portées à la mandibule [84].

5.1.1.2.2 Etude de Silva-Neto et al. (2013), grade C [177]

Cette étude par éléments finis analyse la distribution des contraintes au niveau d'une prothèse implanto-portée mandibulaire et de l'interface os-implant en considérant quatre groupes selon :

- Le nombre d'implants
- Le diamètre des implants
- La position des implants

FIGURE 20 : DIFFERENTS TYPES DE CONFIGURATIONS TESTEES DANS L'ETUDE DE SILVA-NETO ET AL. (2013)

Le groupe témoin C présente 5 implants axiaux de 10mm de longueur et de 3.75mm de diamètre, le groupe R présente 3 mêmes implants axiaux répartis, le groupe W présente 3 implants larges de 5mm de diamètre et de même longueur et le dernier groupe DTR présente les mêmes implants que le groupe R avec les 2 implants distaux inclinés distalement selon un angle de 30 degrés. Le cantilever était de 15mm pour les groupes avec implants axiaux.

Les auteurs de cette étude ont conclu que, dans le cadre d'une reconstitution prothétique avec implants et barre de solidarisation :

- La réduction de 5 à 3 implants axiaux entraine une augmentation des contraintes dans les différentes régions évaluées.
- L'utilisation de 3 implants axiaux larges entraine une diminution des contraintes, certainement due à l'augmentation de la surface ostéointegrée qui dissipe mieux ces contraintes.
- Le groupe DTR présente des contraintes moins importantes. En effet, une inclinaison de 30 à 45 degrés induit une réduction du bras de levier grâce à la diminution du cantilever.

Ces résultats suggèrent un comportement biomécanique acceptable des implants distaux inclinés bien que les contraintes enregistrées soient plus faibles au niveau des groupes témoin C et implants larges W [177].

5.1.1.2.3 Etude d'Almeida et al. (2013), grade C [14]

Les auteurs de cette étude ont utilisé la méthode des éléments finis afin de comparer les contraintes biomécaniques subies au maxillaire par les implants inclinés du protocole All-on-four et les implants courts du protocole All-on-six.

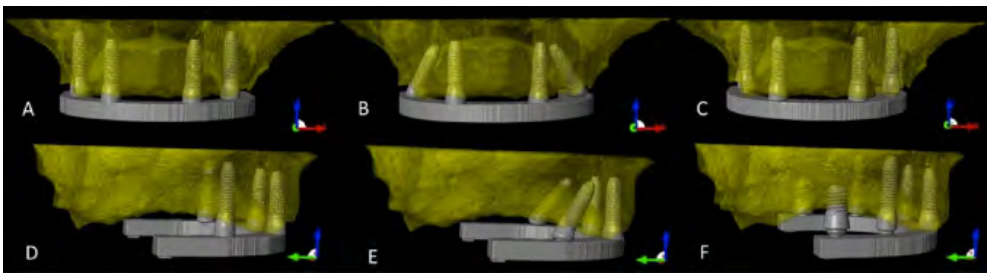

FIGURE 21 : VUE FRONTALE (A) ET LATERALE (D) D'UN MODELE FEA AVEC BRIDGE SUR 4 IMPLANTS AXIAUX, VUE FRONTALE (B) ET LATERALE (E) D'UN MODELE MAXILLAIRE FEA AVEC ALL-ON-FOUR ET VUE FRONTALE (C) ET LATERALE (F) D'UN MAXILLAIRE AVEC ALL-ON-SIX, D'APRES ALMEIDA ET AL. (2013)

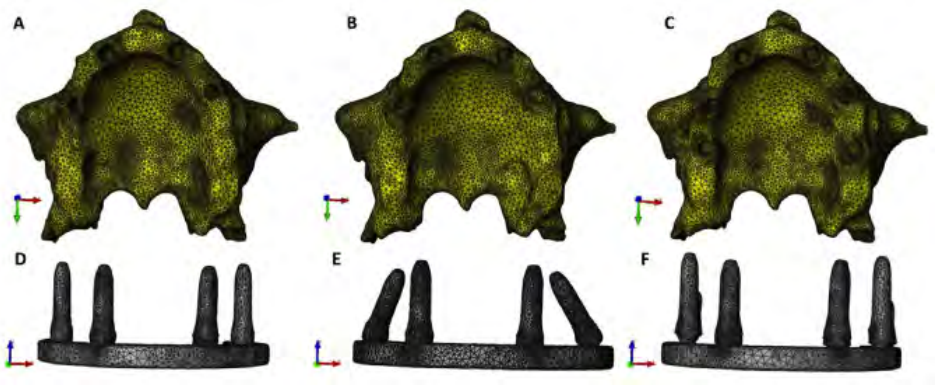

FIGURE 22 : VUE INFERIEURE DES MAXILLAIRES FEA DE LA CONFIGURATION AVEC IMPLANTS DROITS (A), ALL-ON-FOUR (B) ET ALL-ON-SIX (C) ET REPRESENTATIONS FEA DE CES CONFIGURATIONS (D, E ET F), D'APRES ALMEIDA ET AL. (2013)

Deux types de forces ont été appliqués sur les maxillaires modélisés au niveau du cantilever distal : des forces axiales et obliques de 45 degrés

En conclusion, les implants inclinés, comme les implants courts, présentent des contraintes plus élevées au niveau des implants et de l'os par rapport aux reconstitutions sur 4 implants axiaux.

5.1.1.2.4 Etude de Naini et al. (2011), grade C [148]

Le but de cette étude par éléments finis en 3D a été de savoir s'il était préférable de réhabiliter des mandibules édentées en inclinant ou non les implants distaux des bridges sur 4 implants.

Les modèles ont été configurés avec 4 implants solidarisés par une barre avec 2 implants mésiaux axiaux et soit les deux implants distaux inclinés de 45 degrés, soit 2 implants distaux axiaux. Des forces incisives de 178 Newtons et des forces molaires de 300 Newtons ont été simulées, afin d'évaluer la force des contraintes subies.

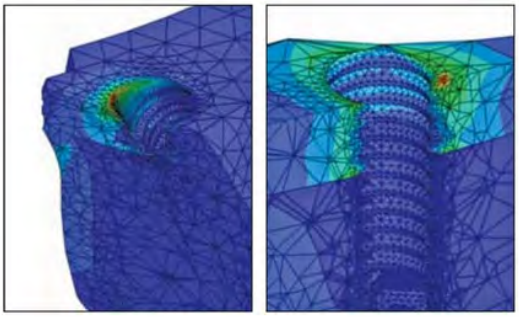

FIGURE 23 : PRESENTATION DES CONTRAINTES DE VON MISES AUTOURS D'IMPLANTS, D'APRES NAINI (2011)

Les résultats ont montré :

- A l'incision, des contraintes plus importantes au niveau de l'os péri-implantaire des 4 implants du modèle avec implants distaux inclinés.
- Au serrage molaire unilatéral, c'est autour des implants antérieurs du modèle avec implants inclinés que les contraintes osseuses les plus faibles ont été enregistrées.
- Quelques soient les forces exercées, les contraintes les plus importantes ont été enregistrées autour des implants inclinés.

Dans les limites de cette étude, aucune configuration n'a montré de meilleures performances dans les deux conditions de chargement. De plus, les meilleures performances d'une configuration ne sont jamais nettement supérieures à l'autre configuration.

5.1.1.2.5 Etude de Fazi et al. (2011), grade C [85]

Six configurations ont été testées par cette étude par éléments finis avec :

- Une variation du nombre d'implants de 3 à 5
- Des inclinaisons de 0, 17 ou 34 degrés
- Un cantilever de 20mm
- Des forces appliquées sur la partie distale des cantilevers de 200N

La mesure des contraintes a été réalisée :

- A l'interface os-implant
- A la surface externe de l'os corticale, en distal de l'implant le plus postérieur
- Dans l'os spongieux le long du corps de l'implant

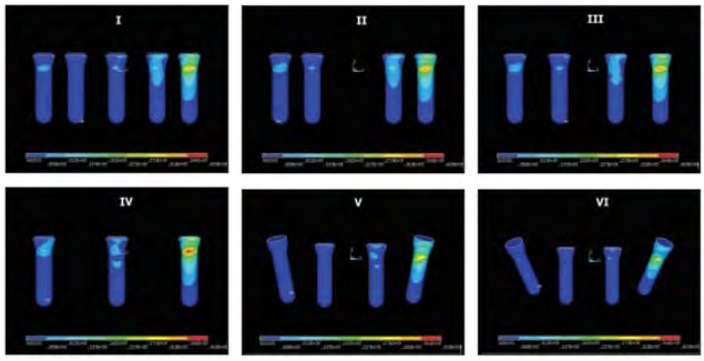

FIGURE 24 : VUE POSTERIEURE DES 6 CONFIGURATIONS ETUDIEES DANS L'ETUDE DE FAZI ET AL. (2011)

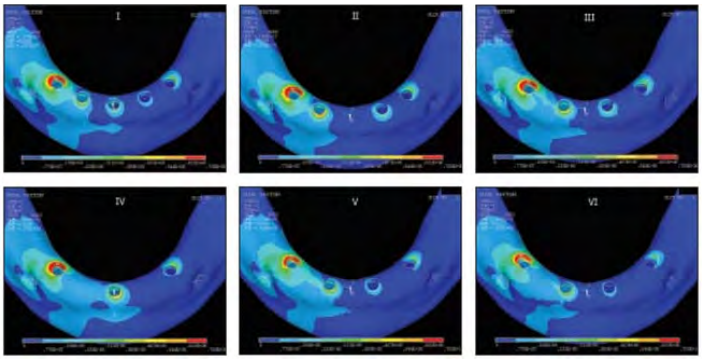

FIGURE 25 : VUE SUPERIEURE DES 6 CONFIGURATIONS ETUDIEES DANS L'ETUDE DE FAZI ET AL. (2011)

Les configurations à 3, 4 et 5 implants parallèles ont montré des valeurs élevées de contraintes au niveau de l'implant et de l'os. Les configurations avec implants inclinés ont montré une répartition des contraintes plus favorable à tous les niveaux.

Les auteurs ont conclu que les études avec 4 ou 5 implants présentaient une même répartition des contraintes au niveau de l'os, de la barre de solidarisation et des implants. De plus, la configuration All-on-four à la mandibule avec les implants distaux inclinés de 34 degrés présente une meilleure répartition des contraintes au niveau de l'os, de la barre et des implants.

5.1.1.2.6 Etude de Bevilacqua et al. (2011), grade C [41]

Les auteurs ont étudié l'influence de l'inclinaison des implants au niveau de l'os soumit à des contraintes. Plusieurs inclinaisons ont été testées sur des modèles avec prothèse en éléments finis : 0, 15, 30 et 45 degrés (configurations I, II, III et IV respectivement).

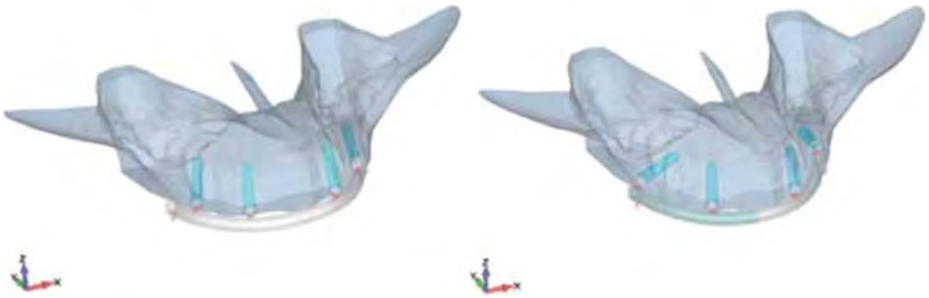

FIGURE 26 : CONFIGURATIONS 1 AVEC IMPLANTS POSTERIEURS AXIAUX (A GAUCHE) ET 2, 3 ET 4 AVEC IMPLANTS INCLINES (A DROITE), D'APRES BEVILACQUA (2011)

Des forces verticales de 150N ont été appliquées au niveau de la partie la plus distale du cantilever. Les contraintes ont été évaluées au niveau de l'os, de l'implant et de la prothèse.

Les résultats ont montré :

- Au niveau des implants : des contraintes plus importantes au niveau de l'implant distal dans la situation I par rapport à la situation IV.
- Au niveau de la prothèse : des contraintes retrouvées principalement au niveau de la partie distale, avec des valeurs plus importantes dans la situation I.
- Au niveau de l'os : des contraintes moins importantes quand les implants postérieurs sont inclinés. Ces contraintes diminuent avec l'augmentation de l'inclinaison.

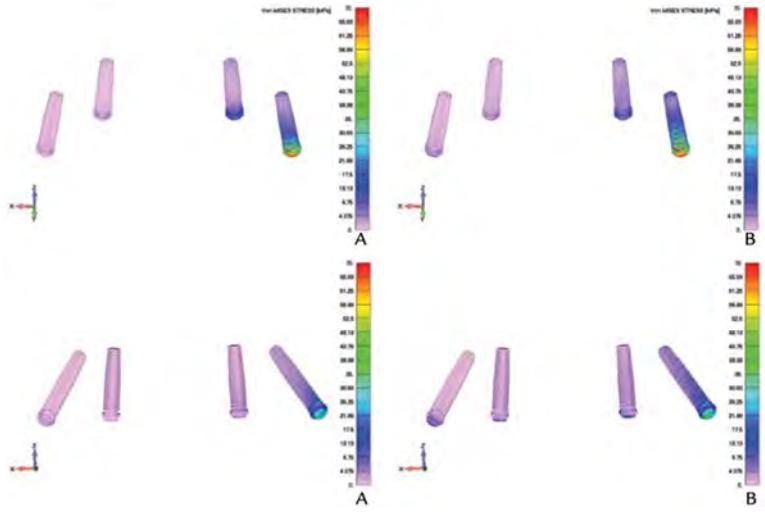

FIGURE 27 : RESULTATS DE L'ETUDE DE BEVILACQUA ET AL., AVEC VUE POSTERIEURE DE L'OS COMPACT A GAUCHE ET SPONGIEUX A DROITE DANS DES CONFIGUATIONS AVEC IMPLANTS DROITS EN HAUT ET INCLINES EN BAS (2011)

Les auteurs constatent des valeurs de contrainte diminuées dans les configurations avec implants inclinés. De plus, ces contraintes diminuent avec l'augmentation du degré d'inclinaison.

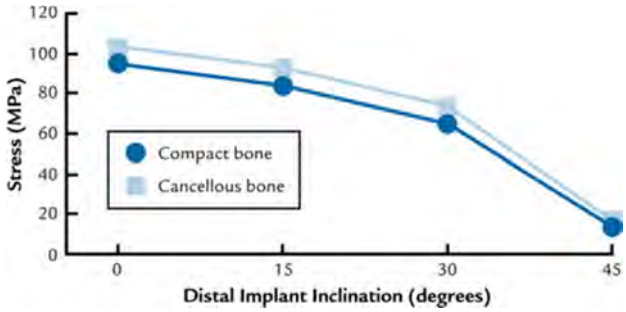

FIGURE 28 : VALEURS DE CONTRAINTES OSSEUSES ENREGISTREES EN FONCTION DE L'INCLINAISON DISTALE DES IMPLANTS POSTERIEURS, D'APRES BEVILACQUA ET AL. (2011)

5.1.1.2.7 Etude de Lan et al. (2010), grade C [122]

Lan et al. ont étudié différents types de chargements sur différentes angulations d'implants. La biomécanique a été analysée en fonction du type de chargement (localisation, valeur de force, angulation), de la distance entre les apex implantaires et du degré d'inclinaison des implants distaux. Les auteurs ont déduis de leur analyse par éléments finis que le principal facteur influant sur la distribution du stress mécanique était le type de chargement. Le chargement sur implants distaux inclinés a montré les valeurs de stress les plus élevées.

5.1.1.2.8 Etude de Silva et al. (2010), grade C [175]

C'est une étude biomécanique comparative entre la configuration All-on-four et une configuration avec 6 implants avec les 2 implants distaux inclinés. Après simulation de plusieurs mouvements masticatoires, les auteurs ont constaté une similitude des deux configurations pour la localisation des contraintes et de la répartition des charges. L'ajout d'implants diminue la valeur maximale de contrainte avant déformation plastique. La présence d'un cantilever augmente considérablement les contraintes.

5.1.1.2.9 Etude de Bellini et al. (2009), grade C [39]

Cette étude biomécanique par éléments finis évalue les contraintes transmises à la corticale osseuse de trois modèles de prothèse sur implants :

- Un modèle I avec 4 implants dont 2 distaux inclinés distalement, avec une extension de 5mm,
- Un modèle II avec 4 implants dont 2 distaux inclinés distalement, avec une extension de 15mm,
- Un modèle III avec 5 implants positionnés classiquement, avec une extension de 15mm

Après application de forces, aucune différence significative de contraintes n'a été constatée entre les modèles I et III. En revanche, la configuration II présente des valeurs de contraintes plus élevées que la I.

5.1.1.2.10 Etude de Bevilacqua et al. (2008), grade C [43]

Cette étude par éléments finis a été réalisée pour comparer les valeurs de contraintes autour des implants axiaux et inclinés.

Les résultats ont montré que dans le cas de prothèses complètes sur implants sans cantilever, l'inclinaison des implants distaux entraine une réduction du stress dans l'os péri-implantaire.

5.1.1.2.11 Etude de Zampelis et al. (2007), grade C [192]

Les auteurs de cette analyse en 2D ont constaté que, dans le cas de prothèses complètes sur implants solidarisés, l'inclinaison distale des implants postérieurs n'augmente pas les valeurs de stress par rapport aux implants axiaux. La réduction de la longueur des extensions présente des avantages biomécaniques.

5.1.2 ETUDES IN-VITRO

5.1.2.1 ETUDE DE KIM ET AL. (2010)

L'objectif de cette étude était d'analyser les contraintes biomécaniques subies par l'os au niveau des implants postérieurs inclinés dans la configuration All-on-four à la mandibule. Les auteurs ont utilisé la photoélasticimétrie pour évaluer la répartition des contraintes au sein du support osseux.

La photoélasticimétrie est une méthode expérimentale permettant de visualiser les contraintes existant à l'intérieur d'un solide grâce à sa photoélasticité. C'est une méthode principalement optique se basant sur la biréfringence acquise par les matériaux soumis à des contraintes.

FIGURE 29 : EXEMPLE DE MODELE MANDIBULAIRE PHOTOELASTIQUE, D'APRES KIM ET AL. (2011)

Deux modèles ont été utilisés pour cette étude. Les deux modèles sont constitués de 4 implants solidarisés soutenant une prothèse complète en résine en extension avec :

- Les 4 implants axiaux pour le premier modèle
- Les 2 implants antérieurs axiaux, et les 2 implants postérieurs inclinés distalement pour le second modèle

Des contraintes verticales sous forme de charges de 13kg ont été appliquées aux deux modèles, puis comparées.

Les résultats n'ont pas montré d'augmentation des contraintes dans le modèle avec implants inclinés. En revanche, dans les limites de cette analyse photoélastique, la contrainte maximale avant déformation plastique semblerait être réduite de 17% par rapport au modèle avec implants axiaux.

5.1.2.2 ETUDE D'OGAWA ET AL. (2010)

Les auteurs ont utilisés des mandibules composites implantées afin d'évaluer les forces axiales et les moments de flexion de différents types de reconstitution totale fixes sur implants.

Trois configurations ont été testées :

- Une configuration avec implants courts de 7 mm en distal pour soutenir un cantilever de 10mm

- Une configuration avec implants postérieurs longs de 13 mm et inclinés distalement
- Une configuration sans implants postérieurs avec un cantilever plus important

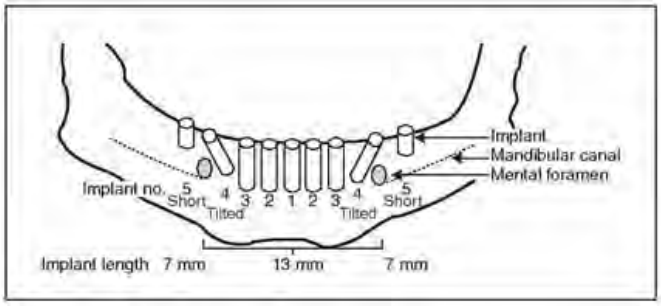

FIGURE 30 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DE LA LOCALISATION ET DE L'ANGULATION DES IMPLANTS DE L'ETUDE, D'APRES OGAWA ET AL. (2010)

Une charge de 50N est appliquée au niveau de la première molaire. Les forces axiales et les moments de flexion sont mesurés pour les trois configurations.

FIGURE 31 : VUE LATERALE DE L'APPLICATION D'UNE CHARGE VERTICALE DE 50N, D'APRES OGAWA ET AL. (2010)

Les résultats ont montré que les forces axiales et le moment de flexion sont significativement plus élevés dans la configuration avec cantilever et sans implants postérieurs inclinés ou courts. En revanche, aucune différence biomécanique significative n'a été observée entre les implants inclinés et courts.

5.1.3 ETUDES IN-VIVO

Monje et al. ont fait une méta-analyse regroupant 8 études prospectives ou rétrospectives afin de comparer la perte osseuse marginale autour des implants inclinés et axiaux. Ils ont également profité de leur méta-analyse pour évaluer l'incidence des complications biomécaniques. Cette étude ne leur a pas fournie suffisamment de preuves

scientifiques afin d'avancer une hypothèse sur la survenue de complications biomécaniques. En effet, sur les 8 études retenues, trois articles seulement ont rapporté l'incidence de ce type de complication [146].

L'étude rétrospective de Krennmair et al. (Grade C) a évalué les taux de survie et de succès de prothèses fixées complètes avec extensions soutenues par 4 implants. Un échantillon de 38 patients et 152 implants configurés avec implants inclinés ou non, après 5 ans de suivi, a été retenu. Les résultats ont montré qu'avec une longueur de cantilever définie, l'inclinaison ou non des implants postérieurs n'a pas d'impact sur les taux de survie et de succès des implants. Il faut noter qu'aucune prothèse n'a été fracturée à 5 ans, mais que des réparations de dents en résine et des rebasages ont été nécessaires [121].

5.2 ANALYSE DE LA LITTERATURE

Nous constatons que la majorité des études biomécaniques sont des études par éléments finis. On peut noter des similitudes quant aux méthodes utilisées pour étudier le comportement biomécanique des implants inclinés. Bien que le nombre d'implants, le degré d'inclinaison et la localisation et l'intensité des charges varient selon les études, celles-ci s'intéressent plus ou moins aux mêmes points :

- L'impact des cantilevers
- L'analyse et la localisation des contraintes
- Les moments de flexion
- L'importance du choix du matériau de la barre de solidarisation

Comme nous l'avons évoqué plus haut, la justification biomécanique des implants inclinés est la réduction des cantilevers [186]. C'est cette diminution qui entraine indirectement une meilleure répartition des charges et une augmentation du moment de flexion mandibulaire.

« Donnez-moi un point d'appui et un levier et je soulèverai la Terre ». Cette citation d'Archimède illustre le principe du porte-à-faux en implantologie.

FIGURE 32 : ILLUSTRATION 1 DU PRINCIPE DU LEVIER

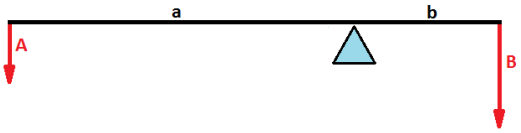

FIGURE 33 : ILLUSTRATION 2 DU PRINCIPE DU LEVIER

Ces schémas nous illustrent la force que permet de déployer un bras de levier avec un appui. Pour transposer ces principes en bouche, il faut considérer que la force B représente une force de mastication molaire unilatérale, le point d'appui représente la connexion implantaire et la force A représente tout ce qui s'oppose à la désinsertion du complexe implants/barre de solidarisation (pas de vis de l'implant, stabilité implantaire, etc.). La survie de la restauration dépend du maintien de l'équilibre de l'ensemble, et est conditionné par une force A suffisamment importante. Mathématiquement, le principe du bras de levier est :

$$A.a = B.b$$

Dans cette formule, a et b représentent respectivement les distances entre le point d'appui et les forces A et B.

Sur le schéma de la figure 32, si l'on considère que le poids de 100 kg est situé à 1 mettre de l'appui, le complexe pourra être équilibré avec un poids de 5 kg à une distance de 20 mètres.

En transposant ce principe à un bridge sur implants, si des forces B masticatoires sont appliquées à l'extrémité d'un cantilever distal de 10 mm puis de 15 mm, nous pouvons calculer l'équivalence d'une force de 150 N :

$$150\ N \times 10\ mm = 100\ N \times 15\ mm$$

Donc, en réduisant le cantilever de 5 mm dans ce cas précis, on peut augmenter la charge de moitié.

Cliniquement, un déséquilibre ne peut pas résulter d'une force A trop importante, mais d'une force B. Plus les forces développées augmentent, plus on se rapproche du moment de flexion maxillaire ou mandibulaire. C'est ce que les auteurs de ces études par éléments finis cherchent à obtenir en augmentant les charges pour déterminer les charges maximum supportées par le complexe. L'augmentation du nombre d'éléments finis qui composent les maxillaires et les mandibules augmente alors la précision des travaux.

Un autre principe physique augmente la stabilité primaire de l'implant : l'inclinaison de celui-ci permet un gain de longueur enfouie.

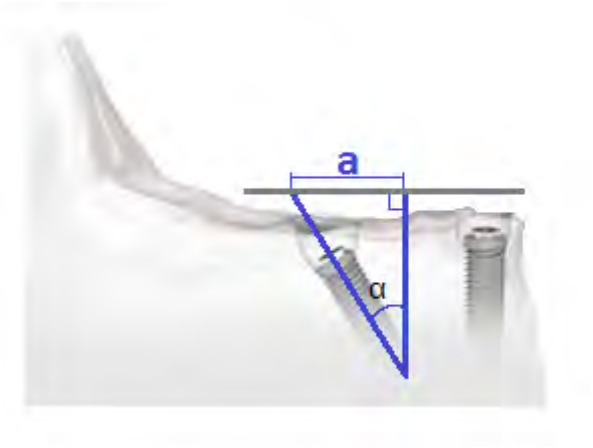

FIGURE 34 : ILLUSTRATION DU GAIN DE LONGUEUR ENFOUIE DE L'IMPLANT ET DE LA REDUCTION DU CANTILEVER GRACE A L'INCLINAISON DISTALE DES IMPLANTS

En effet, si l'on matérialise la crête osseuse et un implant dit « axial », l'augmentation de longueur enfouie de l'implant peut être calculée en utilisant le théorème de Pythagore. Par exemple, si l'on dispose de 10 mm de hauteur d'os pour l'implantation et que l'on angule l'implant de 30 degrés, le gain de longueur enfouie est de 1,5 mm (Cos 30° = longueur implant axial/longueur implant incliné).

Les auteurs sont unanimes sur l'intérêt biomécanique de l'augmentation de cette longueur enfouie dans le cadre de la mise en charge immédiate.

5.3 APPLICATION A LA MASTICATION

Nous constatons que les forces testées dans ces études biomécaniques varient entre 50 et 300 Newtons, ce qui est loin des forces exercées en bouche lors de la mastication molaire.

Plusieurs facteurs influencent la performance masticatoire :

- La perte et la restauration des prémolaires et molaires
- L'occlusion et les malocclusions
- Les forces de morsure
- Le flux salivaire
- L'âge
- Le sexe
- Le système sensoriel
- La fonction motrice orale

Plusieurs auteurs se sont intéressés aux forces résultantes de ces différents facteurs et ont publiés les résultats dans des articles sortis entre 1977 et 2008. Une revue de la littérature de ces travaux a été publiée en 2011 afin de comparer ces résultats.

Cette revue de la littérature de Van der Bilt s'intéresse aux forces exercées au serrage molaire unilatéral ou bilatéral (Grade B) [45].

L'auteur de cette revue a recensé les publications ayant enregistré la force de mastication en Newtons d'échantillons de patients, ainsi que l'écart type.

Auteurs	Unilatéral		Bilatéral		Nombre de patients
	Homme ou mixte	Femme	Homme ou mixte	Femme	
Ahlberg et al. [9]	878 (194)	690 (175)			196/188
Bakke et al. [29]	480 (163)		694 (263)		19
Bakke et al. [28]	522 (123)	441 (113)			59/63
Braun et al. [53]			814 (209)	615 (138)	86/56
Clark et Carter [67]	354 (73)				10
Ferrario et al. [86]	306 (42)	234 (71)			36/16
Fontijn-Tekamp et al. [7]	398 (103)				19
Gibbs et al. [94]			725		20
Hagberg [101]		395 (93)			9
Haraldson et al. [9]	383 (164)				10
Hatch et al. [102]	583 (281)				631
Helkimo et al. [103]	444 (157)	357 (159)			28/16

Ikebe et al. [109]			512 (318)	442 (275)	444/376
Miyaura et al. [144]			491 (277)		590
Shinogaya et al. [174]	553 (105)		1110 (288)		17
Thompson et al. [184]	520 (190)				13
Tortopidis et al. [185]	429 (132)		579 (235)		8
Van der Bilt et al. [46]	490 (192)	418 (138)	652 (151)	552 (170)	13/68
Waltimo et Kononen [188]	847 (131)	597 (94)			22/24

FIGURE 35 : ENSEMBLE DES FORCES DE MORSURE MOYENNE MAXIMALES VOLONTAIRES (ET ECART TYPE) MESURE UNILALERALEMENT ET/OU BILATERALEMENT DANS LA REGION MOLAIRE DE SUJETS ADULTES DENTES, D'APRES VAN DER BILT (2011)

Nous constatons que les forces maximum enregistrées peuvent atteindre 1110 Newtons (étude de Shinogaya [174]). D'autre part, les forces minimum enregistrées chez la femme n'atteignent que 234 Newtons dans l'étude de Ferrario [86].

Ces disparités peuvent s'expliquer :

- Par les facteurs influençant la performance masticatoire
- Par les facteurs liés à la technique d'enregistrement (emplacement de la mesure dans l'arcade, nombre de dents incluses, dimensions du capteur de force de morsure, mesure uni ou bilatérale)

En somme, les conclusions des études biomécaniques par éléments finis et in vitro sont à analyser avec précaution. En effet, la force maximum retrouvée dans une des études biomécaniques étant de 300 Newtons, et la force maximum de mastication en bouche retrouvée dans l'étude de Van der Bilt étant de 1110 Newtons, c'est-à-dire quasiment 4 fois plus : ces études ne nous permettent donc pas d'anticiper le comportement biomécanique des implants inclinés en bouche. De plus, la plupart des études biomécaniques sont réalisées avec des forces de 100 à 150 Newtons, ce qui pourrait représenter des forces 8 à 10 fois moins puissantes qu'en bouche. Le comportement biomécanique des implants inclinés ne pourra être évalué qu'en fonction du taux de succès publié par les auteurs qui s'intéresseront à ces techniques.

6 TAUX DE REUSSITE DES IMPLANTS INCLINES

De nombreux auteurs se sont intéressés au taux de survie et au taux de réussite des implants inclinés. Ces travaux ont débutés dans les années 2000 et les protocoles manquent d'homogénéité entre eux, mais leur analyse indicative nous permet d'apprécier ou non les principes biomécaniques évoqués précédemment

6.1 CRITERES DE REUSSITE

Plusieurs paramètres interviennent dans la réussite en implantologie. En effet, le succès en implantologie est une combinaison de critères de réussite qui ont été définis par Albrektsson et al. [12], puis adaptés par Buser et al. [58] [56] ainsi que par Karoussis [113].

Les critères de réussite en implantologie sont :

- L'absence de mobilité [56],
- L'absence de plaintes subjectives persistantes (douleur, sensation de corps étranger, dysesthésies) [56]
- L'absence d'infection péri-implantaire récurrentes avec suppuration [56]
- Pas de poche parodontale au sondage : le sondage doit être inférieur ou égal à 5mm [145] [50],
- Une résorption osseuse verticale ne dépassant pas 1,5mm la première année puis 0,2mm par an après la première année [12].

6.2 ANALYSE DE LA LITTERATURE

6.2.1 BIBLIOMETRIE

Afin de comparer les différentes études s'intéressant aux implants inclinés, une analyse bibliographique a été réalisée.

La saisie des mots-clés « tilted implants » et « angled implants » a été faite dans la base de données PubMed.

Les critères d'inclusion étaient des études d'au moins 15 cas cliniques et les articles concernant des protocoles cliniques de réhabilitation totale d'au moins un maxillaire réhabilité par 4 implants ou plus solidarisés par une barre. Ceux-ci concernent les études les plus anciennes jusqu'à celles publiées en juin 2014.

Cette étude exclue tous les articles non concernés par ce type de protocoles, les articles relatifs à la chirurgie O.R.L ainsi que les articles relatifs à l'orthodontie.

Au final, 32 articles ont été retenus pour cette analyse bibliographique. Les analyses statistiques seront réalisées sur 30 articles car les études de Hinze et al. et Aparicio et al. n'ont pas renseignées le nombre d'implants posés ainsi que le nombre d'échecs, mais seulement un pourcentage d'ostéointégration.

6.2.2 TAUX DE SURVIE

Le tableau suivant présente pour les différents travaux les auteurs et la date de l'étude, le type de travail réalisé, la taille de l'échantillon, le nombre de patients implantés, le taux d'ostéointégration et le niveau de preuve scientifique relatif à chaque étude.

Auteurs	Type	Date	Nombre de patients	Nombre d'implants	Nombre d'échecs	Taux de survie	Niveau preuve
Balshi et al. [31]	e.r.	2014	152	800	22	97,30%	C
Di et al. [79]	e.r.	2013	69	344	13	96,20%	C
Malo et al. [130]	e.r.	2013	16	25	0	100%	C
Testori et al. [182]	e.r.	2013	35	190	3	98,42%	C
Krennmair et al. [121]	e.r.	2013	38	152	2	98,60%	C
Peñarrocha Diago et al. [158]	e.c.	2013	25	67	3	94,90%	B
Malo et al. [133]	e.r.	2013	63	252	9	96,40%	C
Agnini et al. [8]	e.r.	2012	30	202	4	98,02%	C
Pozzi et al. [166]	e.r.	2012	27	42	2	96,30%	C
Francetti et al. [89]	e.p.	2012	47	196	0	100%	C
Agliardi et al. [6]	e.p.	2012	32	192	2	98,96%	C
Weinstein et al. [189]	e.p.	2012	20	80	0	100%	C
Galindo et Butura [91]	e.r.	2012	183	732	1	99,86%	C
Grandi et al. [97]	e.p.	2012	47	188	0	100%	C
Cavalli et al. [62]	e.r.	2012	34	136	0	100%	C
Malo et de Araùjo [128]	e.p.	2011	35	70	1	98,80%	C
Corbella et al. [69]	e.p.	2011	61	244	3	98,77%	C
Kawasaki et al. [114]	e.p.	2011	15	65	2	96,92%	C
Degidi et al. [78]	e.p.	2010	30	210	3	98,60%	C

Hinze et al. [104]	e.p.	2010	37			94,60%	C
Agliardi et al. [7]	e.p.	2010	173	692	5	99,28%	B
Pancko et al. [154]	e.p.	2010	64	196	2	98,98%	C
Agliardi et al. [5]	e.c.	2009	20	120	0	100%	B
Francetti et al. [87]	e.p.	2008	44	176	0	100%	C
Agliardi et al. [4]	e.p.	2008	21	126	0	100%	C
Testori et al. [181]	e.p.	2008	30	120	2	98,30%	C
Capelli et al. [61]	e.p.	2007	65	342	4	97,59	C
Rosén et Gynther [171]	e.r.	2007	33	103	3	97%	C
Malo et al. [132]	e.r.	2006	46	189	2	98,9%	C
Calendriello et Tomatis [59]	e.p.	2005	18	60	2	96,7%	C
Aparicio et al. [23]	e.p.	2001	25			95,2%	C
Krekmanov et al. [118]	e.p.	2000	47	66	1	98,5%	C

FIGURE 36 : TABLEAU RECAPITULATIF DE L'ANALYSE DE LA LITTERATURE DES PROTOCOLES DE REHABILITATION TOTALE AVEC IMPLANTS INCLINES JUSQU'A JUIN 2014 (E.C. ETUDE DE COHORTES ; E.P. ETUDE PROSPECTIVE ; E.R. ETUDE RETROSPECTIVE)

6.2.2.1 TAUX DE SURVIE

Cette analyse de la littérature regroupe donc :

- Un total de 1520 patients (sans compter les 25 patients de l'étude de Hinze et al. et les 37 patients de l'étude d'Aparicio et al.)
- 6377 implants posés
- 6286 implants ostéointégrés (on parle de survie implantaire et non de succès implantaire)
- 91 échecs implantaires

FIGURE 37 : TAUX DE SURVIE IMPLANTAIRE DE L'ANALYSE DE LA LITTERATURE DES PROTOCOLES DE REHABILITATION TOTALE AVEC IMPLANTS INCLINES JUSQU'A JUIN 2014

Ces travaux ont été publiés entre 2000 et 2014, soit 15 ans de recul pour les plus anciens.

Les taux de survie cumulés de ces protocoles avec implants inclinés est donc de 98,57% avec des taux variant de 94,9% à 100% selon les études. Les faibles taux s'expliquent par la grande taille de certains échantillons ainsi que par l'ancienneté de certaines études qui disposaient donc de moins de recul sur les techniques d'implantation (exemple de l'étude de Peñarrocha Diago et al. [158]). Inversement, les taux rapportés de 100% s'expliquent par la faible taille des échantillons ainsi que par l'expérience des praticiens (exemple de l'étude de Malo et al. [130])

6.2.2.2 TYPES ET GRADES D'ETUDES

Sur ces 32 études :

- 12 sont des études prospectives
- 18 sont des études rétrospectives
- 2 sont des études de cohortes

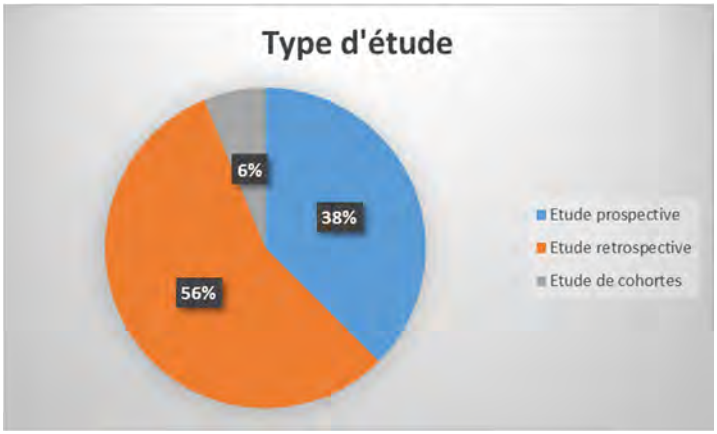

FIGURE 38 : TYPE D'ETUDE DE L'ANALYSE DE LA LITTERATURE DES PROTOCOLES DE REHABILITATION TOTALE AVEC IMPLANTS INCLINES JUSQU'A JUIN 2014

En termes de niveau de preuve (« Evidence Based ») :

- Ce tableau ne présente aucune étude de grade A
- 3 études sont de grade B
- 29 études sont de grade C

FIGURE 39 : NIVEAU DE PREUVE DE L'ANALYSE DE LA LITTERATURE DES PROTOCOLES DE REHABILITATION TOTALE AVEC IMPLANTS INCLINES JUSQU'A JUIN 2014

Nous constatons que quasiment toutes ces études sont des études rétrospectives ou prospectives de séries de cas cliniques.

6.2.3 PERTE OSSEUSE MARGINALE

Auteurs	Année	Perte osseuse marginale à un an	variation +/-
Di et al. [79]	2013	0,80mm	0,40mm
Malo et al. [130]	2013	0,86mm	0,46mm
Testori et al. [182]	2013	0,80mm	0,50mm
Peñarocha Diago et al. [158]	2013	0,59mm	0,26mm
Malo et al. [133]	2013	0,89mm	0,54mm
Weinstein et al. [189]	2012	0,70mm	0,40mm
Malo et de Araùjo Nobre [128]	2011	1,05mm	0,65mm
Hinze et al. [104]	2010	0,76mm	0,49mm
Agliardi et al. (max) [7]	2010	0,90mm	0,70mm
Agliardi et al. (md) [7]	2010	1,20mm	0,90mm
Agliardi et al. [181]	2008	0,90mm	0,50mm
Testori et al. [181]	2008	0,80mm	0,50mm
Malo et al. [132]	2006	1,20mm	0,70mm

FIGURE 40 : TABLEAU ANALYSANT LES DIFFERENTES PERTE OSSEUSES MARGINALES A UN AN DE L'ANALYSE DE LA LITTERATURE

Ces travaux ont été publiés entre 2006 et 2013. Toutes ces données ont été extraites de la recherche PubMed effectuée précédemment. Les études renseignant la hauteur de la perte osseuse à un an ont été incluses dans ce tableau.

On constate :

- Une perte de hauteur osseuse minimum de 0,7 mm enregistrée par Weinstein et al. [189] sur un échantillon de 20 patients porteurs de 80 implants
- Une perte de hauteur osseuse maximum de 1,2 mm enregistrée par Agliardi et al. [7] à la mandibule sur un échantillon de 173 patients

Ces résultats sont relativement homogènes. La faible perte de hauteur osseuse peut s'expliquer par l'expérience du praticien et la faible taille de l'échantillon. De même, la perte maximum enregistrée peut s'expliquer par la taille plus conséquente de l'échantillon.

7 INTERETS DE L'UTILISATION DES IMPLANTS INCLINES

7.1 INTERETS BIOMECANIQUES

7.1.1 AUGMENTATION DE LA LONGUEUR ENFOUIE DE L'IMPLANT ET AMELIORATION DE LA STABILITE PRIMAIRE

L'inclinaison des implants postérieurs d'un concept permet d'augmenter la longueur enfouie de cet implant incliné. Le théorème de Pythagore explique simplement ce principe.

Ensuite, plus la longueur de l'enfouissement est importante, plus la stabilité primaire sera augmentée.

La stabilité primaire est définie comme étant le degré d'ancrage mécanique établi le jour de la pose de l'implant. L'augmentation de cette stabilité se traduit par une augmentation de la résistance de l'implant en place aux forces axiales, latérales et de rotation. La stabilité primaire a donc un rôle fondamental dans le pronostic de l'ostéo-intégration des implants [11].

En l'absence d'une stabilité primaire satisfaisante, l'interface os-implant peut être le siège de micromouvements persistants. Si ces mouvements sont trop importants, ils peuvent aboutir à la fibro-intégration de l'implant, synonyme d'échec implantaire.

Il faut noter que la stabilité primaire permet de déterminer la nécessité d'un protocole en deux temps chirurgicaux ainsi que celle d'une période de cicatrisation prolongée

L'optimisation de la stabilité primaire dépend de la qualité et la quantité de tissu osseux receveur et de l'expérience et la technique de l'opérateur qui met l'implant en place, mais aussi de l'implant lui-même :

- Plus les implants sont longs, meilleure sera la stabilité primaire
- Les implants de gros diamètres n'offrent pas de meilleure stabilité en tant que tels
- L'état de surface rugueux est à privilégier pour obtenir une meilleure stabilité

Il n'existe pas de méthode objective capable de mesurer la stabilité primaire de l'implant, mais les praticiens obtiennent des indications grâce à leur sens clinique, au torque d'Osstell ou au torque d'insertion par exemple.

Indirectement, une bonne stabilité primaire est une condition nécessaire à la mise en charge immédiate, qui est un intérêt pour le patient et le praticien.

D'un point de vue biomécanique, l'angulation des implants induit directement une augmentation de l'enfouissement de ceux-ci, et ce gain de longueur intra-osseuse se traduit par une augmentation de la stabilité primaire, qui sera elle-même à l'origine du succès de l'implant en terme de survie et d'esthétique (via la mise en charge immédiate).

7.1.2 AMELIORATION DE LA REPARTITION DES CHARGES

De nombreuses études ont montré que l'inclinaison distale des implants postérieurs d'une reconstitution fixe complète sur 4, 5 ou 6 implants apportait une meilleure répartition des charges [177] [85] [41] [43].

Dans tous les protocoles avec implants postérieurs inclinés, une barre doit solidariser les implants pour diminuer les contraintes à l'interface de chaque implant et neutraliser les moments de rotation.

Cliniquement, cette meilleure répartition se traduira par une résorption osseuse péri-implantaire limitée par rapport à un protocole de bridge sur 4 à 6 implants axiaux.

7.1.3 DIMINUTION DE LA LONGUEUR DES CANTILEVERS

La diminution de la longueur des cantilevers est la principale justification biomécanique de l'inclinaison distale des implants postérieurs. Une étude menée par Krekmanov et al. [118] en 2000 a montré que l'inclinaison des implants distaux induisait une diminution de la longueur des cantilevers sur des prothèses complètes à 12 éléments de mastication de :

- 6,5mm de moyenne à la mandibule [118]
- 9,3mm de moyenne au maxillaire [118].

Plusieurs études se sont intéressées à la longueur des cantilever, afin de tenter d'établir des recommandations sur des valeurs à dépasser ou non. Ces études concernent des concepts de réhabilitation totale fixées sur implants axiaux.

Des études in-vitro d'Eskitascio et al. [82] en 2004, de Shackleton et Carr [173] en 1994, McCartney [138] en 1992 et Osier [153] en 1991 montrent grâce à des simulations sur des modèles de mandibules reconstituées ou des études par éléments finis que les extensions distales mandibulaires peuvent atteindre 20mm. Les concepts étudiés concernaient des reconstitutions fixes complètes sur 3 à 5 implants. Ces études sont toutes de grade C et nous fournissent un ordre d'idée malgré le faible niveau de preuve.

Des études in-vivo de Brunski [54] en 2003, Colomina [68] en 2001, Randow et al. [168] en 1999 et Tarnow et al. [180] en 1997 ont été réalisées prospectivement sur des échantillons de 10 à 13 patients ayant reçu des bridges sur pilotis de 4 à 6 implants et les auteurs affirment que :

- Un cantilever de 14 mm de longueur est acceptable à la mandibule
- Les cantilevers maxillaires ne doivent pas dépasser 10 mm

Ces études prospectives sont réalisées sur des échantillons de petite taille et leur niveau de preuve est faible (Grade C). Bien qu'elles nous donnent des valeurs indicatives chiffrées, ces études ne peuvent pas être appliquées sans tenir compte de la situation clinique : en effet, McAlarney et Stravoloulos [137] et White et al. [190] ont déduis dans des études respectivement de 2000 et 1994 (Grade C) que la longueur de l'extension ne doit pas dépasser la longueur antéropostérieure de la zone ou les implants sont placés. L'application de ce concept passe donc par un examen de la forme de l'arcade qui va être traitée.

Krennmair et al. [121], dans une étude rétrospective publiée en 2013 (Grade C), ont rassemblé les informations de 38 patients édentés à la mandibule et traités par des bridges avec extensions sur 4 implants avec implants postérieurs inclinés distalement. Chaque prothèse présentait une extension (14,7 ± 2,3 mm). Au final, 152 implants qui avaient été posés ont été étudiés après au moins 5 ans de suivi. Les relations entre le degré d'inclinaison et la longueur de l'extension ont été évaluées. Les auteurs ont conclu que pour une longueur donnée de cantilever, le taux de succès de ce genre de concept est élevé et est le même qu'avec des implants postérieurs axiaux.

Acocella et al. [2] en 2012 (Grade C) ont réalisés une étude similaire avec ce concept implanto-prothétique mis en charge immédiatement. Les conclusions rejoignent celles de Krennmair et al. avec des taux de 99,1% et 97,8% de succès et de survie prothétique respectivement.

7.2 INTERETS PROTHETIQUES

Certains intérêts biomécaniques peuvent entrainer directement ou indirectement des intérêts prothétiques vis-à-vis de la conception ou de la réalisation de la prothèse. Il s'agit de l'augmentation de la circonférence prothétique et de l'optimisation de la distribution des piliers prothétiques.

7.2.1 AUGMENTATION DE LA CIRCONFERENCE PROTHETIQUE

Bien qu'une minorité d'auteurs estiment le contraire [14] [122] [39], l'inclinaison des implants n'entraine pas de contraintes plus importantes au niveau de l'os péri-implantaire, de l'implant ou de la prothèse [148] [85] [41] [175] [39] [43] [116]. Les cantilevers peuvent avoir les mêmes longueurs qu'ils soient soutenus par des implants postérieurs axiaux ou inclinés.

De plus, l'émergence plus distale des implants inclinés induit directement l'augmentation de la distance antéropostérieure des implants, et donc cela doit permettre d'augmenter la longueur de l'extension [137] [190].

Ces arguments biomécaniques entrainent d'un point de vue prothétique une augmentation de la circonférence prothétique ou une diminution de la longueur de l'extension.

7.2.2 OPTIMISATION DE LA DISTRIBUTION DES PILIERS PROTHETIQUES

La distalisation des émergences implantaires correspond à la distalisation des deux points d'appui distaux de la prothèse. Plus ces points d'appui sont distaux et éloignés des points d'appui mésiaux dans le sens antérolatéral, plus grande sera la stabilité de la prothèse. Ce schéma garantira un plus grand équilibre de la prothèse à long terme, qui se traduira cliniquement par :

- Une fréquence moins élevée de « petites » complications prothétiques (comme des fractures de fragments de prothèse, etc.) [161]
- Une réduction des contraintes de la zone péri-implantaire, et donc moins de résorption osseuse marginale autour des implants [85] [41] [43]
- Un confort perçu par le patient qui dure à moyen terme [161]

7.3 INTERETS POUR LE PATIENT ET LE PRATICIEN

Les patients présentant une arcade édentée se retrouvent confrontés à de nombreuses informations lorsque leur consultation aboutie à un plan de traitement avec prothèse complète fixée implanto-portée. En effet, entre le poids de certains types d'intervention associé à leurs risques, la durée des plans de traitement et le coût de telles réhabilitations, ces patients peuvent alors renoncer à une solution prothétique fixe.

Les concepts de bridges complets implanto-portés avec inclinaison distale des implants postérieurs permettent de réduire la durée et le coût des soins en proposant des solutions moins invasives. Ces solutions implanto-prothétiques pourraient représenter une alternative aux concepts avec chirurgie pré-implantaire et donc élargir le champ d'indication des réhabilitations complètes implanto-portées.

7.3.1 TRAITEMENT MOINS INVASIF

Une étude publiée en 2014 s'intéresse aux réactions des patients après avoir été traités pour des arcades édentées, par différentes thérapeutiques minimalement invasives. Les auteurs ont effectué une recherche PubMed et ont rassemblé les données de :

- 37 études
- 648 maxillaires édentés
- 791 mandibules édentées
- 1328 patients
- 5766 implants

Les auteurs de l'étude ont enregistré la satisfaction des patients :

- 91% des patients sont satisfaits du placement de l'implant sans lambeau
- 89% sont satisfaits par les implants courts
- 87% sont satisfaits par les implants étroits
- 90% sont satisfaits par la réduction du nombre d'implants
- 83% sont satisfaits par les implants zygomatiques
- 94% sont satisfaits par les implants inclinés

La comparaison des résultats effectuée dans cette étude a présenté les implants inclinés et zygomatiques comme étant les méthodes préférées par les patients. Cette étude ne compare pas ces satisfactions avec les satisfactions liées aux greffes osseuses, mais conclue que les protocoles sans chirurgie d'augmentation sont très appréciés par les patients [165].

7.3.1.1 AU MAXILLAIRE

Les traitements de réhabilitation complète du maxillaire nécessitent dans la plupart des cas une chirurgie de soulever de sinus. La résorption osseuse et la disparition des procès alvéolaires sont responsables de ce déficit osseux. Il est fréquent que certains patients édentés au maxillaire refusent ce type d'intervention pour des motifs d'anxiété ou de traitement jugés trop invasifs. En effet, l'information donnée au patient le jour de l'indication de la greffe osseuse sinusienne doit inclure les risques peropératoires et postopératoires.

Les risques peropératoires sont :

- Une incision mal réalisée, trop profonde dans les tissus mous et associée à une hémorragie [98] [73]
- Une incision vestibulaire postérieure provoquant la descente de la boule de Bichat [98]
- Un décollement muco-périosté traumatique [98]
- Une lésion du nerf infra-orbital [98]
- Une lésion de la membrane sinusienne [32]
- Une lésion vasculaire de l'anastomose interne ou de l'artère alvéolo-antrale [193]

Les risques postopératoires à court terme sont :

- Une migration de la greffe [193]
- Une inflammation de la muqueuse sinusienne [193]

- Une réouverture du site opératoire avec exposition possible de la membrane de régénération [193]
- Des paresthésies [98]
- Une obturation de l'ostium [193]
- Une infection du sinus [140]

Les risques à long terme sont :

- L'apparition d'un kyste épithélial du sinus maxillaire
- Une sinusite maxillaire aigue [95] [156]
- Une sinusite maxillaire chronique [95] [156]

Des risques et complications peuvent également survenir lors de la pose d'un implant sans chirurgie pré-implantaire, mais du point de vue du patient, l'évitement de ces risques est un avantage qui pourra décider de l'acceptation ou non du plan de traitement par le patient.

7.3.1.2 A LA MANDIBULE

Les chirurgies pré-implantaires à la mandibule permettent aussi de pallier le déficit osseux fréquemment rencontré lors d'une réhabilitation complète de l'arcade. En effet, la résorption osseuse à la mandibule entraine une réduction de la distance entre le nerf alvéolaire inférieur et le sommet de la crête osseuse. Trois solutions s'offrent alors au praticien qui va proposer et réaliser le plan de traitement : la greffe autogène avec prélèvement mandibulaire, la transposition du nerf alvéolaire inférieur et la distraction osseuse alvéolaire.

Les greffes autogènes :

- Les prélèvements peuvent être réalisés par le chirurgien-dentiste dans la région mentonnière/symphysaire, de 3 à 5 mm sous l'apex des incisives, 2 mm au-dessus du bord basilaire et latéralement à 5 mm des foramens mentonniers selon Kahnberg [112] et Khoury [115].
- Ils peuvent aussi être effectués dans la zone mandibulaire postérieure, du foramen mentonnier en avant au processus coronoïde en haut et en arrière, en fonction de la situation clinique [60] [143].

Une fois le greffon prélevé, le praticien réalise la reconstruction alvéolaire, qui va permettre une augmentation verticale et horizontale de la quantité d'os nécessaire à l'implantation conventionnelle. La reconstruction alvéolaire est alors réalisée :

- Sous forme de greffe osseuse d'apposition (greffe en onlay), c'est-à-dire sous forme de blocs osseux autogènes fixés par des vis d'ostéosynthèse. Les blocs osseux sont recouverts ou non d'une membrane [191] [142].
- Sous forme de greffes osseuses sous membrane. Cette technique différente consiste à maintenir des petites particules d'os par une membrane [152] [57].

Une autre technique consiste à déplacer l'obstacle anatomique que représente le nerf alvéolaire inférieur, afin de libérer une hauteur qui permettra la mise en place d'un implant axial. La transposition alvéolaire est réalisée le jour de la pose des implants : le paquet vasculo-nerveux est tracté pendant le forage et la mise en place de l'implant, puis relâché une fois l'implant dans son site [90].

La dernière technique est la distraction osseuse alvéolaire. Cette méthode orthopédique a l'avantage de ne présenter qu'un seul site opératoire. De plus, le patient évite les risques infectieux liés à l'absence de vascularisation du greffon initiale du greffon et le praticien évite la difficulté de fermeture passive des berges inhérente aux greffes autogènes [108] [150].

Ces actes de chirurgie pré-implantaire peuvent être à l'origine de complications per et postopératoires :

- Lésions/effractions vasculaires des artères sublinguale, faciale, sublinguale et alvéolaire inférieure selon la région traitée [107] [120].
- Œdèmes postopératoires [40].
- Hématomes postopératoires [40]
- Accidents neurologiques ayant pour origine une reconstruction alvéolaire ou une transposition du nerf alvéolaire
- Fractures mandibulaires immédiates ou retardées par fragilisation suite au prélèvement de greffon [40].

Ces traitements pré-implantaires, du point de vue du patient, sont plus invasifs, plus anxiogènes, nécessitent plus d'expérience et de dextérité de la part du praticien et ils présentent des complications plus fréquentes et plus significatives. L'information donnée au patient inclura cette notion de risque supplémentaire et aboutira à un plus grand nombre de refus que pour l'implantologie conventionnelle avec une quantité d'os suffisante.

7.3.2 COUT REDUIT ET DUREE DU PLAN DE TRAITEMENT

Il faut ajouter à cette notion de risque : la durée et le cout de ce type d'intervention pré-implantaire.

Une étude publiée en 2014 s'intéresse aux variables liées aux patients édentés totaux et réhabilités par des prothèses implanto-portées. Ces variables sont le coût, la durée du plan de traitement et le confort offert par la prothèse provisoire. Deux cohortes de patients ont été suivies longitudinalement dans cette étude réalisée aux Etats-unis : une cohorte de patients traités classiquement et une cohorte traitée par des bridges sur 4 implants (2 implants axiaux et 2 implants postérieurs inclinés distalement : concept All-on-four™). Les patients traités classiquement ont reçu des nombres variables d'implants, des greffes osseuses, des prothèses immédiates ou non, plusieurs interventions chirurgicales ou non, etc. Les auteurs ont enregistré un cout moyen de 57944$ +/- 2113 $ pour les protocoles classiques et un cout moyen de 57944$ +/- 42422 $ +/- 3860 $ pour le concept All-on-four™. Cette différence représente 7307 $ de différence par arcade édentée. Cette différence de prix est justifiée par la complexité du traitement classique et du nombre d'interventions. Le concept All-on-four™ peut être considéré comme le traitement le moins couteux et le plus rapide pour le traitement de l'édentation totale [27].

En chirurgie pré-implantaire, certains actes sont réalisés le jour de la pose des implants :

- La distraction osseuse alvéolaire [90]
- Les élévations du plancher sinusien, quand celles-ci sont nécessaires et que la hauteur d'os disponible avant l'intervention est supérieure à 6 mm [195] [194].

Mais les autres actes de chirurgie pré-implantaire se réalisent en plusieurs temps chirurgicaux et nécessitent un délai de 6 mois selon le type d'intervention avant la pose des implants. Délai auquel il faut ajouter un autre délai de 3 à 6 mois avant la mise en charge des

implants selon le type d'intervention, la hauteur d'os résiduelle et la stabilité primaire de l'implant.

Pour les patients, l'accumulation de temps chirurgicaux et de délais de mise en charge peut donc induire une période de soins de plus d'un an. Année pendant laquelle le patient portera une prothèse provisoire avec une fonction/mastication non optimale, un préjudice esthétique et un confort buccal subjectivement altéré. De plus, il faut ajouter à cette année de soins le temps des consultations pré-implantaires avec les phases d'observation, de diagnostic, d'imagerie, d'information et de réflexion.

Cette notion de durée est également associée à une notion de coût plus important pour le patient. D'autant plus que tous les actes réalisés par les implantologues sont hors nomenclature (sauf prothèse). Une étude a été réalisée en 2010 pour un site de consommateurs afin de donner aux patients une fourchette de prix des actes réalisés en France par les implantologues.

Acte	Prix minimum	Prix maximum
Cône-Beam	150€	300€
Implant et vis de cicatrisation	700€	1500€
Mise en fonction	0€	150€
Pilier implantaire	250€	700€
Couronne sur implant	500€	1300€
Greffe osseuse	500€	3000€
Elévation du plancher sinusien	500€	1000€
Barre de solidarisation	1850€	3000€

FIGURE 41 : TABLEAU RECENSANT LES FOURCHETTES DE PRIX DES SOINS LIES A L'IMPLANTOLOGIE D'APRES UN MAGAZINE DE CONSOMMATEURS (2013)

Par exemple on peut comparer deux protocoles de bridge sur 4 implants :

- Le premier avec 2 greffes osseuses (2 × 500 à 3000€), 4 implants axiaux (4 × 700 à 1500€), une barre de solidarisation (1850 à 3000€) soit un prix variant de 5650€ à 15000€ (plus le prix de la prothèse et du cône-beam)
- Le second avec 4 implants dont 2 postérieurs inclinés (4 × 700 à 1500€) et la barre de solidarisation (1850 à 3000€) soit un prix variant de 4650€ à 9000€ (plus le prix de la prothèse et du cône-beam)

L'économie réalisée en choisissant un protocole sans étapes chirurgicales pré-implantaires peut donc varier de 1000€ à 6000€. Cet exemple est totalement indicatif et a pour

but de chiffrer une hypothétique économie. Le prix des greffes osseuses et des élévations du plancher sinusien sont justifiés par la qualité du plateau technique nécessaire à leurs réalisations, au prix des biomatériaux et aux ressources humaines indispensables.

7.3.3 INTERETS MEDICAUX

La chirurgie pré-implantaire est plus invasive que la chirurgie implantaire. Elle a donc un champ d'indication plus restreint. Lors de l'anamnèse, il est nécessaire d'identifier les pathologies générales, les médicaments, les allergies, les réactions éventuelles aux antibiotiques et la consommation de nicotine.

7.3.3.1 RAPPELS SUR LES INDICATIONS ET CONTRE-INDICATIONS EN IMPLANTOLOGIE

Indications :

- Manque de rétention d'une prothèse adjointe
- Instabilité d'une prothèse adjointe
- Inconfort fonctionnel avec les prothèses adjointes
- Refus psychologique de port d'une prothèse adjointe
- Habitudes parafonctionnelles qui compromettent la stabilité d'une prothèse adjointe
- Localisation et nombre inadéquats de piliers résiduels
- Absence de pilier dentaire pour réaliser une prothèse fixée
- Edentement unitaire avec des dents adjacentes saines
- Agénésies dentaires
- Demande d'une thérapeutique conservatrice (refus de mutilation des dents saines)
- Nécessité d'un ancrage orthodontique pour réaliser des mouvements au niveau d'une même arcade, des mouvements interarcades, des mouvements des bases osseuses.
- Edentement bout libre rendant impossible une restauration fixée.

Contre-indications absolues :

- Cardiopathies à risque et à haut risque d'endocardite
- Infarctus récent.
- Insuffisance cardiaque sévère.

- Déficits immunitaires congénitaux et acquis (SIDA)
- Patients traités par immunosuppresseur ou corticoïdes au long cours.
- Affections nécessitant ou devant nécessiter une transplantation d'organe.
- Cancers en évolutions.
- Affection du métabolisme osseux : ostéomalacie, maladie de Paget, ostéogenèse imparfaite.
- Age (attention à la croissance et aux âges avancés associés à un état général défavorable)

Contre-indications générales relatives :

- Diabète [170]
- Grossesse.
- Insuffisance coronarienne, angor.
- Traitements
- Maladies auto immunes avec corticothérapie
- Tabagisme [55]
- Maladies psychiatriques, troubles psychologiques
- Toxicomanes, éthylisme
- Irradiation cervico-faciale

7.3.3.2 CONSOMMATION DE NICOTINE

La consommation de nicotine entraine une dégénérescence et une diminution de la perfusion des tissus mous. Cela entraine chez les patients fumeurs des parodontopathies chroniques qui sont souvent à l'origine de pertes dentaires prématurées. Les fumeurs représentent une part importante de la patientèle de l'implantologie [99].

En cas de forte consommation de nicotine (plus de 10 cigarettes par jour), le praticien doit limiter les greffes osseuses et les techniques de membrane. La diminution de la vascularisation et la fréquence des troubles cicatriciels peuvent entrainer des pertes des zones greffées.

La consommation de tabac n'est pas une contre-indication à une greffe, mais les patients doivent être informés du risque de complications. Du point de vue chirurgical, le praticien devra privilégier des méthodes moins invasives.

7.3.3.3 PATHOLOGIES GENERALES

Les pathologies générales ayant un impact direct sur le métabolisme osseux sont les pathologies présentant le risque le plus important lors des thérapies implantaires, notamment si celles-ci nécessitent des greffes osseuses. Ces pathologies induisent une déminéralisation du squelette suite à une activité corporelle limité, à des changements hormonaux ou à un âge avancé. Seuls les traitements à base de Calcium et de vitamine D sont sans risques pour les thérapies implantaires. Pour toutes les pathologies influençant le métabolisme osseux, l'état général ou la cicatrisation, le rapport bénéfice/risque d'un acte d'implantologie devra être rigoureusement évalué, et le praticien devra favoriser les traitements implantaires sans greffes osseuses afin d'appliquer le principe de précaution à ces actes controversés.

Les bisphosphonates :

- La thérapie implantaire est controversée en cas de traitement aux bisphosphonates.
- Ils freinent l'activité ostéoclastique.
- Ils protègent l'os de la diffusion des métastases.
- Selon les connaissances actuelles, les thérapies implantaires et les greffes sont contre-indiquées car elles sont des facteurs de risque de développer une ostéonécrose des maxillaires [106] [124] [136].
- Le succès de la thérapie implantaire avec un traitement aux bisphosphonates est controversé [136] [110]. Les greffes d'os spongieux autogènes sont préférables car cet os est résorbé plus rapidement que l'os cortical et les biomatériaux de substitution.

Le syndrome d'Albers-Schönberg (ou maladie d'os de marbre) et la maladie de Paget (ou Ostitis deformans) sont des contre-indications absolues aux greffes et aux implants.

Les pathologies cardio-vasculaires sont des contre-indications aux greffes et à l'implantation si le pronostic vital du patient est compromis par l'intervention.

Les perturbations hémorragiques :

- Les anticoagulants ne sont pas une contre-indication absolue.
- Le rapport bénéfice/risque entre modification du traitement et implantation est à prendre en compte.
- Les implantations simples avec faible mobilisation des tissus mous peuvent être réalisées avec un INR de 2.
- Pour les greffes avec incision périostée ou plastie vestibulaire : une information est donnée au patient concernant l'augmentation du risque d'apparition d'hématomes.
- Pour les élévations du plancher sinusien, une thérapie aux Phenoprocoumone ou Clopidogrel doit être remplacée par de l'Héparine à faible poids moléculaire, et l'intervention devra être réalisée en milieu hospitalier.

Le diabète :

- Il augmente les troubles cicatriciels suite à des greffes ou des implantations.
- Il augmente le risque de péri-implantites.
- Les micro-angiopathies diabétiques entrainent une diminution de l'apport nutritif de la muqueuse buccale, et donc une diminution du pouvoir de régénération de cette muqueuse
- Lors de greffes osseuses, les nécroses tissulaires avec mise à nu de la zone greffée sont fréquentes.
- Au-dessus d'une valeur de glycémie de 8%, le risque de complications opératoires augmente pour les greffes et l'implantologie.

7.3.4 MOINS DE TEMPS OPERATOIRE ET MEILLEURE OBSERVANCE

La diminution du nombre de séance facilite la prise en charge des patients édentés totaux. Les protocoles sont plus simples et ceux-ci permettent d'éviter la multiplication des séances et décourager les patients. Certaines études recensent des abandons de soins.

Les concepts avec implants inclinés, par exemple l'All-on-four™, permettent de réaliser le même jour les extractions des dents résiduelles, l'implantation et la prothèse provisoire [129] [135]. Ce concept évite les abandons de soins et favorise une bonne observance des patients [27].

Cette simplicité des protocoles est définie de satisfaisante par les patients [165].

7.3.5 CONTOURNEMENT DES OBSTACLES ANATOMIQUES

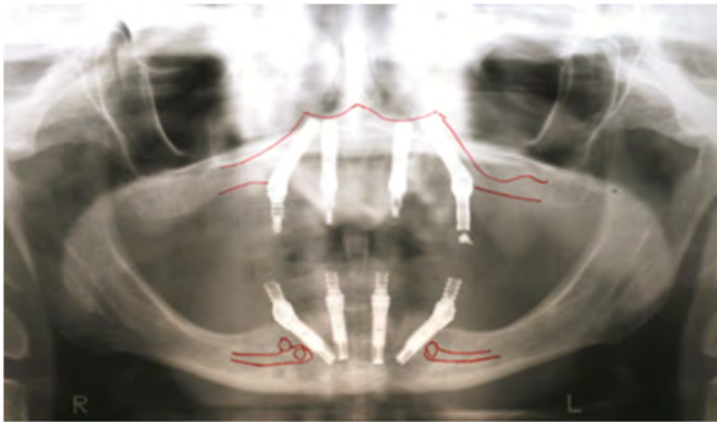

FIGURE 42 : RADIOGRAPHIE POSTOPERATOIRE APRES LA POSE DE DEUX ALL-ON-FOUR MONTRANT L'EVITEMENT DES OBSTACLES ANATOMIQUES, D'APRES MALO ET AL. (2012)

En implantologie de réhabilitation de l'édenté total, il existe deux obstacles anatomiques invariables qui peuvent être évités grâce à l'inclinaison distale des implants postérieurs :

- Le nerf alvéolaire inférieur et son foramen mentonnier : c'est l'obstacle à la mandibule
- Le sinus maxillaire : c'est l'obstacle au maxillaire

Comme nous pouvons l'observer sur la radiographie précédente, les implants inclinés au maxillaire suivent la corticale de la paroi sinusienne antérieure, jusqu'aux fosses nasales. Cette angulation permet d'éviter le sinus et de fournir une stabilité primaire permetant la mise en charge immédiate.

A la mandibule, la densité osseuse est favorable à la mise en charge immédiate. L'inclinaison des implants, et la pose de ceux-ci au sein de la symphyse mentonnière permet d'éviter le foramen mentonnier et le trajet intra-osseux du nerf alvéolaire inférieur.

8 LIMITES DES IMPLANTS INCLINES

Les restaurations complètes fixes implanto-portées sont considérées comme une option de traitement viable. Les taux de survie et de réussite des All-on-four™ sont comparables aux implants axiaux classiques, et traduisent un comportement biomécanique acceptable des traitements associant deux implants axiaux et deux implants inclinés [3] [111].

Ces critères de succès, largement étudiés dans la littérature scientifique, ont été définis comme étant [13] [141]:

- Une absence de complications infectieuses touchant les tissus durs et mous dans la zone péri-implantaire
- Une absence de plus de 2 mm de perte osseuse péri-implantaire

En pratique, les complications constatées dans la littérature sont d'ordre :

- Prothétique ou mécanique
- Biologique

Il existe dans la littérature peu d'informations sur les complications prothétiques ou mécaniques liées aux bridges complets sur implants [155]. La planification précise du projet prothétique pourrait éviter les complications prothétiques liées aux surcharges occlusales.

De même, les complications biologiques, affectant les tissus durs et/ou mous péri-implantaires et provoquant une résorption osseuse pourraient être limitées en mettant en charge un protocole rigoureux d'hygiène et d'entretien [70].

Papaspyridakos et al, dans une revue systématique de la littérature récente, ont rassemblé les données relatives aux complications prothétiques et biologiques liées aux bridges complets sur implants [155].

8.1 EXEMPLES DE COMPLICATIONS

La mucite péri-implantaire est une atteinte des tissus mous péri-implantaires caractérisée par :

- Un saignement au sondage
- Une rougeur et un gonflement des tissus mous
- Pas de lyse osseuse

FIGURE 43 : EXEMPLE DE MUCITE PERI-IMPLANTAIRE, PHOTO GOOGLE

La péri-implantite est une affection péri-implantaire touchant les tissus durs et mous et caractérisée par :

- Une lésion osseuse cratériforme
- Un saignement et/ou une suppuration au sondage
- Pas de mobilité de l'implant
- Une profondeur de sondage péri-implantaire supérieure à 4 mm

Le diagnostic de péri-implantite repose sur la présence de tous ces symptomes en même temps. Chaque signe isolé ne suffit pas à confirmer le diagnostic.

FIGURE 44 : EXEMPLE DE PERI-IMPLANTITE, PHOTO GOOGLE

Les fractures de la prothèse implanto-portée peuvent être :

- La perte d'une dent ou d'un élément
- Une fracture de la chape métallique
- L'effritage d'un des matériaux

- Le devissage d’un pilier
- Etc.

FIGURE 45 : EXEMPLE D'UNE FRACTURE D'UN ELEMENT D'UNE PROTHESE IMPLANTO-PORTEE, D'APRES FRANCETTI ET AL. (2013)

FIGURE 46 : EXEMPLE DE FRACTURE DE LA CHAPE METALLIQUE D'UNE PROTHESE IMPLANTO-PORTEE, D'APRES FRANCETTI ET AL. (2013)

8.2 IMPLANTOLOGIE CLASSIQUE : REVUE SYSTEMATIQUE

Revue sustématique de Papaspyridakos et al, 2012 (Grade B) [155]

Cette revue systématique a pour but d’évaluer le taux de survenue de complications biologiques et prothétiques des prothèses complètes sur implants. Cette étude a été réalisée à partir de la base de données PubMed. Les auteurs ont rassemblé les essais cliniques randomisés et les études prospectives en cohortes. Les études présentant un suivi d’au moins 5 ans après pose de la prothèse ont été incluses dans l’étude. Ce travail, indépendant de l’inclinaison des implants, présente les résultats des complications en rapport avec les implants et en rapport avec les prothèses sous forme de deux tableaux.

Types de complications		Nombre d'implants	Taux annuel de survenue	Taux de survenue à 5 ans	Taux de survenue à 10 ans
Biologiques	Perte osseuse supérieure à 2 mm	1392	4,0%	20,1%	40,3%
	Mucite péri-implantaire	534	2,1%	10,5%	21,1%
Techniques	Fracture de la connexion	752	2,1%	10,4%	20,8%
	Perte du pilier	1713	1,9%	9,3%	18,5%

FIGURE 47 : TAUX DE SURVENUE DES COMPLICATIONS RELATIVES AUX IMPLANTS, D'APRES PAPASPYRIDAKOS, (2012)

Les taux de complications relatives à l'implant à 10 ans sont donc relativement importants. Les complications biologiques renforcent l'idée de mise en place d'un protocole d'hygiène soutenue par Corbella et al. [70], ainsi que des visites de maintenance parodontale. Les complications techniques liées à l'implant sont majoritairement reversibles et entrainent rarement des échecs du traitement implantaire.

Types de complications		Nombre de prothèses	Taux annuel de survenue	Taux de survenue à 5 ans	Taux de survenue à 10 ans
Biologiques	Hypertrophie ou hyperplasie tissulaire	78	2,6%	13,0%	26,0%
	Stomatite sous-prothétique	120	1,1%	5,6%	11,3%
Techniques	Ecaillage/fracture de résine	281	6,7%	33,3%	66,6%
	Réalisation prothèses antagonistes	33	6,1%	30,3%	60,6%
	Perte du matériau de recouvrement des connexions	78	4,6%	22,9%	45,8%
	Remplacement de toutes les dents en résine	120	3,2%	16,2%	32,4%
	Remplacement de dents antagonistes	33	2,9%	14,4%	28,8%
	Port de dents en résine	75	2,0%	10,0%	20,0%
	Fracture de dents antagonistes	78	1,7%	8,5%	16,9%
	Fracture de la chape	153	1,0%	4,9%	9,8%
	Transformation en overdenture	108	0,5%	2,5%	5,0%
	Insatisfaction du patient	90	0,4%	1,8%	3,6%
	Transformation en PAT classique	108	0,1%	0,7%	1,4%

FIGURE 48 : TAUX DE SURVENUE DES COMPLICATIONS RELATIVES AUX PROTHESES IMPLANTO-PORTEES, D'APRES PAPASKYRIDAKOS (2012)

Bien qu'importants, les complications biologiques liées aux prothèses sont réversibles et peuvent être traitées par maintenance parodontale ou réfection des prothèses. Les transformations en prothèses amovibles totale non-soutenues et non-stabilisées par des implants, ainsi que l'insatisfaction des patients représentent de réels échecs du traitement prothétique. Mais les taux de survenue annuels (respectivement de 0,1% et 0,4%) sont très faibles et traduisent néanmoins cette technique de traitement comme la mieux tolérée par les patients.

8.3 COMPLICATIONS A MOYEN ET LONG-TERME DES RECONSTITUTIONS COMPLETES ASSOCIANT IMPLANTS INCLINES ET DROITS

Etude de francetti [88]

8.3.1 PROTOCOLE DE L'ETUDE

L'étude de Francetti et al. regroupe les dossiers de patients édentés totaux ou présentant une arcade totalement édentée. Les arcades maxillaires et/ou mandibulaires de ces patients ont été traitées par des combinaisons de deux implants antérieurs axiaux et deux implants postérieurs inclinés distalement suivant le protocole All-on-four™.

Les praticiens ayant implanté ces patients ont tous plus de 10 ans d'expérience au moment de la pose des implants. Les patients ont été recrutés et traités entre 2003 et 2012.

Dans un souci de précision de l'étude, les patients ont été informés des caractéristiques de traitement et du calendrier de mise en place des implants et de la prothèse. Ceux-ci ont également été informés de la description des complications auxquelles ils pouvaient être confrontés, et de l'importance d'être attentifs à la date de survenue de ces complications. Les patients ont été reçus en consultation tous les 6 mois pendant les deux premières années, puis tous les ans.

Tous les dossiers de patients ne remplissant pas ces conditions ont été exclus.

Au final, les dossiers cliniques de 86 patients (40 hommes et 46 femmes), dont 95 reconstitutions prothétiques, ont été inclus dans l'étude avec 61 reconstitutions mandibulaires et 34 réhabilitations maxillaires. Le taux de suivi a varié de 16 à 112 mois. Le taux de patients fumeurs est de 44%.

Dans tous les dossiers sélectionnés, les auteurs ont enregistré certaines informations afin d'analyser les causes des complications :

- L'âge et le sexe des patients
- Le fait que le patient fume ou non
- Le type de dents antagonistes : dents naturelles, prothèse fixée, etc.
- Le type de réhabilitation (maxillaire et/ou mandibulaire)
- Les complications (date et type)

Plusieurs types de complications ont été enregistrés :

- Les mucites péri-implantaires : muqueuse érythémateuse/gonflement en l'absence de perte osseuse
- Les péri-implantites : inflammation des tissus mous péri-implantaires associée à une perte osseuse confirmée par radiographies rétro-alvéolaires
- Les pertes de l'implant
- La difficulté à maintenir une bonne hygiène bucco-dentaire dans les piliers prothétiques : contrôle de plaque insuffisant, difficultés avouées à utiliser les brosses et brossettes
- La désolidarisation d'un ou plusieurs éléments de la prothèse (provisoire ou définitive)
- Les fractures de la prothèse provisoire ou définitive : chape, armature, résine, dents
- Les autres complications : desserage ou fractures des vis, etc.

Comme pour l'étude de Papaspyridakos et al., ces complications ont été séparées en complications biologiques et techniques.

8.3.2 RESULTATS

Dans les deux tableaux suivants, les auteurs ont enregistré les taux de survenue de complications classés par type, et la période moyenne de survenue de ces complications.

Types de complications		Cas mandibulaires		Cas maxillaires		Total		
		Nombre	Taux	Nombre	Taux	Nombre	Taux	Taux de patients
Biologiques	Mucites	21	21,7%	5	11,1%	26	18,3%	30,2%
	Péri-implantites	7	7,2%	2	4,4%	9	6,3%	10,4%
Techniques	Détachement provisoire	3	3,1%	6	13,3%	9	6,3%	10,5%
	Détachement définitive	13	13,3%	7	15,6%	20	14,1%	23,2%
	Fracture provisoire	3	3,1%	4	8,9%	7	4,9%	8,1%
	Fracture définitive	4	4,1%	2	4,4%	6	4,2%	7,0%
Autres	Perte de l'implant	0	0%	2	4,4%	2	1,4%	2,3%
	Problèmes d'hygiène	35	36,1%	11	24,4%	46	32,4%	53,5%
	Autre	11	11,3%	6	13,3%	17	12,0%	19,8%

FIGURE 49 : TAUX DE SURVENUE DE COMPLICATIONS LIEES AUX IMPLANTS ET AUX PROTHESES IMPLANTO-PORTEES, D'APRES FRANCETTI (2013)

Cette étude réalisée sur 86 patients et 95 réhabilitations prothétiques référence donc 97 complications enregistrées à la mandibule et 45 au maxillaire (total de 142 complications enregistrées). Les complications les plus fréquentes sont :

- L'hygiene buccale : 53,5% des patients
- Les mucites péri-implantaires : 30,2% des patients
- Le détachement d'un élément de la prothèse définitive : 23,2% des patients

Types de complications		Moyenne à la mandibule	Moyenne au maxillaire	Total
Biologiques	Mucites	25,6 mois	18 mois	24,1 mois
	Péri-implantites	33,3 mois	30 mois	32,5 mois
Techniques	Détachement définitive	20,3 mois	20 mois	20,3 mois
	Détachement provisoire	5,4 mois	3,6 mois	4,2 mois
	Fracture définitive	52,1 mois	23 mois	42,3 mois
	Fracture provisoire	5,2 mois	5,9 mois	5,6 mois
Autres	Perte de l'implant	0 mois	1,8 mois	1,8 mois
	Problèmes d'hygiène	13,0 mois	16 mois	13,7 mois
	Autre	17,2 mois	8,9 mois	14,3 mois

FIGURE 50 : TEMPS MOYEN DE SURVENUE DES COMPLICATIONS AUTOURS DES IMPLANTS ET DES PROTHESES (AVEC IMPLANTS POSTERIEURS INCLINES), D'APRES FRANCETTI ET AL. (2013)

Les auteurs constatent que :

- Les problèmes d'hygiène sont les complications survenant le plus tôt
- Les fractures et les détachements de la prothèse définitive sont ceux se produisant le plus tard.

8.3.3 COMPARAISON DES RESULTATS : IMPLANTS INCLINES VS. IMPLANTS AXIAUX

Pour comparer les résultats des études de Papaspyridakos et al. [155] et Francetti et al. [88], un tableau de croisement des données peut être réalisé. Etant donné que la moyenne de suivi de l'étude de Francetti et al. est de 66 mois, seuls les résultats enregistrés à 5 ans de l'autre étude seront retenus. D'autre part, les complications techniques enregistrées ne sont pas les mêmes entre les deux études : seuls les résultats concernant les fractures des prothèses définitives seront renseignés. Les péri-implantites et les mucites ont été enregistrées dans les deux études.

Types de complications	Papaspyridakos et al. **[155]**	Francetti et al. **[88]**
Mucites péri-implantaires	10,5%	18,3%
Péri-implantites	20,1%	6,3%
Fractures de la prothèse définitive	4,9%	4,2%

FIGURE 51 : CROISEMENT DES RESULTATS DES ETUDES DE FRANCETTI ET AL. ET PAPASPYRIDAKOS

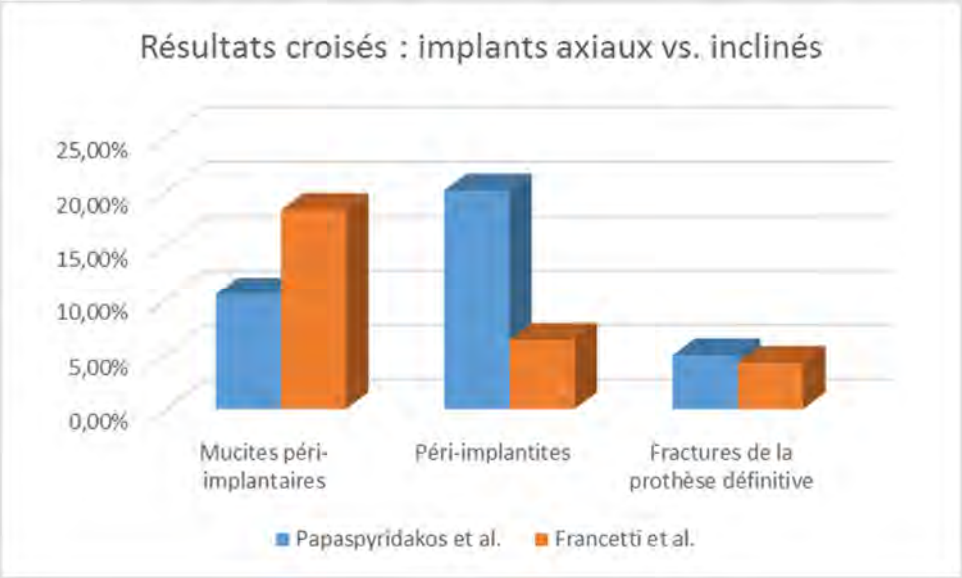

FIGURE 52 : COMPARAISON DES SURVENUES DE COMPLICATIONS ENTRE LES ETUDES DE PAPASPYRIDAKOS ET AL. ET FRANCETTI ET AL.

On constate donc après 5 ans de suivi un pourcentage équivalent de fractures des prothèses définitives. Le taux de survenue de mucites péri-implantaire est plus important autours des implants inclinés. En revanche le taux de survenue de péri-implantites est trois fois plus important autours des implants axiaux.

Les taux différents de mucites peuvent s'expliquer par le fait que l'inclinaison de l'implant créée une niche au niveau de l'émergence, rendant l'hygiène plus délicate dans cette zone.

Les taux différents de péri-implantites peuvent traduire une meilleure répartition des charges.

Ces résultats sont à prendre avec précaution car :

- Ces chiffres croisent une revue systématique et une étude rétrospective
- L'étude rétrospective de Francetti et al. [88] ne fournit pas d'informations suffisantes sur les temps de suivi

- L’étude de Francetti et al. [88] ne précise pas quelle perte de hauteur osseuse correspond la péri-implantite
- Plusieurs types de fractures prothétiques sont recensées dans l’étude de Papaspyridakos et al. [155]

8.3.4 CONCLUSION SUR LES LIMITES DES IMPLANTS INCLINES

L’étude de Francetti et al. est la seule de la base de données PubMed à s’intéresser aux complications des implants inclinés. Toutes les autres études recensant des complications sont menées par des praticiens vantant les mérites des implants inclinés : ceux-ci précisent que les complications observées sont réversibles et ont été résolues. Pour éviter des conflits d’intérêt, d’autres études sont nécessaires afin de mieux appréhender les limites des implants inclinés.

9 LES IMPLANTS ZYGOMATIQUES

9.1 PRESENTATION ET DEFINITION

FIGURE 53 : RADIOGRAPHIE D'UNE REHABILITATION AVEC IMPLANTS ZYGOMATIQUES

Ils ont été introduits pour la première fois par Brånemark en 1988, avec l'objectif de réhabiliter le maxillaire édenté de patients atteints d'une forte résorption ou de patients atteints de vastes anomalies causées par résection de tumeurs, traumatismes et malformations congénitales. Cette technique permet d'éviter les procédures de greffes. Ce type de traitement est indiqué chez les patients présentant une forte résorption et refusant les greffes osseuses ou ayant souffert de complications après ce type de greffes [18].

FIGURE 54 : CRANE AVEC UN IMPLANT ZYGOMATIQUE EXTRA-MAXILLAIRE D'APRES APARICIO ET AL. (2014)

Les premiers implants zygomatiques traversaient le sinus maxillaire et émergeaient dans le palais. Aujourd'hui, une technique consiste à traverser la paroi latérale du sinus maxillaire afin d'éviter une émergence palatine (implants zygomatiques extra-maxillaires). Ces

méthodes, en association avec des implants classiques, peuvent être utilisées comme ancrage pour prothèses, épithèses et/ou obturateurs et peuvent :

- Etre utilisées comme ancrage pour prothèses
- Etre utilisées comme ancrage pour épithèses
- Etre utilisées comme ancrage pour obturateurs
- Réhabiliter les patients
- Restaurer la fonction masticatoire
- Améliorer l'esthétique

Les premiers implants zygomatiques de Brånemark, conçus pour être implantés dans le palais, au niveau de la seconde prémolaire, ont un aspect semblable aux implants traditionnels, avec augmentation de la longueur et du diamêtre. Ces implants auto-taraudants présentent une surface usinée et une longueur pouvant varier de 30 à 52,5 mm. Le diamètre est de 4 mm en apical et de 4,5 mm au niveau crestal. La tête de l'implant a d'abord été équipée d'un pas standard pouvant raccorder un pilier standard, puis cette tête a été inclinée de 45 degrés. Il existe aujourd'hui des piliers spéciaux pour implants zygomatiques [51].

FIGURE 55 : BRANEMARK SYSTEM® ZYGOMA

L'utilisation de 2 à 3 implants zygomatiques de chaque côté a été suggérée pour supporter une prothèse [48].

FIGURE 56 : TECHNIQUE UTILISANT PLUSIEURS IMPLANTS ZYGOMATIQUES PAR HEMIARCADE, D'APRES BOTHUR ET AL. (2003)

Bien que de nombreuses publications présentent des résultats positifs quant à l'utilisation des implants zygomatiques, il n'existe pas d'essais cliniques randomisés comparant leur efficacité avec les protocoles standards. De plus, seules quelques études présentent leur efficacité à long terme [35] [17] [51].

9.2 INDICATIONS ET CONTRE-INDICATIONS

Initialement, les implants zygomatiques étaient indiqués chez les patients atteints de cancer. Plus tard, l'indication s'est élargie aux patients totalement édentés et présentant une atrophie sévère maxillaire. Aujourd'hui, la principale indication concerne les patients atteints d'une forte résorption et d'une pneumatisation sinusienne sévère, afin d'obtenir un support prothétique postérieur au maxillaire.

Les indications des implants zygomatiques sont :

- Les reconstructions chez les patients atteints de cancers de la sphère oro-faciale
- Les atrophies maxillaires sévères consécutives à une résorption importante
- Une pneumatisation sinusienne maxillaire importante

Les contre-indications absolues à la pose des implants zygomatiques sont :

- Les infections sinusiennes aiguës
- Les pathologies osseuses intéressant les os maxillaire et/ou zygomatique

- Les patients incapables de subir une intervention chirurgicale en raison d'une pathologie systémique non contrôlée ou maligne sous-jacente

Les contre-indications relatives à la pose des implants zygomatiques sont :

- Les sinusites infectieuses chroniques
- Les traitements aux bisphosphonates
- Les patients fumant plus de 20 cigarettes par jour

Toutes les pathologies du sinus maxillaire doivent être traitées de préférence avant la pose des implants zygomatiques.

Apres l'examen clinique, c'est l'examen radiographique qui permet la planification du plan de traitement, via plusieurs étapes :

- La tomodensitométrie est essentielle pour évaluer le site d'implantation et le futur trajet de l'implant
- Ensuite, l'angulation de l'implant est déterminée
- Puis le point d'émergence de l'implant
- Enfin, les rapports entre l'implant et le sinus maxillaire et sa paroi latérale sont étudiés

Le trajet implantaire est à l'intérieur du sinus maxillaire avec la technique originale, mais la nouvelle technique met en place un passage extra-sinusal avec des résultats prometteurs. Le choix de la technique dépend de la relation spatiale entre l'os zygomatique, le sinus maxillaire et la crête alvéolaire [17].

Selon Bedrossian et al. [35], l'os maxillaire peut être divisé en 3 zones :

- Zone 1 : le prémaxillaire
- Zone 2 : la zone prémolaire
- Zone 3 : la zone molaire

Le praticien doit cliniquement et radiographiquement évaluer la disponibilité d'os dans les 3 zones. Les logiciels d'implantologie associés aux images scanner et cône-beam peuvent être utilisés pour calculer la quantité d'os présente dans ces zones et dans l'arcade zygomatique, dans les dimensions. Bedrossian et al. utilisent la présence ou non de hauteur d'os dans ces zones afin de déterminer le type de protocole de réhabilitation à utiliser, en proposant un tableau d'indications [35].

Présence d'os	Approche chirurgicale
Dans les zones 1, 2 et 3	Implants axiaux traditionnels
Dans les zones 1 et 2	4 implants traditionnels avec implants postérieurs inclinés
Dans la zone 1 seulement	2 implants zygomatiques et 2 ou 4 implants axiaux
Pas d'os disponible	4 implants zygomatiques

FIGURE 57 : RECOMMANDATIONS DE TRAITEMENTS BASEES SUR LA PRESENCE D'OS DANS LES DIFFERENTES ZONES MAXILLAIRES, D'APRES BEDROSSIAN ET AL. (2010)

9.3 ANATOMIE REGIONALE

Comme pour les implants traditionnels, la stabilité primaire de l'implant provient de la qualité et de la densité de l'os. Ces facteurs ont été étudiés dans une publication : les auteurs ont conclu que l'os trabéculaire de l'arc zygomatique n'est pas favorable à l'implantation. Ceux-ci ont émis l'hypothèse que le succès de l'implantologie zygomatique était dû à l'association biomécanique de 4 corticales [151] :

- La corticale linguale de l'alvéole du maxillaire
- La corticale du plancher du maxillaire
- Les 2 corticales de l'os zygomatique à l'apex

Une autre étude a comparé la longueur du forage entre la technique originale de Brånemark et la technique extra-maxillaire. Ces mesures ont été effectuées sur 18 crânes adultes. La technique extériorisée permet un forage plus long et induit donc une stabilité primaire plus élevée [71].

Selon Aparicio, le choix de la technique dépend de l'anatomie du patient : chez les patients ayant des concavités vestibulaires prononcées sur la face latérale du sinus maxillaire, l'utilisation de la technique originale de Brånemark peut induire une émergence excessivement palatine du col de l'implant [18]. Il en résulte généralement une prothèse volumineuse face palatine, ce qui entraine un inconfort et des problèmes d'hygiène bucco-dentaire [149] [34] [49] [83].

9.4 LA CLASSIFICATION ZAGA : ZYGOMA ANATOMY GUIDED APPROACH

Afin d'éviter ce type de problèmes, Aparicio propose une approche chirurgicale basée sur le type d'anatomie du patient. Une étude transversale a été menée afin de proposer une classification : les images scanner et cône-beam postopératoires de 200 sites correspondant à 100 patients et 198 implants zygomatiques ont été traitées. Les résultats ont été triés en fonction de la morphologie prothétique, de la morphologie de la paroi latérale du sinus, de la crête alvéolaire et du processus zygomatique : ces résultats ont été divisés en 5 groupes [15].

ZAGA-Type 0 :

- La paroi sinusienne est très plate
- La première ostéotomie est placée sur la crête alvéolaire résiduelle
- Le corps de l'implant suit un trajet intra-sinusien

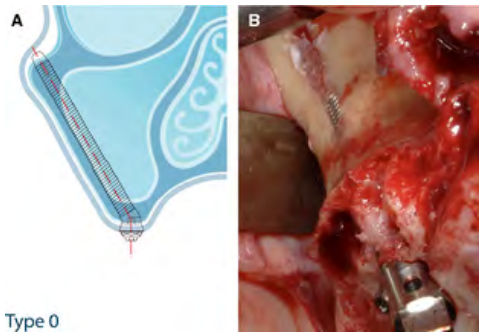

FIGURE 58 : ZAGA TYPE 0, D'APRES APARICIO (2011)

ZAGA-Type 1 :

- La paroi sinusienne est légèrement concave
- La première ostéotomie est placée sur la crête alvéolaire résiduelle mais perfore la paroi sinusienne
- La majorité du corps de l'implant est dans les limites du sinus maxillaire.

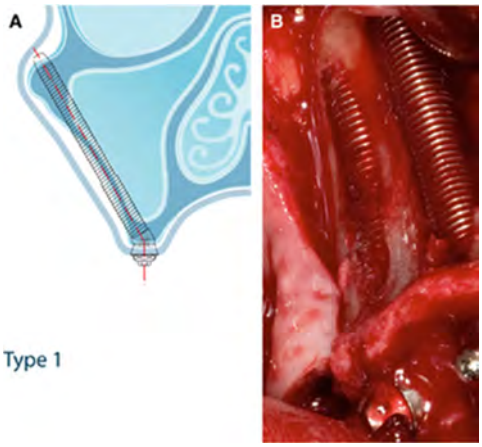

FIGURE 59 : ZAGA TYPE 1, D'APRES APARICIO (2011)

ZAGA-Type 2 :

- La paroi sinusienne est plus concave
- Le positionnement de la tête de l'implant étant idéal, le corps de l'implant se retrouve en plus grande partie avec un trajet extra-sinusien
- Cependant, il n'y a pas d'espace entre le corps de l'implant et la paroi du sinus maxillaire.

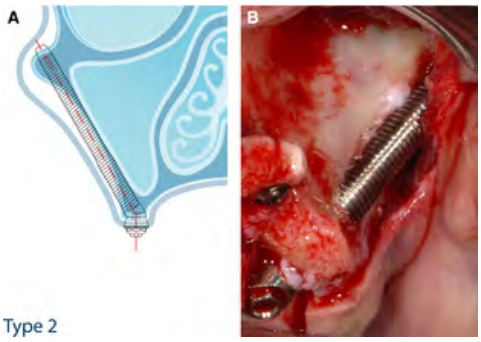

FIGURE 60 : ZAGA TYPE 2, D'APRES APARICIO (2011)

ZAGA-Type 3 :

- La paroi sinusienne est très concave
- La première ostéotomie est réalisée du côté palatin de la crête alvéolaire et perfore la paroi sinusienne et rejoint l'os zygomatique dans une position plus crâniale.
- Le milieu du corps de l'implant ne touche pas la paroi sinusienne.

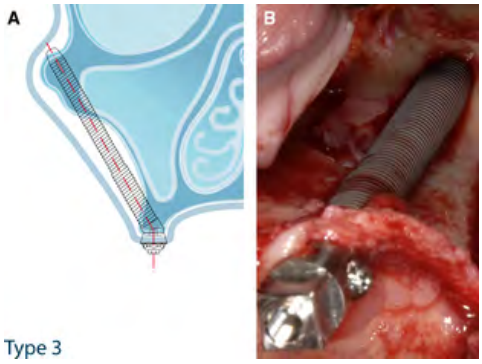

FIGURE 61 : ZAGA TYPE 3, D'APRES APARICIO (2011)

ZAGA-Type 4 :

- Le maxillaire atrophié présente des défauts osseux horizontaux et verticaux
- Pour placer la tête implantaire dans une position optimale en évitant de perforer un palais fin, le praticien doit opter pour un trajet extra-maxillaire.

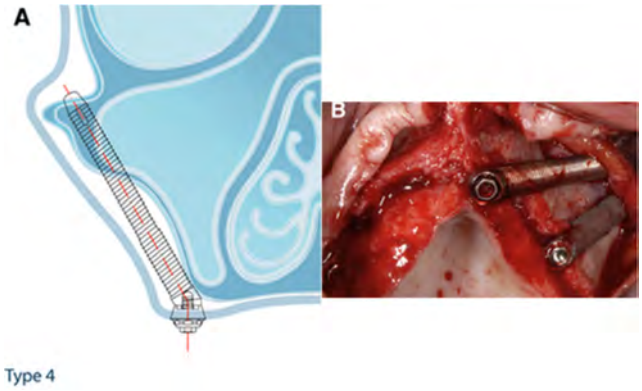

FIGURE 62 : ZAGA TYPE 4, D'APRES APARICIO (2011)

9.5 CONSIDERATIONS BIOMECANIQUES ET PROTHETIQUES

L'implant zygomatique peut présenter une flexion importante quand il est exposé à des charges masticatoires, expliquée par deux facteurs :

- La longueur importante de ce type d'implant (30 à 52,5 mm)
- Le fait qu'il soit peu ou pas ancré dans la crête alvéolaire maxillaire dans certaines circonstances

Les implants zygomatiques (au nombre de 2) doivent donc être reliés rigidement par une barre de solidarisation à des implants classiques stables dans le maxillaire antérieur.

Au niveau prothétique, la procédure classique de Brånemark présente fréquemment des émergences implantaires situées de 10 à 15 mm en médial de la crête osseuse : la conception de la prothèse doit donc permettre une bonne hygiène bucco-dentaire [18].

A l'origine, Brånemark et al. recommandent une conception prothétique en 2 temps [51]. Mais avec le temps et plusieurs études, ces recommandations ont été remplacées par une mise en charge immédiate et une conception prothétique en un seul temps [20], par exemple :

- Bedrossian et al. n'ont rapporté aucun échec parmi 28 implants zygomatiques et 55 implants classiques mis en charges immédiatement après un an de suivi (14 patients) [36]
- Davo et al. n'ont rapporté aucun échec parmi 36 implants zygomatiques mis en charges immédiatement, mais ont enregistré 3 pertes sur 68 implants classiques posés après 6 à 29 mois de suivi [75].

Bien que ces études nous proposent un suivi à court terme, la mise en charge immédiate des implants zygomatiques apparait comme une méthode viable quand ceux-ci sont associés à des implants axiaux classiques.

9.6 ANALYSE DE LA LITTERATURE

9.6.1 BIBLIOMETRIE

Afin de savoir si l'utilisation des implants zygomatiques est une technique viable à plus ou moins long terme, une recherche dans la base de données « PubMed » a été effectuée. Les mots-clés « Zygomatic implants » ont été notés dans le formulaire de recherche.

Les critères d'exclusion ont été toutes les études non relatives à des réhabilitations de maxillaires fortement résorbés : c'est-à-dire les réductions de fractures de l'os zygomatique et les articles relatifs à la chirurgie orthognathique. Les traitements de réhabilitation totale relatifs aux dysplasies ectodermiques ont également été exclus de cette étude. Les études publiées en 2000 ou antérieurement ont également été exclues de cette étude.

Les critères d'inclusion concernent toutes les études présentant des séries de cas de patients totalement édentés au maxillaire dont la réhabilitation a été réalisée avec au moins 2 implants zygomatiques, ceux-ci étant associés à au moins 2 implants axiaux ou à deux autres

implants zygomatiques. La période de suivi de chaque étude est d'au moins 6 mois. Les études publiées entre le début de l'année 2001 et le mois de juin 2014 ont été inclues dans cette analyse bibliographique.

9.6.2 TAUX DE SURVIE

Auteurs des études	Nombre de patients	Implants zygomatiques	Echecs implants zygomatiques	Implants classiques	Echecs implants classiques	Niveau de preuve
Parel et al. [157]	27	65	0	?	?	C
Bedrossian et al.[137]	22	44	0	80	7	C
Vrielink et al. [187]	29	46	3	80	9	C
Boyes-Varley et al.[138]	45	77	0	?	?	C
Malevez et al. [127]	55	103	0	194	16	C
Hirsh et al. [105]	66	124	3	?	?	C
Brånemark et al.[140]	28	52	3	106	29	C
Becktor et al. [34]	16	31	3	74	3	C
Penarrocha et al.[141]	5	10	0	16	0	C
Farzad et al. [83]	11	22	0	42	1	C
Ahlgren et al. [10]	13	25	0	46	0	C
Aparicio et al. [21]	68	131	0	304	2	C
Bedrossian et al. [36]	14	28	0	55	0	C
Chow et al. [66]	5	10	0	20	0	C
Duarte et al. [80]	12	48	2	0	?	C
Penarrocha et al. [159]	21	40	0	89	2	C
Davo et al. [75]	18	36	0	68	3	C
Mozzati et al. [147]	7	14	0	34	0	C
Pi-Urgell et al. [164]	54	101	4	221	15	C
Davo et al. [76]	42	81	0	140	4	C
Malo et al. [131]	29	67	1	57	0	C
Balshi et al. [30]	56	110	4	391	11	C
Davo [74]	21	45	1	109	11	C
Aparicio et al. [19]	20	41	0	87	0	C
Aparicio et al. [20]	25	47	0	127	0	C
Bedrossian [35]	36	74	2	98	0	C
Stievenart et al. [179]	20	80	3	0	?	C
Davo et al. [77]	17	67	0	0	?	C
Migliorança et al. [139]	65	150	2	286	2	C
Aparicio et al. [17]	22	41	2	131	4	C
Aparicio et al. [16]	80	157	5	442	20	C

FIGURE 63 : TABLEAU PRESENTANT UNE ANALYSE DE LA LITTERATURE RELATIVE AU TAUX DE SURVIE DES IMPLANTS ZYGOMATIQUES

Cette analyse de la littérature regroupe donc :

- 31 publications (une étude a été supprimée de l'étude d'Aparicio et al. car elle n'a pas été référencée sur PubMed)
- Des périodes de suivi variant de 6 mois à 12 ans
- Un total de 950 patients ayant reçu un traitement présentant des implants zygomatiques
- Un total de 1967 implants zygomatiques posés
- Un total de 3297 implants classiques
- 38 échecs d'implants zygomatiques
- 139 échecs d'implants classiques
- Toutes les études ont un faible niveau de preuve

Les résultats de cette analyse nous donnent de la visibilité sur le taux de survie de ce type d'implants. Il faut noter que dans la plupart des protocoles présentés par les auteurs des différentes études, les implants zygomatiques sont associés et solidarisés de manière rigide à des implants classiques. Les 2 graphiques suivant nous montrent le taux de survie à des périodes pouvant varier de 6 mois à 12 ans.

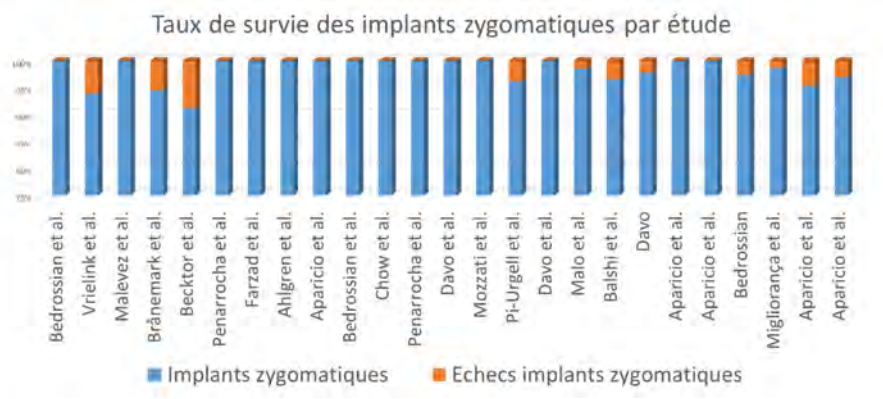

FIGURE 64 : GRAPHIQUE COMPARANT LE TAUX DE SURVIE DES IMPLANTS ZYGOMATIQUES DE PLUSIEURS ETUDES

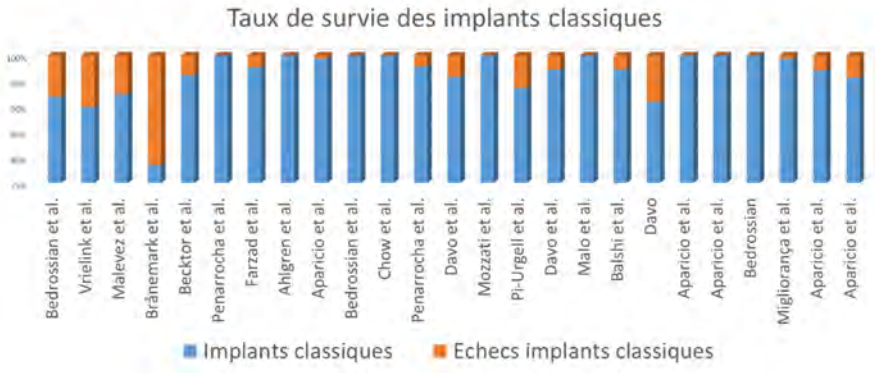

FIGURE 65 : GRAPHIQUE COMPARANT LE TAUX DE SURVIE DES IMPLANTS CLASSIQUES DANS DES PROTOCOLES COMPRENANT DES IMPLANTS ZYGOMATIQUES

Les résultats de ces études sont relativement homogènes, bien que l'on puisse noter quelques disparités. Néanmoins, certaines hypothèses peuvent être avancées afin d'expliquer ces disparités :

- L'étude de Becktor et al. [34] présente le taux de survie des implants zygomatiques le plus faible avec 90,3% de survie. Ce chiffre peut s'expliquer par la faible taille de l'échantillon (31 patients), par le période de suivi pouvant aller jusqu'à 6 ans et par l'expérience du praticien.
- Les études de Penarrocha et al. [160], Farzad et al. [83] et Ahlgren et al. [10] ont un taux de survie de 100% mais les échantillons représentent respectivement 5, 11 et 13 patients. D'autre part, la période de suivi n'excède pas 4 ans pour ces 3 études.
- D'autre part, une étude d'Aparicio et al. [21] présente ce même taux de 100% avec un échantillon de 131 patients et une période de suivi pouvant aller jusqu'à 5 ans. La dextérité de ce praticien peut expliquer ces bons résultats (celui-ci a d'ailleurs publiées plusieurs études sur les implants zygomatiques).
- L'étude de Brånemark et al. [51] présente le plus faible taux de survie d'implants classiques associés à des implants zygomatiques avec un taux de 72,6%. Ce taux est anormalement faible (29 échecs implantaires sur 106) : les pistes devront s'orienter vers la conception de la prothèse, le type de réalisation prothétique en 2 temps et le degré de résorption des patients, ainsi que la qualité de l'os de ceux-ci.

- Des études ont montré des taux de succès cumulés de 100% entre les implants zygomatiques et classiques (voir tableau).

Le graphique suivant compare la moyenne des taux de survie de ces deux types d'implants.

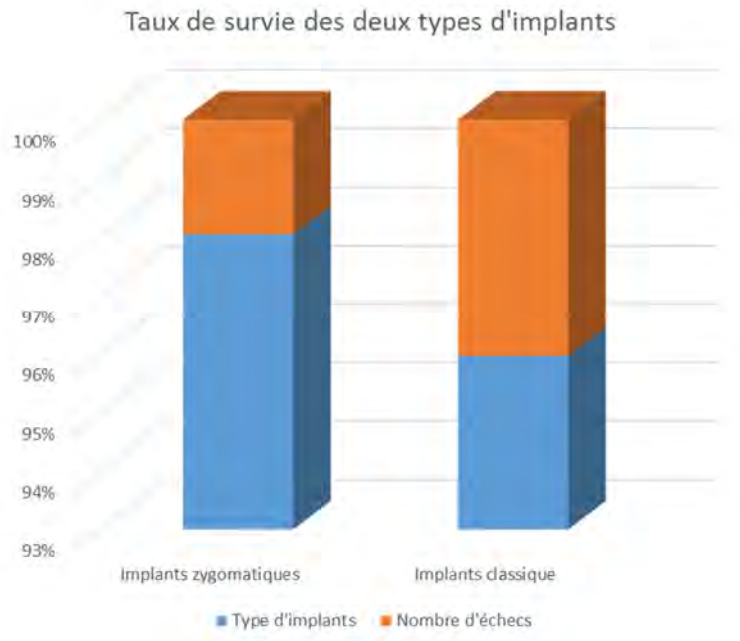

FIGURE 66 : COMPARAISON DES TAUX CUMULES DE SURVIE DES IMPLANTS ZYGOMATIQUES ET CLASSIQUES DES ETUDES DE L'ANALYSE DE LA LITTERATURE

On constate des taux d'échec de :

- 2% de moyenne pour les implants zygomatiques
- 4,22% de moyenne pour les implants classiques

Bien que 2 fois supérieurs aux implants zygomatiques, les taux de survie cumulés des implants classiques restent supérieurs aux taux classiques en implantologie conventionnelle unitaire. Les protocoles associant implants zygomatiques et classiques, solidarisés par des barres rigides, apparaissent comme des solutions thérapeutiques fiables en termes de biomécanique. Néanmoins, ces résultats sont à analyser avec précaution car toutes ces études ont un faible niveau de preuve, qui est cependant acceptable.

9.6.3 CRITERES DE REUSSITE

La survie des implants zygomatiques ne signifie pas pour autant un succès du protocole. Pour évaluer le succès d'un traitement avec implants zygomatiques, Aparicio et al. [18] proposent 4 critères de réussite (A à D) :

- ***Critère A*** : la stabilité ou non de l'implant, ainsi que la douleur ressentie par le patient
- ***Critère B*** : la présence ou non de pathologie sinusienne (ce critère se base sur les questionnaires de Lanza & Kennedy et Lund-Mackay : non développés dans ce travail)
- ***Critère C*** : l'état des tissus mous péri-implantaires (présence ou non de parodontopathies)
- ***Critère D*** : compensation prothétique : il s'agit de la distance entre le sommet de la crête résiduelle et l'émergence implantaire

Pour chaque critère, Aparicio et al. ont défini 4 niveaux de succès : le grade 1 correspondant à un succès du critère et le grade 4 à un échec du critère.

Critères	Grade 1 de succès	Grade 2 de succès	Grade 3 de succès	Echec
Critère A : Stabilité de l'implant zygomatique	Pas de mobilité Pas de douleur	Légère mobilité clinique Pas de douleur	Mobilité clinique nette (mais pronostic pas encore défavorable) Pas de douleur	Mobilité clinique avec rotation de l'implant Douleur
Critère B : Pathologie sinusienne associée	Lanza & Kennedy (-) Lund-Mackay =0	Lanza & Kennedy (+) Lund-Mackay =0	Lanza & Kennedy (-) Lund-Mackay >0	Lanza & Kennedy (+) Lund-Mackay >0
Critère C : Etat des tissus mous péri-implantaires	Pas de récession	Légère récession (tête implantaire exposée) Pas de vis non exposé	Récession 1 à 7 pas de vis exposés	Récession Plus de 7 pas de vis exposés
Critères D : Compensation prothétique	De 0 à 6 mm en palatin De 0 à 3 mm en vestibulaire	De 6 à 10 mm en palatin De 3 à 4 mm en vestibulaire	De 10 à 15 mm en palatin De 4 à 5 mm en vestibulaire	Plus de 15 mm en palatin Plus de 5 mm en vestibulaire

FIGURE 67 : TABLEAU D'EVALUATION DU SUCCES CLINIQUE DES IMPLANTS ZYGOMATIQUES "ZYGOMATIC SUCCESS CODE" D'APRES APARICIO ET AL. (2014)

9.6.4 COMPLICATIONS SINUSIENNES

Les sinusites sont les complications les plus fréquentes après la pose des implants zygomatiques. Elles sont considérées comme des échecs relatifs des réhabilitations totales avec implants zygomatiques. Dans cette analyse de la littérature, ces complications sont renseignées dans la plupart des articles. Les tableaux suivant présentent les taux de sinusites enregistrées par les auteurs, dans les protocoles en deux temps et dans les protocoles avec mise en charge immédiate.

9.6.4.1 PROTOCOLES EN 2 TEMPS

Etudes en 2 temps	Nombre de patients	Taux de survie des implants zygomatiques	Nombre de sinusites (%)	Niveau de preuve
Bedrossian et Stumpel **[37]**	22	100%	0	C
Vrielink et al. **[187]**	29	92%	2 (6,9%)	C
Boyes-Varley et al. **[49]**	45	100%	0	C
Malevez et al. **[127]**	55	100%	5 (9%)	C
Hirsh et al. **[105]**	76	98%	3 (4%	C
Brånemark et al. **[51]**	28	94%	4 (14,3%)	C
Becktor et al. **[34]**	16	90,3%	6 (26,6%)	C
Zwahlen et al. **[196]**	18	94,4%	1 (5,5%)	C
Aparicio et al. **[21]**	69	100%	3 (4,3%)	C
Farzad et al. **[83]**	11	100%	1 (9,1%)	C
Ahlgren et al. **[10]**	13	100%	0	C
Penarrocha et al. **[160]**	21	100%	2 (9,5%)	C
Pi-Urgell et al. **[164]**	54	96%	0	C
Davo **[74]**	24	97,4%	5 (20,8%)	C
Stievenart et al. **[179]**	10	96,3%	1 (1,3%)	C
Aparicio et al. **[17]**	22	97,7%	2 (9,1%)	C

FIGURE 68 : TABLEAU PRESENTANT LE NOMBRE DE SINUSITES CONSECUTIVES A DES PROTOCOLES D'IMPLANTS ZYGOMATIQUES EN DEUX TEMPS CHIRURGICAUX

Cette technique prothétique consiste à réaliser la prothèse plusieurs mois après la pose des implants zygomatiques. Les premiers protocoles proposés par Brånemark imposaient d'attendre l'ostéointégration des implants avant de concevoir la prothèse. Des cas de sinusites ont néanmoins été diagnotiqués. Toutes ces études ont un faible niveau de preuve.

9.6.4.2 MISE EN CHARGE IMMEDIATE

Etudes avec mise en charge immédiate	Nombre de patients	Taux de survie des implants zygomatiques	Sinusites (%)	Niveau de preuve
Chow et al. **[66]**	5	100%	0	C
Bedrossian et al. **[36]**	14	100%	0	C
Davo et al. **[75]**	18	100%	1 (5,5%)	C
Duarte et al. **[80]**	12	97,9%	0	C
Davo et al. **[76]**	42	100%	1 (2,4%)	C
Aparicio et al. **[22]**	20	100%	0	C
Malo et al. **[131]**	29	98,5%	4 (13,8%)	C

Balshi et al. **[30]**	56	96,4%	0	C
Mozzati et al. **[147]**	7	100%	0	C
Davo et al. **[76]**	42	100%	1 (2,4%)	C
Bedrossian **[35]**	36	97,2%	3 (8,3%)	C
Stiévenart et Malevez **[179]**	10	100%	0	C
Davo et al. **[77]**	17	100%	0	C
Migliorança et al. **[139]**	65	98,7%	0	C
Aparicio et al. **[16]**	80	96,9%	3 (3,8%)	C

FIGURE 69 : TABLEAU PRESENTANT LE NOMBRE DE SINUSITES CONSECUTIVES A DES PROTOCOLES D'IMPLANTS ZYGOMATIQUES AVEC MISE EN CHARGE IMMEDIATE

Certains auteurs se sont essayés à la mise en charge immédiate sur des implants zygomatiques malgré les premières recommandations de Brånemark. Les résultats semblent viables a la lecture du taux de survenue de sinusites. Toutes ces études ont un faible niveau de preuve.

9.6.5 COMPARAISON DES RESULTATS

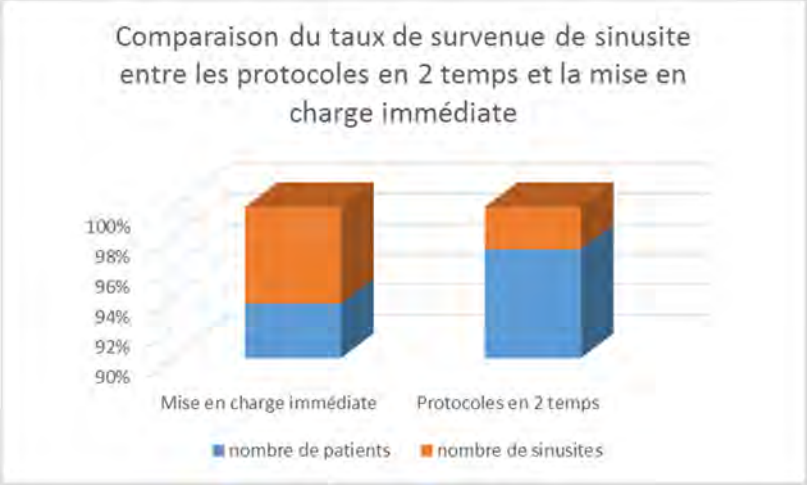

FIGURE 70 : COMPARAISON DU TAUX DE SURVENUE DE SINUSITE ENTRE LES PROTOCOLES EN 2 TEMPS ET LA MISE EN CHARGE IMMEDIATE

Ces résultats nous montrent un taux de survenue de sinusites de :

- 2,87% pour les protocoles avec mise en charge immédiate
- 6,82% pour les protocoles en 2 temps

A la lecture de ces résultats, la mise en charge immédiate semble apporter des avantages biologiques par rapport aux protocoles en 2 temps.

De plus, la mise en charge immédiate permet de fournir une prothèse provisoire indispensable pour rétablir la fonction masticatoire, la phonation et l'esthétique à ces patients sévèrement édentés, indispensables pour le confort et l'intégration sociale.

10 APPLICATION CLINIQUE : LE ALL-ON-FOUR™

10.1 PRESENTATION

Une atrophie de la crête alvéolaire se développe fréquemment après la perte des dents. Plusieurs options existent pour traiter cette situation particulière : les prothèses amovibles complètes classiques, les prothèses amovibles implanto-stabilisées et les prothèses fixes sur implants [24]. C'est cette dernière solution qui offre aux patients édentés le plus de satisfaction que les prothèses amovibles, malgré un coût élevé [25] [100]. Une procédure d'augmentation de la hauteur d'os est souvent nécessaire pour pouvoir poser des implants standards, et ces procédures présentent un taux élevé de morbidité.

Le All-on-Four™ est une option thérapeutique qui utilise les propriétés et avantages des implants inclinés pour restaurer le maxillaire et/ou la mandibule édentés. Bien que les équipes de Brånemark aient décrits une approche similaire [52], ce concept implanto-prothétique est à créditer à l'équipe de Paolo Malo, en 2003 [134].

Le principe de l'All-on-Four™ est d'utiliser quatre implants dans la partie antérieure du maxillaire ou de la mandibule édentés pour soutenir une prothèse provisoire fixée et mise en charge immédiatement. Un guide chirurgical est utilisé pour la pose des implants. Les deux implants antérieurs sont placés axialement, et les deux implants postérieurs sont inclinés distalement afin de réduire la longueur du cantilever et de permettre la réalisation d'une prothèse de 12 dents [42] [119] (une prothèse provisoire en résine acrylique est livrée le jour de l'intervention).

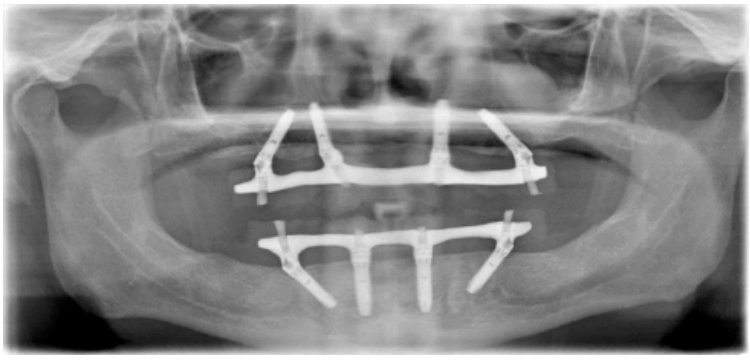

FIGURE 71 : EXEMPLE DE RADIOGRAPHIE POSTOPERATOIRE D'UN PATIENT EDENTE TOTAL AYANT RECU DEUX ALL-ON-FOUR, D'APRES MALO ET AL. (2009)

Le protocole All-on-Four™ mandibulaire a été proposé par le Docteur Maló en 2003 [134]

10.2 A LA MANDIBULE

10.2.1 PROTOCOLE CHIRURGICAL

A la mandibule, les 4 implants sont posés dans la symphyse mandibulaire (entre les 2 foramens mentonniers).

Les deux implants antérieurs, dits axiaux, suivent une direction dictée par l'anatomie de la mandibule dans cette zone (au niveau des secondes incisives). Dans les cas de résorption osseuse très sévère, ceux-ci peuvent être légèrement inclinés distalement.

Les deux implants postérieurs ont leur émergence située au niveau de la seconde prémolaire et sont insérés en suivant un angle distal d'environ 30 degrés. Cette inclinaison permet de réduire la longueur du cantilever de la future prothèse, tout en évitant le foramen mentonnier.

Le guide chirurgical spécial, solidarisé à la mandibule et adapté à la mandibule et au maxillaire, permet un ajustement optimal de la position et de d'inclinaison des implants.

Les piliers implantaires présentent :

- Un angle de 17 ou 30 degrés pour les implants antérieurs
- Un angle de 30 degrés pour les implants postérieurs

Ces angulations sont censées rattraper l'inclinaison des implants pour permettre aux connexions d'être positionnées en occlusal ou en lingual.

10.2.2 PROTOCOLE PROTHETIQUE

10.2.2.1 PROTHESE PROVISOIRE

La prothèse provisoire d'au moins 10 dents est composée de résine acrylique renforcée par une bande métallique. Celle-ci est livrée 2 heures après la fin de l'intervention chirurgicale. Son rôle est essentiel car elle assure :

- La solidarisation entre les implants, permettant la répartition des charges
- La fonction masticatoire
- La phonation
- L'esthétique

10.2.2.2 PROTHESE D'USAGE

Celles-ci sont réalisées après un délai pouvant varier de 4 à 6 mois après la chirurgie. Elles sont composées d'une chape métallique et de céramique classique, ou d'une chape en titane usinée et de céramique Procera® pour améliorer la précision et l'esthétique.

10.2.3 CAS CLINIQUE

FIGURE 72 : CAS CLINIQUE : RADIOGRAPHIE PREOPERATOIRE, D'APRES MALO ET AL. (2003)

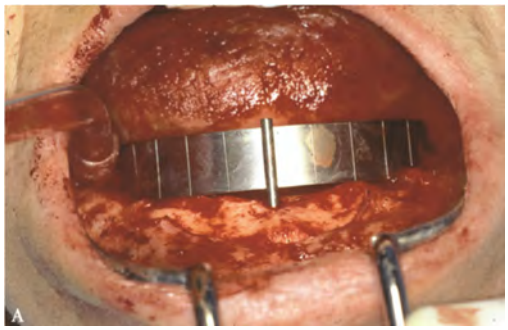

FIGURE 73 : CAS CLINIQUE : MISE EN PLACE DU GUIDE CHIRURGICAL 1, D'APRES MALO ET AL. (2003)

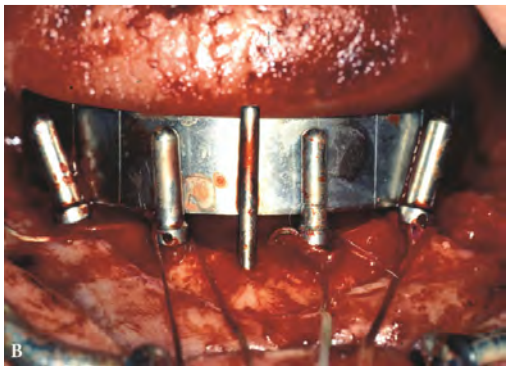

FIGURE 74 : CAS CLINIQUE : MISE EN PLACE DU GUIDE CHIRURGICAL 2, D'APRES MALO ET AL. (2003)

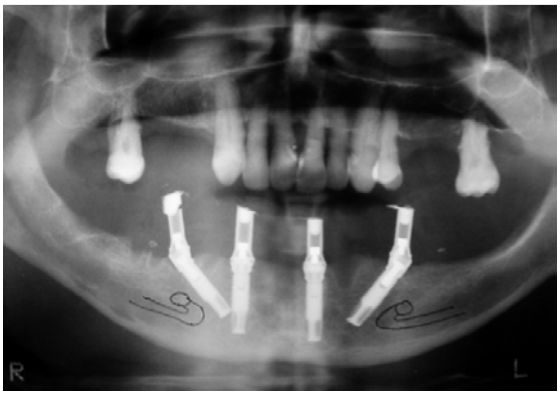

FIGURE 75 : CAS CLINIQUE : INCLINAISON DES IMPLANTS POSTERIEURS DANS LA SYMPHYSE MENTONNIERE, D'APRES MALO ET AL. (2003)

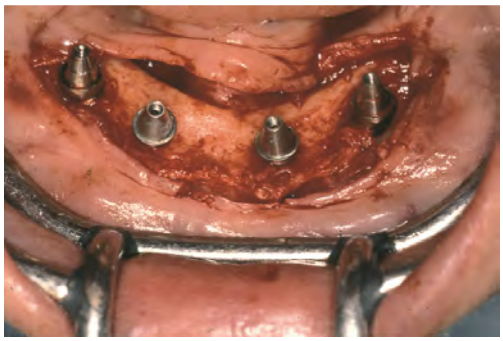

FIGURE 76 : CAS CLINIQUE : CORRECTION DE L'ANGULATION AVEC LES PILIERS PROTHETIQUES, D'APRES MALO ET AL. (2003)

FIGURE 77 : CAS CLINIQUE : MISE EN PLACE DE LA PROTHESE PROVISOIRE, D'APRES MALO ET AL. (2003)

FIGURE 78 : CAS CLINIQUE : POSE DE LA PROTHESE DEFINITIVE EN CERAMIQUE, D'APRES MALO ET AL. (2003)

FIGURE 79 : CAS CLINIQUE : RADIOGRAPHIE POSTOPERATOIRE APRES LA POSE DE LA PROTHESE DEFINITIVE EN CERAMIQUE, D'APRES MALO ET AL. (2003)

10.3 AU MAXILLAIRE

[129]

En raison de la densité osseuse plus faible au maxillaire, la mise en charge immédiate sur 4 implants est perçue comme un défi plus grand. Cette densité osseuse plus faible est souvent responsable d'une résorption plus importante. D'autre part, l'association entre cette

résorption crestale et le phénomène de pneumatisation sinusienne entraine très fréquemment un déficit osseux en hauteur empêchant le praticien de réaliser une implantation classique.

Comme à la mandibule, l'inclinaison distale des implants postérieurs permet d'éviter les procédures de greffes osseuses. Et comme à la mandibule, l'émergence plus distale de l'implant permet de réduire le porte-à-faux et offre une meilleure répartition des charges.

L'implantation des implants postérieurs au sein de l'os cortical de la paroi antérieure du sinus maxillaire et des fosses nasales peut fournir une stabilité primaire favorable à une mise en charge immédiate.

Le protocole chirurgical et la conception de la prothèse sont les même que pour les All-on-Four™ mandibulaires.

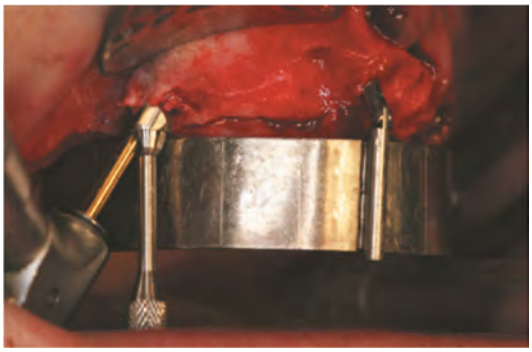

FIGURE 80 : CAS CLINIQUE : MISE EN PLACE D'UN PILIER PROTHETIQUE AU MAXILLAIRE, D'APRES MALO ET AL. (2003)

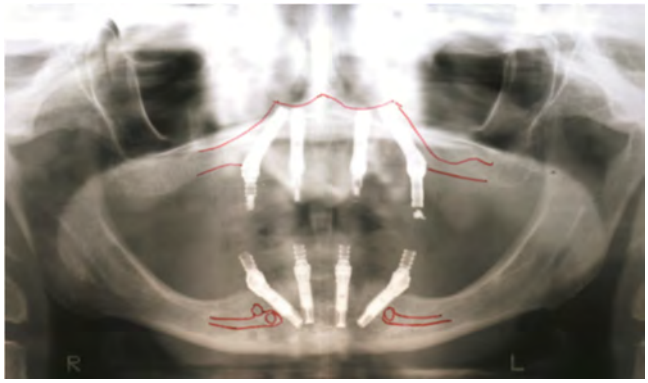

FIGURE 81 : CAS CLINIQUE : RADIOGRAPHIE POSTOPERATOIRE MONTRANT L'EVITEMENT DES OBSTACLES ANATOMIQUES AU MAXILLAIRE ET A LA MANDIBULE, D'APRES MALO ET AL. (2003)

FIGURE 82 : CAS CLINIQUE : PHOTOGRAPHIE D'UNE PATIENTS APRES LA MISE EN PLACE D'UNE PROTHESE PROVISOIRE LE JOUR DE LA POSE DES IMPLANTS, D'APRES MALO ET AL. (2003)

11 DISCUSSION

Actuellement, le défi de l'implantologie consiste à réduire le nombre d'implants supportant une réhabilitation totale, et à réduire le temps entre l'implantation et la mise en charge de la prothèse. L'inclinaison des implants a été proposée afin de relever ce défi. Le but de ce travail est de savoir si l'on peut incliner les implants postérieurs, et de comprendre et recenser les bénéfices de cette inclinaison.

D'un point de vue biomécanique, l'inclinaison distale des implants postérieurs est justifiée par la réduction de la longueur des cantilevers et donc par l'amélioration de la répartition des charges. Ces principes sont confirmés par une partie des études s'intéressant à la biomécanique des implants inclinés. Cependant, la majorité des études utilisent la méthode des éléments finis, c'est-à-dire un faible niveau de preuve. En effet, toutes ces études sont de grade C. L'augmentation du nombre d'éléments améliore la précision des études.

A la simulation de la mastication, c'est-à-dire au niveau molaire, les contraintes les plus importantes sont enregistrées à l'interface os/implants des implants postérieurs inclinés. En pratique clinique, une contrainte trop importante se traduirait par une péri-implantite. Une contrainte importante ne signifie pas une contrainte trop importante. En effet, il est logique de retrouver les forces et les contraintes les plus fortes au niveau molaire. Ces informations sont donc peu utiles pour comprendre le comportement biomécanique des implants angulés. En revanche, certaines études comme celle de Bevilacqua et al. [44], sont conclues en constatant que les contraintes au niveau de l'os diminuent avec l'augmentation de l'inclinaison des implants postérieurs. Bien que la preuve scientifique (grade C) soit simplement acceptable, ce travail appuie l'hypothèse que les implants inclinés permettent une meilleure répartition des charges en diminuant la longueur des cantilevers. Au contraire, l'étude de Lan et al. [123] constate l'inverse : les contraintes appliquées sur les implants angulés montrent les valeurs de stress les plus élevées. De plus, cette publication présente le type de chargement comme étant le principal facteur influant sur la distribution du stress mécanique. C'est-à-dire que les contraintes dans l'axe de la molaire remplacée seraient moins stressantes pour l'os que des contraintes obliques. En transposant ce dernier principe en bouche, cela pourrait signifier qu'une trituration serait moins génératrice de stress qu'un cycle de mastication.

Des études, comme celle de Silva et al. [176], constatent que les contraintes les plus importantes sont situées autour des implants postérieurs, inclinés ou non. Ce constat est valable dans les configurations à 4 ou à 6 implants avec les 2 implants postérieurs inclinés. Quel que soit le nombre d'implants, les contraintes seraient toujours situées au niveau des implants postérieurs. En pratique, il est difficilement concevable que 4 implants supportant un bridge complet auraient un comportement biomécanique aussi favorable que 6 implants.

Il existe donc beaucoup de contradictions lorsque l'on compare les conclusions de ces études utilisant la méthode des éléments finis. Bien que celles-ci soient unanimes quant aux bénéfices biomécaniques de la réduction de la longueur des cantilevers, cette revue des publications s'intéressant à la biomécanique des implants inclinés ne permet pas d'affirmer ou d'infirmer si l'inclinaison des implants est une technique viable dans le temps. Ces informations sont scientifiquement très limitées. Leurs conclusions ne doivent être qu'indicatives, mais celles-ci nous prouvent néanmoins que l'inclinaison des implants doit être utilisée avec prudence.

Les études in-vitro sont plus représentatives de la réalité que les études par éléments finis. En effet, des tests mécaniques réalisés sur os sec et vrai implants n'ont pas encore été réalisés, mais une étude photoélastique et une étude réalisée sur des mandibules en composite ont été trouvées dans la base de données PubMed. L'étude photoélastique de Kim et al. [117] ne constate aucune augmentation des contraintes dans le modèle avec implants inclinés. En revanche, la contrainte maximale avant déformation semblerait être réduite de 17% par rapport au modèle avec implants axiaux. Le bénéfice de la réduction du cantilever semblerait dont être perdu pour certains types de chargement, et l'inclinaison des implants serait nocive pour la mandibule quand ceux-ci seraient soumis à des contraintes importantes.

Les différentes conclusions énoncées par les équipes de chercheurs ne permettent pas de véritablement définir l'angulation distale des implants postérieurs comme un traitement viable dans le temps. En effet, le succès en implantologie dépend de la qualité de l'os, du patient, de l'hygiène, de l'expérience du praticien, de la réalisation de la prothèse, etc. La viabilité des traitements avec implants postérieurs inclinés va donc être renseignée par les essais cliniques. En effet, un comportement biomécanique acceptable se traduira en bouche par une perte osseuse marginale limitée et comparable aux valeurs retrouvées dans l'implantologie classique « axiale ». De plus, la combinaison entre le type d'os et le type de mastication étant propre à

chaque patient, La possibilité biomécanique de l'inclinaison des implants ne sera confirmée ou infirmée que de manière empirique après de longues périodes de suivi.

Les essais cliniques recensés dans PubMed ont commencé en 2000 et se poursuivent encore aujourd'hui. Les études présentant le suivi le plus long sont à attribuer au Professeur Malo qui a étudié les All-on-four™ avec plus de 10 ans de suivi, et les résultats sont comparables, voire mieux que l'implantologie classique, avec des taux de survie de 99%. Cette analyse de la littérature comporte des biais : en effet, les sources ne sont issues que de la base de données PubMed. De plus, ces investigations n'ont été réalisées que par des équipes jouissant d'une grande expérience. Les protocoles ne sont pas uniformisés : c'est-à-dire que certaines publications étudient l'All-on-four™, d'autres les bridges sur 4 implants avec implants postérieurs inclinés, d'autres études s'intéressent sur des bridges portés par 5 ou 6 implants. L'inclinaison des implants distaux est le seul point commun à toutes ces études. D'autre part, les auteurs ne précisent pas toujours si les échecs implantaires concernent les implants axiaux ou inclinés. Cette analyse concerne donc plutôt les protocoles avec implants postérieurs inclinés. De plus, un autre biais important concerne la différence entre les périodes de suivi, celles-ci variant entre 6 mois et 10 ans. Dans les limites de cette analyse, on peut donc affirmer que les implants inclinés sont viables, mais plus d'études sont nécessaire pour les considérer comme une solution de traitement de première intention.

L'analyse de la littérature portant sur la perte osseuse marginale à 1 an présente une homogénéité des résultats, et comporte beaucoup moins de biais. Le biais principal concerne néanmoins le manque de précision sur la mesure de la perte osseuse. De plus, cette analyse n'a été effectuée que sur la base de données PubMEd et concerne uniquement les articles publiés en anglais.

La plupart des intérêts des implants inclinés sont reconnus, mais le recensement de ceux-ci correspond plus à une succession d'avis d'expert, c'est-à-dire une preuve scientifique non avérée. Au contraire, une seule étude trouvée dans PubMed s'intéresse aux complications biologiques et techniques des implants angulés. D'autres études seront donc nécessaires.

Ce travail ne s'intéresse pas aux conséquences esthétiques de l'absence de greffes, faute de publications sur le sujet.

Ces constats sont également valables pour les implants zygomatiques. Les périodes de suivi varient entre 6 mois et 12 ans. Les implants zygomatiques présentent moins d'échecs

que les implants classiques, mais ceux-ci ne sont posés que par des praticiens ayant beaucoup d'expérience et des chirurgiens maxillo-faciaux. Une thèse se focalisant uniquement sur les implants zygomatiques serait nécessaire.

12 CONCLUSION

Ce bilan sur l'inclinaison distale des implants inclinés doit nous permettre de reconnaitre cette méthode comme une possibilité de plus dans l'arsenal du chirurgien-dentiste qui traite un cas d'édentement total d'au moins une arcade.

Cela dit, les variations anatomiques constatées entre les patients édentés, les différentes qualités d'os, le décalage des crêtes édentées, la présence ou non de dents naturelles antagonistes et/ou de prothèses partielles, etc. nous empêchent de considérer cette méthode comme une solution universelle de traitement de l'édenté total.

De même, la durée et le coût du traitement ne doivent pas dicter le choix de la thérapeutique finale. Le praticien qui pose l'indication de traitement devra prendre en compte les facteurs anatomiques, les souhaits du patient, le facteur médical, le facteur financier, la notion de temps et les particularités individuelles avant de choisir le traitement de réhabilitation adapté au patient.

Cette méthode de réhabilitation du patient peut être qualifiée de viable par son taux de survie, mais non universelle. Néanmoins, ce concept récent et encourageant, et présentant des taux de succès et de survie élevés est une alternative à d'autres approches classiques avec greffes osseuses préalable. Le choix entre ces 2 techniques dans le cas de réhabilitations de maxillaires atrophiques édentés dépend de tous ces paramètres qui doivent être étudiés lors de l'élaboration du plan de traitement. Ceux-ci doivent tenir compte de l'expérience du praticien. Les implants inclinés peuvent être considérés comme une technique optionnelle permettant d'élargir le champ d'indication des bridges complets implanto-portés.

13 BIBLIOGRAPHIE

[1] ABRAMS H., KOPCZYK R.A., KAPLAN A.L.
Incidence of anterior ridge deformities in partially edentulous patients.
J Prosthet Dent 1987;**57**(2):191–194.

[2] ACOCELLA A., ERCOLI C., GEMINIANI A., et coll.
Clinical evaluation of immediate loading of electroeroded screw-retained titanium fixed prostheses supported by tilted implant: a multicenter retrospective study.
Clin Implant Dent Res 2012;**14**(Suppl 1):98–108.

[3] ADELL R., ERIKSSON B., LEKHOLM U., et coll.
Long-term follow-up study of osseointegrated implants in the treatment of totally edentulous jaws.
Int J Oral Maxillofac Implants 1990;**5**(4):347– 359.

[4] AGLIARDI E.L., FRANCETTI L., ROMEO D., et coll.
Immediate loading in the fully edentulous maxilla without bone grafting: the V-II-V technique.
Minerva Stomatol 2008;**57**(5):251–263.

[5] AGLIARDI E.L., FRANCETTI L., ROMEO D., et coll.
Immediate rehabilitation of the edentulous maxilla: preliminary results of a singlecohort prospective study.
Int J Oral Maxillofac Implants 2009;**24**(5):887–895.

[6] AGLIARDI E.L., POZZI A., STAPPERT C.F.J., et coll.
Immediate Fixed Rehabilitation of the Edentulous Maxilla: A Prospective Clinical and Radiological Study after 3 Years of Loading.
Clin Implant Dent Res 2012;**21**(4):248– 252.

[7] AGLIARDI E., PANIGATTI S., CLERICÒ M., et coll.
Immediate rehabilitation of the edentulous jaws with full fixed prostheses supported by four implants: interim results of a single cohort prospective study.
Clin Oral Implant Res 2010;**21**(5):459–465.

[8] AGNINI A., AGNINI A.M., ROMEO D., et coll.
Clinical Investigation on Axial versus Tilted Implants for Immediate Fixed Rehabilitation of Edentulous Arches: Preliminary Results of a Single Cohort Study.
Clin Implant Dent Res 2012;**21**(4):248– 252.

[9] AHLBERG J.P., KOVERO O.A., HURMERINTA K.A., et coll.
Maximal bite force and its association with signs and symptoms of TMD, occlusion, and body mass index in a cohort of young adults cranio.
J Craniomandibular Practice 2003;**21**(4):248– 252.

[10] AHLGREN F., STØRKSEN K., TORNES K.
A study of 25 zygomatic dental implants with 11 to 49 months' follow-up after loading.
Int J Oral Maxillofac Implants 2006;**21**(3):421–425.

[11] ALBREKTSSON T., JANSSON T., LEKHOLM U.
Osseointegrated dental implants.
Dental Clin North Am 1986;**30**(1):151–174.

[12] ALBREKTSSON T., ZARB G., WORTHINGTON P., et coll.
The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success, Part 1.
Int J Oral Maxillofac Implants 1986;**1**(1):11–25.

[13] ALBREKTSSON T., ZARB G., WORTHINGTON P., et coll.
The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success, Part 2.
Int J Oral Maxillofac Implants 1986;**1**(1):25–32.

[14] ALMEIDA E.O., ROCHA E.P., JÚNIOR A.C.F., et coll.
Tilted and Short Implants Supporting Fixed Prosthesis in an Atrophic Maxilla: A 3DFEA Biomechanical Evaluation.
Clin Implant Dent Res 2013;**15**(4):347–359.

[15] APARICIO C.
A proposed classification for zygomatic implant patient based on the zygoma anatomy guided approach (ZAGA): a cross-sectional survey.
Eur J Oral Implantol 2011;**4**(3):269–275.

[16] APARICIO C., MANRESA C., FRANCISCO K., et coll.
Zygomatic Implants Placed Using the Zygomatic Anatomy-Guided Approach versus the Classical Technique: A Proposed System to Report Rhinosinusitis Diagnosis.
Clin Implant Dent Res 2013;**21**(4):248– 252.

[17] APARICIO C., MANRESA C., FRANCISCO K., et coll.
The long-term use of zygomatic implants: a 10-year clinical and radiographic report.
Clin Implant Dent Res 2014;**16**(3):447–459.

[18] APARICIO C., MANRESA C., FRANCISCO K., et coll.
Zygomatic implants: indications, techniques and outcomes, and the Zygomatic Success Code.
Periodontol 2000 2014;**66**(1):41–58.

[19] APARICIO C., OUAZZANI W., APARICIO A., et coll.
Extrasinus zygomatic implants: three year experience from a new surgical approach for patients with pronounced buccal concavities in the edentulous maxilla.
Clin Implant Dent Res 2010;**12**(1):55–61.

[20] APARICIO C., OUAZZANI W., APARICIO A., et coll.
Immediate/Early loading of zygomatic implants: clinical experiences after 2 to 5 years of follow-up.
Clin Implant Dent Res 2010;**12**(1):77–82.

[21] APARICIO C., OUAZZANI W., GARCIA R., et coll.
A prospective clinical study on titanium implants in the zygomatic arch for prosthetic rehabilitation of the atrophic edentulous maxilla with a follow-up of 6 months to 5 years.
Clin Implant Dent Res 2006;**8**(3):114–122.

[22] APARICIO C., OUAZZANI W., HATANO N.
The use of zygomatic implants for prosthetic rehabilitation of the severely resorbed maxilla.
Periodontol 2000 2008;**47**:162–171.

[23] APARICIO C., PERALES P., RANGERT B.
Tilted implants as an alternative to maxillary sinus grafting: a clinical, radiologic, and periotest study.
Clin Implant Dent Res 2001;**3**(1):39–49.

[24] ATT W., BERNHART J., STRUB J.R.
Fixed rehabilitation of the edentulous maxilla: possibilities and clinical outcome.
J Oral Maxillofac Surg 2009;**67**(11 Suppl):60–73.

[25] ATT W., STAPPERT C.
Implant therapy to improve quality of life.
Quintessence Int 2003;**34**(8):573–581.

[26] ATWOOD D.A., COY W.A.
Clinical, cephalometric, and densitometric study of reduction of residual ridges.
J Prosthet Dent 1971;**26**(3):280–295.

[27] BABBUSH C.A., KANAWATI A., KOTSAKIS G.A., et coll.
Patient-related and financial outcomes analysis of conventional full-arch rehabilitation versus the All-on-4 concept: a cohort study.
Implant Dent 2014;**23**(2):218–224.

[28] BAKKE M., HOLM B., JENSEN B.L., et coll.
Unilateral, isometric bite force in 8-68-year-old women and men related to occlusal factors.
Scand J Dent Res 1990;**98**(2):149–158.

[29] BAKKE M., MICHLER L., HAN K., et coll.
Clinical significance of isometric bite force versus electrical activity in temporal and masseter muscles.
Scand J Dent Res 1989;**97**(6):539–551.

[30] BALSHI S.F., WOLFINGER G.J., BALSHI T.J.
A retrospective analysis of 110 zygomatic implants in a single-stage immediate loading protocol.
Int J Oral Maxillofac Implants 2009;**24**(2):335–341.

[31] BALSHI T.J., WOLFINGER G.J., SLAUCH R.W., et coll.
A Retrospective Analysis of 800 Brånemark System Implants Following the All-onFourTM Protocol.
J Prost 2014;**23**(2):83–88.

[32] BARONE A., SANTINI S., SBORDONE L., et coll.
A clinical study of the outcomes and complications associated with maxillary sinus augmentation.
Int J Oral Maxillofac Implants 2006;**21**(1):81–85.

[33] BECKER W., BERG L., BECKER B.E.
Untreated periodontal disease: a longitudinal study.
J Periodontol 1979;**50**(5):234–244.

[34] BECKTOR J.P., ISAKSSON S., ABRAHAMSSON P., et coll.
Evaluation of 31 zygomatic implants and 74 regular dental implants used in 16 patients for prosthetic reconstruction of the atrophic maxilla with cross-arch fixed bridges.
Clin Implant Dent Res 2005;**7**(3):159–165.

[35] BEDROSSIAN E.
Rehabilitation of the edentulous maxilla with the zygoma concept: a 7-year prospective study.
Int J Oral Maxillofac Implants 2010;**25**(6):1213–1221.

[36] BEDROSSIAN E., RANGERT B., STUMPEL L., et coll.
Immediate function with the zygomatic implant: a graftless solution for the patient with mild to advanced atrophy of the maxilla.
Int J Oral Maxillofac Implants 2006;**21**(6):937–942.

[37] BEDROSSIAN E., STUMPEL L.J.
Immediate stabilization at stage II of zygomatic implants: rationale and technique.
J Prosthet Dent 2001;**86**(1):10–14.

[38] BEGG T., GEERTS G.A.V.M., GRYZAGORIDIS J.
Stress patterns around distal angled implants in the all-on-four concept configuration.
Int J Oral Maxillofac Implants 2009;**24**(4):663–671.

[39] BELLINI C.M., ROMEO D., GALBUSERA F., et coll.
Comparison of tilted versus nontilted implant-supported prosthetic designs for the restoration of the edentuous mandible: a biomechanical study.
Int J Oral Maxillofac Implants 2009;**24**(3):511–517.

[40] BERT M.
Complications et échecs en implantologie : causes - traitement – prévention.
Paris : CdP, 1994

[41] BEVILACQUA M., TEALDO T., MENINI M., et coll.
The influence of cantilever length and implant inclination on stress distribution in maxillary implant-supported fixed dentures. Part 1.
J Prosthet Dent 2011;**105**(1):5–13.

[42] BEVILACQUA M., TEALDO T., MENINI M., et coll.
The influence of cantilever length and implant inclination on stress distribution in maxillary implant-supported fixed dentures. Part 2.
J Prosthet Dent 2011;**105**(1):14–19.

[43] BEVILACQUA M., TEALDO T., PERA F., et coll.
Three-dimensional finite element analysis of load transmission using different implant inclinations and cantilever lengths. Part 1.
Int J Prosthodont 2008;**21**(6):539–542.

[44] BEVILACQUA M., TEALDO T., PERA F., et coll.
Three-dimensional finite element analysis of load transmission using different implant inclinations and cantilever lengths. Part 2.
Int J Prosthodont 2008;**21**(6):543–557.

[45] VAN DER BILT A.
Assessment of mastication with implications for oral rehabilitation: a review.
J Oral Rehabil 2011;**38**(10):754–780.

[46] VAN DER BILT A., TEKAMP A., VAN DER GLAS H., et coll.
Bite force and electromyograpy during maximum unilateral and bilateral clenching.
Eur J Oral Sci 2008;**116**(3):217–222.

[47] BLOCK M.S., HAGGERTY C.J., FISHER G.R.
Nongrafting implant options for restoration of the edentulous maxilla.
J Oral Maxillofac Surg 2009;**67**(4): 872–881.

[48] BOTHUR S., JONSSON G., SANDAHL L.
Modified technique using multiple zygomatic implants in reconstruction of the atrophic maxilla: a technical note.
Int J Oral Maxillofac Implants 2003;**18**(6)902–904.

[49] BOYES-VARLEY J.G., HOWES D.G., LOWNIE J.F., et coll.
Surgical modifications to the Brånemark zygomaticus protocol in the treatment of the severely resorbed maxilla: a clinical report.
Int J Oral Maxillofac Implants 2003;**18**(2):232–237.

[50] BRÄGGER U., KAROUSSIS I., PERSSON R., et coll.
Technical and biological complications/failures with single crowns and fixed partial dentures on implants: a 10-year prospective cohort study.
Clin Oral Implant Res 2005;**16**(3):326–334.

[51] BRÅNEMARK P.-I., GRÖNDAHL K., OHRNELL L.-O., et coll.
Zygoma fixture in the management of advanced atrophy of the maxilla: technique and long-term results.
Scand J of Plast Surg 2004;**38**(2):70–85.

[52] BRÅNEMARK P.I., HANSSON B.O., ADELL R., et coll.
Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10year period.
Scand J Plast Surg 1977;**16**(Suppl):1–132.

[53] BRAUN S., BANTLEON H.P., HNAT W.P., et coll.
A study of bite force, part 1: Relationship to various physical characteristics.
Angle Orthod 1995;**65**(5):367–372.

[54] BRUNSKI J.B.
Biomechanical aspects of oral/maxillofacial implants.
Int J Prosthodont 2003;**16**(Suppl):30–32.

[55] DE BRUYN H., COLLAERT B.
The effect of smoking on early implant failure.
Clin Oral Implant Res 1994;**5**(4):260–264.

[56] BUSER D., BRÄGGER U., LANG N.P., et coll.
Regeneration and enlargement of jaw bone using guided tissue regeneration.
Clin Oral Implant Res 1990;**1**(1):22–32.

[57] BUSER D., DULA K., BELSER U.C., et coll.
Localized ridge augmentation using guided bone regeneration. II. Surgical procedure in the mandible.
Int J Periodont Rest Dent 1995;**15**(1):10–29.

[58] BUSER D., MERICSKE-STERN R., BERNARD J.P., et coll.
Long-term evaluation of non-submerged ITI implants. Part 1: 8-year life table analysis of a prospective multi-center study with 2359 implants.
Clin Oral Implant Res 1997;**8**(3):161–172.

[59] CALANDRIELLO R., TOMATIS M.
Simplified treatment of the atrophic posterior maxilla via immediate/early function and tilted implants: A prospective 1-year clinical study.
Clin Implant Dent Res 2005;**7**(Suppl 1):1–12.

[60] CAPELLI M.
Autogenous bone graft from the mandibular ramus: a technique for bone augmentation.
Int J Periodont Rest Dent 2003;**23**(3):277–285.

[61] CAPELLI M., ZUFFETTI F., DEL FABBRO M., et coll.
Immediate rehabilitation of the completely edentulous jaw with fixed prostheses supported by either upright or tilted implants: a multicenter clinical study.
Int J Oral Maxillofac 2007;**22**(4):639–644.

[62] CAVALLI N., BARBARO B., SPASARI D., et coll.
Tilted implants for full-arch rehabilitations in completely edentulous maxilla: a retrospective study.
Int J Dent 2012;**18**(2):39–64.

[63] CAWOOD J.I., HOWELL R.A.
A classification of the edentulous jaws.
Int J Oral Maxillofa Surg 1988;**17**(4):232–236.

[64] CAWOOD J.I., HOWELL R.A.
Reconstructive preprosthetic surgery. I. Anatomical considerations.
Int J Oral Maxillofac Surg 1991;**20**(2):75– 82.

[65] CHANAVAZ M.
Maxillary sinus: anatomy, physiology, surgery, and bone grafting related to implantology--eleven years of surgical experience (1979-1990).
J Oral Implantol 1990;**16**(3):199–209.

[66] CHOW J., HUI E., LEE P.K.M., et coll.
Zygomatic implants--protocol for immediate occlusal loading: a preliminary report.
J Oral Maxillofac Surg 2006;**64**(5):804–811.

[67] CLARK G.T., CARTER M.C.
Electromyographic study of human jaw-closing muscle endurance, fatigue and recovery at various isometric force levels.
Arch Oral Biol 1985;**30**(7):563–569.

[68] COLOMINA L.E.
Immediate loading of implant-fixed mandibular prostheses: a prospective 18-month follow-up clinical study--preliminary report.
Implant Dent 2001;**10**(1):23–29.

[69] CORBELLA S., DEL FABBRO M., TASCHIERI S., et coll.
Clinical evaluation of an implant maintenance protocol for the prevention of periimplant diseases in patients treated with immediately loaded full-arch rehabilitations. Part 1.
Int J Dent Hygiene 2011;**9**(3):216–222.

[70] CORBELLA S., DEL FABBRO M., TASCHIERI S., et coll.
Clinical evaluation of an implant maintenance protocol for the prevention of periimplant diseases in patients treated with immediately loaded full-arch rehabilitations. Part 2.
Int J Dent Hygiene 2011;**9**(3):223–242.

[71] CORVELLO P.C., MONTAGNER A., BATISTA F.C., et coll.
Length of the drilling holes of zygomatic implants inserted with the standard technique or a revised method: a comparative study in dry skulls.
J Cranio-Maxillofac Surg 2011;**39**(2):119–123.

[72] DAVARPANAH M.
Manuel d'implantologie clinique. Collection JPIO.
Paris : CdP, 1999.

[73] DAVARPANAH M, SZMUKLER-MONCLAIR S. et coll.
Manuel d'implantologie clinique : Concepts, protocoles et innovations récentes. 2ème éd.
Paris : CdP, 2008.

[74] DAVÓ R.
Zygomatic implants placed with a two-stage procedure: a 5-year retrospective study.
Eur J Oral Implantol 2009;**2**(2):115–124.

[75] DAVO R., MALEVEZ C., ROJAS J.
Immediate function in the atrophic maxilla using zygoma implants: a preliminary study.
J Prosthet Dent 2007;**97**(6):44–51.

[76] DAVÓ R., MALEVEZ C., ROJAS J., et coll.
Clinical outcome of 42 patients treated with 81 immediately loaded zygomatic implants:
a 12- to 42-month retrospective study.
Eur J Oral Implantol 2008;**1**(2):141–150.

[77] DAVO R., PONS O., ROJAS J., et coll.
Immediate function of four zygomatic implants: a 1-year report of a prospective study.
Eur J Oral Implantol 2010;**3**(4):323–334.

[78] DEGIDI M., NARDI D., PIATTELLI A.
Immediate loading of the edentulous maxilla with a definitive restoration supported by an intraorally welded titanium bar and tilted implants.
Int J Oral Maxillofac Implant 2010;**25**(6):1175–1182.

[79] DI P., LIN Y., LI J.-H., et coll.
The All-on-Four implant therapy protocol in the management of edentulous Chinese patients.
Int J Prosthodont 2013;**26**(6):509–516.

[80] DUARTE L.R., FILHO H.N., FRANCISCHONE C.E., et coll.
The establishment of a protocol for the total rehabilitation of atrophic maxillae employing four zygomatic fixtures in an immediate loading system--a 30-month clinical and radiographic follow-up.
Clin Implant Dent Res 2007;**9**(4):186– 196.

[81] EMAMI E., HEYDECKE G., ROMPRÉ P.H., et coll.
Impact of implant support for mandibular dentures on satisfaction, oral and general health-related quality of life: a meta-analysis of randomized-controlled trials.
Clin Oral Implant Res 2009;**20**(6):533–544.

[82] ESKITASCIOGLU G., USUMEZ A., SEVIMAY M., et coll.
The influence of occlusal loading location on stresses transferred to implant-supported prostheses and supporting bone: A three-dimensional finite element study.
J Prosthet Dent 2004;**91**(2):144–150.

[83] FARZAD P., ANDERSSON L., GUNNARSSON S., et coll.
Rehabilitation of severely resorbed maxillae with zygomatic implants: an evaluation of implant stability, tissue conditions, and patients' opinion before and after treatment.
Int J Oral Maxillofa Implants 2006;**21**(3):399–404.

[84] FAVOT L.-M., BERRY-KROMER V., HABOUSSI M., et coll.
Numerical study of the influence of material parameters on the mechanical behaviour of a rehabilitated edentulous mandible.
J Dent 2013;**21**(4):248– 252.

[85] FAZI G., TELLINI S., VANGI D., et coll.
Three-dimensional finite element analysis of different implant configurations for a mandibular fixed prosthesis.
Int J Oral Maxillofac Implants 2011;**26**(4):752–759.

[86] FERRARIO V.F., SFORZA C., SERRAO G., et coll.
Single tooth bite forces in healthy young adults.
J Oral Rehabil 2004;**31**(1):18–22.

[87] FRANCETTI L., AGLIARDI E., TESTORI T., et coll.
Immediate rehabilitation of the mandible with fixed full prosthesis supported by axial and tilted implants: interim results of a single cohort prospective study.
Clin Implant Dent Res 2008;**10**(4):255– 263.

[88] FRANCETTI L., CORBELLA S., TASCHIERI S., et coll.
Medium- and Long-Term Complications in Full-Arch Rehabilitations Supported by Upright and Tilted Implants.
Clin Implant Dent Res 28 November 2013;**21**(4):248– 252.

[89] FRANCETTI L., ROMEO D., CORBELLA S., et coll.
Bone level changes around axial and tilted implants in full-arch fixed immediate restorations. Interim results of a prospective study.
Clin Implant Dent Res 2012;**14**(5):646–654.

[90] FRIBERG B., IVANOFF C.J., LEKHOLM U.
Inferior alveolar nerve transposition in combination with Brånemark implant treatment.
Int J Perio Restor Dent 1992;**12**(6):440–449.

[91] GALINDO D.F., BUTURA C.C.
Immediately loaded mandibular fixed implant prostheses using the all-on-four protocol: a report of 183 consecutively treated patients with 1 year of function in definitive prostheses.
Int J Oral Maxillofa Imp 2012;**27**(3):628–633.

[92] GARG A.K.
Implant Dentistry, 2nd éd.
London : Mosby, 2009

[93] GAUDY J.-F.
Anatomie clinique. Collection JPIO.
Paris : CdP, 2003

[94] GIBBS C.H., MAHAN P.E., LUNDEEN H.C., et coll.
Occlusal forces during chewing influences of biting strength and food consistency.
J Prosthet Dent 1981;**46**(5):561–567.

[95] GILAIN L ET LAURENT S.
Sinusites maxillaires.
Encycl Med Chir (Paris), Oto-rhino-laryngologie, 20-430-A-10, 2005, 10.

[96] GOLDMAN M.J., ROSS I.F., GOTEINER D.
Effect of periodontal therapy on patients maintained for 15 years or longer. A retrospective study.
J Perio 1986;**57**(6):347–353.

[97] GRANDI T., GUAZZI P., SAMARANI R., et coll.
Immediate loading of four (all-on-4) post-extractive implants supporting mandibular cross-arch fixed prostheses: 18-month follow-up from a multicentre prospective cohort study.
Eur J Oral Implantol 2012;**5**(3):277–285.

[98] GREENSTEIN G., CAVALLARO J., ROMANOS G., et coll.
Clinical recommendations for avoiding and managing surgical complications associated with implant dentistry: a review.
J Periodontol 2008;**79**(8):1317–1329.

[99] GRUICA B., WANG H.-Y., LANG N.P., et coll.
Impact of IL-1 genotype and smoking status on the prognosis of osseointegrated implants.
Clin Oral Implants Res 2004;**15**(4):393–400.

[100] GUCKES A.D., SCURRIA M.S., SHUGARS D.A.
A conceptual framework for understanding outcomes of oral implant therapy.
J Prosthet Dent 1996;**75**(6):633–639.

[101] HAGBERG C.
The amplitude distribution of electromyographic activity in painful masseter muscles during unilateral chewing.
J Oral Rehabil 1987;**14**(6):531–540.

[102] HATCH J.P., SHINKAI R.S., SAKAI S., et coll.
Determinants of masticatory performance in dentate adults.
Arch Oral Biol 2001;**46**(7):641–648.

[103] HELKIMO E., CARLSSON G.E., HELKIMO M.
Bite force and state of dentition.
Acta Odontol Scand 1977;**35**(6):297–303.

[104] HINZE M., THALMAIR T., BOLZ W., et coll.
Immediate loading of fixed provisional prostheses using four implants for the rehabilitation of the edentulous arch: a prospective clinical study.
Int J Oral Maxillofac Implants 2010;**25**(5):1011–1018.

[105] HIRSCH J.-M., OHRNELL L.-O., HENRY P.J., et coll.
A clinical evaluation of the Zygoma fixture: one year of follow-up at 16 clinics.
J Oral Maxillofac Surg 2004;**62**(9):22–29.

[106] HOFF A.O., TOTH B.B., ALTUNDAG K., et coll.
Frequency and risk factors associated with osteonecrosis of the jaw in cancer patients treated with intravenous bisphosphonates.
J Bone Miner Res 2008;**23**(6):826–836.

[107] HOFSCHNEIDER U., TEPPER G., GAHLEITNER A., et coll.
Assessment of the blood supply to the mental region for reduction of bleeding complications during implant surgery in the interforaminal region.
Int J Oral Maxillofa Imp 1999;**14**(3):379–383.

[108] HÜRZELER M.B., ZUHR O., SCHENK G., et coll.
Distraction osteogenesis: a treatment tool to improve baseline conditions for esthetic restorations on immediately placed dental implants-a case report.
Int J Perio Restor Dent 2002;**22**(5):451–461.

[109] IKEBE K., NOKUBI T., MORII K., et coll.
Association of bite force with ageing and occlusal support in older adults.
J Dent 2005;**33**(2):131–137.

[110] JEFFCOAT M.K.
Safety of oral bisphosphonates: controlled studies on alveolar bone.
Int J Oral Maxillofac Implants 2006;**21**(3):349–353.

[111] JEMT T., STENPORT V., FRIBERG B.
Implant treatment with fixed prostheses in the edentulous maxilla. Part 1: implants and biologic response in two patient cohorts restored between 1986 and 1987 and 15 years later.
Int J Prosthodont 2011;**24**(4)345–355.

[112] KAHNBERG KE.
Bone grafting techniques for maxillary implants.
Oxford : Blackwell Munskgaard, 2005.

[113] KAROUSSIS I.K., BRÄGGER U., SALVI G.E., et coll.
Effect of implant design on survival and success rates of titanium oral implants: a 10year prospective cohort study of the ITI Dental Implant System.
Clin Oral Implants 2004;**15**(1):8–17.

[114] KAWASAKI T., KOMATSU K., TSUCHIYA R.
Tilted placement of tapered implants using a modified surgical template.
J Oral Maxillofac Surg 2011;**69**(6):1642–1650.

[115] KHOURY F.
Augmentation of the sinus floor with mandibular bone block and simultaneous implantation: a 6-year clinical investigation.
Int J Oral Maxillofac Implants 1999;**14**(4):557–564.

[116] KIM K.-S., KIM Y.-L., BAE J.-M., et coll.
Biomechanical comparison of axial and tilted implants for mandibular full-arch fixed prostheses. Part 1.
Int J Oral Maxillofac Implants 2011;**26**(5):976–984.

[117] KIM K.-S., KIM Y.-L., BAE J.-M., et coll.
Biomechanical comparison of axial and tilted implants for mandibular full-arch fixed prostheses. Part 2.
Int J Oral Maxillofac Implants 2011;**26**(5):985–994.

[118] KREKMANOV L., KAHN M., RANGERT B., et coll.
Tilting of posterior mandibular and maxillary implants for improved prosthesis support 1.
Int J Oral Maxillofac Implants 2000;**15**(3):405–414.

[119] KREKMANOV L., KAHN M., RANGERT B., et coll.
Tilting of posterior mandibular and maxillary implants for improved prosthesis support 2.
Int J Oral Maxillofac Implants 2000;**15**(3):415–417.

[120] KRENKEL C., HOLZNER K.
Lingual bone perforation as causal factor in a threatening hemorrhage of the mouth floor due to a single tooth implant in the canine region.
Die Quintessenz 1986;**37**(6):1003–1008.

[121] KRENNMAIR G., SEEMANN R., WEINLÄNDER M., et coll.
Clinical outcome and peri-implant findings of four-implant-supported distal cantilevered fixed mandibular prostheses: five-year results.
Int J Oral Maxillofac Implants 2013;**28**(3):831–840.

[122] LAN T.-H., PAN C.-Y., LEE H.-E., et coll.
Bone stress analysis of various angulations of mesiodistal implants with splinted crowns in the posterior mandible: a three-dimensional finite element study 1.
Int J Oral Maxillofac Implants 2010;**25**(4):763–770.

[123] LAN T.-H., PAN C.-Y., LEE H.-E., et coll.
Bone stress analysis of various angulations of mesiodistal implants with splinted crowns in the posterior mandible: a three-dimensional finite element study 2.
Int J Oral Maxillofac Implants 2010;**25**(4):771–772.

[124] LAZAROVICI T.S., YAHALOM R., TAICHER S., et coll.
Bisphosphonate-related osteonecrosis of the jaws: a single-center study of 101 patients
J Oral Maxillofac Surg 2009;**67**(4):850–855.

[125] LEE S.-M., LEE S.-S., HUH K.-H., et coll.
The effects of location of alveolar crest on the vertical bone heights on panoramic radiographs.
Dentomaxillofac Radiol 2012;**41**(2):117–121.

[126] LEKOVIC V., KENNEY E.B., WEINLAENDER M., et coll.
A bone regenerative approach to alveolar ridge maintenance following tooth extraction.
Report of 10 cases.
J Periodontol 1997;**68**(6):563–570.

[127] MALEVEZ C., ABARCA M., DURDU F., et coll.
Clinical outcome of 103 consecutive zygomatic implants: a 6-48 months follow-up study.
Clin Oral Implants Res 2004;**15**(1):18–22.

[128] MALÓ P., DE ARAÚJO NOBRE M.
Partial rehabilitation of the posterior edentulous maxilla using axial and tilted implants in immediate function to avoid bone grafting.
Compend Contin Educa Dent 2011;**32**(9):E136–145.

[129] MALÓ P., DE ARAÚJO NOBRE M., LOPES A., et coll.
"All-on-4" immediate-function concept for completely edentulous maxillae: a clinical report on the medium (3 years) and long-term (5 years) outcomes.
Clin Implant Dent Relat Res 2012;**14**(Suppl 1):139– 150.

[130] MALÓ P., DE ARAÚJO NOBRE M., LOPES A., et coll.
Preliminary Report on the Outcome of Tilted Implants with Longer Lengths (20-25 mm) in Low-Density Bone: One-Year Follow-Up of a Prospective Cohort Study.
Clin Implant Dent Relat Res 2013;**21**(4):248– 252.

[131] MALÓ P., NOBRE M. DE A., LOPES I.
A new approach to rehabilitate the severely atrophic maxilla using extramaxillary anchored implants in immediate function: a pilot study.
J Prosthet Dent 2008;**100**(5):354–366.

[132] MALÓ P., NOBRE M. DE A., PETERSSON U., et coll.
A pilot study of complete edentulous rehabilitation with immediate function using a new implant design: case series.
Clin Implant Dent Relat Res 2006;**8**(4):223–232.

[133] MALÓ P., NOBRE M. DE, LOPES A.
Immediate loading of "All-on-4" maxillary prostheses using trans-sinus tilted implants without sinus bone grafting: a retrospective study reporting the 3-year outcome.
Eur J Oral Implantol 2013;**6**(3):273–283.

[134] MALÓ P., RANGERT B., NOBRE M.
"All-on-Four" immediate-function concept with Brånemark System implants for completely edentulous mandibles: a retrospective clinical study.
Clin Implant Dent Relat Res 2003;**5**(Suppl 1):2–9.

[135] MALÓ P., RANGERT B., NOBRE M.
All-on-4 immediate-function concept with Brånemark System implants for completely edentulous maxillae: a 1-year retrospective clinical study.
Clin Implant Dent Relat Res 2005;**7**(Suppl 1):S88–94.

[136] MARX R.E., SAWATARI Y., FORTIN M., et coll.
Bisphosphonate-induced exposed bone (osteonecrosis/osteopetrosis) of the jaws: risk factors, recognition, prevention, and treatment.
J Oral Maxillofac Surg 2005;**63**(11):1567–1575.

[137] MCALARNEY M.E., STAVROPOULOS D.N.
Theoretical cantilever lengths versus clinical variables in fifty-five clinical cases.
J Prosthet Dent 2000;**83**(3):332–343.

[138] MCCARTNEY J.W.
Cantilever rests: an alternative to the unsupported distal cantilever of osseointegrated implant-supported prostheses for the edentulous mandible.
J Prosthet Dent 1992;**68**(5):817–819.

[139] MIGLIORANÇA R.M., COPPEDÊ A., DIAS REZENDE R.C.L., et coll.
Restoration of the edentulous maxilla using extrasinus zygomatic implants combined with anterior conventional implants: a retrospective study.
Int J Oral Maxillofac Implants 2011;**26**(3):665–672.

[140] MISCH C.E.
Maxillary sinus augmentation for endosteal implants: organized alternative treatment plans.
Int J Oral Implantol 1987;**4**(2):49– 58.

[141] MISCH C.E., PEREL M.L., WANG H.-L., et coll.
Implant success, survival, and failure: the International Congress of Oral Implantologists (ICOI) Pisa Consensus Conference.
Implant Dent 2008;**17**(1):5–15.

[142] MISCH C.M.
The harvest of ramus bone in conjunction with third molar removal for onlay grafting before placement of dental implants.
J Oral Maxillofac Surg 1999;**57**(11):1376–1379.

[143] MISCH C.M.
Use of the mandibular ramus as a donor site for onlay bone grafting.
J Oral Implantol, 2000;**26**(1):42–49.

[144] MIYAURA K., MORITA M., MATSUKA Y., et coll.
Rehabilitation of biting abilities in patients with different types of dental prostheses.
J Oral Rehabil 2000;**27**(12):1073–1076.

[145] MOMBELLI A., LANG N.P.
Clinical parameters for the evaluation of dental implants.
Periodontolol 2000 1994;**4**:81–86.

[146] [146] MONJE A., CHAN H.-L., SUAREZ F., et coll.
Marginal bone loss around tilted implants in comparison to straight implants: a metaanalysis.
Int J Oral Maxillofac Implants 2012;**27**(6):1576–1583.

[147] MOZZATI M., MONFRIN S.B., PEDRETTI G., et coll.
Immediate loading of maxillary fixed prostheses retained by zygomatic and conventional implants: 24-month preliminary data for a series of clinical case reports.
Int J Oral Maxillofac Implants 2008;**23**(2):308–314.

[148] NAINI R.B., NOKAR S., BORGHEI H., et coll.
Tilted or parallel implant placement in the completely edentulous mandible? A threedimensional finite element analysis.
Int J Oral Maxillofac Imp 2011;**26**(4): 776–781.

[149] AL-NAWAS B., WEGENER J., BENDER C., et coll.
Critical soft tissue parameters of the zygomatic implant.
J Clin Periodontol 2004;**31**(7):497–500.

[150] NEYT L., DERYCKERE F., ABELOOS J., et coll.
Vertical augmentation of the alveolar process by distraction osteogenesis.
Rev Belge Méd Dent 2001;**56**(1):9–14.

[151] NKENKE E., HAHN M., LELL M., et coll.
Anatomic site evaluation of the zygomatic bone for dental implant placement.
Clinical Oral Implants Research, February 2003;**14**(1):72–79.

[152] NYMAN S.
Bone regeneration using the principle of guided tissue regeneration.
J Clin Periodontol 1991;**18**(6):494–498.

[153] OSIER J.F.
Biomechanical load analysis of cantilevered implant systems.
J Oral Implant 1991;**17**(1):40–47.

[154] PANCKO F., DYER J., WEISGLASS S., et coll.
Use of tilted implants in treatment of the atrophic posterior mandible: a preliminary report of a novel approach.
J Oral Maxillofac Surg 2010;**68**(2):407–413.

[155] PAPASPYRIDAKOS P., CHEN C.-J., CHUANG S.-K., et coll.
A systematic review of biologic and technical complications with fixed implant rehabilitations for edentulous patients.
Int J Oral Maxillofac Implants 2012;**27**(1):102–110.

[156] PAPON JF.
Sinusite.
Encycl Med Chir (Paris), Traité de médecine Akos, 6-0460, 2009.

[157] PAREL S.M., BRÅNEMARK P.I., OHRNELL L.O., et coll.
Remote implant anchorage for the rehabilitation of maxillary defects.
J Prosthet Dent 2001;**86**(4):377–381.

[158] PEÑARROCHA DIAGO M., MAESTRE FERRÍN L., PEÑARROCHA OLTRA D., et coll.
Tilted implants for the restoration of posterior mandibles with horizontal atrophy: an alternative treatment.
J Oral Maxillofac Surg 2013;**71**(5):856–864.

[159] PEÑARROCHA M., GARCÍA B., MARTÍ E., et coll.
Rehabilitation of severely atrophic maxillae with fixed implant-supported prostheses using zygomatic implants placed using the sinus slot technique: clinical report on a series of 21 patients.
Int J Oral Maxillofac Implants 2007;**22**(4):645–650.

[160] PEÑARROCHA M., URIBE R., GARCÍA B., et coll.
Zygomatic implants using the sinus slot technique: clinical report of a patient series.
Int J Oral Maxillofac Implants 2005;**20**(5):788–792.

[161] PEÑARROCHA-OLTRA D., CANDEL-MARTÍ E., ATA-ALI J., et coll.
Rehabilitation of the atrophic maxilla with tilted implants: review of the literature.
J Oral Implantol 2013;**39**(5):625–632.

[162] PIETROKOVSKI J., MASSLER M.
Alveolar ridge resorption following tooth extraction.
J Prosthet Dent 1967;**17**(1):21–27.

[163] PIETROKOVSKI J., STARINSKY R., ARENSBURG B., et coll.
Morphologic characteristics of bony edentulous jaws.
J Prost 2007;**16**(2):141–147.

[164] PI URGELL J., REVILLA GUTIÉRREZ V., GAY ESCODA C.G.
Rehabilitation of atrophic maxilla: a review of 101 zygomatic implants.
Medicina Oral Patología Oral Cirugía Bucal 2008;**13**(6)363–370.

[165] POMMER B., MAILATH-POKORNY G., HAAS R., et coll.
Patients' preferences towards minimally invasive treatment alternatives for implant rehabilitation of edentulous jaws.
Eur J Oral Implantol 2014;**7**(2):91–109.

[166] POZZI A., SANNINO G., BARLATTANI A.
Minimally invasive treatment of the atrophic posterior maxilla: a proof-of-concept prospective study with a follow-up of between 36 and 54 months.
J Prosthet Dent 2012;**108**(5):286–297.

[167] QUIRYNEN M., MRAIWA N., VAN STEENBERGHE D., et coll.
Morphology and dimensions of the mandibular jaw bone in the interforaminal region in patients requiring implants in the distal areas.
Clin Oral Implants Res 2003;**14**(3):280–285.

[168] RANDOW K., ERICSSON I., NILNER K., et coll.
Immediate functional loading of Brånemark dental implants. An 18-month clinical follow-up study.
Clin Oral Implants Res 1999;**10**(1):8–15.

[169] RISSOLO A.R., BENNETT J.
Bone grafting and its essential role in implant dentistry.
Dent Clin North Am 1998;**42**(1):91–116.

[170] ROBERTS W.E., SIMMONS K.E., GARETTO L.P., et coll.
Bone physiology and metabolism in dental implantology: risk factors for osteoporosis and other metabolic bone diseases.
Implant Dent 1992;**1**(1):11–21.

[171] ROSÉN A., GYNTHER G.
Implant treatment without bone grafting in edentulous severely resorbed maxillas: a long-term follow-up study.
Oral Maxillofac Surg 2007;**65**(5):1010–1016.

[172] SEBAN A.
Greffes osseuses et implants.
Rueil Malmaison : Editions CdP, 2008.

[173] SHACKLETON J.L., CARR L.
Brånemark fixed implant-supported prostheses: a review of prosthetic problems ».
The Journal of the Dental Association of South Africa.
Tydskrif Tandheelkundige Vereniging Suid-Afrika 1994;**49**(6):293–298.

[174] SHINOGAYA T., BAKKE M., THOMSEN C.E., et coll.
Bite force and occlusal load in healthy young subjects : a methodological study.
Eur J Prosthodont Resto Dent 2000;**8**(1):11–15.

[175] SILVA G.C., MENDONÇA J.A., LOPES L.R., et coll.
Stress patterns on implants in prostheses supported by four or six implants: a threedimensional finite element analysis 1.
Int J Oral Maxillofac Implants 2010;**25**(2):239–246.

[176] SILVA G.C., MENDONÇA J.A., LOPES L.R., et coll.
Stress patterns on implants in prostheses supported by four or six implants: a threedimensional finite element analysis 2.
Int J Oral Maxillofac Implants. 2010;**25**(2):247–249.

[177] SILVA-NETO J.P. DA, PIMENTEL M.J., NEVES F.D. DAS, et coll.
Stress analysis of different configurations of 3 implants to support a fixed prosthesis in an edentulous jaw.
Braz Oral Res 2013;**28**(1):67–73.

[178] SOLAR P., ARO G., ULM C., et coll.
The effects of tooth loss on the anatomy of the maxilla.
Schweiz Monatsschr Zahnmed 1998;**108**(9):871–878.

[179] STIÉVENART M., MALEVEZ C.
Rehabilitation of totally atrophied maxilla by means of four zygomatic implants and fixed prosthesis: a 6-40-month follow-up.
Int J Oral Maxillofac Surg 2010:**39**(4):358– 363.

[180] TARNOW D.P., EMTIAZ S., CLASSI A.
Immediate loading of threaded implants at stage 1 surgery in edentulous arches: ten consecutive case reports with 1- to 5-year data.
Int J Oral Maxillofac Implant 1997;**12**(3):319–324.

[181] TESTORI T., DEL FABBRO M., CAPELLI M., et coll.
Immediate occlusal loading and tilted implants for the rehabilitation of the atrophic edentulous maxilla: 1-year interim results of a multicenter prospective study.
Clin Oral Implants Res 2008;**19**(3): 227–232.

[182] TESTORI T., MANDELLI F., MANTOVANI M., et coll.
Tilted trans-sinus implants for the treatment of maxillary atrophy: case series of 35 consecutive patients.
J Oral Maxillofac Surg 2013;**71**(7):1187–1194.

[183] THOMASON J.M.
The McGill Consensus Statement on Overdentures. Mandibular 2-implant overdentures as first choice standard of care for edentulous patients.
Eur J Prosthodont Rest Dent 2002;**10**(3):95–96.

[184] THOMPSON D.J., THROCKMORTON G.S., BUSCHANG P.H.
The effects of isometric exercise on maximum voluntary bite forces and jaw muscle strength and endurance.
J Oral Rehabil 2001;**28**(10):909–917.

[185] TORTOPIDIS D., LYONS M.F., BAXENDALE R.H., et coll.
The variability of bite force measurement between sessions, in different positions within the dental arch.
J Oral Rehabil 1998;**25**(9):681–686.

[186] DE VICO G., BONINO M., SPINELLI D., et coll.
Rationale for tilted implants: FEA considerations and clinical reports.
Oral Implantol (Rome) 2011;**4**(3-4):23–33.

[187] VRIELINCK L., POLITIS C., SCHEPERS S., et coll.
Image-based planning and clinical validation of zygoma and pterygoid implant placement in patients with severe bone atrophy using customized drill guides. Preliminary results from a prospective clinical follow-up study.
Int J Oral Maxillofac Surg 2003;**32**(1):7–14.

[188] WALTIMO A., KÖNÖNEN M.
A novel bite force recorder and maximal isometric bite force values for healthy young adults.
Scand J Dent Res 1993;**101**(3):171–175.

[189] WEINSTEIN R., AGLIARDI E., FABBRO M.D., et coll.
Immediate rehabilitation of the extremely atrophic mandible with fixed full-prosthesis supported by four implants.
Clin Implant Dent Res 2012;**14**(3):434–441.

[190] WHITE S.N., CAPUTO A.A., ANDERKVIST T.
Effect of cantilever length on stress transfer by implant-supported prostheses.
J Prosthet Dent 1994;**71**(5):493–499.

[191] WILLIAMSON R.A.
Rehabilitation of the resorbed maxilla and mandible using autogenous bone grafts and osseointegrated implants.
Int J Oral Maxillofac Implants 1996;**11**(4):476–488.

[192] ZAMPELIS A., RANGERT B., HEIJL L.
Tilting of splinted implants for improved prosthodontic support: a two-dimensional finite element analysis.
J Prosthet Dent 2007;**97**(6):35–43.

[193] ZICCARDI VB ET BETTS NJ.
Complications of maxillary sinus augmentation. In : JENSOT OT, ed. The Sinus Bone Graft.
Chicago : Quintessence Publishing, 1999:201-208

[194] ZITZMANN N.U., NAEF R., SCHÄRER P.
Resorbable versus nonresorbable membranes in combination with Bio-Oss for guided bone regeneration.
Int J Oral Maxillofac Implants 1997;**12**(6):844–852.

[195] ZITZMANN N.U., SCHÄRER P., MARINELLO C.P.
Long-term results of implants treated with guided bone regeneration: a 5-year prospective study.
Int J Oral Maxillofa Implants 2001;**16**(3):355–366.

[196] ZWAHLEN R.A., GRÄTZ K.W., OECHSLIN C.K., et coll.
Survival rate of zygomatic implants in atrophic or partially resected maxillae prior to functional loading: a retrospective clinical report.
Int J Oral Maxillofac Implants 2006;**21**(3):413–420.

14 TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Classification des types de resorption ("rkl", "classification of residual ridges") selon Cawood et Howell (1988, 1991) _____ *12*
Figure 2 : mesures de la largeur et de la longueur des arcades maxillaires édentées, d'apres Pietrokovski et al. (2007) _____ *16*
Figure 3 : resultats des mesures d'arcades maxillaires edentées, d'apres Pietrokovski et al. (2007) _____ *16*
Figure 4 : largeur de la crete residuelle au maxillaire, d'apres Pietrokovski et al. (2007) _____ *17*
Figure 5 : exemple 1 de maxillaire edente, d'apres Pietrokovski et al. (2007) _____ *18*
Figure 6 : exemple 2 de maxillaire edente, d'apres Pietrokovski et al. (2007) _____ *18*
Figure 7 : radiographie panoramique les lignes de références utilisées pour mesurer les distances dans l'etude *19*
Figure 8 : classification des 5 types de relations entre les racines des dents maxillaires et le sinus, d'apres Sharan et Madjar (2008) _____ *20*
Figure 9 : résultats de l'expension sinusienne en fonction du type de rapport entre dents et sinus, d'après Sharan et Majdar (2008) _____ *20*
Figure 10 : mesures de la resorption centrifuge à la mandibule, d'apres Pietrokovski et al. (2007) _____ *21*
Figure 11 : resultats des mesures d'arcades mandibules edentees, d'apres Pietrokovski et al. (2007) _____ *21*
Figure 12 : aspect frontal d'un maxillaire et d'une mandibule édentés en relation centrée, d'apres Pietrokovski et al. (2007) _____ *22*
Figure 13 : aspect latéral d'un maxillaire et d'une mandibule édentés en relation centrée, d'apres Pietrokovski et al. (2007) _____ *22*
Figure 14 : largeur de la crete residuelle a la mandibule, d'apres Pietrokovski et al. (2007) _____ *22*
Figure 15 : 4 types de rapports antre le sommet de la crete alveolaire et le canal mandibulaire, d'apres Lee et al. (2007) _____ *23*
Figure 16 : definition de la hauteur d'os disponible abh, d'apres Lee et al. (2007) _____ *24*
Figure 17 : exemple de radiographie d'un patient traités par implants inclinés, photo de dr. Schulte _____ *28*
Figure 18 : representation schematique de protocoles avec implants inclinés _____ *29*
Figure 19 : mandibule artificielle (a), mandibule cao avec 4 implants (b) et mandibule cao avec structure implanto-prothetique complete (c), d'apres Favot et al. (2013) _____ *31*
Figure 20 : différents types de configurations testees dans l'etude de Silva-Neto et al. (2013) _____ *32*
Figure 21 : vue frontale (a) et latérale (d) d'un modele fea avec bridge sur 4 implants axiaux, vue frontale (b) et latérale (e) d'un modele maxillaire fea avec all-on-four et vue frontale (c) et latérale (f) d'un maxillaire avec all-on-six, d'apres Almeida et al. (2013) _____ *33*
Figure 22 : vue inférieure des maxillaires fea de la configuration avec implants droits (a), all-on-four (b) et all-on-six (c) et représentations fea de ces configurations (d, e et f), d'apres Almeida et al. (2013) _____ *34*
Figure 23 : presentation des contraintes de von mises autours d'implants, d'apres Naini (2011) _____ *34*
Figure 24 : vue postérieure des 6 configurations etudiees dans l'etude de Fazi et al. (2011) _____ *36*
Figure 25 : : vue superieure des 6 configurations etudiees dans l'etude de Fazi et al. (2011) _____ *36*
Figure 26 : configurations 1 avec implants postérieurs axiaux (a gauche) et 2, 3 et 4 avec implants inclines (a droite), d'apres Bevilacqua (2011) _____ *37*
Figure 27 : resultats de l'etude de bevilacqua et al., avec vue postérieure de l'os compact a gauche et spongieux a droite dans des configuations avec implants droits en haut et inclinés en bas (2011) _____ *37*
Figure 28 : valeurs de contraintes osseuses enregistrées en fonction de l'inclinaison distale des implants postérieurs, d'apres Bevilacqua et al. (2011) _____ *38*
Figure 29 : exemple de modele mandibulaire photoelastique, d'apres kim et al. (2011) _____ *40*
Figure 30 : representation schematique de la localisation et de l'angulation des implants de l'etude, d'apres Ogawa et al. (2010) _____ *41*
Figure 31 : vue latérale de l'application d'une charge verticale de 50n, d'apres Ogawa et al. (2010) _____ *41*

Figure 32 : illustration 1 du principe du levier 43
Figure 33 : illustration 2 du principe du levier 43
Figure 34 : illustration du gain de longueur enfouie de l'implant et de la reduction du cantilever grace à l'inclinaison distale des implants 44
Figure 35 : tableau recapitulatif de l'analyse de la littérature des protocoles de rehabilitation totale avec implants inclinés jusqu'a juin 2014 (e.c. Etude de cohortes ; e.p. Etude prospective ; e.r. Etude retrospective) 49
Figure 36 : taux de survie implantaire de l'analyse de la litterature des protocoles de rehabilitation totale avec implants inclines jusqu'a juin 2014 49
Figure 37 : type d'étude de l'analyse de la litterature des protocoles de rehabilitation totale avec implants inclines jusqu'a juin 2014 50
Figure 38 : niveau de preuve de l'analyse de la litterature des protocoles de rehabilitation totale avec implants inclines jusqu'a juin 2014 51
Figure 39 : tableau analysant les differentes perte osseuses marginales a un an de l'analyse de la litterature 51
Figure 40 : tableau recensant les fourchettes de prix des soins lies a l'implantologie d'apres un magazine de consommateurs (2013) 62
Figure 41 : radiographie postopératoire apres la pose de deux all-on-four montrant l'evitement des obstacles anatomiques, d'apres Malo et al. (2012) 67
Figure 42 : exemple de mucite peri-implantaire, photo google 69
Figure 43 : exemple de peri-implantite, photo google 69
Figure 44 : exemple d'une fracture d'un element d'une prothese implanto-portee, d'apres Francetti et al. (2013) 70
Figure 45 : exemple de fracture de la chape metallique d'une prothese implanto-portee, d'apres Francetti et al. (2013) 70
Figure 46 : taux de survenue des complications relatives aux implants, d'apres Papaspyridakos, (2012) 71
Figure 47 : taux de survenue des complications relatives aux prothèses implanto-portées, d'apres Papaskyridakos (2012) 71
Figure 48 : taux de survenue de complications liees aux implants et aux protheses implanto-portees, d'apres Francetti (2013) 73
Figure 49 : temps moyen de survenue des complications autours des implants et des protheses (avec implants postérieurs inclines), d'apres Francetti et al. (2013) 74
Figure 50 : croisement des resultats des etudes de Francetti et al. Et Papaspyridakos 75
Figure 51 : comparaison des survenues de complications entre les etudes de Papaspyridakos et al. Et Francetti et al. 75
Figure 52 : radiographie d'une réhabilitation avec implants zygomatiques 77
Figure 53 : crane avec un implant zygomatique extra-maxillaire d'apres Aparicio et al. (2014) 77
Figure 54 : branemark system® zygoma 78
Figure 55 : technique utilisant plusieurs implants zygomatiques par hémiarcade, d'apres Bothur et al. (2003) 79
Figure 56 : recommandations de traitements basées sur la présence d'os dans les différentes zones maxillaires, d'apres Bedrossian et al. (2010) 81
Figure 57 : zaga type 0, d'apres Aparicio (2011) 82
Figure 58 : zaga type 1, d'apres Aparicio (2011) 83
Figure 59 : zaga type 2, d'apres Aparicio (2011) 83
Figure 60 : zaga type 3, d'apres Aparicio (2011) 84
Figure 61 : zaga type 4, d'apres Aparicio (2011) 84
Figure 62 : tableau présentant une analyse de la littérature relative au taux de survie des implants zygomatiques 86
Figure 63 : graphique comparant le taux de survie des implants zygomatiques de plusieurs études 87
Figure 64 : graphique comparant le taux de survie des implants classiques dans des protocoles comprenant des implants zygomatiques 88

Figure 65 : comparaison des taux cumulés de survie des implants zygomatiques et classiques des etudes de l'analyse de la littérature _____ *89*
Figure 66 : tableau d'evaluation du succes clinique des implants zygomatiques "zygomatic success code" d'apres Aparicio et al. (2014) _____ *90*
Figure 67 : tableau presentant le nombre de sinusites consécutives a des protocoles d'implants zygomatiques en deux temps chirurgicaux _____ *91*
Figure 68 : tableau presentant le nombre de sinusites consecutives a des protocoles d'implants zygomatiques avec mise en charge immediate _____ *92*
*Figure 69 : comparaison du taux de survenue de sinusite entre les protocoles en 2 temps et la mise en charge immediate*_____ *92*
Figure 70 : exemple de radiographie postopératoire d'un patient édenté total ayant recu deux all-on-four, d'apres Malo et al. (2009) _____ *93*
Figure 71 : cas clinique : radiographie preoperatoire, d'apres Malo et al. (2003) _____ *95*
*Figure 72 : cas clinique : mise en place du guide chirurgical 1, d'apres Malo et al. (2003)*_____ *95*
Figure 73 : cas clinique : mise en place du guide chirurgical 2, d'apresMalo et al. (2003) _____ *96*
Figure 74 : cas clinique : inclinaison des implants postérieurs dans la symphyse mentonniere, d'apres Malo et al. (2003) _____ *96*
*Figure 75 : cas clinique : correction de l'angulation avec les piliers prothétiques, d'apres Malo et al. (2003)*___ *96*
Figure 76 : cas clinique : mise en place de la prothèse provisoire, d'apres Malo et al. (2003) _____ *97*
Figure 77 : cas clinique : pose de la prothese definitive en céramique, d'apres Malo et al. (2003) _____ *97*
Figure 78 : cas clinique : radiographie postoperatoire apres la pose de la prothese definitive en ceramique, d'apres Malo et al. (2003) _____ *97*
*Figure 79 : cas clinique : mise en place d'un pilier prothetique au maxillaire, d'apres Malo et al. (2003)*_____ *98*
Figure 80 : cas clinique : radiographie postoperatoire montrant l'evitement des obstacles anatomiques au maxillaire et a la mandibule, d'apres Malo et al. (2003) _____ *98*
Figure 81 : cas clinique : photographie d'une patients apres la mise en place d'une prothese provisoire le jour de la pose des implants, d'apres Malo et al. (2003) _____ *99*

DAUZAT (Clément). - Intérêts et limites de l'utilisation des implants fortement inclinés : analyse de la littérature,
134 f. ; ill. ; tabl. ; 196 ref. ; 30 cm. (Thèse : Chir. Dent. ; Nantes ; 2014)

RESUME

L'inclinaison distale des implants postérieurs est une technique introduite comme une alternative aux protocoles traditionnels de réhabilitation des maxillaires totalement édentés. En première intention, il s'agit de pouvoir s'affranchir des techniques de greffes osseuses en longeant les obstacles anatomiques (sinus et nerfs) et ainsi d'agrandir le champ d'indication des restaurations totales fixes sur implants.

D'un point de vue biomécanique, l'utilisation des implants inclinés est justifiée par la diminution de la longueur des cantilevers, et permet l'amélioration de la répartition des charges.

RUBRIQUE DE CLASSEMENT : Implantologie

MOTS CLES MESH

Pose d'implants dentaires endo-osseux – dental implantation endosseus
Résorption osseuse – bone resorption
Implants dentaires – dental implants
Prothèse dentaire complète – denture, complete

JURY

Président : Monsieur le Professeur Philippe LESCLOUS
Directeur : Monsieur le Docteur Alain HOORNAERT
Assesseur : Monsieur le Docteur Saïd KIMAKHE
Assesseur : Madame le Docteur Claire MACON
Membre invité : Monsieur le Docteur Gilles ROMIEUX

ADRESSE DE L'AUTEUR

66 rue des Gabarres – 17430 Cabariot
clementdoz@hotmail.fr