

UNIVERSITE DE NANTES

UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Année 2006

Thèse N° 37:

**Aménagement tissulaire pré-implantaire par
distraction osseuse alvéolaire**

THESE POUR LE DIPLOME D'ETAT DE
DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

*Présentée
Et soutenue publiquement par*

Monsieur **Feuillet Damien**
Né le 22/04/1979

Le octobre 2006 devant le jury ci-dessous

Président : Monsieur le Professeur O.LABOUX
Assesseur : Monsieur le Professeur A.DANIELS
Assesseur : Monsieur le Docteur A.SAFFARZADEH
Assesseur : Monsieur le Docteur J.F.BREMOND

Directeur de thèse : Monsieur le Docteur S.KIMAKHE

TABLE DES MATIÈRES

I Introduction.....	9
II. Fondement de l'ostéogénèse par distraction	9
II.1. Biologie de la réparation d'une fracture osseuse.....	11
II.1.1. Evènements inflammatoires, formation du cal et remodelage	11
II.1.2. Chronologie des évènements	15
II.1.3. Implication des facteurs de croissance	16
II .2. Fondement biologique de l'ostéogénèse par distraction	17
II.2.1. ostéogénèse par distraction : des os long aux procès alvéolaires.....	18
II.2.2. Cicatrisation osseuse et ostéogénèse par distraction.....	21
II.2.3. Comportement du périoste et des tissus mous.....	23
III. Indications, description des techniques, et utilisation des dispositifs de distraction alvéolaire	27
III.1 Classification clinique des défauts verticaux	27
III.2 Indications, contre-indications de l'ostéogénèse par distraction alvéolaire	29
III.3 Principes et technique chirurgicale	30
III.3.1 Plan de traitement.....	30
III.3.2 Principes chirurgicaux.....	31
III.3.3 Procédure chirurgicale originale.....	33
III.3.4 Procédures chirurgicales modifiées	35
III.4 Techniques de distraction pour un gain transversal	37
III.4.1 Technique originale.....	37
III.4.2 Technique modifiée.....	39
III.4.3 Dispositif spécifique et études cliniques.....	40
III.5 Ajustement implantaire multidimensionnel	41
III.5.1 Dispositifs.....	42
III.5.2 Indications	44
III.5.3 Procédure chirurgicale	44
III.5.4 Résultats	45
III.6. Détermination et stabilisation du vecteur pendant la distraction alvéolaire	46
III.6.1 Détermination du vecteur de distraction.....	46
III.6.2 Altération du vecteur de distraction.....	47
III.6.3 Maintien du vecteur de distraction	48
III.7. Dispositifs de distraction	51
III.7.1 Approche orthodontique.....	52
III.7.2 Distracteurs intra et extra osseux.....	53
III.7.3 Implants distracteurs.....	65
IV. Revue de la littérature : Quels protocoles pour quels résultats ?	68
IV.1 Revue des études	68
IV.2 Facteurs conditionnant la réussite de la distraction	68
IV.2.1 Technique d'anesthésie.....	68
IV.2.2 Phase chirurgicale et ostéotomie.....	69
IV.2.3 Période de latence.....	70
IV.2.4 Phase de distraction active.....	71
IV.2.5 Phase de consolidation.....	77
IV.2.6 Cas des implants distracteurs.....	81
IV.2.7 Age et habitudes de vie	81
IV.2.8 Application d'agents physiques et pharmacologiques	82
IV.3 Implantation au niveau de la zone distracté	84
IV.3.1 Classification clinique post distraction	84
IV.3.2 Mise en place des implants	85
IV.3.3 Quand placer les implants ?	87
IV.3.4 Taux de survie et succès implantaire	88
IV.4 Complications et conduite à tenir	88

V. Place de l'ostéogenèse par distraction alvéolaire parmi les techniques d'aménagement tissulaire pré-implantaire : revue de la littérature.	92
V.1.1 Avantages.....	92
V.1.2 Inconvénients.....	92
V.2. Ostéogenèse par distraction <i>versus</i> techniques conventionnelles d'aménagement tissulaire.....	93
V.2.1 Comparaison entre la distraction alvéolaire et la régénération osseuse guidée lors d'aménagement de défauts tissulaire verticaux.	93
V.2.2 Comparaison entre la distraction alvéolaire et les greffes osseuses d'apposition lors d'aménagement de défauts tissulaires verticaux	99
VI. Conclusion	105
VII. Références bibliographiques	107
VIII Annexes	116
Annexe 1 : Tableau 6.....	117
Annexe 2: Liste des abréviations et unités utilisées	120
AnNexe 3.....	121

Aménagement tissulaire pré-implantaire par distraction osseuse alvéolaire

I Introduction

L'ostéointégration des implants endo osseux est largement reportée dans la littérature scientifique. L'obtention de l'ostéointégration est prédictible et reproductible. Cependant, la mise en place d'implants endo osseux est conditionnée par l'existence d'un volume osseux adéquat, et par une anatomie des procès alvéolaires adaptée. Parmi toute la gamme des défauts osseux, les défauts verticaux sont les plus délicats à réhabiliter. Depuis dix ans, une technique d'orthopédie, **l'ostéogenèse par distraction**, donne des résultats étonnants au niveau des procès alvéolaires pour l'aménagement osseux pré-implantaire. Le terme distraction est issu du terme latin *distrahitio* qui signifie division, séparation, et souligne une idée de désunion et d'éloignement. Achille, dans la mythologie grecque, est parfois nommé comme *distractor*, c'est-à-dire *celui qui tire en sens divers*, du fait de sa volonté opposé à Agamemnon au début de la guerre de Troie. Le terme distraction a donc une signification de division dynamique qui provoque un éloignement.

L'ostéogenèse par distraction est une technique, d'abord élaborée pour l'allongement des os longs, qui consiste à réaliser un trait d'ostéotomie entre deux pièces osseuses, et à les éloigner l'une de l'autre progressivement. Ce mouvement d'éloignement relatif crée un étirement du cal osseux formé au niveau du trait d'ostéotomie. Ce cal étiré se minéralise, et devient du tissu osseux après une phase de maturation.

Nous verrons dans un premier temps quels phénomènes cellulaires et tissulaires ont lieu lors de la distraction, et l'importance des charges mécaniques appliquées sur la physiologie osseuse. Dans un deuxième temps, nous décrirons les aspects techniques de cette méthode. Nous décrirons ensuite les résultats obtenus par cette technique, et les facteurs conditionnant sa réussite. Nous terminerons en présentant la place de la distraction alvéolaire parmi les différentes techniques d'aménagement tissulaire pré implantaire.

II. FONDEMENT DE L'OSTEOGENESE PAR DISTRACTION

Avant 1964, le concept de physiologie osseuse repose sur les cellules effectrices (chondroblastes, fibroblastes, ostéoclastes, ostéoblastes, ...) régulées par des agents non mécaniques déterminant largement l'architecture, la résistance, la santé de nos os, articulations, ligaments, tendons... Les fonctions organiques de nos os étaient supportées par les fonctions cellulaires. Les phénomènes biomécaniques et les fonctions tissulaires n'avaient pas de rôle dans ce concept physiologique.

En 1964, H.M. Frost et W. Jee amorcent une réflexion sur les concepts existant de physiologie osseuse en compilant un grand nombre d'études. Ils montrent ainsi, que les cellules effectrices ne sont qu'une partie des éléments soutenant la fonction tissulaire osseuse, comme les cellules rénales ne sont qu'une partie du néphron, ou les roues qu'une partie d'une voiture. Dans leur concept, les cellules effectrices osseuses sont nécessaires à la fonction tissulaire, mais ne sont pas suffisantes ; la charge mécanique joue un rôle prépondérant en induisant à l'organe osseux des modifications structurelles et fonctionnelles.

A l'issue de leurs recherches, Frost et Jee énoncent un certain nombre d'hypothèses. Ces hypothèses, s'affinant au cours des études, ont été appelées *paradigme de l'Utah*, du nom de leur université. Le paradigme de l'Utah est un ensemble de théories (de fait démontrées), liant la physiologie du tissu osseux à la biomécanique osseuse. On peut le résumer sommairement par les propositions suivantes :

- La charge mécanique appliquée sur les os provoque des contraintes qui génèrent des signaux que des cellules peuvent détecter et auxquels les même cellules ou d'autres cellules peuvent répondre.
- Les seuils de détection de ces signaux sont déterminés génétiquement et contrôlent le modelage ou le remodelage osseux.
- La stimulation mécanique (poids, tension musculaire, contraintes dentaires) provoque une adaptation des caractéristiques (résistance, densité, taille de corticale, volume trabéculaire) du tissu osseux.
- L'adaptation du tissu osseux est fonction de l'intensité des contraintes appliquées.

L'ostéogenèse par distraction est une des applications issue de ces connaissances.

II.1. BIOLOGIE DE LA REPARATION D'UNE FRACTURE OSSEUSE

La cicatrisation osseuse après fracture est caractérisée par plusieurs phases intriquées les unes aux autres.

II.1.1. Evènements inflammatoires, formation du cal et remodelage

II.1.1.1 La phase inflammatoire

Suite à une fracture ou à une ostéotomie, il existe une rupture vasculaire artério-veineuse. Au niveau du foyer de fracture ou de la zone de discontinuité, il y a rapidement formation d'un caillot, les lacunes ostéocytaires sont vides, et les facteurs d'hémostase appartenant à la cascade de coagulation interviennent (Hollinger et Mayer, 1999).

Dans un premier temps, les plaquettes jouent un rôle primordial. Elles ont un rôle de coagulation immédiate, mais surtout, elles expriment les facteurs de croissance mitogéniques pour les fibroblastes, les cellules endothéliales vasculaires et les cellules des muscles lisses vasculaires, qui permettent rapidement une néo vascularisation capitale pour la régénération osseuse. La formation de l'hématome s'accompagne des phénomènes habituels de la réaction inflammatoire : vasodilatation des capillaires, des phénomènes cellulaires et humoraux, avec une exsudation du plasma et des médiateurs de l'inflammation. La rupture de continuité des vaisseaux sanguins entraîne l'apparition au niveau du site de contingents de cellules indifférenciées, de macrophages, de polynucléaires neutrophiles, d'histiocytes et de lymphocytes.

Ce caillot s'organise en hématome comprenant des facteurs de différenciation et de croissance cellulaire, et de nombreux contingents cellulaires. Ce caillot décolle le périoste et les tissus périphériques lors de la phase exsudative. Le périoste est composé d'une couche externe de cellules fibreuses et de fibres élastiques qui encapsulent l'os, et d'une couche interne, comprenant des cellules ostéoprogénitrices.

Ainsi, à l'issue de la phase inflammatoire, la zone de fracture ou d'ostéotomie est comblée de tissu de granulation. Les berges de la fracture commencent leurs résorptions, et une réaction vasculaire à partir du réseau périosté entraîne une néoangiogénèse (Hollinger et Mayer, 1999).

II.1.1.2 La formation du cal

La réparation d'une fracture ou d'un trait d'ostéotomie est caractérisée par l'interposition d'un tissu appelé **cal**, dont le but est de rétablir la continuité entre les fragments. Classiquement, le cal a été décrit au niveau de la corticale des diaphyses des os longs. A ce niveau, il a une structure fibrocartilagineuse. Au niveau du tissu osseux spongieux, le cal est composé de tissu fibroconjonctif non cartilagineux. C'est ce type de cal que l'on retrouve dans les défauts osseux et fracture sans continuité du maxillaire et de la mandibule.

Ce tissu de granulation fibroconjonctif forme une couronne autour du foyer de fracture. Les cellules mésenchymateuses périvasculaires se différencient en ostéoblastes (fig.1). Ces cellules ostéogéniques se situent dans les couches périphériques du cal fibroconjonctif et s'organisent pour synthétiser de l'os immature appelé os tissé ou **woven bone** (Einborn et coll. 1998) (fig.1). Il sera ensuite résorbé par des ostéoclastes, puis remplacé par de l'os lamellaire synthétisé par une autre équipe d'ostéoblastes (fig. 2). Ce tissu ostéoïde a une structure anarchique et est peu minéralisé. La formation osseuse au niveau des maxillaires s'apparente plutôt à une ossification de type membraneuse (fig.3 et 4). Cette ossification se fait sans ébauche cartilagineuse préalable. L'ossification se fait de façon centripète, la périphérie de la zone d'ossification étant le siège d'une prolifération active des cellules mésenchymateuses (fig.5).

Après la minéralisation de ce cal (et seulement la minéralisation achevée), le remodelage est réalisé par des complexes cellulaires, composées d'ostéoblastes et d'ostéoclastes, fonctionnant indépendamment, et appelées *basic multicellular unit* ou BMU. Ces BMU remplacent le tissu minéralisé immature par des zones d'os lamellaire orienté dans la direction des tensions et des compressions exercé majoritairement.

Cette phase de remodelage est la cicatrisation osseuse primaire.

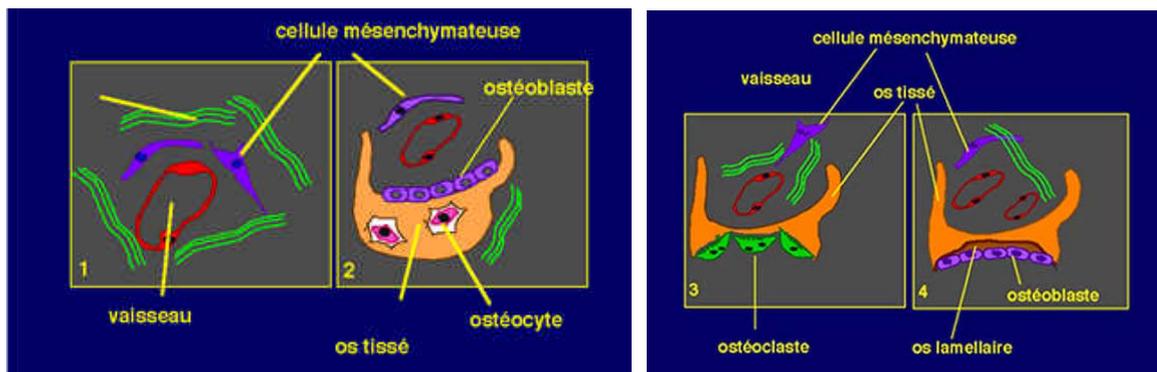


Figure 1 : Néangiogénèse et ossification membranaire: les cellules mésenchymateuse migrent à proximité des vaisseaux nouvellement formé

Figure 2 : ossification membranaire, et apposition d'os tissé : Les cellules mésenchymateuse se différencient en ostéoblaste et commence une apposition de matrice extra cellulaire progressivement minéralisé. Ce tissu ostéoïde à une organisation anarchique et sa minéralisation n'a pas de structure ordonnée. Les ostéoblastes piégés dans ce tissu se différencient en ostéocytes.

Figure 3 et 4: résorption de l'os tissé et apposition d'os lamellaire ayant une structure organique et minéral ordonnée. (D'après cours d'histologie université de St Etienne www.univ-st-etienne.fr/lbto/www/tissu-osseux/chapitres/6ossif.html)

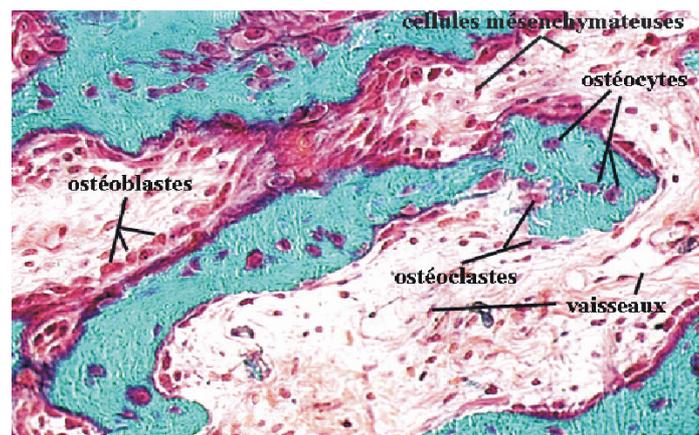


Figure 5 : Coupe histologique d'ossification membranaire : Les ostéoblastes entourent les centres d'ossification, l'apposition d'os tissé est contemporaines des phénomènes de résorption et d'apposition d'os lamellaire. (D'après cours d'histologie université de St Etienne www.univ-st-etienne.fr/lbto/www/tissu-osseux/chapitres/6ossif.html)

II.1.1.3 Le modelage osseux

L'ultime étape de la cicatrisation osseuse est le modelage du cal osseux. Les concepts actuels du modelage osseux après cicatrisation du cal sont issus principalement des recherches menées par H. M. Frost (1989), père avec W.S. Jee du paradigme de L'Utah décrit précédemment. Le modelage osseux repose sur la **plasticité phénotypique** du tissu osseux. Le modelage est réalisé à partir de complexes cellulaires, composées

d'ostéoblastes et d'ostéoclastes ou BMU. Cette phase est contemporaine des phases de remodelage interne.

La production du cal initial dépend principalement d'agents biochimiques relargués par les cellules traumatisées locales. Cependant, des contraintes de faible intensité peuvent aider et guider les phases de remodelage osseux et de modelage cicatriciel. Sans contraintes appliquées sur la zone de cicatrisation, le modelage s'effectue lentement et n'optimise pas mécaniquement la structure osseuse. Les contraintes (fonctionnelles ou non) et les micro-fractures de fatigue favorisent le recrutement et la création de BMU, grâce à des gradients de pression et des courants piézo électriques qui en résultent.

Les agents non mécaniques peuvent favoriser ou gêner l'influence des facteurs mécaniques, mais ne peuvent pas les remplacer. Des contraintes excessives empêchent l'union des fragments osseux et provoquent une pseudarthrose. Les contraintes naturelles utiles se situent entre 200 et 1500 microtensions ; en comparaison une fracture osseuse peut se produire à 25000 microtensions (tableau 1). La microtension ($\mu\epsilon$) est une unité de mesure orthopédique expérimentale décrivant la compression ou l'étirement d'un tissu osseux. Une valeur de 1000 $\mu\epsilon$, correspond à 0.1% d'allongement ou de raccourcissement d'un tissu osseux soit l'application moyenne de 20 MPa.

50 à 100 microtension ; $\approx 1-2$ MPa, ou ≈ 0.1 kg/mm² = Seuil de contrainte, au dessous duquel il existe résorption osseuse et déclin structurel par sous stimulation. Ce seuil est génétiquement déterminé.

1000-1500 microtensions ; ≈ 20 MPa, ou ≈ 2 kg/mm² = Champ de contraintes contribuant au modelage osseux et à son homéostasie structurelle. Les valeurs supérieures au champ conduisent à l'accroissement de la résistance osseuse. Ce champ de contraintes tolérées est déterminé génétiquement.

3000 microtensions ; ≈ 60 MPa, ou ≈ 6 kg/mm² = Seuil provoquant de microscopiques fractures de fatigue ; à partir de ce seuil, ces micro fractures de fatigue peuvent s'accumuler car elles dépassent en fréquence la capacité de réparation osseuse. Ce seuil est génétiquement déterminé.

25000 microtensions ; ≈ 120 MPa, ou ≈ 12 kg/mm² chez le jeune adulte sain = fracture

MPa= megaPascal = 10^6 Newtons/m. 1 Newton correspond à environs 0.225 kg/mm² = « unité de charge ».

1000 microtension = 0.1% d'allongement ou de raccourcissement, et la fracture osseuse à 25000 microtension équivaut à 2.5% d'allongement ou de raccourcissement.

Les données ci dessus sont établies pour de l'os lamellaire cortical chez le jeune adulte sain

Tableau 1 : Valeurs seuils des contraintes osseuses utiles et de résistance osseuse ultime (En microtension, stress, et en unité de charge). D'après Frost H.M. (2003)

Les données ci-dessus montrent que les contraintes appliquées à l'os ne provoquent pas un stress osseux linéairement proportionnel.

La cicatrisation osseuse est également sous l'influence de facteurs humoraux comme les hormones, les vitamines, les sels minéraux, les médicaments... Elle est également sous la dépendance de la biologie cellulaire et moléculaire (cytokines, facteurs de croissance, l'angiogénèse, l'expression de certains gènes...).

II.1.2. Chronologie des évènements

La cicatrisation osseuse se poursuit en trois phases à la chronologie distincte (tableau 2) :

- De T 0 à 7 jours : phase de latence osseuse
- De J 7 à environ J 21 : réparation osseuse grâce à la matrice ostéoïde du cal
- Après J 21 à J 24 : remodelage osseux structurel et morphologique pour une optimisation fonctionnelle

LATENCE OSSEUSE	Fracture : T0	- Hémostase - Formation du caillot
	+ 48 heures	- Rétraction du caillot - Inflammation aiguë
	+ 4 jours	- Envahissement du caillot par les fibroblastes
	+ 7 jours	- Remplacement du caillot par du tissu de granulation - Apparition des ostéoblastes en périphérie des berges de la fracture
REPARATION OSSEUSE	+10/14 jours	- Début de la formation de la matrice ostéoïde en périphérie
	+14/21 jours	- Formation de trabécules osseuses au sein du tissu de granulation - Résorption ostéoclasique des berges de la fracture - Transformation du tissu de granulation en tissu conjonctif jeune
REMODELAGE OSSEUX	+21/24 jours	- Fin de la transformation du tissu de granulation en tissu conjonctif
	+ 3 mois	- L'ensemble des étapes de remodelage est terminé

Tableau 2 : Chronologie des évènements nécessaires à la cicatrisation osseuse (d'après Frost H.M. 1989)

II.1.3. Implication des facteurs de croissance

Les facteurs de croissance qui régulent et agissent sur la formation osseuse ont été décrit par plusieurs auteurs dont Liu et coll, (1999) ; Bouletreau et coll, (2002) :

- TGF- β : transforming growth factor beta
- BMP-2/4 : bone morphogenetic proteins
- IGF I et II: insulin-like growth factor
- BMP-7: osteogenic protein ou encore OP-1
- FGF : fibroblast growth factor
- PDGF: platelet-derived growth factor.

Les **TGF- β** régulent la prolifération et la différenciation des cellules. Il a été isolé trois isoformes de TGF- β (TGF- β 1, TGF- β 2, TGF- β 3), ayant une activité biologique *in vivo* et *in vitro* similaire, mais un mode de fonctionnement distinct (Massague et Chen, 2000). Les TGF- β ont un rôle essentiel dans la régulation de la formation osseuse. Ils stimulent la synthèse de collagène et régulent l'expression des protéines de la matrice extracellulaire non-collagénique impliquées dans la minéralisation et le renouvellement osseux. Ils induisent également la différenciation des cellules mésenchymateuses, notamment celles du périoste en cellules de phénotype ostéoblastique ou chondroblastique, et inhibent l'activité des ostéoclastes. Ils sont présents dans le milieu extra cellulaire dès la formation du caillot. De plus, les TGF- β retardent la dégradation des molécules de la matrice extracellulaire (Massague, 1990)

Les **BMP** font partie de la super famille des TGF- β . Elles induisent une formation osseuse ou cartilagineuse. Ces molécules régulent une myriade de cellules par leurs gradients de concentration extracellulaire. BMP-2 et 4 sont capables d'induire, à forte concentration, une différenciation cellulaire en phénotype ostéoblastique et chondrogénique à partir de cellules multipotentes. La BMP-7 induit l'expression de Cbfa 1, facteur de différenciation des ostéoblastes, et son expression est plus importante que les autres BMP dans la cicatrisation osseuse membraneuse (Spector et coll. 2001).

IGF-1 est un facteur de croissance osseux ubiquitaire. Les données *in vivo* et *in vitro* montrent que IGF-1 stimule ou facilite la mitose et la différenciation des cellules ostéoprogénitrices, notamment en accroissant le nombre des ostéoblastes matures. IGF-1 serait associé à l'augmentation de la densité osseuse (Pfeilschifter et coll. 1999).

Le **FGF** module la migration cellulaire, l'angiogenèse, le développement osseux et sa réparation, et les interactions épithélio-mésenchymateuses (Bouletreau et coll, 2002). FGF-2 est le plus abondant et il a été montré *in vivo* et *in vitro* qu'il stimule la prolifération ostéoblastique et augmente la formation osseuse (Bouletreau et coll, 2002). L'expression de FGF-2 est élevée lors de la cicatrisation d'une fracture osseuse. FGF-2 augmente, par sa cascade d'effets, l'expression de TGF- β .

Les **PDGF** stimule la prolifération des fibroblastes dès la formation du caillot. Elles interviennent immédiatement après la rupture vasculaire et ont une durée d'action limitée.

Une ostéotomie ou une fracture provoque la rupture des artérioles nutritives. Cet arrêt d'apport sanguin entraîne la nécrose des berges osseuses conduisant à un relargage d'enzymes lysosomiales, et une vasoconstriction des artères périostées et médullaires. Cela provoque la formation d'une zone inter fragmentaire hypoxique. Ce stimulus hypoxique est le catalyseur d'une néo vascularisation. Les facteurs présents dans le microenvironnement de la fracture (hypoxie, TGF- β 1, FGF-2, pH...) régulent l'expression du *Vascular endothelial growth factor* ou **VEGF** par les ostéoblastes.

II .2. FONDEMENT BIOLOGIQUE DE L'OSTEOGENESE PAR DISTRACTION

L'allongement de segments osseux n'est pas une technique nouvelle. Hippocrate décrivait déjà l'utilisation de forces de traction pour remettre en place des os fracturés.

Codivilla, en 1905, est le premier à décrire des cas d'allongement des membres inférieurs. Sa technique consiste à pratiquer un trait d'ostéotomie oblique, puis à appliquer une traction brutale dans l'axe d'une tige intramédullaire.

Abbott, en 1927, décrit un cas d'allongement progressif du tibia et du péroné. Il précise la nécessité d'avoir deux points fixes de part et d'autre de l'ostéotomie.

L'orthopédiste russe Ilizarov est responsable du développement majeur de cette technique dans les années 50, avec la conception de dispositifs spécifique et des recherches cliniques de grande ampleur. Des années 50 à 70, grâce à de nombreux cas traité (plus de 1000), il affine sa technique et établit les conditions nécessaires à un bon déroulement de la distraction.

Snyder, en 1973, est le premier à publier des résultats encourageants sur l'allongement de mandibule de chien, en utilisant les principes d'Ilizarov. Karp en 1990 commence l'étude histologique. En 1992, l'ostéogénèse par distraction est appliquée cliniquement par McCarthy, pour corriger les microsomies hémifaciale.

Enfin, depuis 1996, l'ostéogénèse par distraction est utilisée pour augmenter localement l'os alvéolaire, dans le cadre d'aménagement pré-implantaire. Block et coll. (1996) rapportent avec succès l'augmentation de volume de la crête alvéolaire, en vue de la pose d'implants dentaires chez l'animal, en utilisant un appareil de distraction intra oral. Chin et Toth, la même année décrivent une technique opératoire, chez l'humain de distraction alvéolaire avec un dispositif intra oral.

II.2.1. ostéogénèse par distraction : des os long aux procès alvéolaires

II.2.1.1 Définition et principes d'Ilizarov

L'ostéogénèse par distraction est définie par la création d'os néoformé grâce au déplacement graduel et contrôlé du fragment osseux obtenu par ostéotomie provoquant un étirement du cal de réparation osseuse.

Ilizarov, appelle le phénomène de distraction : « **effet de stress en tension** » (Ilizarov G.A., 1989). Le principe est qu'une tension graduelle sur des tissus vivants peut, sous certaines conditions, stimuler la régénération et la croissance de ces tissus.

Au niveau osseux, la traction exercée va engendrer une tension qui stimule la formation de travées osseuses parallèlement au vecteur de distraction. De larges espaces entre fragments d'une fracture compromettent la cicatrisation osseuse. Cependant, avec la procédure d'Ilizarov, une bonne cicatrisation est possible si l'intervalle inter fragmentaire est au début petit et s'accroît très lentement. La charge mécanique et l'apport sanguin influencent l'architecture et la composition osseuse.

D'un point de vue biologique, la distraction osseuse est une élongation discontinue du tissu inter fragmentaire, ce qui peut être décrit au niveau cellulaire comme un allongement uni axial des ostéoblastes, des cellules précurseurs, et de la matrice extra cellulaire. Les paramètres biomécaniques incluent toute les caractéristiques influençant la régénération osseuse grâce aux forces de distraction appliqué sur les fragments : la rigidité du cal, l'anatomie osseuse, le vecteur de distraction, l'ampleur de la distraction. La contrainte au niveau de l'intervalle inter fragmentaire est déterminée par le ratio entre l'allongement obtenu et la longueur initiale de l'intervalle.

Les principes généraux de cette technique sont des principes cliniques, d'abord énoncés pour des os long (d'origine endochondral) et établis expérimentalement (Ilizarov G.A. ,1989). Ils doivent être respecté afin d'optimiser l'ostéogénèse :

- Une préservation maximale de la vascularisation endostée et périostée au niveau du site de distraction. Une corticotomie, complétée par une ostéoclasie est pratiquée à la place d'une ostéotomie interromptrice.

- La fixation externe doit être suffisamment stable pour éliminer tous les micromouvements transversaux, et ne doit autoriser que des micromouvements parallèles à l'axe osseux et de la distraction. Une rigidité absolue est nécessaire pour éviter tout mouvement de cisaillement qui empêcherait la minéralisation osseuse.

- Une phases de latence de 5 à 7 jours (fig.6), qui correspond au début de la formation du cal, est nécessaire avant de commencer la distraction.

- L'ampleur de la distraction ne doit pas excéder 1 mm par jours et réparti en 4 fois (0,25 mm toute les 6 heures). Une distraction de 0.5mm/jour entraîne une consolidation prématurée, et une amplitude de 2mm/jour provoque une fibrose tissulaire et une atrophie des tissus mous. Les résultats optimum sont obtenue avec une fréquence d'application importante (près de 60 fois par jour), ou avec une tension continue.

- Après la distraction active, une période de consolidation (fig.6), au moins aussi longue que celle qui a été nécessaire à l'allongement osseux, est requise pour permettre une ossification complète du régénérat osseux. Le contrôle de la maturation osseuse se fait par radiologie.

- Le membre allongé doit faire l'objet d'une utilisation physiologique, pendant la phase de consolidation. Cela entraîne une stimulation positive de l'ossification du cal, et permet une kinésithérapie de l'articulation.

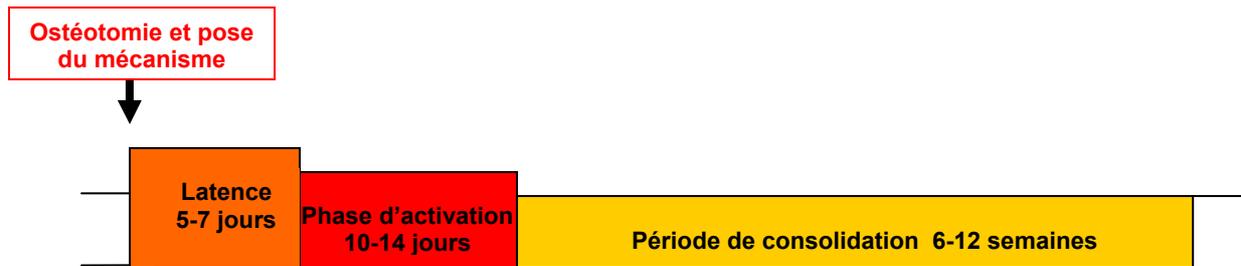


Figure 6 : succession temporelle des différentes phases de l'ostéogénèse par distraction

Ces principes furent d'abord expérimenté et appliqués sur les os long, et de nouvelles applications ont émergé au niveau d'autre os de l'organisme.

Au niveau maxillo-facial, Snyder et coll. (1973) appliquèrent les mêmes principes pour des distractions de corps et de ramus mandibulaire et obtiennent des résultats similaires au os long. Karp et coll. (1990), suivant les principes d'Illizarov pratique des distractions mandibulaires sur un model canin, et obtient, après une distraction active d'1mm/J pendant 20 jours et une période de consolidation de 56 jours, un allongement mandibulaire, une maturation du cal osseux et une nouvelle cortical au niveau de la zone distractée. McCarthy et Coll. (1992,1999) relèvent d'importante amélioration dans la prise en charge des dysmorphoses cranio-faciales, grâce à la distraction mandibulaire utilisant les principes décrits pour les os long.

II.2.1.2 la distraction alvéolaire

Les première application clinique des principes de distraction au crête alvéolaire furent inauguré par Chin et Toth (1996) qui crée le terme de « distraction alvéolaire », expression contracté « d'ostéogénèse alvéolaire par distraction ».

Le but de la distraction alvéolaire est d'aménager un volume osseux satisfaisant pour la mise en place optimale d'implants dentaires, notamment dans des cas de défauts osseux verticaux ou, plus rarement transversaux. C'est donc une procédure d'aménagement des tissus osseux et muqueux pré prothétique. Son succès est déterminé par l'application d'une contrainte mécanique favorable sur un intervalle d'ostéotomie (figure 7). Le procédé est fondé sur la loi de **l'effet de stress en tension** (*tension-stress*).



Figure 7 : illustration schématique de la formation osseuse durant une distraction alvéolaire (D'après . Frost HM, Meyer U, Joos U, Jensen OT. Dental alveolar distraction osteogenesis and the Utah paradigm. In: Jensen OT, ed. *Alveolar Distraction Osteogenesis* : Quintessence Publ Co; 2002: p. 4.)

La distraction alvéolaire est monofocale : après l'ostéotomie (corticotomie et ostéoclasie), les deux fragments sont éloignés l'un de l'autre progressivement provoquant l'étirement du cal qui est l'ébauche du régénérat osseux. Il y a un seul site d'ostéogénèse.

Cependant, l'ostéogénèse par distraction alvéolaire combine deux formes d'interface entre le fragment osseux déplacé et l'os maxillaire ou mandibulaire. Dans le cas de fragment déplacé de forme prismatique, nous avons:

- Au niveau de l'ostéotomie basale, le vecteur de force est perpendiculaire au plan d'ostéotomie. La force appliquée est une force de tension axiale.
- Au niveau des ostéotomies latérales, le vecteur de force est quasiment parallèle au plan d'ostéotomie. La force appliquée est une force de tension oblique, qui s'apparente à une force de cisaillement.

II.2.2. Cicatrisation osseuse et ostéogénèse par distraction

II.2.2.1 Contraintes inter fragmentaires : intensité, fréquence et périodes d'intervention, et vecteurs.

L'intensité de la contrainte, au niveau de l'intervalle inter fragmentaire est proportionnelle à l'allongement obtenu par rapport à la longueur initiale de l'intervalle. Plus l'allongement est important, plus la tension appliquée au cal est importante. Le comportement du cal est viscoélastique.

II.2.2.1.1 Effets de l'intensité

L'expérimentation animale a démontré que la régénération osseuse est étroitement liée à la contrainte appliquée. La différenciation cellulaire et la production de la matrice extra cellulaire (MEC) sont influencées par l'intensité de la contrainte appliquée.

Meyer et coll. (1999) démontrent que la qualité de la régénération osseuse dépend de l'intensité de la contrainte. La qualité de la régénération osseuse est optimale (présence d'os tissé, et ossification lamellaire) pour les groupes contrôles (ostéotomie sans contrainte appliquée) et les groupes soumis à un degré de contrainte physiologique (2000 micro-tension ($\mu\epsilon$) cf. tableau 1). L'application de contraintes importantes (autour de 20000 $\mu\epsilon$), induit une différenciation ostéoblastique et une minéralisation précoce, provoquant la formation d'os trabéculaire qui se corticalise lors du modelage osseux. L'application de contraintes supra physiologiques (entre 200000 et 300000 $\mu\epsilon$) induit la formation de tissus fibreux, faiblement ou non minéralisé.

D'autre part, Ueda et coll. (1999) démontrent qu'une distraction de faible intensité (0,5 mm/j pendant 5 jours) au niveau de tibia de rat produit un tissu chondroïde, alors qu'une distraction à 1 mm/j pendant 5 jours, produit une ossification intra membraneuse avec une formation rapide d'os. Lors d'élongation mandibulaire sur minipig, Troulis et coll. (2000) observent une meilleure stabilité clinique et une densité osseuse radiologique accrue lorsqu'une distraction d'index 1 mm/j / 12 j est appliqué, par comparaisons à des distractions d'index 2 mm/j / 6 j ou 4 mm/j / 3 j. Dans une étude portant sur l'élongation mandibulaire de mouton, Farhadieh et coll. (2000) rapportent une meilleure résistance mécanique et une densité osseuse accrue avec un index de distraction de 1mm/j (résistance à la fracture 689 N), en comparaison à des index de 2, 3, et 4 mm/j (respectivement 505, 472, et 384 N). L'étude histologique à 3 semaines de consolidation montre une formation osseuse dans tous les groupes, avec une désorganisation importante de la matrice osseuse sur les groupes d'index de distraction élevé.

II.2.2.1.2 Effets de la fréquence

La fréquence des cycles de distraction a moins d'influence sur l'ostéogénèse que l'intensité de la contrainte. L'application de multiples distraction par jours (10 cycles contre 1 cycles), n'altère pas l'aspect histologique et ultrastructural de la régénération osseuse, mais augmente la quantité de tissu nouvellement formé (Meyer et coll., 1999).

Contrôle			
	2000 $\mu\epsilon$	20000 $\mu\epsilon$	200000 $\mu\epsilon$

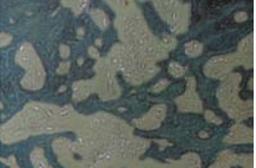
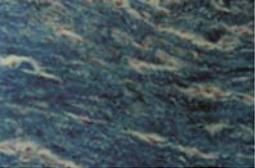
1 cycle			
10 cycles			

Tableau 3 : histologie des réactions tissulaire en fonction de l'intensité de la contrainte appliquée et la fréquence d'application (Bleu alcian). (D'après Frost 2002)

Ces résultats suggèrent que l'intensité de la contrainte mécanique, et non la fréquence, contrôle la différenciation en phénotype ostéoblastique, et la formation consécutive de tissu osseux. Cependant, l'augmentation de la fréquence de distraction provoque une augmentation de la densité d'os nouvellement formé. Les contraintes de fortes intensités (supérieur à 20000 $\mu\epsilon$ soit $\approx 10\text{kg/mm}^2$), provoquent des effets contraires à la différenciation ostéoblastique et à la synthèse de la MEC (Meyer et coll., 1999).

II.2.2.1.3 Réponse osseuse à la contrainte et application à l'ostéogénèse par distraction.

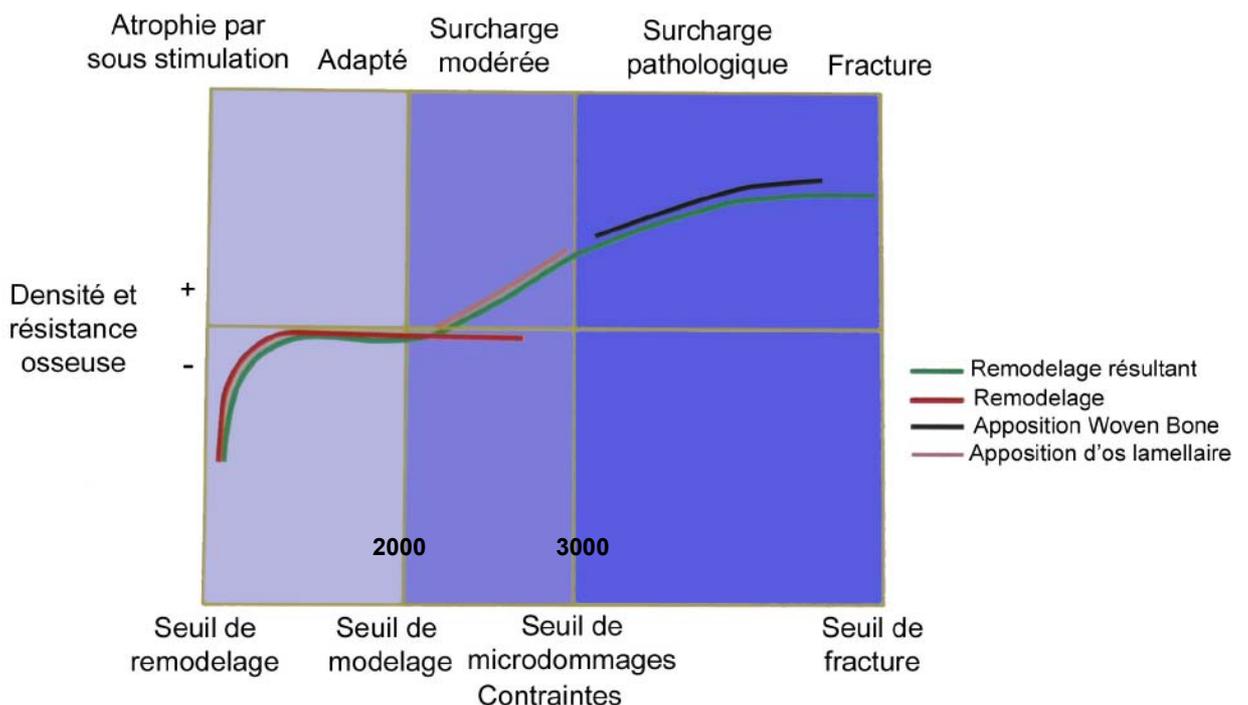


Schéma 1 : réponse osseuse en fonction du niveau de contrainte (d'après Frost 2003)

Le graphique du schéma 1, montre la réponse osseuse en fonction de l'intensité de la contrainte à laquelle il est soumis. Ce graphique a été proposé par Carter, puis modifié par Frost (Frost, 2003). Lorsque l'intensité de la contrainte excède 3000 $\mu\epsilon$, les micros dommages peuvent dépasser la capacité de réparation et de remodelage osseux. La quantité de micro dommages s'accroît avec le niveau de stress, et conduit éventuellement à une fracture de fatigue.

La courbe du schéma 1 montre qu'il existe une étroite fenêtre, entre 2000 et 3000 $\mu\epsilon$, permettant une cicatrisation normale d'une fracture osseuse. Cependant, cela ne correspond pas à la fenêtre permettant une distraction optimale, car les forces de distraction s'appliquent sur un tissu non calcifié, ayant un module d'élasticité plus important.

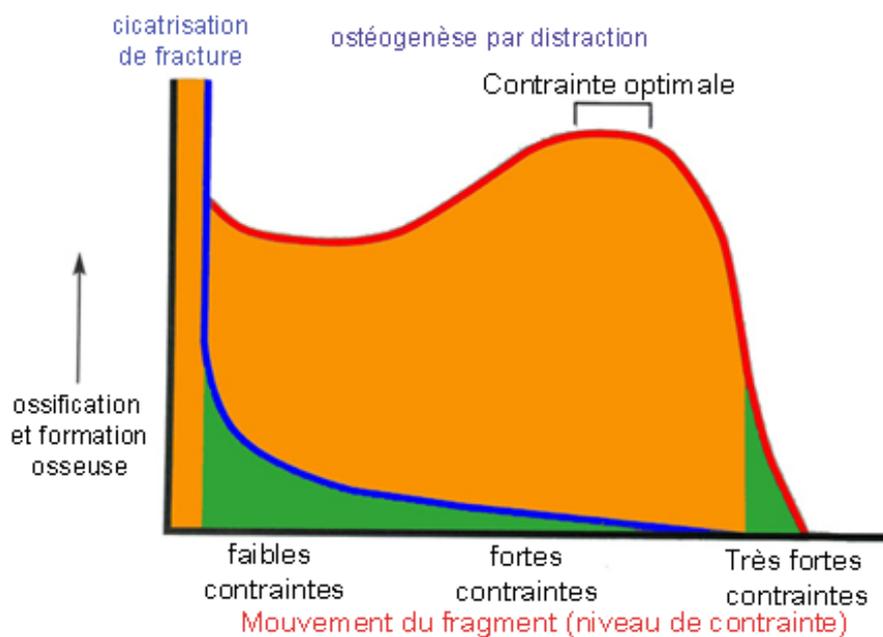


Schéma 2 : En bleu : ossification lors d'une fracture en fonction du mouvement des fragment ; en rouge : qualité de l'ossification lors d'une ostéogénèse par distraction en fonction de la contrainte appliquée (d'après Frost 2002)

Les processus de réparation lors d'une fracture et d'une distraction sont les mêmes mais le niveau de contrainte induisant l'ossification est différent (schéma 2). La régénération osseuse n'apparaîtra pas lors d'une réparation d'une fracture si les fragments, soumis à des contraintes excessives, sont mobiles. Lors d'une ostéogénèse par distraction, l'augmentation lente de la largeur de l'intervalle d'ostéotomie, permet l'ossification si la contrainte appliquée n'atteint pas un seuil limite. Le schéma 2 détermine un seuil de tension maximal, au dessus duquel l'os ne se forme plus dans l'intervalle de distraction. La zone inter fragmentaire correspond alors, à un défaut osseux de taille critique. Pour des forces de distraction plus faibles, la réparation osseuse approche celle d'une réparation de fracture. Bien que l'union

des fragments soit obtenue pour la plupart des contraintes situées sous la courbe, la quantité d'os formé n'a pas nécessairement une densité optimale.

Il a été remarqué que l'intervalle de distraction alvéolaire ou mandibulaire a souvent un volume osseux réduit par rapport à l'os adjacent normal. C'est le résultat de forces appliquées trop importantes. Une distraction alvéolaire verticale agressive peut aboutir à un volume osseux très faible dans la zone de distraction, et compromettre le plan de traitement.

La distraction alvéolaire vertical combine deux formes de cicatrisation osseuse. Les côtés axiaux de l'ostéotomie ont une cicatrisation de type fracture, car le vecteur est parallèle au trait d'ostéotomie. En revanche, au niveau basal, une cicatrisation de type distraction s'effectue.

Ainsi, l'intensité de tension optimale pour une distraction alvéolaire est une fenêtre entre 15000 et 20000 $\mu\epsilon$, soit un allongement du cal d'environ 1 mm par jour. Cet allongement est fragmenté en 2 ou 3 tractions par jours (2 allongement de 0,5 mm ou 3 allongement de 0,33 mm par jours) pour optimiser la qualité de la régénération osseuse. Il est difficile de fragmenter plus pour des raisons techniques et cliniques.

II.2.2.2 Phases de la distraction et effets biomoléculaire et histologique

II.2.2.2.1 Apoptose et distraction

La traction discontinue appliquée sur une ostéotomie mandibulaire provoque des modifications de la dynamique cellulaire. Meyer et coll. (1999b), observent une apoptose accrue des cellules ostéoblastiques dans le tissu nouvellement formé, lors d'applications de contraintes supra physiologiques. Ces modifications apoptotiques sont rares lorsque la contrainte est physiologique ou de faible amplitude. Ainsi, l'apoptose apparaît comme un mécanisme de rétrocontrôle du processus dynamique de régénération tissulaire, directement lié à l'intensité de la tension (Meyer et coll. 1999b).

II.2.2.2.2 L'ostéogénèse par distraction

La cicatrisation osseuse lors d'une ostéogénèse par distraction est obtenue par les mêmes procédés de bases impliquées dans la cicatrisation des fractures.

Karp et coll. (1992) analysent, lors de distractions mandibulaires sur des modèles canins, la zone entre les berges de l'ostéotomie, dans le but de déterminer les mécanismes de formation osseuse. La période de latence par fixation externe est de 10 jours, puis la mandibule est allongée d'1 mm par jour pendant 20 jours, et la période de consolidation par fixation externe est de 8 semaines. Les chiens sont sacrifiés pour une étude histologique et micro radiographique à 10 et 20 jours de distraction active, et à 14, 28, et 56 jours après la fin de la distraction.

Il a été observé que l'intervalle entre les berges osseuses, est d'abord occupé par du tissu fibreux similaire au cal. Puis, il distingue 4 zones (figure 8) :

- Une zone centrale fibro-conjonctive. Lors de la distraction active, les tissus fibreux s'orientent progressivement longitudinalement dans la direction du vecteur de distraction.
- Une zone d'apposition précoce de tissus ostéoïde le long du tissu fibreux, de la périphérie au centre de la zone fibreuse orienté.
- Une zone de remodelage osseux, de transformation d'os tissé en os lamellaire, par apposition-résorption par les ostéoclastes et les ostéoblastes.
- Une zone de maturation osseuse avec une augmentation des colonnes osseuse et un modelage intrinsèque.

L'os est formé principalement par une ossification membraneuse (Karp et coll., 1992 ; Rowe et coll., 1998)

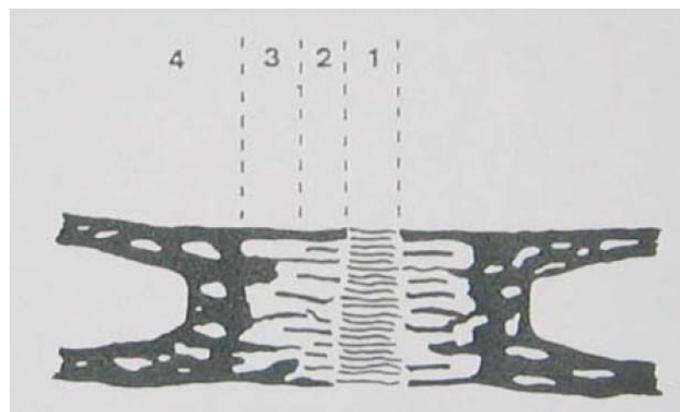


Figure 8: Schéma d'une d'une coupe de zone inter fragmentaire.

- (1) Zone centrale fibro-conjonctive
 - (2) Ostéogenèse précoce. Apposition d'os tissé
 - (3) résorption-apposition d'os lamellaire
 - (4) Zone de maturation osseuse et de modelage d'optimisation intrinsèque
- (D'après Karp, 1992)

La présence de chondrocytes à une phase très précoce de la distraction est possible, et correspond plus à un phénomène de réparation primaire lié à l'ostéotomie, qu'à une ossification endochondrale. Komuro et coll. (1994) décèle une formation cartilagineuse dans près de 90% des cas d'allongement mandibulaire sur un modèle de lapin. Cependant, il explique ces résultats par un défaut de rigidité du dispositif. Ce cartilage disparaît 4 semaines après la distraction, et ce phénomène évoque une ossification membraneuse passant par une phase endochondrale transitoire ou « transchondroïde ». L'ostéogenèse par ossification membraneuse transchondroïde peut être favorisée par :

- Un rythme de distraction trop lent, entre 0,36 mm et 0,5 mm par jours (Komuro et coll., 1994 ; Ueda, 1999).
- Une altération de la vascularisation locale (Pacicca et coll., 2003).

Dans un processus de distraction, il existe trois phases fondamentales, dans lesquelles différents phénomènes biologiques se produisent. Ces phénomènes ont été étudiés au niveau d'os d'origine endochondrale ou membraneuse.

La phase de latence est la période entre la réalisation de l'ostéotomie et le début de la traction, durant laquelle le cal se forme. Cette période a lieu habituellement entre 5 à 7 jours après ostéotomie (figure 9), et coïncide avec les événements initiaux d'une réparation osseuse normale. Le caillot initial est converti en tissu de granulation au bout de 3 jours. Ce tissu devient de plus en plus fibreux grâce à la présence croissante de collagène et de la néoangiogénèse. A ce stade, le recrutement de cellules souches mésenchymateuses s'effectue depuis l'os médullaire et le périoste adjacents.

La phase de distraction correspond à la période de traction appliquée sur le fragment osseux transporté, suivie de la formation d'os immature tissée (woven bone) et d'os lamellaire immature. Cette phase dure 1 à 2 semaines (figure 9), pendant laquelle la traction modifie le développement normal de la régénération osseuse. Un microenvironnement dynamique est créé, avec la formation de tissus orientés parallèlement au vecteur. L'angiogenèse est augmentée et prolongée. Des fibroblastes fusiformes, présentant des variations phénotypiques entourent les vaisseaux, et produisent du collagène parallèlement au vecteur de distraction (Cope et coll. 2000). Le collagène est de type I, ce qui supporte la théorie qu'une tension favorise une ossification intra membraneuse et non endochondrale. Ces cellules ayant un réticulum endoplasmique et un noyau très développés, expriment de l'ostéocalcine, de l'ostéopontine et de la phosphatase alcaline, marqueurs d'une différenciation ostéoblastique. Il a été démontré que l'application d'une tension favorise la différenciation des chondrocytes et des fibroblastes en ostéoblastes (Jazrawi et coll., 1998).

Il n'a pas été encore déterminé si l'accélération de la maturation du cal osseux est due à la maturation rapide du réseau collagénique provoquant une surface de dépôt ostéoïde très importante, ou si elle est provoquée par la prolifération ostéoblastique. Il n'est pas encore connu si cette maturation résulte du recrutement important d'ostéoblastes, de l'accroissement de la synthèse protéique de chaque cellule, ou d'une combinaison des deux (Cano et coll., 2006).

La croissance vasculaire est augmentée de près de 10 fois par rapport à une cicatrisation normale (Cano et coll., 2006), augmentant ainsi l'apport de cellules souches mésenchymateuses (CSM) au niveau de la zone fibreuse. La distraction aligne les fibres de collagènes en fuseaux parallèles guidant la croissance des vaisseaux et les cellules perivasculaires en compartiments longitudinaux. Une tension modérée et contrôlée exercée par un distracteur sur le tissu de granulation produit une différenciation intense des CSM en ostéoblastes et favorise une production accrue de protéines osseuses par ces ostéoblastes (Cano et coll., 2006).

Le fragment osseux transporté et le cal doivent être immobilisés pendant les phases de distraction et de consolidation. Les mouvements transversaux alternatifs interrompent la microcirculation, et l'oxygénation moindre provoque la différenciation des cellules souches en chondroblastes.

Mofid et coll. en 2002, expérimentent un protocole d'Ilizarov modifié, fondé sur l'observation que la régénération osseuse au niveau d'une fracture est améliorée par la compression du cal. Sur un modèle animal, ils appliquent une tension et une compression (1mm/j) en alternance pendant 3 semaines. Après la phase de distraction, une étude histomorphométrique dynamique montre un index d'apposition minérale plus important dans le groupe distracté/comprimé. A 5 semaines de consolidation, l'épaisseur de la zone corticale par rapport au groupe témoin est significativement plus grande pour le groupe distracté/comprimé (83% contre 49%).

La phase de consolidation est la période permettant la maturation et la corticalisation du régénérat osseux (figure 9). Au niveau cranio-facial, une période de 3 à 5 semaines est recommandée pour les enfants et 6 à 12 semaines pour les adultes, et il faut attendre 1 an pour obtenir un os avec les caractéristiques identiques de l'os contiguë. Lorsque la distraction est terminée, la zone centrale fibreuse et le tissu ostéoïde se minéralise

progressivement de manière intra membraneuse et deviennent de l'os immature, remodelé ensuite en os lamellaire mature.

Karp et coll. (1992) observent de longues et fines trabécules s'étendant en direction du centre de l'intervalle de distraction à 14 jours après la fin de la phase de distraction, et la présence de ponts osseux entre les berges de l'ostéotomie à 1 mois. A 2 mois après la distraction active, l'intervalle de distraction est occupé par de l'os minéralisé et des plages de remodelage principalement dans les zones corticales denses.

Radomisli et coll. (2001) observent l'effet d'une charge mécanique sur des zones distractées, et déterminent que la mise en charge d'un os distracté pendant la consolidation augmente la proportion d'os régénéré et l'expression de BMP-2/4, de collagène I, et d'ostéonectine. Cependant, le niveau de charge approprié n'a pas été déterminé.

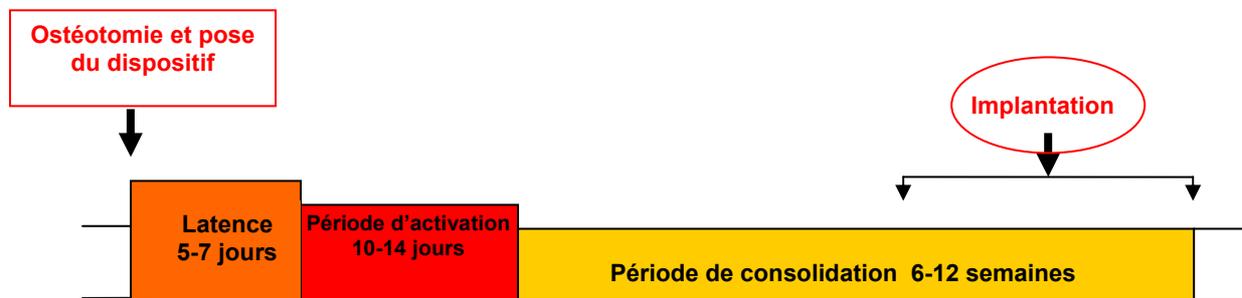


Figure 9 : succession temporelle des différentes phases de l'ostéogénèse par distraction

Frost (Frost, 2003) détermine 4 phénomènes intriqués, permettant l'ostéogénèse par distraction et qui ont pour but de restaurer une résistance normale d'un os fracturé ou ostéotomisé :

- La formation d'un cal
- Un remodelage par les BMU
- Un modelage intrinsèque permanent et simultané permettant l'optimisation mécanique
- Un phénomène d'accélération physiologique local.

L'échec d'un de ces 4 événements compromet ou retarde la cicatrisation.

II.2.2.2.3 Ostéogénèse alvéolaire par distraction à visé implantaire

Les études préliminaires sur animaux mettent en évidence la possibilité de régénération osseuse par distraction de segments alvéolaires, et une ostéointégration implantaire normale (Block et coll., 1996, 1998 ; Oda et coll., 1999, 2000 ; Gaggi et coll. 2000a).

Des études chez l'homme ont corroboré les résultats obtenus sur les modèles animaux. Ces études ont permis d'établir précisément les événements biologiques provoqués par la distraction alvéolaire.

Raghoobar et coll. (2002) réalisent des distractions alvéolaires mandibulaires antérieures chez 10 patients grâce à un dispositif intra alvéolaire. Deux mois après la fin de la distraction, soit lors de la pose des implants ils réalisent un prélèvement grâce à une tréphine permettant d'obtenir des carottes osseuse.

L'examen histologique confirme une ossification intra membranaire dans les deux zones de minéralisation (fig.10). L'inter-zone fibroconjonctive comporte des fibrilles de collagène très organisées et orientées longitudinalement, avec des fibroblastes allongés et actifs, et de nombreuses cellules mésenchymateuses non différenciées (fig.10). A la périphérie de la zone fibreuse et de part et d'autre, il existe deux zones, comportant des ostéons primaires orientés longitudinalement et recouverts d'ostéoblastes. Les trabécules sont parallèles au vecteur de distraction, et montrent une formation osseuse active (fig.10). De nombreux signes de remodelage osseux ont été observés (fig.10 et 11).

L'évaluation histologique est identique à celle réalisé par Karp (karp et coll., 1992) au niveau du corps de la mandibule. De plus, Raghoobar et coll. mettent en évidence une capacité d'ostéointégration implantaire normale de l'os distracté, et un maintien de celle-ci.

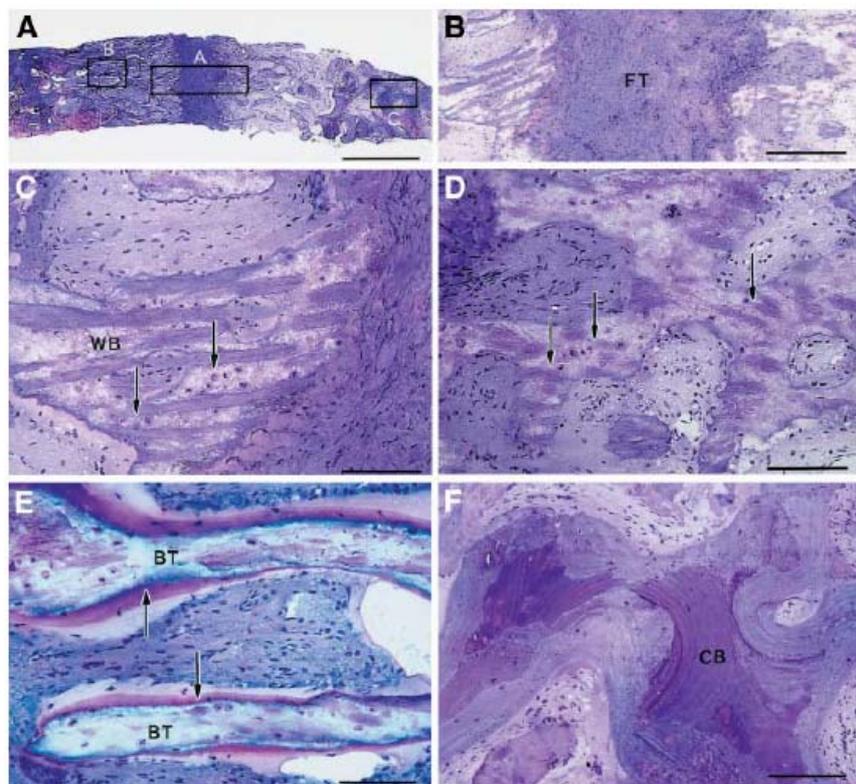


Figure 10 : Coupe histologique d'un prélèvement d'une zone de distraction montrant une ossification intra membranaire. Les trabécules sont orientées parallèlement au vecteur de distraction. (A) Vue de la biopsie osseuse. Deux zones d'os avec une corticale native (zone C), Deux zones de minéralisation

(zone B), et l'intervalle fibroconjonctif (zone A) sont clairement visibles. (B) détail de la zone A montrant la présence de tissu fibreux (FT) au centre de l'intervalle de distraction. (C) Détail de la périphérie de la zone A montrant une maturation de l'os nouvellement formé. Des ostéoblastes sont présents à la surface de l'os immature (Woven Bone, WB). Des ostéocytes sont visibles à l'intérieur des zones minéralisées. Idem pou l'image (D). (E) Détail de la zone B montrant la formation de nouveaux trabécules osseux (BT) parallèle au vecteur de distraction. (F) Détail de la zone C montrant un os cortical compacte mature. (D'après Raghoobar et coll 2002).

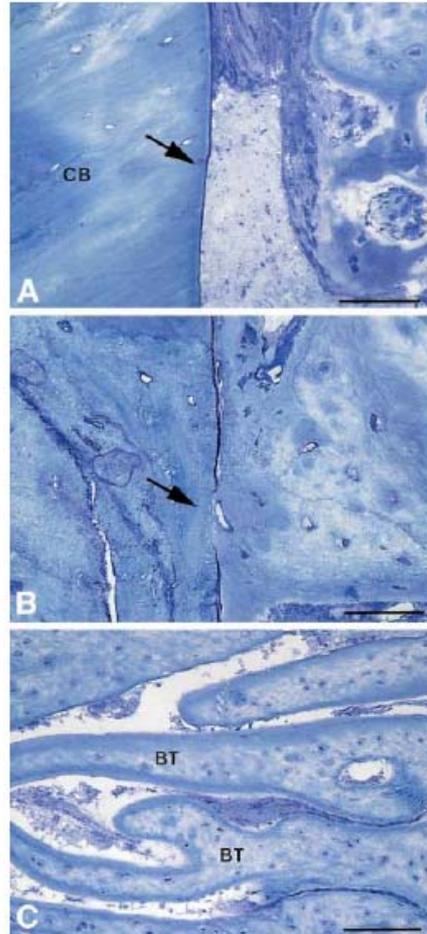


Figure 11 : (A) Détail de la zone d'ostéotomie montrant une limite entre la cortical originale (CB) et la cortical régénérée. (B) Détail de l'ostéotomie montrant un remodelage à la limite entre le cortical original et la cortical régénérée. (C) Détail de la zone de minéralisation montrant l'ossification de nouveaux trabécules osseux (BT) parallèle au vecteur de distraction et du tissu immature orienté. (Raghoobar et coll 2002).

Zaffe et coll. (2002) étudient des prélèvements sur 10 patients à 40, 60, 88 et 200 jours, après la fin de la distraction alvéolaire.

- A 40 jours, le prélèvement montre un cal riche en fibres de collagène et en fibroblastes, de nombreux petits vaisseaux, et quelques vaisseaux plus larges dans des zones précises. Dans ces zones de tissus plus vascularisés, des centres d'ossification primaire apparaissent. Ceux-ci sont entourés de petites trabécules d'os tissé.

- A 60 jours, le cal fibroconjonctif est complètement remplacé par un réseau de trabécules osseux, recouvert d'ostéoblastes très actifs. L'activité ostéoclasique est inexistante. Le volume trabéculaire osseux est en moyenne de 50% du tissu.
- A 88 jours, les ostéoblastes ont apposé de l'os lamellaire sur les trabécules d'os tissé préexistant, cependant les trabécules ont un nombre et une taille moyenne considérablement plus faible et ordonné. La minéralisation est commencée mais elle n'est pas complète. Le volume trabéculaire osseux est en moyenne de 37% du tissu.
- A 200 jours, le volume trabéculaire osseux est identique, mais la densité osseuse s'est accrue du fait de la minéralisation complète. L'os est mature et une corticale est présente.

Zaffe et coll. mettent en évidence l'efficacité de l'ostéogénèse alvéolaire par distraction, et suggèrent la mise en place précoce d'implants permettant une stimulation osseuse mécanique.

II.2.2.2.4 Evènements ultra structurale et moléculaire

II.2.2.2.4.1 Modification ultra structurale

L'étude ultra structurale de l'apposition minérale révèle que l'assemblage de collagène et la minéralisation de la MEC sont largement influencés par l'environnement biomécanique. Meyer et coll. (2001) montrent que l'assemblage des fibrilles de collagène et la formation des cristaux d'apatites dépend du degré de stress mécanique appliqué. Pour des contraintes osseuses physiologiques (2000 microtensions), le cal possède un arrangement de collagène identique à celui retrouvé dans de l'os mature. Pour des contraintes de 20000 microtensions les fibrilles sont majoritairement orientées dans la direction du vecteur. L'application de contraintes de 200000 microtensions, provoque une désorganisation globale de la matrice. Le collagène de type I est nucléateur de cristaux d'hydroxyapatites, et très sensible à la quantité de charge mécanique qu'il subit. Pour des contraintes supérieures à 20000 microtensions, la microarchitecture du collagène est altérée, provoquant un désassemblage des fibres, et un dépôt d'hydroxyapatite très réduit (Meyer et coll. 2001) (figure 12-13).

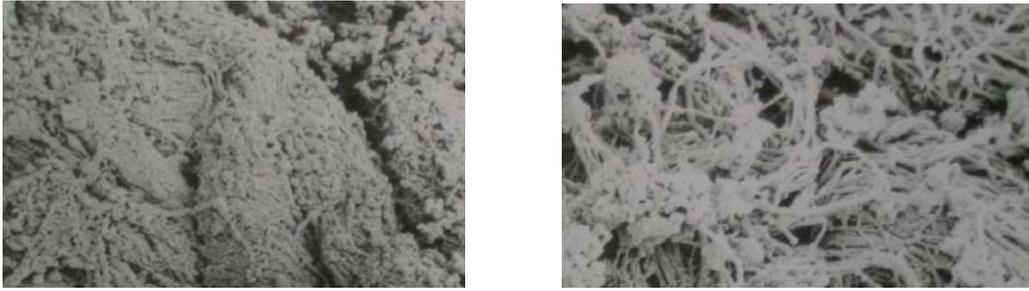


Figure 12 : Ultra structure tissulaire : a gauche, contrôle ; a droite 2000 μm en 1 cycle (D'après Frost 2002)

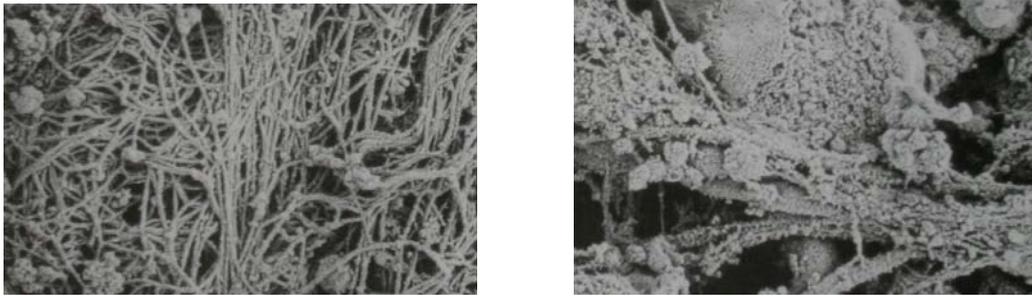


Figure 13 : Ultra structure tissulaire : a gauche, 20000 μm en 1 cycle ; a droite 200000 μm en 1 cycle (d'après Frost 2002)

II.2.2.2.4.2 Evénements moléculaire

Les études d'application de contraintes *in vitro* ont une corrélation intéressante avec les résultats *in vivo* (fig.14) obtenue par ostéogenèse par distraction (Bouletreau P. J., 2002). La charge mécanique appliquée *in vitro* limite la confusion de variables, facilite la délivrance précise et fine des contraintes, et permet une analyse biomoléculaire plus fine sur chaque type de cellule. Cependant, même si la tension cyclique appliquée est idéale pour simuler la charge oscillante sur les cellules osseuse durant des actions répétitives comme la marche, ce modèle ne reproduit pas la tension constante que les ostéoblastes subissent pendant une distraction osseuse.

Dans le but de dépasser les limitations provoquées par les modèles cycliques, Bouletreau utilise un appareil développé et fabriqué sur mesure et permettant de délivrer des tensions constantes, uniformes, et equibiaxial (fig.15). Les expériences initiales ont d'abord été corroborées avec les résultats *in vivo* (Bouletreau P. J., 2002).

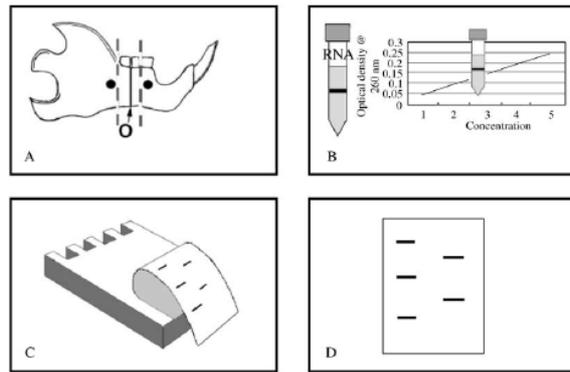


Figure 14 : Analyse par Northern blot des effets des effets *in vivo* de l'ostéogénèse par distraction. (A) ostéotomie (o), distraction et prélèvement *in situ*. (B) Homogénéisation, extraction de l'ARN cellulaire total et quantification. (C) Electrophorèse ; les fractions d'ARN sont transférés sur une membrane de nylon. (D) Les membranes sont révélée par des sondes ADNc, les images digitalisées sont quantifiées (Bouletreau P. J., 2002).

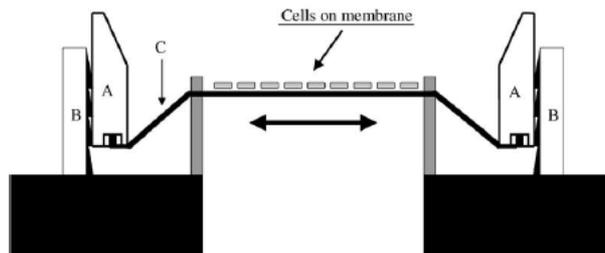


Figure 15 : section transversale du dispositif utilisé pour les études *in vitro* des effets d'une contrainte sur la biologie des ostéoblastes (Susan Margulies, université de Pennsylvanie). L'insert (A) est vissée a la base (B), la membrane subit une tension constante, uniforme, et equibiaxial (Bouletreau P. J., 2002).

De plus, plusieurs études ont démontrées que l'expression des facteurs de croissance au niveau de sites de distraction chez l'homme est similaire à certains modèles animaux comme le mouton (Knabe C. et coll. 2005)

Les données suivant sont issue d'expériences *in vitro*, et *in vivo* sur des modèles animaux ou chez l'homme. Les premières études ont été réalisées à partir d'os endochondral suivies de nombreuses études portant sur l'os membranaire.

- **TGF- β** : Durant les premières phases de distraction, l'expression de l'ARNm de TGF- β 1 est de 3 fois supérieures aux ostéotomies témoin, et reste élevé toute la durée de la distraction avant de retourné au niveau initial à la fin de la 4^{ème} semaine de consolidation. L'immunohistochimie à localisé TGF- β 1 au niveau des cellules de l'inflammation dans l'hématome durant la période de latence. Lors des premières phases de distraction, les ostéoblastes, les cellules mesenchymateuse, la matrice

extracellulaire, et le tissu conjonctif adjacent de l'ostéotomie exprime intensivement les protéines TGF- β 1. Pendant la phase de consolidation, TGF- β 1 est premièrement confiné dans les ostéoblastes de la matrice distractive. Après 4 semaine de consolidation, TGF- β 1 est limité aux ostéoblastes concerné par le remodelage osseux (Eingartner et coll, 1999 ; Mehrara et coll, 1999).

L'optimisation de la cicatrisation osseuse par des isoformes de TGF- β a été étudiée avec des doses variables chez différent models animaux. Par exemple, TGF- β 1 augment la capacité de cicatrisation osseuse dans des défauts osseux endochondral critiques, ou améliore les capacité biomécanique de l'os. Cependant, Knoll et coll. (2005), démontre que l'adjonction de TGF- β recombinant induirait un retard de minéralisation de la matrice extracellulaire.

- **BMP** : Sato et coll. (1999) a démontré que l'effet mécanique d'un stress en tension provoqué par une distraction à un effet significatif sur la transcription de BMP. Pendant la phase de latence, BMP-2 et -4 ont une expression intense dans les cellules mésenchymateuse. De haut niveau d'expression de BMP-2 et 4 se maintiennent durant toute la période de distraction, sur le front d'ossification et dans l'interzone fibreuse. BMP-6 et -7 ne semble pas régulé positivement pendant la distraction.

BMP-2, -4 et -7 sont exprimé au niveau du périoste et de la zone adjacente pendant la période de latence. Au cours de la distraction BMP-2, -4 et -7 sont abondant dans la zone inter fragmentaire (Rauch et coll. 2000). Cette localisation intense continue au cours de la distraction, avant de diminuer durant la consolidation. Rhee et coll. (2005) démontrent la régulation de BMP-2/4 par une molécule effectrice c-Src. Cette molécule est présente dans de l'os nouvellement formé et soumis à des forces mécanique, mais elle est absente au niveau des simples cicatrisations osseuse sans contraintes mécanique. L'augmentation de l'expression de BMP 2/4 serait en partie effectuée par c-Src dont la transduction serait mécanodépendante.

Yasawa M et coll (2003) montrent que l'expression des BMP durant la distraction d'os membranaire est similaire à celle pendant la distraction des os long. Cependant l'expression des BMP lors de la distraction d'os membranaire diffère de celle des os long car elle se maintient 2 semaines après la fin de la distraction.

De nombreuses études observent les conséquences d'administration de différente BMP au cours de protocole d'ostéogénèse par distraction.

Handy et coll (2003) observent que l'administration tardive (en fin de distraction) de BMP-7 influence peu la formation du cal osseux et propose l'utilisation précoce de BMP-7, dès les premières phase de l'ostéotomie et de la distraction. D'autre part,

Terheyden H et coll (2003) obtiennent une accélération de la maturation du cal osseux avec l'injection de rhBMP-7 (recombinant humain de BMP-7) un à deux jours après la fin de la distraction.

Mizumoto et coll (2003) démontre qu'une simple injection de rhBMP-7 au cours de la chirurgie d'ostéotomie stimule le taux d'ossification et augmente la phase minérale osseuse pendant la distraction. Les propriétés biomécaniques du nouvel os formé sont alors accrue par l'injection de BMP-7.

Ashimoff et coll (2004) démontre qu'une administration locale de BMP-2 via un adenovirus augmente la phase organique et minéral du cal osseux pendant la distraction, améliore et raccourcit potentiellement la phase de consolidation.

Une étude des effets de l'adjonction de rhBMP-2 lors de distraction alvéolaire sur le mouton a été menée par Rachmiel et coll (2004). L'étude histologique a démontré que l'association de la distraction et de la rhBMP-2 augmente significativement la taille et le volume des trabecules, ainsi que le nombre de cellules prolifératrice, par rapport à l'effet de la distraction seule. La mise en place d'implants cylindrique en titane et la surveillance radiographique permet d'observer la stabilité temporo-dimensionnelle du segment osseux transporté. L'adjonction de rhBMP-2 optimise la qualité osseuse et peut raccourcir la période de consolidation.

- **IGF-1** : L'expression d'IGF-1 au niveau du cal osseux distracté varie en fonction du temps. Premièrement, il existe au début de la distraction une augmentation d'IGF-1 sérique, puis, au cours de la distraction, une augmentation progressive au niveau du cal et de l'os environnant (Eingartner et coll. 1999). Le pic sérique initial est dû aux tissus mous adjacents. Tavakoli et coll. (1999) trouvent des taux d'expression d'IGF-1 déclinant en fin de distraction et au cours de la consolidation. Ces données suggèrent qu' IGF-1 joue un rôle important au début de la distraction.

Stewart et coll. (1999) ont utilisés du rhIGF-1, sur un model de distraction mandibulaire de lapin, et ils ont observé un accroissement du taux d'apposition minéral durant la distraction. De plus, une administration locale d'IGF-1 facilite l'union osseuse à des contraintes de tension (3mm/j) aboutissent normalement à une cicatrisation fibreuse (Stewart et coll., 1999). Les IGF contribuent à la formation osseuse et au remodelage en régulant les ostéoclastes. Ils sont utilisés de manière exogène pour accélérer l'ostéogénèse dans les défauts osseux de taille critique ou les sites de fracture (Bouletreau et coll, 2002).

- **FGF** : Farhadieh et coll (1999) ont observé une expression de FGF-2 au niveau de cal distracté à des taux comparable à une cicatrisation osseuse normal. Cependant,

le taux FGF-2, d'IGF-1 et d'TGF- β est largement accru sur des distractions intenses et rapides (4mm/j).

▪ **Les protéines de la matrice extra cellulaire (MEC) :**

Les protéines collageniques de la MEC :

Les collagènes (I, II, III, IX...) sont les principaux composants de la MEC, et jouent un rôle critique dans la formation osseuse lors d'une distraction en facilitant la formation précoce de spicules osseuses, des berges de l'ostéotomie, vers le centre de la jonction inter fragmentaire (Bouletreau et coll. 2002). Lors de la cicatrisation d'une fracture osseuse, il se produit :

- D'abord, une synthèse de collagène III durant la phase inflammatoire dans le caillot.
- Puis, pendant la phase de réparation (7 – 14 jours), une synthèse du type II et du type IX, qui vont former un réseau non orienté.
- Enfin, le remplacement des fibrilles de type II par le type I vers le 10^{ème} à 14^{ème} jours lors du remodelage osseux aboutissant à la formation de réseaux orientés et de trabéculations osseuses.

Lors de la distraction, Warren et coll. (2001) remarquent une sous stimulation de la synthèse de type I, et un retour à un niveau normal vers la fin de la distraction et durant la phase de consolidation. La variation temporelle et spatiale de la synthèse de collagène I favoriserait la formation de spicules d'ossification s'étendant des berges au centre du cal.

Les protéines non-collagéniques de la MEC

Elles ont un rôle important dans la régulation de l'ossification et le remodelage osseux. Les principales sont l'ostéonectine, l'ostéopontine, et l'ostéocalcine.

	Fonctions normales	Phases de distraction		
		latence	distraktion	consolidation
OSTEONECTINE (ON)	Régulation du remodelage osseux, du turn-over calcique et initie la minéralisation.	N	▼	N
OSTEOPONTINE (OP)	-Permet l'adhésion des ostéoblastes à la MEC lors du remodelage osseux -Exprimé ponctuellement après la fracture.	N	ND	ND
OSTEOCALCINE (OC)	-Régulation de la minéralisation. -↓ initiale mais ↑ durant l'ossification	N	▼ + de -50%	▼ + de -50%

	active du cal.			
--	----------------	--	--	--

- ▲ : augmenté par rapport à la cicatrisation osseuse classique
▼ : diminué par rapport à la cicatrisation osseuse classique
N : Pas de changement par rapport à la cicatrisation osseuse classique
ND : non déterminé

Tableau 3: rôles et modification des protéines non collagenique lors de la distraction (Warren et coll 2001, Bouletreau et coll 2002, Meyer et coll 1999)

- **Néoangiogénèse** : L'expression de VEGF est élevée et continue durant la phase de distraction et la phase de consolidation. Pendant la phase de latence, il existe une modeste augmentation 5 à 7 jours après l'ostéotomie (Warren et coll 2001, Bouletreau et coll 2002; Pacicca et coll. 2003) observent, au niveau du cal lors de distractions une expression très importante d'ARNm codant pour un large éventail de facteurs angiogéniques : angiopoïétine 1 et 2, les récepteurs Tie (ligand de VEGF), VEGF-A et -D, etc... L'expression maximale de ces facteurs a lieu pendant la phase active de distraction. La formation osseuse durant la phase de distraction est accompagné et soutenue par une induction robuste de facteurs associés à l'angiogénèse.

L'étude menée par Fang et Coll. (2005) montre que l'administration d'un inhibiteur de l'angiogénèse provoque une cicatrisation fibreuse du cal, bien que l'expression des gènes associés à l'angiogénèse, et une hypoxie existent. Cette étude confirme l'interdépendance de l'environnement biomécanique, et de l'angiogénèse durant l'ostéogénèse par distraction.

Ainsi, il apparaît que le phénomène d'accélération physiologique décrit par Frost soit essentiellement soutenu par les évènements moléculaires provoqués par la distraction.

	Phase de latence	Distraction active	consolidation
TGF-β	≈ à ▲	▲▲	▲▲ puis ▲
BMP-2/4	≈ à ▲	▲▲	▲ puis ≈
BMP-7	≈	▲	▲ puis ≈
IGF-1	≈	▲ puis ▼	ND
FGF	≈	≈ à ▲	≈
VEGF	≈	▲▲	▲▲

- ≈ : Pas ou peu de changement par rapport à la cicatrisation osseuse classique.
▲ ou ▲▲ : augmenté ou très augmenté par rapport à la cicatrisation osseuse classique

▼ : diminué par rapport à la cicatrisation osseuse classique
ND : Non déterminé

Tableau 4: Tableau récapitulatif des taux de facteurs de croissance lors des différentes phases de distraction par rapport à la normale.
(Warren et coll 2001, Bouletreau et coll 2002, Meyer et coll 1999)

II.2.2.2.4.3 Facteurs humoraux

La cicatrisation osseuse est sous le contrôle de messagers biochimiques locaux, de contraintes mécaniques, et d'agents humoraux. Les facteurs humoraux comme les hormones, les vitamines, le calcium, n'interviennent pas dans l'initiation des phases de réparation osseuse, mais ils sont nécessaires pour qu'elles puissent s'exécuter correctement. Un trouble de la physiologie osseuse acquis ou provoqué par des substances exogènes (Biphosphonates, carence en vitamine D...) peut altérer les phénomènes de cicatrisation osseuse et d'ostéogenèse par distraction (Frost 2003).

II.2.3. Comportement du périoste et des tissus mous

II.2.3.1 Comportement du périoste

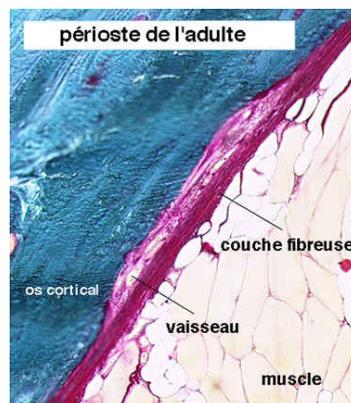


Figure 16 : coupe histologique du périoste de l'adulte

(D'après d'histologie université de St Etienne www.univ-st-etienne.fr/lbto/www/tissu-osseux/chapitres/2origin.html)

Le périoste est considéré comme quiescent à l'état physiologique, chez l'adulte. Il est constitué d'une couche fibreuse (tissu conjonctif dense) externe, peu différenciable de la couche profonde comportant des cellules mésenchymateuses, et des fibroblastes (fig. 16). Les fibres de collagènes et d'élastine sont parallèles à l'os.

Figure 17 : Changement de la morphologie cellulaire après 8 heures d'application de contraintes (12% d'allongement à 1/20 Hz), et contrôle à gauche. D'après Kanno et coll (2005).

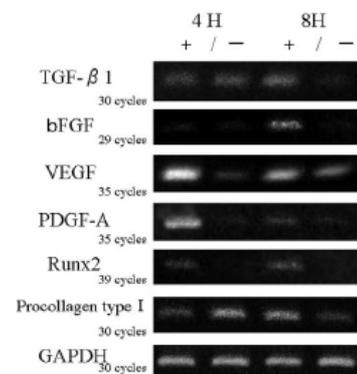
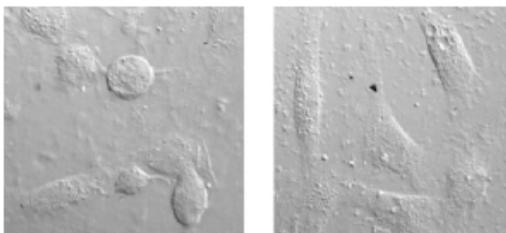


Figure 18 : analyse RT-PCR de l'expression de facteur de croissance, et du pro collagène I par les cellules périostées à 4 et 8 heures d'application de contrainte (- = contrôle). D'après Kanno et coll (2005).



L'effet de l'application d'une tension sur le périoste et les cellules périostées a été étudié par Kanno et coll (2005). Ils ont démontré que lorsque le périoste subit une contrainte de tension (indépendamment de tout phénomène de cicatrisation), les cellules périostées expriment le phénotype ostéogénique. L'application d'une contrainte de tension active fortement l'expression des facteurs de croissance ostéogéniques et angiogéniques (TGF- β , FGF, VEGF, PDGF), et régule positivement l'expression de Runx2 (Cbfa1 associé à d'autres protéines), un facteur de

transcription spécifique des ostéoblastes. L'expression de procollagène I n'est que peu augmentée par rapport à la situation sans contrainte. Une contrainte de tension initie la différenciation des cellules périostées en cellules ostéogéniques, active l'angiogénèse, active la prolifération et l'activité cellulaire.

D'autre part, un étirement provoqué soit par l'œdème inflammatoire, soit par une contrainte appliquée, provoque une modification morphologique des fibroblastes, qui s'allongent, et dont la surface cellulaire est plus que doublé (Kanno et coll., 2005). Les fibroblastes sécrètent alors un réseau dense de collagène, et d'élastine.

Le périoste est profondément impliqué dans la formation et la régénération osseuse, et spécialement lors de l'ostéogénèse par distraction. Il a un rôle important dans l'accélération de l'angiogénèse et la modification phénotypique permettant une régénération osseuse rapide, et de bonne qualité. Son altération engendre une cicatrisation ralentie et de moindre qualité.

II.2.3.2 Comportement des tissus mous lors d'une distraction

Les tissus mous suivent la translation du fragment déplacé. Ce phénomène a surtout été étudié sur la distraction d'os longs, et la réaction des tissus musculaires et conjonctifs : la distraction sur un squelette immature provoque l'allongement fonctionnel du muscle et des tissus mous ; cependant, la distraction appliquée sur un squelette mature provoque une fibrose significative du muscle, et une perte de fonctionnalité musculaire, mais n'altère pas les tissus conjonctifs (De Deyne et coll. 2002).

Le pic d'IGF-1 sérique local, lors du début de la distraction, est provoqué par son expression importante dans les tissus mous. Les fibroblastes conjonctifs et périostés expriment abondamment IGF-1, provoquant ainsi une stimulation ostéogénique, une stimulation de la prolifération cellulaire conjonctive, et de la synthèse de la MEC (Liu et coll 1999, Bouletreau 2002). Les tissus conjonctifs adjacents à la zone de distraction sécrétant de l'IGF-1 favorisent donc l'ostéogénèse et accélèrent la croissance des tissus conjonctif peri osseux.

Cependant, Kruse-losler et coll. (2005) observent une atrophie gingivale dépendante du degré de contrainte mécanique. Cette atrophie rapide est caractérisée par une diminution de l'épaisseur de la couche épithéliale, une perte des crêtes réticulées et une désorganisation des différentes couches cellulaires, avec un grand

nombre de cellules apoptotiques. La quantité de fibres de collagène de la *lamina propria* diminue, et la quantité de fibres élastiques augmentent. Le degré d'atrophie gingivale est proportionnelle à la tension appliquée, et est plus importante et plus rapide pour des forces supra-physiologiques. Cette atrophie gingivale est temporaire, mais la période de retour à une histologie normale n'a pas été évaluée. Ce phénomène peut favoriser l'operculisatation trans-gingivale du dispositif de distraction.

La croissance des tissus mous n'est pas aussi rapide que l'allongement provoqué par la distraction ($\approx 1\text{mm/j}$) qui entraîne un étirement, une atrophie, et un enrichissement en fibres élastiques des tissus. Les tissus mous recouvrant le site de distraction produisent ainsi une résistance (forces opposées à la force distractive) sur le fragment déplacé, qui peut provoquer, si le dispositif de distraction n'est pas assez rigide, une modification du vecteur. Néanmoins, les travaux de Stucki-McCormick et coll. (1999) montre que la zone d'incision est une zone de croissance tissulaire plus importante que les zones voisines lors de la phase de distraction active, provoquant une véritable génération tissulaire au niveau du trait d'incision.

III. INDICATIONS, DESCRIPTION DES TECHNIQUES, ET UTILISATION DES DISPOSITIFS DE DISTRACTION ALVEOLAIRE.

III.1 CLASSIFICATION CLINIQUE DES DEFAUTS VERTICAUX

L'ostéogénèse alvéolaire par distraction est une technique permettant d'obtenir une anatomie alvéolaire favorable pour le placement de restaurations dentaires supra implantaires. Cette procédure permet l'aménagement tissulaire vertical ou transversal de l'os alvéolaire.

La distraction alvéolaire verticale requiert une classification des défauts osseux (fig. 19) permettant de choisir spécifiquement les protocoles à appliquer. Jensen et coll. (2001) classifient les défauts alvéolaires en fonction des données anatomiques et de l'approche clinique désirée :

- **Classe 1** : rempart alvéolaire présentant un défaut vertical d'environ 5 mm et une largeur favorable, ne nécessitant pas de greffe osseuse d'apposition.
- **Classe 2** : rempart alvéolaire présentant un défaut vertical d'environ 10 mm et habituellement une perte osseuse horizontale. Une greffe d'apposition osseuse est requise avant ou après la distraction.
- **Classe 3** : Ablation alvéolaire marquée, présentant une perte verticale supérieure à 10 mm et un défaut horizontal important. Nécessité de reconstruction de l'os basal précédant une procédure de distraction.

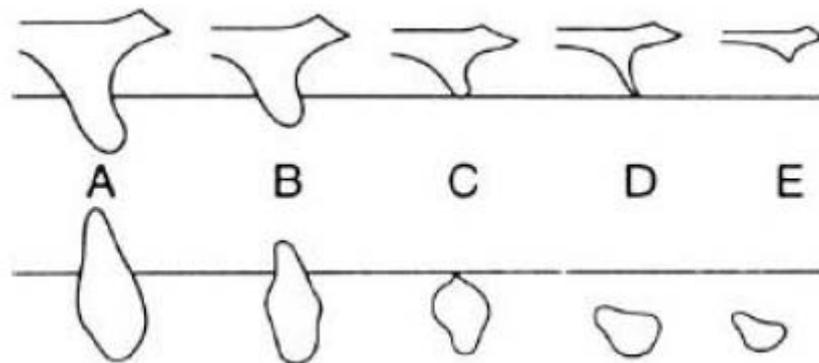


fig. 19 : A : Persistance de la majorité du procès alvéolaire; B : résorption modérée de la crête alvéolaire ; C : résorption alvéolaire avancée ; D : résorption de l'os basal modérée ; E : résorption avancée de l'os basal. Suivant le degré de résorption vestibulaire ; A, B ou C peuvent être de classe 1 ou 2 ; D et E sont de classe 3 au niveau maxillaire, et de classe 1 ou 3 au niveau mandibulaire.

(D'après Garcia-Garcia 2004b)

Si la distraction est envisagée, ce système de classification détermine 3 formes d'approche clinique pour 3 situations différentes :

- Le défaut osseux vertical permet un résultat optimal avec uniquement une distraction.
- Le défaut osseux est vertical et transversal, permettant la réalisation d'emblée d'une distraction, et nécessitant un aménagement osseux transversal pour un résultat optimal (fig. 20 et 21).
- Le défaut osseux est vertical et transversal ou uniquement vertical et ne permet pas la réalisation d'emblée de la distraction. Il est nécessaire de recréer un volume osseux avant la distraction.



fig. 20 : Exemple de cas présentant une résorption de composante verticale et horizontale : Classe 2, la greffe osseuse d'apposition est indiquée avant la distraction qui permettra de compenser une résorption éventuelle de la greffe (D'après Jensen 2002)



fig. 21 : Autre exemple de la classe 2 : la greffe d'apposition est nécessaire pour compenser la résorption horizontale, la distraction pour favoriser l'esthétique prothétique en permettant l'alignement des collets (D'après Jensen 2002).

III.2 INDICATIONS, CONTRE-INDICATIONS DE L'OSTEOGENESE PAR DISTRACTION ALVEOLAIRE

- **Indications** (Cano et coll. 2006)
 - Atrophie sévère d'une crête alvéolaire édentée mandibulaire ou maxillaire
 - Déficience verticale segmentaire de la crête alvéolaire, compromettant le placement optimal fonctionnel et esthétique d'implants
 - Crête alvéolaire en lame de couteau, ayant une hauteur exploitable insuffisante pour la mise en place d'implants
 - Crête alvéolaire étroite, sur laquelle il est possible de réaliser une distraction horizontale
 - Mouvement vertical progressif d'une dent ankylosée, lorsque le déplacement orthodontique a échoué ou est impossible
 - Mobilisation verticale progressive d'implants ostéointégrés avec son os alvéolaire adjacent

- **Contre- indications**

Absolues :

- Pathologies systémiques non contrôlées
- Cardiopathies à risque
- Troubles psychologiques majeurs
- Dépendance alcoolique ou médicamenteuse
- Patients ayant subit une radiothérapie ORL ou maxillo facial

Relative :

- Patient à risque (parodontopathies non contrôlées, tabagisme)
- Situation occluso articulaire défavorable
- Volume osseux insuffisant pour réaliser d'emblée une ostéogénèse par distraction
- Ouverture buccale insuffisante
- Décalage transversal important des bases osseuses

III.3 PRINCIPES ET TECHNIQUE CHIRURGICALE

III.3.1 Plan de traitement

III.3.1.1 Bilan pré implantaire

Un examen oro-facial attentif est indispensable pour le choix de l'option thérapeutique. Un examen parodontal et dentaire et les traitements d'assainissement biologique et occluso-prothétique nécessaires doivent être réalisés. Une évaluation occlusale doit être conduite pour observer les phénomènes occluso-dentaires potentiellement pathogènes et déterminer pour les restaurations l'occlusion de référence, le plan d'occlusion et la dimension verticale.

Un bilan pré-implantaire précis doit être réalisé : bilan rétro alvéolaire, radiographie panoramique, montage en articulateur suivant l'occlusion de référence. Une cire de diagnostic (*wax up*) des dents manquantes et de la perte tissulaire est réalisée. Premièrement, un *wax up* alvéolaire est réalisé sur le modèle d'étude pour obtenir une anatomie alvéolaire idéal, avec l'alignement des collets et un rapport inter arcade optimal. Dans un deuxième temps, un *wax up* dentaire est réalisé. Le *wax up* finale est validé fonctionnellement et esthétiquement, puis est transformé en modèle en plâtre.

Une gouttière de réplique thermoformée est réalisée sur le modèle modifié. En plaçant cette coque sur le modèle d'étude, il est possible d'étudier le volume alvéolaire qu'il faudra récupérer pour un résultat optimal. Ce montage permet de réaliser un guide radiologique pour l'exploration tomographique, nécessaire pour apprécier les volumes osseux résiduels, et déterminer le traitement chirurgical.

Il est également possible de réaliser des modèles stéréolithographiques (fig. 22) pour simuler la distraction (son vecteur, associé ou pas à d'autres techniques chirurgicales d'aménagement osseux) et apprécier les volumes osseux.



fig.22 : Modèle stéréolithographique mandibulaire et maxillaire. La distraction est planifiée suivant l'anatomie des structures osseuses et les nécessités prothétiques. (D'après Gaggl A. 1999)

III.3.1.2 prothèse provisoire

Une prothèse amovible est une option, cependant elle ne doit pas être en contact avec la zone de distraction et ne doit pas entraver l'élévation de la vis de distraction durant la phase active (fig. 23 et 24). Il est prépondérant de ne pas altérer la distraction ou de provoquer des blessures qui pourraient exposer l'os.



fig. 23: solution provisoire fixée
(d'après ipj.quintessenz.de/index.php?content=issues&doc=poster&select=239)



fig. 24 : solution provisoire adjointe
(D'après ipj.quintessenz.de/index.php?content=issues&doc=poster&select=239)

III.3.1.3 Mise en place des implants et restauration finale

La mise en place d'implants dans la zone distractée obéit aux mêmes exigences que la mise en place d'implants dans de l'os natif.

III.3.2 Principes chirurgicaux

L'ostéogenèse par distraction alvéolaire est fondée sur une traction verticale progressive d'un fragment osseux pédiculé à un segment muco périosté qui maintient un apport sanguin

sans interruption (Garcia-Garcia et coll., 2004). Un des principes fondamentaux énoncés par Ilizarov (Ilizarov et coll., 1989) est le maintien d'une vascularisation périostée du fragment osseux transporté. Ceci implique l'absolue nécessité d'éviter au maximum les décollements mucopériostés au niveau du segment transporté. Il faut rechercher un compromis entre la réalisation des ostéotomies, la mise en place du dispositif, et un accès mucopériosté le moins invasif possible. Dans la technique classique décrite par Chin et Toth (1996), au niveau mandibulaire, le versant lingual sera préservé et fournit l'apport sanguin ; il en sera de même pour le versant palatin au niveau maxillaire.

Il est nécessaire d'avoir un volume osseux minimum pour considérer la réalisation d'une distraction alvéolaire : un minimum de 6 à 7 mm de hauteur osseuse résiduelle au dessus d'une structure anatomique vitale, et au moins 4 mm de défaut vertical (de la limite crestale du mur osseux à la zone la plus déclive) sur une longueur suffisante (Mc Allister et Gaffaney, 2003).

Si les dents adjacentes à la région concernée par la distraction ont des pertes osseuses marginales préoccupantes, il est raisonnable de considérer leurs extractions pour créer un véritable défaut osseux sans « parois dentaires ». Il est nécessaire de sacrifier une dent compromise pour optimiser la quantité d'os verticalement formé (Mc Allister et Gaffaney, 2003).

Enfin il est indispensable d'obtenir une rigidité transversale du fragment osseux transporté et du dispositif de distraction pour ne pas altérer la qualité du régénérât osseux.

Les sinus maxillaires, les fosses nasales, le plexus grands palatins, le plexus nasopalatin sont les obstacles anatomiques maxillaires. Les secteurs postérieurs maxillaires sont peu concernés par la distraction alvéolaire, car l'augmentation des volumes osseux est réalisée par des comblements sinusiens par de l'os autogène ou des biomatériaux de substitution osseuse. La distraction alvéolaire peut jouer un rôle dans l'aménagement pré implantaire dans un deuxième temps, après la greffe sous sinusienne. L'artère et le nerf grand palatin qui irrigue et innerve un héli palais sont particulièrement exposés, notamment dans l'approche palatine décrite par Garcia-Garcia (2004). Par contre, lors d'interventions sur le prémaxillaire, la section des artère et nerf nasopalatin n'est pas critique et n'altère que temporairement la sensibilité d'une petite région autour de la papille rétro incisive.

Au niveau mandibulaire l'obstacle anatomique majeur est le nerf alvéolaire inférieur, notamment dans les cas de résorption alvéolaire importante. Un manque de volume osseux suffisant au dessus du canal alvéolaire est une contre indication à la réalisation d'une distraction alvéolaire dans les secteurs postérieurs de la mandibule.

III.3.3 Procédure chirurgicale originale

- **Anesthésie**

Il est possible de réaliser la procédure chirurgicale sous anesthésie locorégionale, surtout au niveau des secteurs antérieurs où l'accès et la vision sont plus aisés (Mc Allister et Gaffaney, 2003, Garcia-Garcia et coll., 2004).

- **Incision et lambeau**

Lors de distraction de segments édentés et encadrés de faible longueur, une incision medio crestale de la gencive kératinisée est utilisée avec succès ; pour des distractions de segments plus étendus une approche vestibulaire est réalisée (Mc Allister et Gaffaney, 2003). Lors d'incisions vestibulaires, le site d'incision est également le site de génération privilégié de tissu mou (Stucki-McCormick et coll. 1999). En conséquence, si l'incision est réalisée au niveau de la muqueuse libre, celle-ci aura tendance à se développer. Il est recommandé de réaliser une incision vestibulaire à 5 mm crestalement de la jonction mucogingivale, ou au niveau de cette jonction pour favoriser une génération de gencive kératinisée (Stucki-McCormick et coll. 1999). Un lambeau de pleine épaisseur est levé sur le versant vestibulaire uniquement, en faisant attention à ne pas récliner les tissus au niveau de la crête alvéolaire et au niveau lingual (Mc Allister et Gaffaney, 2003). Le décollement du lambeau s'effectue en tunnélisant apicalement jusqu'à la hauteur osseuse adéquate pour réaliser les ostéotomies. Si le périoste est lésé ou excessivement manipulé, la période de latence d'environ 5 jours peut être étendue de 1 ou 2 jours pour favoriser la cicatrisation et l'adhérence du périoste qui fournit l'apport sanguin (Ilizarov et coll., 1989 ; Stucki-McCormick et coll. 1999). De même, si le fragment transporté est petit ou si l'os est hypovascularisé (os basal mandibulaire), la période de latence est allongée de 1 à 2 jours.

- **Ostéotomies et mise en place du distracteur**

Les ostéotomies horizontales et verticales sont réalisées avec un une fraise fissure, une scie oscillante ou des inserts piezo électriques en préservant le périoste lingual, et restant au moins à 1,5 à 2 mm des racines dentaires ou des obstacles anatomiques (canal dentaire, fosses nasales). Au niveau mandibulaire, il est nécessaire, entre les foramen mentonniers, de maintenir une épaisseur minimum d'os basal de 6 mm. L'ordre de placement, la fixation

du distracteur et l'ostéotomie finale sont spécifiques du type de distracteur utilisé. L'ostéotomie linguale et des zones non découvertes est réalisé par des instruments frappés avec un contrôle digital, et s'apparente plus à une ostéoclasie (la fracture de la corticale linguale est recherchée, sans ostéotomie franche).

Pour les dispositifs extra osseux, l'ostéotomie et l'ostéoclasie basale (horizontale) sont d'emblée complètes. Les traits verticaux sont d'abord de simples corticotomies, permettant le placement du dispositif sur un lit osseux stable et déterminé. Une fois le distracteur placé, les ostéotomies verticales sont complétées.

Pour les dispositifs intra osseux, toutes les ostéotomies sont d'emblée complètes pour permettre la mise en place du distracteur.

Pour les implants distracteurs, l'ostéotomie basale est d'emblée complète, suivie de la préparation du forage osseux conventionnel à la mise en place d'implants. L'implant distracteur est placé et les corticotomies verticale sont complétées en ostéotomies.

Dans tout les cas, la fonctionnalité du dispositif est évaluée pour éviter toute interférence empêchant la mobilisation et l'ascension du fragment transporté. Si les ostéotomies laissent des épines osseuses, ou si elles sont convergentes en direction occlusale, le fragment n'aura qu'un faible degré de mobilité, ou les interférences modifieront le vecteur de la distraction.

Les traits d'ostéotomie ont la forme d'un U (fig. 25), possédant les angles internes arrondis. L'expérience dans les résections carcinologiques non interruptrices montre que la forme d'un trapézoïde strict concentre les stress mécaniques au niveau des angles internes, une forme arrondie des angles internes minimise le risque de fracture, notamment au niveau de la mandibule. La forme du fragment transporté dicte en partie le résultat esthétique. Pour les mandibules atrophiées, la création d'un profil trapézoïdal évasé permet une transition plus douce et graduelle entre l'os non distracté, le régénérat osseux et le fragment transporté.

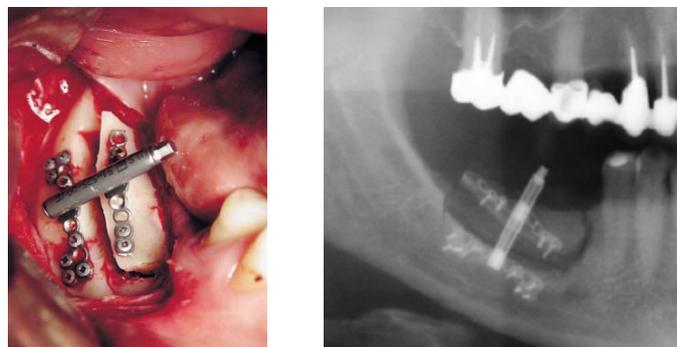


fig. 25: Sur l'image de gauche, l'ostéotomie en U est complétée après la mise en place du distracteur extra osseux. A droite, une ostéotomie incomplète en mésial compromet le traitement, car l'épine osseuse interfère dans l'élévation du fragment (D'après Paraque 2001)

- **Sutures**

La suture des lambeaux est classique mais l'émergence de la vis de distraction est plus ou moins pratique à ménager suivant le type de distracteur (Mc Allister et Gaffaney, 2003). Le plus souvent l'utilisation d'une incision circulaire micro invasive type « punch » (poinçon) permet de ménager l'émergence de la vis de distraction.

III.3.4 Procédures chirurgicales modifiées

III.3.4.1 Ostéotomie en L inversé

Au niveau mandibulaire postérieur, Millesi-Schobel et coll. (2000) préconisent un tracé d'ostéotomie en L inversé (fig. 26), afin de ne pas augmenter la hauteur alvéolaire en secteur distal, qu'ils jugent inutile et peu conforme au profil naturel de la crête alvéolaire. Ils complètent ce tracé par une ostéosynthèse par micro plaque au niveau de l'éperon distal du fragment transporté, afin que le fragment réalise un mouvement de rotation autour du point distal (fig.26 et 27). Cette approche a été utilisée chez 4 patients sans aucune complication neurologique, et a permis un contour de régénération plus physiologique, en éliminant le risque d'interférence occlusale de la partie distale du fragment transporté. Klug et coll. (2001) obtiennent également de bons résultats en suivant cette technique chez 10 patients.

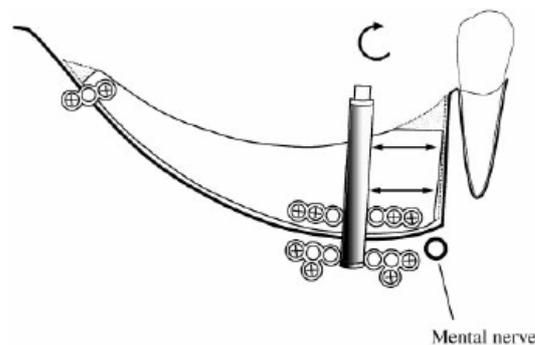


fig. 26: schéma de l'ostéotomie en L inversé, préconisé pour les zones mandibulaire postérieures. La mini plaque postérieure permet une rotation du fragment transporté. Comme le mouvement est rotatif et non translatif, Il est essentiel d'éliminer des épines osseuses éventuelles causant des interférences. (d'après Millesi-Schobel 2000)

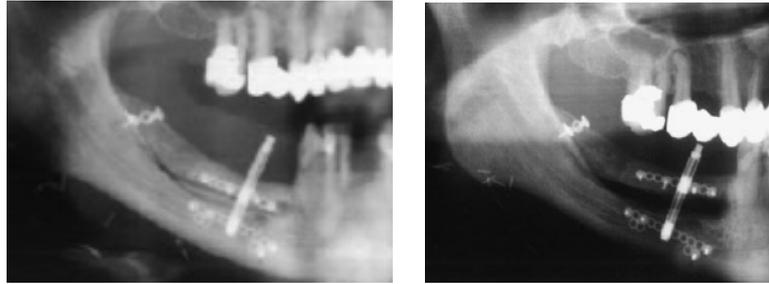


fig. 27 : A gauche, avant l'activation, à droite à la fin de l'activation.
(D'après Millesi-Schobel 2000)

III.3.4.2 Approche palatine

Lorsque la distraction est réalisée au niveau des maxillaires, Garcia-Garcia et Coll. (2004) préconisent une approche palatine permettant de constituer le pédicule vasculaire du côté vestibulaire qui est à la fois mieux irrigué et plus extensible que la muqueuse palatine. La muqueuse recouvrant la face vestibulaire des procès alvéolaires des maxillaires, est irriguée par l'artère infra orbitaire, sphéno-palatine, faciale, et palatine descendante, formant un riche réseau anastomotique. Lors d'une approche palatine, le fragment transporté reste pédiculé à la muqueuse vestibulaire qui assure un apport sanguin d'excellente qualité par rapport à l'apport sanguin palatin ayant une vascularisation issue des artères grande palatine et naso palatine.

III.3.4.3 Approche trans gingivale

La mise en place d'implants distracteurs implique la recherche de résultats prothétiques et esthétiques autant que des résultats de la distraction. L'utilisation d'implants distracteurs correspond à une approche minimalement invasive. La technique de punch (poinçon) gingivale est bien établie lors de la pose d'implants et la mise en place d'implants distracteurs est similaire à la mise en place d'implants classique. Gaggl et coll. (2002) propose l'utilisation de punch gingivaux pour la mise en place transgingivale d'implants distracteurs (fig.28). Cette technique a deux principaux avantages : premièrement, il évite les cicatrices, l'altération du contour gingival et le risque de résorption osseuse lié à une incision crestale. D'autre part, cette approche minimalement invasive évite le décollement de la muqueuse crestale et favorise l'apport sanguin au fragment transporté.



fig. 28: les implants distracteurs sont placés sans élévation d'un lambeau crestal.
(D'après Gaggl 2002)

III.4 TECHNIQUES DE DISTRACTION POUR UN GAIN TRANSVERSAL

Les techniques de distraction alvéolaire ont essentiellement été développées pour obtenir un gain osseux vertical. Néanmoins, une largeur alvéolaire insuffisante (configuration en lame de couteau par exemple) empêche le placement optimal d'implants dentaires. Cette problématique est ancienne et les techniques disponibles pour faire face à ces situations sont bien établies cliniquement : ce sont l'expansion et la condensation osseuse, les greffes osseuses autogènes d'apposition, et la régénération osseuse guidée (ROG). Les principaux inconvénients des greffes d'apposition et des ROG sont une résorption non prédictible et un recouvrement tissulaire délicat.

Les résultats encourageants et prédictibles de l'ostéogénèse par distraction ont conduit de nombreux auteurs à utiliser les principes et à modifier les techniques de distraction pour obtenir un gain osseux transversal.

III.4.1 Technique originale

Aparicio et Jensen (2001) sont les premiers à proposer un élargissement des procès alvéolaires mandibulaires postérieurs par un protocole inspiré des techniques de distraction. Leur procédure chirurgicale consiste en un large décollement périosté, suivi par la réalisation d'un volet osseux cortico-spongieux vestibulaire. Le dispositif de distraction est constitué de deux vis d'ostéosynthèse de 2 mm de diamètre dont l'extrémité taraudante a été émoussée. L'extrémité mousse des vis prend appui sur la corticale linguale du procès alvéolaire. Lorsque les vis sont activées ensemble, le volet osseux vestibulaire est entraîné par le filetage (fig. 29).

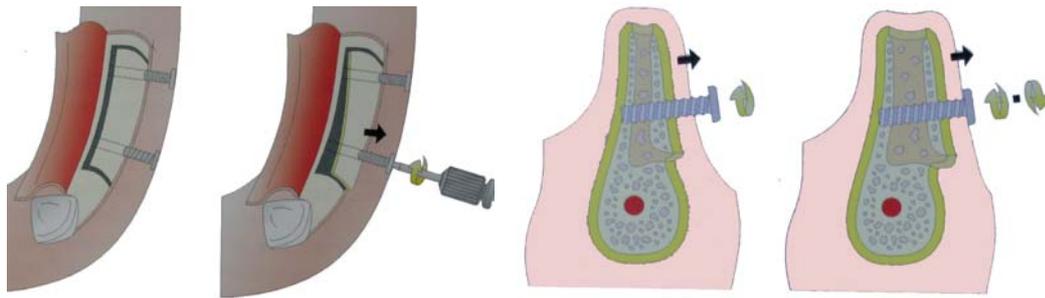


fig.29 : La technique d'Aparicio et Jensen. Le filtage des vis entraîne le volet vestibulaire.
(D'après Aparicio C. Alveolar distraction to gain width. In: Jensen OT, ed. *Alveolar Distraction Osteogenesis* : Quintessence Publ Co; 2002:140.)

Pour permettre une cicatrisation optimale du périoste, la période de latence est doublée à 12 jours. Les vis sont activées par le praticien pour obtenir un élargissement d'1 mm tous les 2 ou 3 jours, pendant 2 semaines. Les vis sont laissées en place pendant la période de consolidation et retirées lors de la mise en place des implants. La particularité importante est que la mise en place des implants s'effectue entièrement dans la zone d'ostéogénèse, sans traverser de zone d'os mature et corticalisé.

Oda et coll (2004) utilisent la même approche chirurgicale au niveau du maxillaire antérieur, mais le dispositif de distraction est un LEAD dont la plaque basale a été enlevée (fig.30).

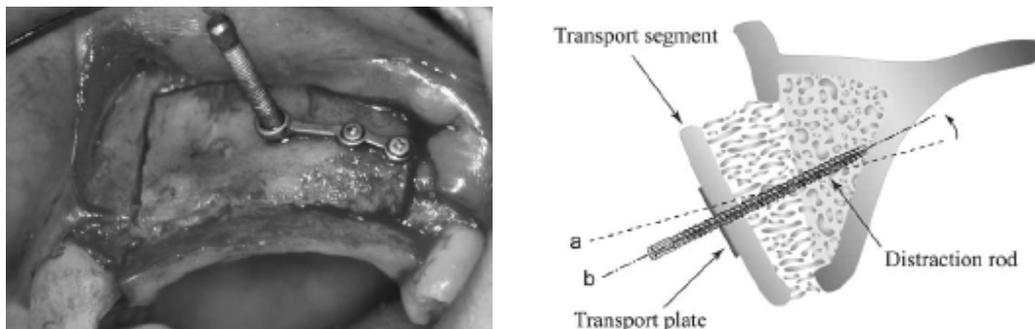


fig.30 : Détournement de l'utilisation d'un LEAD par Oda. La plaque basale n'est pas utilisée, la plaque de transport est fixée sur le volet vestibulaire et la vis de distraction est perpendiculaire à la crête alvéolaire. (D'après Oda, 2004)

La distraction alvéolaire transversale est d'abord illustrée par une série de cas cliniques dont le protocole varie peu de la technique d'Aparicio (Aparicio et Jensen, 2001 ; Nosaka et coll., 2002, Takahashi et coll., 2003 ; Oda et coll., 2004). Ces publications n'ont qu'une valeur anecdotique, et il est difficile de parler réellement de distraction concernant la technique décrite par Aparicio et suivie par d'autres praticiens. En effet, le fragment transporté n'est pas pédiculé au périoste vestibulaire puisqu'il est entièrement récliné, donc

la vascularisation est interrompue. Garcia-Garcia A. dans un commentaire sur la publication d'Oda considère que la situation se rapproche plus d'une greffe libre d'apposition et propose le terme de « régénération osseuse guidée dynamique » pour caractériser ce protocole (Garcia-Garcia et Somoza 2005).

III.4.2 Technique modifiée

Garcia-Garcia et coll. (2004b) proposent une voie d'abord permettant de garantir un pédicule périosté sur le fragment vestibulaire transporté. L'incision médio crestale permet l'ostéotomie crestale et latérale grâce à une tunnelisation (décollement localisé). L'ostéotomie basale est réalisée grâce à une petite incision vestibulaire et une tunnelisation. L'ostéotomie est réalisée grâce à des ciseaux ostéotome. Le dispositif de distraction est un LEAD dont la plaque basale a été retirée (fig.31)

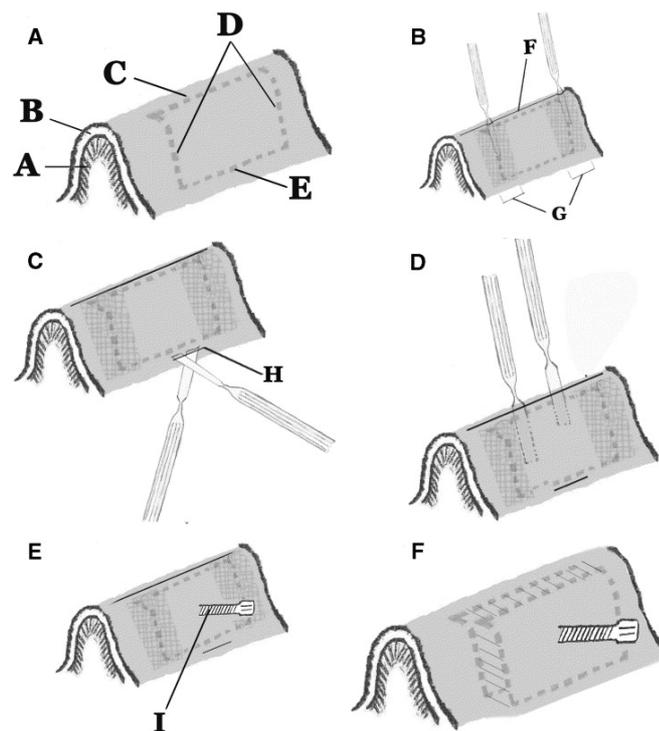


fig.31 : Méthode de Garcia : C, ostéotomie crestale ; D, ostéotomie latérales ; E ostéotomie basale ; Une première incision crestale (F) est réalisé suivie du décollement localisé (G) au niveau des ostéotomies latérales. Une incision basale très limitée (H) est réalisée pour permettre l'ostéotomie basale. Le clivage du volet osseux est réalisé par des ciseaux ostéotomes. Le dispositif de distraction est mis en place par voie trans muqueuse (D'après Garcia-Garcia et coll., 2004b).

III.4.3 Dispositif spécifique et études cliniques

Gaggl et coll. (2004) et Laster et coll. (2005) proposent des études visant à évaluer des dispositifs et des techniques de distraction transversale et l'ostéointégration d'implants dans la zone d'ostéogénèse.

Gaggl et coll. décrivent un dispositif (fig.32) permettant une distraction transversale du procès alvéolaire prémaxillaire mais contraignant à un décollement périosté, alors que Laster et coll. décrivent un dispositif permettant une distraction transversale localisée sur 20 mm qui permet de maintenir un pédicule périosté sur le volet vestibulaire transporté et adoptent une attention particulière pour minimiser le décollement périosté (fig.32).



fig.32 : A gauche le dispositif de Gaggl très volumineux pour les crête antérieures. A droite, le dispositif de Laster, plus compact et de mise en place plus aisée. (D'après Gaggl, 2004 et Laster, 2005)

Gaggle et coll. évaluent l'ostéointégration de 22 implants mis en place dans la zone d'os régénéré 3 mois après la fin de la distraction. Des biopsies réalisées lors de l'implantation mettent en évidence un os mature lamellaire et vascularisé. Durant le suivi d'un an, 3 implants placés dans le régénérat osseux ne s'ostéointègrent pas, doivent être déposés, puis remplacés 3 mois après avec succès. L'ostéointégration des implants est évalué par Périotest® : -1,2 en moyenne à 3 mois et -1,7 en moyenne à 12 mois. Ces valeurs (de -1 à -8, l'implant présente une ostéointégration) montre des implants ostéointégrés dans un os peu dense qui continue son modelage interne entre le 3^{ème} et le 12^{ème} mois après la fin de la distraction.

Laster et coll. suivent le protocole décrit par Garcia-Garcia et obtiennent une ostéointégration de 22 implants sur 23 au total. Ils n'observent aucune résorption osseuse marginale sauf chez un patient dont le volet vestibulaire a été entièrement dépériosté. Il est intéressant de remarquer que l'implantation a lieu 2 semaines après la fin de la distraction et que le taux d'ostéointégration est comparable à celui obtenu au niveau d'os normal. Laster

propose que le régénérât osseux possède une capacité d'ostéointégration importante permettant une implantation précoce et prédictible.

Les résultats et les détails de ces études sont récapitulés dans le tableau 5 :

études	distracteur	patients	latence	activation	consolidation	Gain transversal	Nombre d'implants	Taux d'ostéointégration
Gaggle et coll. (2004)	Callus-spreader (SIS trade inc , austria)	6	7 jours	0.25 mm/j pendant 18-22 j	12 semaines	9-11 mm	22	86.4%
Laster et coll. (2005)	Laster Crest Widener (Surgetek Inc, Belgium),	9	7-10 jours	0.4 mm/j pendant 7 j	2 semaines	4-6 mm moy=4.6	23	95.6%

Tableau 5: récapitulatif des études de Gaggle et Laster

Actuellement, la distraction horizontale est une technique séduisante mais qui reste marginale. Elle nécessite encore des évaluations expérimentales et cliniques pour proposer des protocoles reproductibles et des dispositifs accessibles. Cependant, cette technique est utilisée avec succès pour l'aménagement pré implantaire et pour fermer des fentes alvéolo palatine.

III.5 AJUSTEMENT IMPLANTAIRE MULTIDIMENSIONNEL

En 2000, Watzek et coll. décrivent le premier système de distraction intra buccal permettant un déplacement multidimensionnel d'un segment osseux comportant des implants ostéointégrés. Cette méthode d'ostéogénèse par distraction n'a pas seulement pour but l'augmentation des tissus mous et durs d'une zone atrophique, mais également de corriger une situation implanto-prothétique non favorable.

Ces malpositions implantaires ont des causes iatrogènes ou sont liées à la croissance faciale. Cela se produit lorsque les implants sont placés chez des patients jeunes atteints d'oligodontie, notamment dans le cadre de dysplasie ectodermique (Zechner et coll. 2001). La mise en place d'implants chez le patient atteint de dysplasie ectodermique permet le maintien d'un volume osseux au niveau des zones édentées et stimule la croissance osseuse des maxillaires (Smith et coll 1993). Cependant, la mise en place d'implants chez des patients n'ayant pas fini leur croissance faciale entraîne inévitablement un enfouissement implantaire provoqué par la croissance verticale des procès alvéolaires, et la

croissance transversale provoque une altération de l'axe et de l'émergence idéaux compromettant le résultat esthétique et fonctionnel.

De nombreuses propositions de techniques et de dispositifs ont été évaluées (Watzek et coll., 2000 ; Zechner et coll. 2001 ; Celar et coll., 2002 ; Zauza et coll. 2004). Elles ont toute comme principe de connecter les implants du segment osseux transporté à un dispositif de distraction fixé sur des dents ou des implants. Ces prothèses de traction comportent un dispositif permettant une traction uni, bi, ou tridimensionnelle de l'implant ostéointégré et du segment osseux contiguë.

III.5.1 Dispositifs

La connexion implantaire permettant sa mobilisation tridimensionnelle est le cœur du système. Le dispositif de distraction est soudé à une prothèse conjointe ou adjointe prenant appui sur l'arcade dentaire ou des implants ostéointégrés. Dans les cas d'édentement complet et de présence d'implants dont les axes ne sont pas optimaux, il est nécessaire de mettre en place des implants et d'attendre leur ostéointégration pour prendre appui dessus et commencer un protocole de distraction du segment osseux contenant les implants. A part ce cas il est préférable de prendre appui sur l'arcade dentaire.

Watzek est le premier à proposer un dispositif d'ajustement implantaire multidimensionnel. Le système de distraction est composé de 3 éléments : la connexion implantaire, la vis de distraction axiale (verticale) et la vis de distraction transversale (fig.33 et 34).

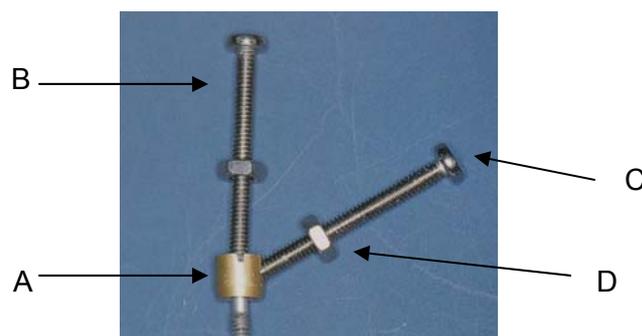


fig.33 : Distracteur de Watzek : A, connexion implantaire ; B, vis de déplacement verticale ; C, vis de déplacement horizontale ; D, écrou de fixation à la prothèse. (D'après Watzek, 2000)

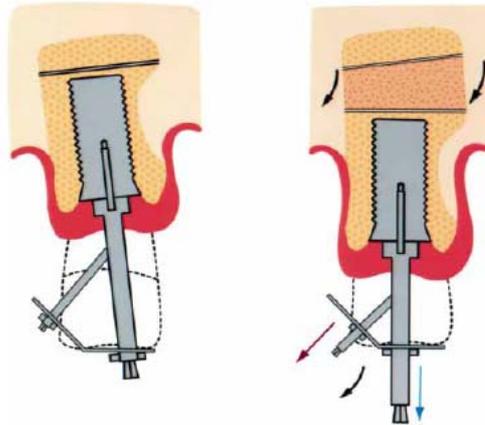


fig.34 : Distraction multidimensionnelle par un dispositif individuel fabriqué sur mesure. La vis de gauche (rouge) permet un mouvement vestibulaire, la vis axiale (bleu) permet un déplacement vertical. Le vecteur de distraction correspond à la flèche centrale (noir). (D'après Watzek, 2000)

Ce système de distraction est fixé à une prothèse dentaire conjointe ou une prothèse amovible très stable et rétentive. L'arcade dentaire joue le rôle de support fixe (comme la plaque basale des distracteurs extra osseux), sur lequel prennent appui les forces de distraction.

D'autres dispositifs ont été réalisés notamment par Zechner, Zauza ou Celar (Watzek et coll., 2000 ; Zechner et coll. 2001 ; Celar et coll., 2002 ; Zauza et coll. 2004), et sont fondés sur le même principe et sont fabriqués individuellement en fonction de l'anatomie du patient et du type d'implants à déplacer (fig.35 et 36).



fig.35 : Distracteur de Zechner : La prothèse fixée intègre entièrement le dispositif de distraction. Celui-ci permet des mouvements transversaux, verticaux et des rotations autour de l'apex des implants. A gauche, vue occlusale du dispositif, au centre, vue latérale, et à droite vue latérale sans les vis d'activation. (D'après Zechner, 2001)

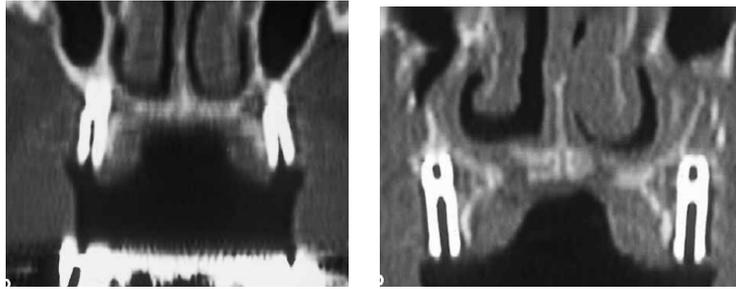


fig.36 : A gauche l'emplacement initial des implants, à droite, après la distraction du bloc implants/os par la méthode de Zechner chez un patient atteint de dysplasie ectodermique. La différence d'angulation est de près de 20° et leur situation est beaucoup plus basse par rapport au sinus. (D'après Zechner, 2001)

III.5.2 Indications

Les indications pour les prothèses de distraction sont (Zauza et coll. 2004) :

- Déficience osseuse interdisant une position coronaire idéale
- Angulation extrême entre l'axe de l'implant et l'axe de la couronne
- Dysharmonie entre la longueur de l'implant et celle de la restauration dans des situations esthétiques
- Malposition implantaire

Un manque de support pour le distracteur, une proximité implantaire et dentaire, ou un manque de motivation de la part du patient sont des contre indications à l'application de cette technique (Watzek et coll., 2000 ; Zechner et coll. 2001, Zauza et coll. 2004).

III.5.3 Procédure chirurgicale

La disposition d'un volume osseux suffisant est essentielle pour la réussite du traitement. L'ostéotomie doit être distante d'au moins 1 mm de la surface de l'implant et le trait d'ostéotomie doit être le plus fin possible (Watzek et coll., 2000). Une distance moindre provoque une nécrose de l'os péri implantaire (Watzek et coll., 2000). Comme pour les protocoles chirurgicaux classiques le trait d'ostéotomie doit être au moins à 1,5 mm d'une racine dentaire (fig.37). Au niveau basal, il est nécessaire de maintenir un lit osseux péri implantaire de 3 à 5 mm ; à la mandibule, il est nécessaire de maintenir au moins 6 mm de hauteur d'os basal pour éviter tout risque de fracture (Watzek et coll., 2000).

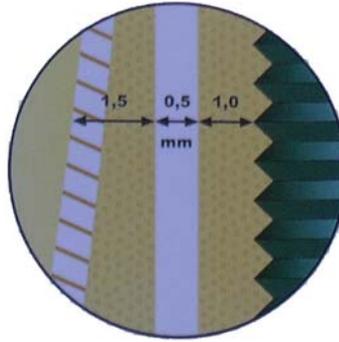


fig.37 : La distance d'une ostéotomie doit être au minimum à 1,5 mm d'une racine dentaire, et au minimum à 1mm d'un implant.

Après l'incision vestibulaire et le décollement du périoste vestibulaire, l'ostéotomie est réalisée à l'aide de scies oscillantes ou de disques diamantés en préservant le périoste lingual et en respectant précisément les distances minimum. Des ostéotomes frappés permettent l'ostéoclasie linguale sous contrôle digital.

La connexion implantaire doit être fixée à l'implant avant l'ostéotomie, permettant une meilleure identification de l'axe implantaire, et permettant les ostéotomies divergentes. Après le contrôle des ostéotomies, le dispositif de distraction est inséré et l'implant est connecté au système de traction. Comme pour chaque distraction le dispositif est actionné avant les sutures pour vérifier la mobilité du fragment (Watzek et coll., 2000 ; Zechner et coll. 2001).

L'enchaînement chronologique rejoint les protocoles de distraction classique. La période de latence est de 5 à 7 jours, le distracteur permettant la stabilisation du fragment osseux. Le nombre de révolutions des vis de distraction dépend de la modification horizontale et verticale désirée. Verticalement, 1mm de déplacement quotidien est recommandé et 0,5 mm de déplacement horizontal. La phase de consolidation est de 8 à 12 semaines (Watzek et coll., 2000 ; Zechner et coll. 2001).

III.5.4 Résultats

Watzek et collaborateur (Watzek et coll., 2000) suivent 17 patients porteurs au total de 33 implants devant être ajustés dans les 3 dimensions. Les implants déplacés ont été suivis en moyenne 12 mois après leur réhabilitation prothétique, et lors du suivi 1 implant a été perdu soit un taux de succès de 97% à un an. Les déplacements verticaux et horizontaux sont reproduits ci-dessous :

- Déplacement axial entre 3 et 11 mm avec une moyenne de 6 mm.
- Déplacement horizontal maximum de 5 mm avec une moyenne de 1,8 mm.

Une mobilité marquée du segment transporté est observé dans 90 % des patients immédiatement après la phase de distraction, mais n'est plus observée après 4 semaines. Radiographiquement, des signes de minéralisation hypodense au niveau de l'intervalle d'ostéotomie sont observés 4 semaines après la distraction. Ces signes disparaissent 12 semaines après la fin de la distraction. Aucun effet négatif résultant de l'appui dentaire du dispositif n'est observé sur le parodonte (inflammation, récession, mobilité), ou sur l'agencement dentaire intra arcade.

Une autre équipe viennoise conduite par Zechner (Zechner et coll. 2001) obtient des résultats similaires.

Bien que ces dispositifs et ces protocoles n'aient pas fait l'objet d'évaluations cliniques multicentriques à long terme, ils semblent offrir des résultats positifs et de nombreux avantages. Les prothèses de traction offrent un contrôle visuel du déplacement de la zone cible, permettant un ajustement optimal de l'axe implantaire et de son émergence pour améliorer les résultats esthétiques, biomécaniques, et fonctionnels (mastication, phonation). Leur avantage réside dans le fait que ces prothèses peuvent être déposées plus facilement qu'un dispositif intra ou juxta osseux et donc évitent des cicatrices et fibroses additionnelles. Ces dispositifs peuvent également s'adapter à n'importe quel type d'implant (Watzek et coll., 2000 ; Zechner et coll. 2001). L'ajustement spatial implantaire par ostéotomie et ostéosynthèse est plus délicat à réaliser : stabilisation difficile par manque de volume osseux péri implantaire, déplacement des fragments trop important pour obtenir une cicatrisation osseuse et risque de séquestration, recouvrement des tissus mou difficile et favorisant des operculisations (Celar et coll., 2002).

Les inconvénients potentiels de cette méthode sont le coût de la réalisation de la prothèse distractive individuelle, la mise en place éventuelle d'implants courts dans les zones d'ostéotomies (risque de mauvaise stabilité primaire), et un risque de récessions gingivales au niveau de l'émergence de l'implant cible. La vis d'activation transversale peut également provoquer des blessures et un inconfort au niveau du vestibule et des lèvres (Watzek et coll., 2000 ; Zechner et coll. 2001, Zauza et coll. 2004).

III.6. DETERMINATION ET STABILISATION DU VECTEUR PENDANT LA DISTRACTION ALVEOLAIRE

III.6.1 Détermination du vecteur de distraction

La trajectoire et la localisation ultime du fragment transporté dépendent du placement initial du dispositif. Le vecteur est parallèle à l'axe de la vis de distraction. Pour une restauration idéale, le vecteur de distraction, donc l'axe du distracteur, doit être parallèle au futur axe implantaire (Iizuka et coll. 2005). Les distracteurs intra osseux et les implants distracteurs ont un axe de distraction correspondant à celui de la crête alvéolaire. Les distracteurs extra osseux quant à eux, doivent être modifiés pour obtenir un axe de distraction différent du contour osseux (fig. 38). Cette modification est habituellement réalisée en peropératoire. Une planification préopératoire du vecteur de distraction facilite et assure l'emplacement et l'axe idéal du distracteur pour optimiser la restauration implanto-prothétique. Gaggi et coll. (2000c) propose la création d'un modèle stéréolithographique permettant une planification et une simulation chirurgicale. Grâce au modèle stéréolithographique et aux simulations pré chirurgicales, l'adaptation des distracteurs peut se réaliser avant l'intervention.

III.6.2 Altération du vecteur de distraction

Même si le distracteur est placé initialement avec une angulation appropriée, les tractions et les pressions engendrées par les tissus mous peuvent altérer la direction du fragment transporté. Il est important d'identifier ces phénomènes très tôt pour éviter des résultats médiocres. La déviation est communément palatine ou linguale.

La distraction alvéolaire implique de petits segments osseux sous l'influence locale des tissus mous et de la musculature. Lorsque le dispositif est extra osseux, celui-ci est placé dans le vestibule. Lors de la distraction active, le fragment transporté se sépare parallèlement à l'axe de la vis de distraction de l'os basal, auquel il est rattaché par une matrice osseuse fragile. Les pressions et les tractions des muscles orbiculaires, du mylohyoïdien, du génio-glosse, et du digastrique peuvent provoquer un déplacement lingual du fragment transporté (Herford et coll. 2004). L'épaisseur et la faible élasticité de la muqueuse palatine peuvent également provoquer une inflexion palatine des fragments (Herford et coll. 2004).

De plus, seul le périoste vestibulaire est incisé pendant l'élévation du lambeau nécessaire à l'ostéotomie, le périoste lingual fournissant l'apport sanguin est intact. Le périoste lingual a donc une résistance à l'étirement plus importante que le périoste vestibulaire incisé. Lorsque l'élasticité du périoste est dépassée, la résistance à l'étirement se traduit par un moment de force opposé à la distraction et s'appliquant du côté lingual. Le centre de rotation est au niveau de la zone de régénération osseuse, et le périoste réagit comme un pivot autour

duquel le fragment entreprend une roto translation. Ce phénomène survient lors de la fin de la phase active de la distraction ou pendant le début de la période de fixation.

Il est souvent nécessaire d'anticiper les tractions engendrées par les tissus mous pour compenser les changements de direction provoqués.

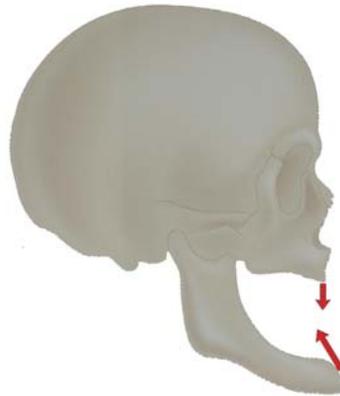


fig.38 : Axe de distraction erroné imposé par le contour osseux

La mise en place des dispositifs intra et extra osseux requiert une adaptation passive à l'anatomie et au contour osseux. En suivant uniquement le contour naturel d'un maxillaire ou d'une mandibule atrophiés, il en résulte une direction du vecteur de distraction trop lingual (fig.38). Il est nécessaire d'adapter le vecteur de distraction indépendamment des contours osseux, et en fonction du résultat désiré. Au maxillaire, le placement du distracteur parallèlement à la surface palatine permettrait une position post distractive fonctionnelle et esthétique optimale du segment osseux (Garcia-Garcia et coll. 2004a).

III.6.3 Maintien du vecteur de distraction

Plusieurs techniques sont possibles pour contrôler la direction du vecteur de distraction (Herford et coll. 2004):

- Chaîne élastomérique fixée aux dents adjacentes
- Attelle en fils métallique fixé aux dents adjacentes
- Arc orthodontique
- Arc trans palatin associé à des élastiques
- Dispositif palatin
- Modelage manuel des tissus régénérés
- Dispositifs de distraction modifiés
- Ostéotomie après distraction

▪ Moyens orthodontiques et prothétiques

Un fil orthodontique fixé sur les dents entourant la zone de distraction peut faciliter le contrôle du vecteur pendant la phase active. Les brackets peuvent être placés sur le versant lingual ou vestibulaire des dents, en fonction de la correction désirée. Un minimum de deux dents ayant une surface d'ancrage égale ou supérieure aux dents ayant occupé antérieurement la zone de distraction est recommandé (par exemple, un segment édenté des deux incisive centrale mandibulaire requière un minimum de 4 ancrages sur les incisive latérales et sur les canines). Ces ancrages permettent de supprimer ou de minimiser les déplacements parasites (Herford et coll. 2004).

Les chaînes élastomériques remplacent les fils orthodontiques pour corriger le vecteur de distraction. La force appliquée par ces chaînes est continue et décroît rapidement. Cela permet une position idéale et une stabilisation pendant le début de la période de consolidation (Herford et coll. 2004).

Le vecteur de distraction peut être guidé par une attelle constituée d'un fil métallique rigide soudé à deux bagues orthodontiques. Le fil est disposé en lingual de la vis de distraction, et empêche le déplacement lingual du dispositif. Ce procédé est envisageable au niveau des secteurs postérieurs avec des dents servant d'ancrage de bonne qualité.

Un arc orthodontique peut être un moyen efficace de contrôler la direction de la distraction. L'arc est préparé sur des modèles de diagnostic, pour permettre une adaptation passive et minimiser les mouvements dentaires non désirés. Un arc en acier de 0.016/0.022 pouces avec un index de rigidité important et une faible mémoire de forme est suffisant. Le fil peut être préformé pour enclore la tige du distracteur dans une boucle, ou être connecté à la tige par une ligature ou un élastique. La boucle est passé au dessus de la vis de distraction et insérée sur celle-ci, dans l'axe approprié. L'arc est fixé en lingual ou en vestibulaire sur des brackets orthodontiques ou par des plots de composite, et doit être le plus éloigné possible du plan d'occlusion pour minimiser le moment de force provoqué par la bascule de la tige de distraction. L'arc peut être ajusté au cours de la distraction pour affiner la forme du tissu régénéré (Herford et coll. 2004).

Il est rare que le vecteur doive être redirigé du côté palatin ou lingual. Si ces circonstances surviennent, il est possible de placer un arc trans palatin sur lequel prend appui une chaîne élastique. Cette chaîne est connectée à l'extrémité de la tige de distraction pour réorienter le vecteur (Herford et coll. 2004).

Dans le cas où il n'existe pas d'ancrage dentaire à proximité de la zone distractée, le contrôle du vecteur peut être réalisé avec l'aide d'un bridge attelle en résine (Herford et coll. 2004).

- **Moyens chirurgicaux et moyens liés au dispositif**

Quelques dispositifs de distraction intègrent un moyen de stabilisation ou de correction du vecteur.

Certains dispositifs ont une plaque d'ostéosynthèse continuant dans l'axe de la vis de distraction et qui a un rôle d'étau (fig.39). Cet étau augmente la rigidité et minimise la rotation du dispositif et le changement de direction du vecteur.

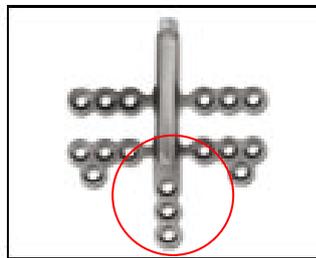


fig.39 : Le TRACK plus, modification du TRACK1.0, possède une plaque d'ostéosynthèse dans le prolongement de la vis. Cette plaque joue le rôle d'étau.
(D'après www.dentalcompare.com/details/4638/Track-Plus-Alveolar-Distraction.html)

D'autres dispositifs proposent une tige intra osseuse perpendiculaire à la tige de distraction pour stabiliser l'appareil dans le sens transversal et éviter sa rotation linguale (fig.40).



fig.40 : dispositif MKG karlsruhe (d'après www.mkg)

Un dispositif, le V-2 permet de corriger l'axe du vecteur dans le sens transversal. Ce dispositif possède deux vis : l'une permet la distraction (sens vertical), l'autre permet l'inclinaison (sens transversal). Cette possibilité d'inclinaison peut compenser la dérive linguale ou palatine habituellement rencontrée, ou de corriger un axe de distraction inadéquat (fig.41). Cependant cet appareil ne permet qu'une angulation de 20° de part et

d'autre du grand axe de la tige de distraction, et ne permet donc pas de rattraper des décalages trop importants.

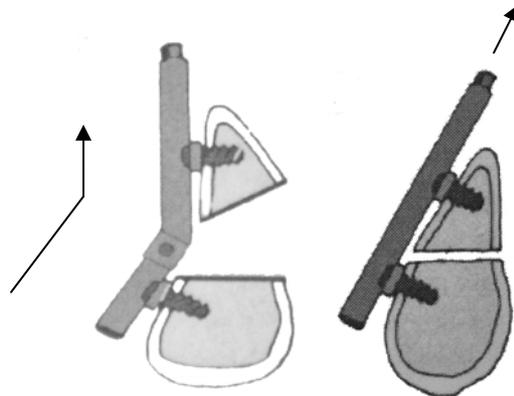


fig.41 : A gauche, la charnière du dispositif permet une angulation du vecteur de distraction par rapport à l'axe du procès alvéolaire. A droite, un distracteur sans possibilité d'angulation ne permet pas de rattraper l'axe alvéolaire ou la traction linguale. (D'après Iisuka, 2005)

Une autre méthode de contrôle du vecteur est la pression manuelle appliquée sur le fragment transporté pendant la distraction et lors des périodes précoces de consolidation (Herford et coll. 2004). Cette palpation doit permettre de diriger le fragment dans la position désirée, mais dépend de la dextérité du patient ou de la fréquence des consultations. Il est également possible de fixer le segment osseux avec des plaques d'ostéosynthèse après la phase distractive.

Une ostéotomie et un repositionnement du segment doivent être envisagés en dernier recours si la position du fragment transporté n'est pas acceptable.

III.7. DISPOSITIFS DE DISTRACTION

Il existe 4 types de dispositifs de distraction :

- 1- les distracteurs intra osseux
- 2- les distracteurs extra osseux sous périostés
- 3- les implants distracteurs
- 4- les dispositifs expérimentaux

Les études cliniques de grande ampleur ont été réalisées sur 3 types de dispositifs de distraction alvéolaire : le distracteur extra osseux TRACK (*Tissue Regeneration Alveolar Callus distraction Köln, Martin, Tuttlingen, Germany*), le distracteur intra osseux LEAD (*Leibinger Endosseous Alveolar Distractor ; Stryker-Leibinger, Freiburg, Germany*), et l'implant distracteur DISSIS (*Distraction Implant System ; SIS, Klagenfurt, Austria*).

D'autres distracteurs, comme le GDD (*Groningen Distractor device; Martin, Tuttlingen, Germany*) ou le V-2 (*Alveolar distractor System, Medartis AG, Basel, Switzerland*) ont fait l'objet d'études cliniques regroupant moins de patients, notamment, pour le V-2, du fait de sa conception récente (Iisuka et coll. 2005).

Enfin, des prototypes ont été initialement étudiés expérimentalement mais n'ont pas été utilisés sur des séries cliniques. D'autres dispositifs sont utilisés cliniquement sans présentation antérieure de résultats expérimentaux. Nous présenterons des dispositifs ayant fait l'objet d'études cliniques et validés par celles-ci.

III.7.1 Approche orthodontique

Jensen et coll. (2002) ont conduit une étude prospective sur 28 patients suivis pendant 5 ans. Ils réalisent des distractions, grâce à des ancrages orthodontiques au niveau d'un segment ostéotomisé du maxillaire. Cet ancrage permet un mouvement vertical et horizontal du fragment transporté.

Ce dispositif permet une force de traction constante, mais il ne permet pas une rigidité optimale des fragments et du cal. Lors de l'étude, ce manque de rigidité a altéré la cicatrisation osseuse qui présentait des zones de fibrose. Cette approche n'a pas été reprise par d'autres auteurs. La mise en place des vis d'ostéosynthèse est réalisée après l'ostéotomie (fig.42). Ces vis servent d'ancrage à des potences orthodontiques, tractant ainsi le fragment transporté. La contention du fragment transporté pendant le déplacement est assurée uniquement par la rigidité des fils orthodontiques, qui est très insuffisante selon les auteurs (fig. 43).



fig. 42: A gauche, Les vis d'ostéosynthèse émergent de la muqueuse vestibulaire, et sont reliées à un arc rigide par des potences de traction. A droite, une micro vis est placée en palatin et reliée à l'arc pour rabattre le fragment transporté en vestibulaire. (D'après Jensen, 2002)

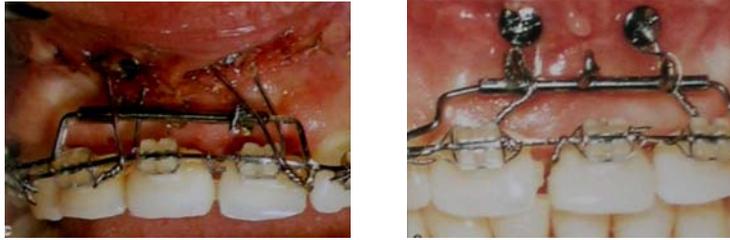


fig. 43: Technique identique, cependant l'arc réalisé est plus rigide et permet la mise en place de dents provisoire fixées par des brackets. (D'après Jensen, 2002)

III.7.2 Distracteurs intra et extra osseux

III.7.2.1 Distracteurs intra osseux

Les distracteurs intra osseux sont des dispositifs qui transfixent le fragment transporté. Leur avantage réside dans leur faible encombrement vestibulaire. Cependant, ils présentent plusieurs inconvénients :

- le dispositif est intra osseux et par conséquent, leur dépose crée un défaut osseux.
- L'axe du distracteur dépend de l'axe du procès alvéolaire résiduel.
- La distraction de segments étendus oblige à utiliser plusieurs distracteurs (Gacia-Garcia et coll., 2002²).
- Les distracteurs intra osseux sont moins rigides lors de la contention, par rapport aux distracteurs extra osseux.

Ces dispositifs sont indiqués pour des segments de faible étendu (1 à 2 dents).

III.7.2.1.1 LEAD (*Leibinger Endosseous Alveolar Distractor ; Stryker-Leibinger, Freiburg, Germany*)

▪ **description**

Le LEAD se compose d'une tige de distraction et de deux minis plaques d'ostéosynthèse (fig.44 et 45), entièrement en titane grade 4. Ce dispositif est intra osseux.

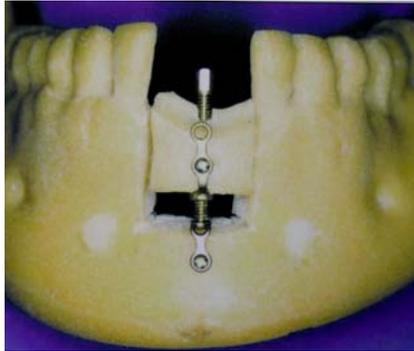


fig.44: le distracteur LEAD vue de face lors d'une simulation de distraction d'un fragment alvéolaire mandibulaire antérieur. Les deux plaques de fixation sont déformées pour épouser le contour osseux. (D'après www.distraction.net/)

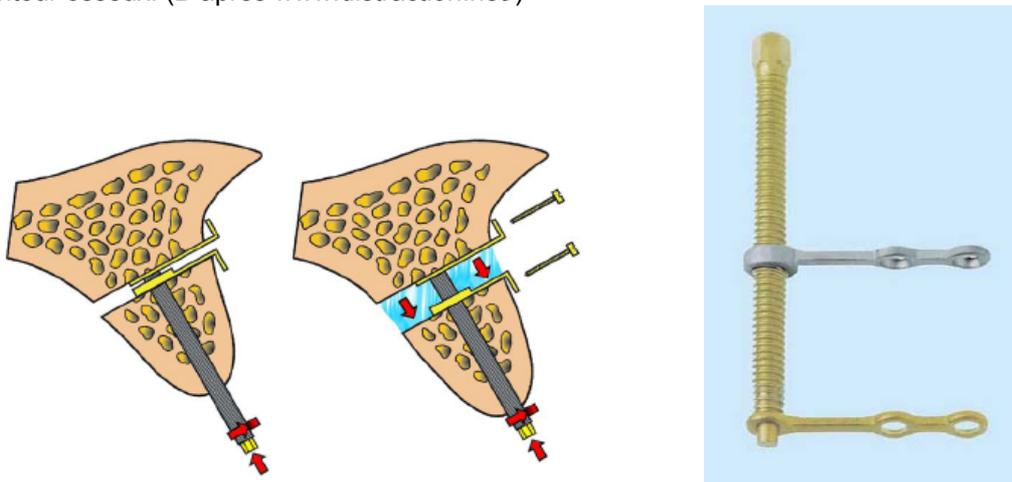


fig.45 : Vue schématique de l'activation du distracteur LEAD (Cano et coll. 2006) ; à droite le LEAD avant son utilisation. (D'après www.stryker.com)

▪ **Mise en place**

L'ostéotomie est réalisée par abord vestibulaire décalée et sans décollement de lambeau.

Les branches inférieures et supérieures du distracteur sont insérées horizontalement dans l'ostéotomie basale, créant une distance entre les deux fragments de plus de 2 mm. Les plaques saillantes sont déformées verticalement pour épouser le contour osseux et permettre la fixation des plaques à la corticale par des vis d'ostéosynthèse. Un forage osseux trans gingivale, de la crête alvéolaire à la profondeur de l'ostéotomie, permet l'insertion de la tige de distraction. Une tige de distraction de longueur appropriée est insérée et activée pour vérifier le mouvement du fragment transporté.

▪ **Activation, utilisation et retrait**

Après la période de latence, le dispositif est activé de 0,4 à 0,8 mm (une ou deux révolutions) par jour (fig.45). La course maximale de distraction dépend de la hauteur supracrestale de la tige.

Des précautions doivent être prises avec ce dispositif, car si la tige de distraction n'est pas à la bonne longueur, il peut affecter la table occlusale opposée, inhiber la mastication, et altérer la distraction en perturbant la rigidité et l'axe des fragments. Le dispositif peut être esthétique, car il peut être recouvert d'un appareillage prothétique fixe ou amovible.

Le dispositif est retiré lors de la mise en place des implants. La plaque basale n'est pas retirée si elle ne gêne pas l'implantation. Cependant, le puits de la tige de distraction doit être cureté avec soin, car celle-ci est tapissée d'un manchon fibreux.

III.7.2.1.2 OGD (OsteoGenic Distractor; ACE surgical supply, brockton)

▪ Description

Le distracteur Ace est un dispositif intra osseux amovible fabriqué en titane grade 4. Il est composé de 3 éléments : le corps du distracteur, la vis de distraction, et un appui basal. Le corps du distracteur comporte un filetage et un dessin identique à celui d'un implant de 3,75 mm de diamètre et s'engage au travers du fragment transporté. Il existe en 5 mm et en 3 mm de long. L'axe de distraction vissé au travers du corps du distracteur permet la distraction. L'appui basal comporte un trou fileté dans lequel l'axe de distraction s'engage (fig.46 et 47).



fig.46 : L'ACE, en développement maximal avec sa clé d'activation. A gauche, l'appui basal. (D'après www.dentalinsurance.co.uk/ccrd/osteodistraktion.htm)

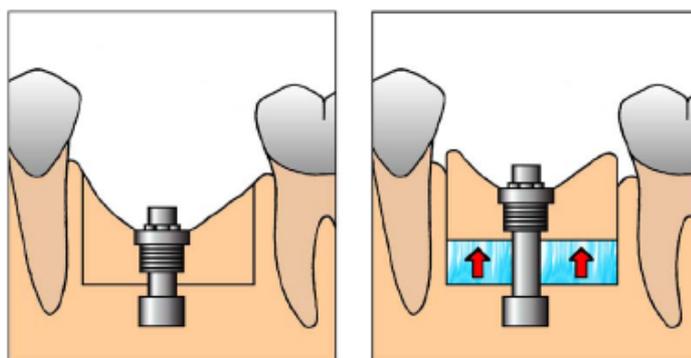


fig.47 : Tracé d'ostéotomie et mouvement provoqué par l'ACE. (D'après Cano et coll. 2006)

- **Mise en place**

La mise en place de l'OGD est similaire à la mise en place d'implants. L'avantage pour le clinicien est que l'apprentissage de la mise en place du dispositif est rapidement acquis. Après une incision vestibulaire ou crestale, la crête est exposée. L'ostéotomie basale est réalisée. Le lit du dispositif est préparé séquentiellement avec des forets implantaires : 7 mm de long pour la version courte, ou 9 mm pour la version longue avec un foret de diamètre maximum 3 mm (fig.48). Lorsque deux ou plusieurs implants sont placés pour le même fragment transporté, les préparations doivent être absolument parallèles et l'utilisation de jauge est indiquée. Le distracteur est placé comme un implant, la vis de distraction dépassant de la gencive. Après un période de latence de 5 à 7 jours, le distracteur est activé.



fig 48 : Les deux versions de l'ACE, avec leurs nouvelles vis d'activation. La partie transfixant le fragment transporté est fileté. Le plot basal termine la vis d'expansion.
(D'après www.dentalinsurance.co.uk/ccrd/osteodistraktion.htm)

- **Activation, utilisation et retrait**

La vis de distraction permet une éloignement des deux parties de 0.4 mm à chaque rotation de 360°, soit 2,5 tours pour une ascension d'1 mm. Le corps du distracteur et le fragment transporté se déplacent alors en direction coronale et s'éloignent du lit osseux et de l'appui basal qui reste immobile. Le retrait du dispositif est réalisé lors de la pose des implants si le distracteur est à l'emplacement idéal d'un implant ou si les implants sont posés à distance du puits (fig.49). L'ablation ne requiert pas de soulèvement de lambeau muco-périosté et se réalise par dévissage du corps de distraction. Le retrait de l'appui basal est exécuté à l'aide d'un instrument se vissant dans l'appui, à la place de la vis de distraction. Si la base n'interfère pas avec les futurs implants, elle peut être maintenu.

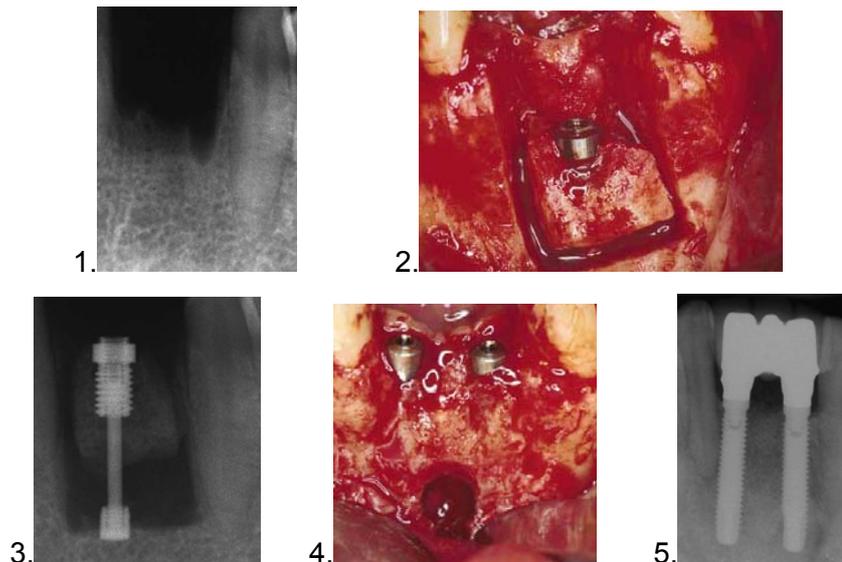


fig.49 : En 1, site avant distraction. En 2, mise en place du ACE après l'ostéotomie basal ; les ostéotomies latérales sont complétées après. En 3, radio retro alvéolaire après la fin de l'activation du dispositif. En 4 et 5, dépose du distracteur et du plot basal (4), et mise en place des implants. (D'après Mcallister, 2003)

III.7.2.1.3 GDD (*Groningen Distractor device; Martin, Tuttlingen, Germany*)

▪ Description

Le GDD est un dispositif intra osseux, constitué de deux vis de distractions, deux plaques de transport, et d'une tige guide. L'extrémité intra osseuse des vis de distraction est mousse, et l'extrémité intra buccale est hexagonale. Les vis de distraction, ne peuvent être disposées que distalement sur les minis plaques de transport, elle-même fixées par des vis d'ostéosynthèse au fragment transporté. La tige guide possède une extrémité filetée sur une longueur de 3 mm permettant sa fixation à l'os basal (fig.50).

Le GDD est intégralement en titane et est principalement utilisé dans les cas de distraction de la région symphysaire mandibulaire.

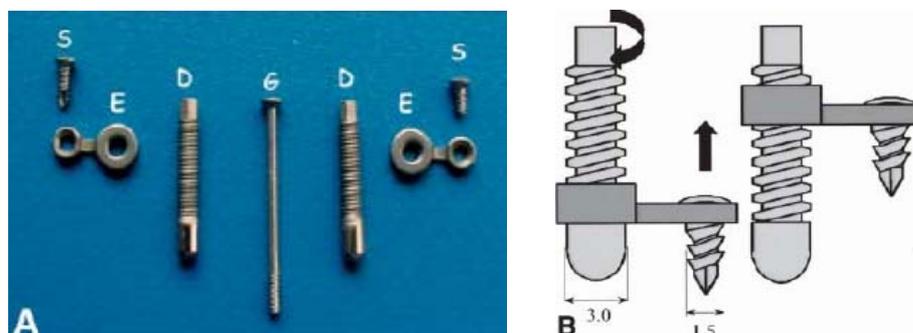


fig.50: A : Le GDD ; en G la tige guide, en D les vis de distraction, en E les plaques de transport, en S les vis d'ostéosynthèse. B : principe de fonctionnement. (D'après Raghoobar et coll. 2002)

- **Mise en place (Raghoobar et coll. 2002)**

Les vis de distraction sont placées de part et d'autre du plan sagittal médian, à environ 10 mm à gauche et à droite. Il est important de ne pas perforer la corticale basale car les vis de distraction prendront appui dessus. Les vis de distraction et la tige guide doivent être strictement parallèles. Les vis de distraction sont mises en place et les plaques de transport sont fixées. Le dispositif est retiré et l'ostéotomie est réalisée. Les extrémités des vis de distraction et de la tige guide sont trans-muqueuses.

- **Activation, utilisation et retrait**

Chaque révolution des vis de distraction correspond à un déplacement vertical du fragment de 0,5 mm. Les deux vis doivent être activées simultanément. La course maximale dépend de la longueur supracrestale des vis (fig.51).

Le dispositif est retiré lors de la pose des implants. Les vis de distraction sont entourées d'un manchon fibreux. Des implants sont insérés dans les puits paramédians après un élargissement adéquat et un curetage soigneux.

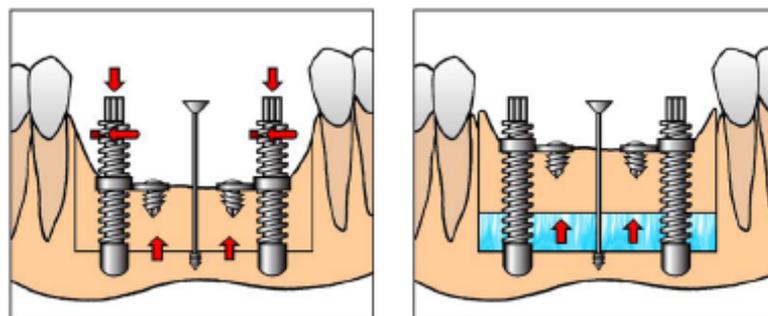


fig.51 : fonctionnement du GDD. (D'après Cano et coll. 2006)

III.7.2.2. Les distracteurs extra osseux

Les distracteurs extra osseux sont fixés à l'aide de vis d'ostéosynthèse, sur le versant vestibulaire de la zone concernée. L'inconvénient de cette technique est son encombrement vestibulaire et la difficulté de rabattre le périoste sur la zone distractée. Leurs avantages sont : une indépendance de l'axe de distraction et de l'axe du processus alvéolaire résiduel, une grande rigidité, un contrôle du vecteur facilité, une absence de défauts osseux au niveau du fragment transporté après la dépose du dispositif.

Ces dispositifs sont indiqués dans des cas de segments étendus, ou lorsque l'axe de la crête osseuse est différent de l'axe de la distraction.

III.7.2.2.1 TRACK (*Tissue Regeneration Alveolar Callus distraction Köln, Martin, Tuttlingen, Germany*)

▪ Description

Le TRACK 1.0 se compose d'une vis de distraction, protégé par une gaine rigide, et reliant deux plaques d'ostéosynthèse perpendiculaires (fig.52). La vis de distraction existe en plusieurs longueurs : 10, 12, et 18 mm. Ce dispositif extra osseux est entièrement en titane grade 4.

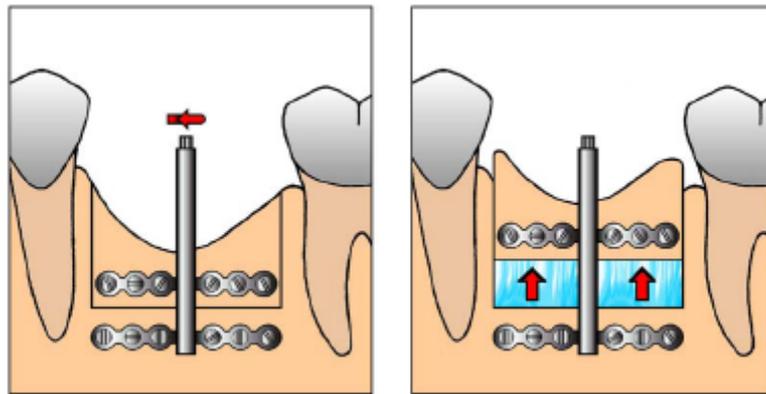


fig 52: Le distracteur TRACK 1.0. (D'après Cano et coll. 2006)

▪ Mise en place

Après une incision paracrestale ou vestibulaire, la paroi alvéolaire latérale est exposée. La crête alvéolaire est régularisée, notamment pour les crêtes en lame de couteaux, pour éviter toute lésion de la muqueuse lors de la distraction. Le trait d'ostéotomie est visualisé et marqué. Le dispositif est alors superposé à la crête alvéolaire, pour vérifier sa position et vérifier que les vis d'ostéosynthèse sont à distance des structures anatomiques adjacentes (fig.53). Pour assurer un vecteur de distraction adéquat, les plaques d'ostéosynthèse sont déformées en forme d'escalier (fig.54), mais doivent s'ajuster à la corticale de manière totalement passive. La plaque crestale est fixée et l'ostéotomie est réalisée. L'appareil est activé sur 3 à 4 mm pour s'assurer que le mouvement s'effectue correctement. Toutes les interférences latérales intervenant sur la translation sont éliminées. Le dispositif est fermé et les deux fragments retournent à leur position initiale, les berges de l'ostéotomies se touchant.



fig.53 : Vue clinique et radiologique du TRACK, avant activation, et à droite, a la fin de l'activation.
(D'après www.klsmartin.com/fileadmin/download/Literatur/Literaturliste_Distraktion_EN.pdf)

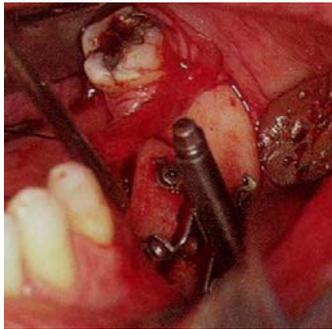


fig.54: La plaque de transport de ce TRACK est déformée en forme d'escalier pour créer un vecteur de distraction adéquat. . (D'après Stucki-McCornick S. Alveolar distraction devices. In: Jensen OT, ed. *Alveolar Distraction Osteogenesis*: Quintessence Publ Co; 2002:43.)

- **Activation, utilisation et retrait**

Après la période de latence, le dispositif est activé de 0,5 à 1 mm par jour (un ou deux tours complets ou révolution). La course maximale dépend de la longueur du vérin soit 10 à 15 mm.

Ce dispositif a été modifié (le TRACK plus, fig.55) pour résoudre le problème du contrôle du vecteur. Ce problème est le résultat de l'influence des structures buccales (langues, joues, lèvres) qui causent un déplacement transversal du fragment transporté. Une plaque verticale, dans le prolongement du vérin a été ajoutée pour empêcher les déplacements horizontaux non intentionnels.

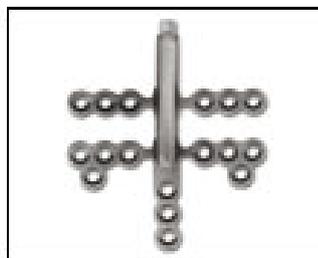


fig 55 : Le distracteur TRACK Plus comportant une plaque prolongeant la vis de distraction et jouant le rôle d'étai. (D'après www.dentalcompare.com/details/4638/Track-Plus-Alveolar-Distraktion.html)

III.7.2.2.2 V-2 (*Alveolar distractor System, Medartis AG, Basel, Switzerland*)

▪ Description

Le V-2 est un distracteur extra osseux. Le dispositif est composé d'une plaque basale, d'une plaque de transport et de deux tiges les reliant perpendiculairement ; une pour les mouvements verticaux, et l'autre pour l'angulation latérale (fig.56). Ce dispositif extra osseux est entièrement en titane grade 4.

La particularité de ce distracteur réside en la présence d'une charnière, permettant une rotation de la tige de distraction et donc du fragment transporté.

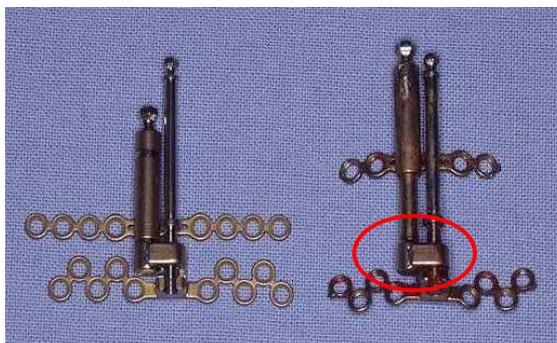


fig. 56: Le V-2 ; la tige de gauche est la tige de distraction et la tige de droite est la tige d'inclinaison, la plaque supérieure est la plaque de transport et l'inférieure est la basale. A droite distracteur après retrait. La charnière est entourée. (D'après ipj.quintessenz.de/index.php?content=issues&doc=poster&select=239)

▪ Mise en place

Elle est identique aux autres distracteurs extra osseux (fig.57).



fig.57 : Vue clinique d'un V-2 lors de la pose du distracteur (d'après ipj.quintessenz.de/index.php?content=issues&doc=poster&select=239)

- **Activation, utilisation et retrait**

Le distracteur est activé en vissant les tiges de distraction (fig.58). Lorsque la vis d'inclinaison est activée, l'angle de la charnière peut varier de 20° par rapport à la position neutre, d'un côté comme de l'autre. Ainsi une angulation progressive maximale de 40° est possible. Chaque révolution de la vis d'inclinaison correspond à 10° de rotation.

Pour les mouvements verticaux, chaque tour complet de la vis de distraction correspond à 0,25 mm de déplacement. Le V-2 existe en deux longueurs de course maximal différente : 10 ou 15 mm.

Le retrait du dispositif est identique aux autres distracteurs extra osseux (fig.59).



fig.58: Emergence intra buccale du distracteur V-2 (d'après ipj.quintessenz.de/index.php?content=issues&doc=poster&select=239)

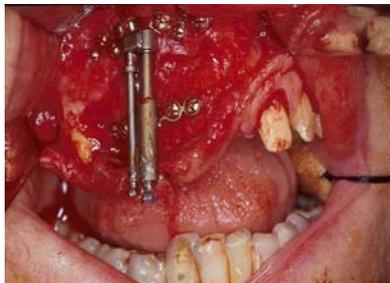


fig.59 : le distracteur v-2 lors du retrait (d'après ipj.quintessenz.de/index.php?content=issues&doc=poster&select=239)

III.7.2.2.3 2D-CD (*Bidirectional Crest Distractor; Surgitec NV, Bruges, Belgium*)

- **Description**

Le 2D-CD a été conçu pour la correction horizontale du fragment transporté, après une distraction verticale. Il présente deux axes d'activation (fig.60 et 61). Ce dispositif extra osseux est entièrement en titane grade 4.



fig.60: Ajustement d'un 2D-CD sur un model stéréolithographique. (D'après Stucki-McCormick S. Alveolar distraction devices. In: Jensen OT, ed. *Alveolar Distraction Osteogenesis*: Quintessence Publ Co; 2002:54.)

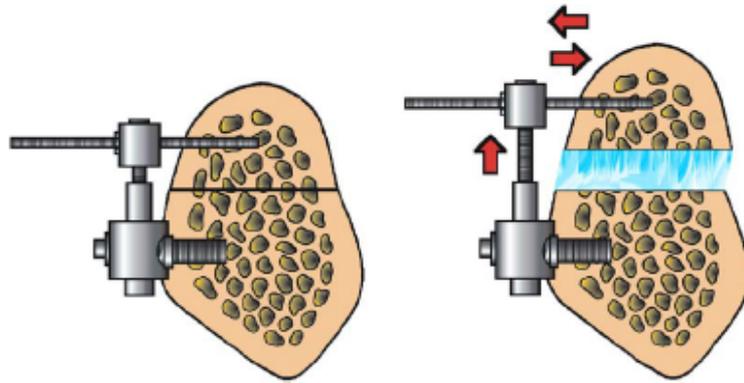


fig.61 : Fonctionnement du 2D-CD (D'après Cano et coll. 2006)

- **Mise en place**

Identique aux autres distracteurs extra osseux. Ce dispositif étant plus compact, sa fixation nécessite une exposition osseuse plus faible. Les ostéotomies sont réalisées par tunnelisation sous périostée (fig.62).



fig.62 : Lambeau de faible exposition pour la mise en place d'un 2D-CD (D'après Stucki-McCormick S. Alveolar distraction devices. In: Jensen OT, ed. *Alveolar Distraction Osteogenesis*: Quintessence Publ Co; 2002:54.)

▪ **Activation, utilisation et retrait**

Chaque rotation complète permet un déplacement vertical ou transversal de 0,4 mm (fig.63).



fig.63 : A gauche, activation horizontale, à droite, activation verticale (D'après Stucki-McCormick S. Alveolar distraction devices. In: Jensen OT, ed. *Alveolar Distraction Osteogenesis*: Quintessence Publ Co; 2002:54.)

III.7.2.2.4 Distracteurs individuels

Ces distracteurs sont indiqués lors d'atrophies majeures de la mandibule qui est réduite dans ce cas à une fine baguette osseuse, et qui interdit alors l'utilisation de dispositifs classiques (Raghoobar et coll. 2002). L'ostéotomie nécessaire à l'ostéogénèse par distraction crée une zone de fragilité extrême, accentuant le risque de fracture de l'os basal. Il est essentiel dans ce cas, que le distracteur possède une plaque renforçant la mandibule en la protégeant des tensions exercées par la distraction et d'éventuels traumatismes jusqu'à la minéralisation du cal. D'autre part, la mandibule atrophiée possède sur une faible surface de nombreuses insertions des muscles abaisseurs de la mandibule dans la zone antérieure (qui nous intéresse pour la prothèse). Le dispositif doit être nécessairement rigide pour éviter un déplacement lingual du fragment transporté provoqué par la traction musculaire. La conception de distracteurs individuels est possible grâce à la stéréolithographie (fig.64) et aux modèles tridimensionnels en résine.



fig.64 : Distracteur sur mesure réalisé sur modèle stéréolithographique (D'après Soares M. Alveolar distraction in the class V and VI edentulous mandible. In: Jensen OT, ed. *Alveolar Distraction Osteogenesis*: Quintessence Publ Co; 2002:81.)

III.7.3 Implants distracteurs

III.7.3.1 Indications, avantages et inconvénients

- **Indications (Gaggl et coll., 2000b)**

- Atrophie importante de la crête alvéolaire mandibulaire édentée
- Défaut osseux localisé du maxillaire ou de la mandibule

- **Avantages et inconvénients**

Les implants distracteurs combinent les qualités d'un distracteur de cal et celles d'un implant dentaire, c'est-à-dire être support intra osseux d'une prothèse. Les implants distracteurs offrent la possibilité de réaliser une prothèse en changeant uniquement la connexion (Gaggl et coll., 2000b).

Ces dispositifs permettent une approche chirurgicale minimalement invasive en réalisant dans le même temps opératoire la mise en place du distracteur et de l'implant.

Cependant, pour utiliser le distracteur comme support de prothèse, il est essentiel de le placer comme un implant dentaire : dans l'axe idéal pour la restauration prothétique, et avec une émergence optimale. La planification du traitement par implant distracteur peut être grandement sécurisée par une simulation chirurgicale et prothétique grâce à des modèles stéréolithographiques. Ces simulations déterminent avec précision l'axe de distraction, et sa compatibilité éventuelle avec l'axe implantaire idéal. La mise en place de l'implant distracteur peut alors être aidée par un guide chirurgical stéréolithographique (Gaggl et coll., 2000c). Malgré ces précautions, l'axe implantaire et l'axe de distraction sont généralement différents (Gaggl et coll., 2000b). D'autre part, une perte osseuse marginale, une infection peuvent compromettre la distraction et l'implant.

Il existe quelques dispositifs d'implants distracteurs (3i implants distracteur, Veriplant, DISSIS...), mais seule le DISSIS a fait l'objet d'études renouvelées.

III.7.3.2 DISSIS (Distraction Implant System ; SIS, Klagenfurt, Austria)

- **Description**

Le DIS est constitué de deux parties mobiles l'une par rapport à l'autre en titane grade 4. L'implant est conique et auto taraudant avec un diamètre maximum de 4,1 mm. Il existe actuellement en 7, 9, 11, et 13 mm de long, et en deux types: l'un

permettant une distraction de 3 à 6 mm, et l'autre de 5 à 10 mm. L'état de surface implantaire est obtenu par impaction laser provoquant une augmentation de la surface d'ostéointégration. La profondeur des rugosités est de 50µm, sur lesquelles s'ajoute un état de surface secondaire de 3-6 µm. Pour des raisons fonctionnelles la surface du cylindre de distraction est usiné en poli miroir.

La partie apicale contient le cylindre de distraction (long de 6,5mm ou de 10,5mm selon le type) qui est télescopique et localisé lorsque le distracteur est fermé dans la partie coronale de l'implant. La vis de distraction est au centre du cylindre de distraction et elle est activable au travers de la partie coronale (fig.65).

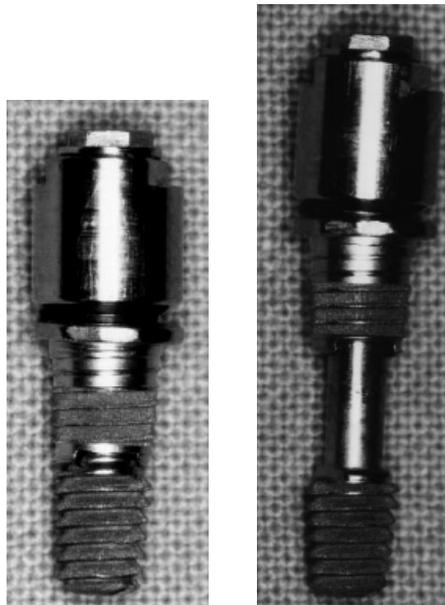


fig.65 : A gauche, le DISSIS lors de la mise en place. A droite, son expansion maximale.
(D'après Gaggl, 1999)

- **Mise en place**

La mise en place du DISSIS est identique à la mise en place d'un implant standard de 4 mm de diamètre. La zone télescopique doit correspondre à l'ostéotomie basale. Celle-ci est réalisée d'emblée et est à une distance de la crête identique à la longueur du segment coronal du DISSIS. Les ostéotomies sont complétées après la mise en place des distracteurs (fig.66).

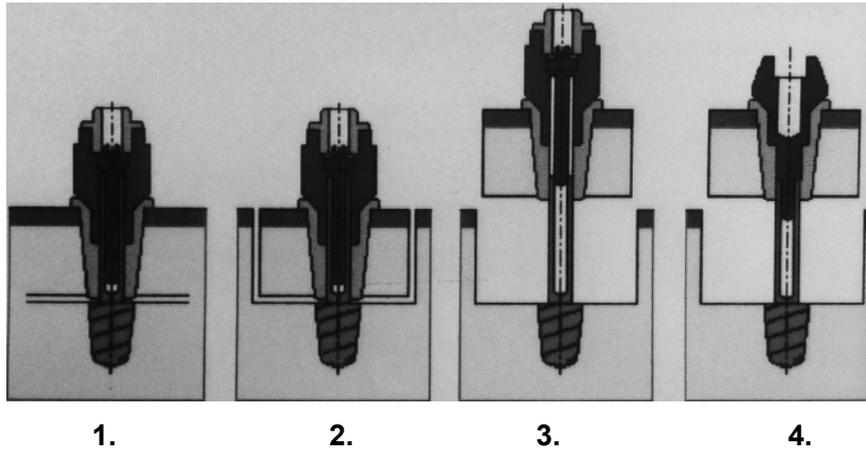


fig.66 : La mise en place d'un implant distracteur s'effectue après l'ostéotomie basale et après les corticotomies latérales (1). Les ostéotomies latérales sont complétées par la suite (2). La vis centrale permet l'expansion du distracteur (3). Après avoir retiré la vis de distraction et changer la connexion externe, la prothèse peut être transvissée (4). (D'après Gaggl, 1999)

- **Activation, utilisation**

La vis de distraction permet un éloignement des deux parties de 0.25 mm à chaque rotation de 360°. L'activation de la vis de distraction est conduite via l'accès coronaire grâce au guide inséré dans la tête de l'implant distracteur. Le gain vertical possible est compris entre 3 et 10 mm. Après la phase active, la tête du distracteur peut être remplacée par une connexion implantaire conventionnelle, permettant la transformation de l'implant distracteur en implant support de prothèse (fig.66).

IV. REVUE DE LA LITTERATURE : QUELS PROTOCOLES POUR QUELS RESULTATS ?

IV.1 REVUE DES ETUDES

La sélection des études présentées est fondée sur plusieurs critères : ce sont des études utilisant des dispositifs non expérimentaux sur l'Homme, présentant un nombre de patients significatifs, une description précise des protocoles, un suivi des patients post réhabilitation prothétique supérieur ou égal à 1 an. Nous avons exclu de la sélection les études portant sur des traitements ayant eu lieu chez des patients irradiés. La liste des études et leur analyse sont retranscrites dans le tableau 6 en annexe.

IV.2 FACTEURS CONDITIONNANT LA REUSSITE DE LA DISTRACTION

Les études rapportant l'évaluation clinique de distractions alvéolaires restent rares dans la littérature scientifique. Les facteurs influençant les résultats d'une ostéogénèse par distraction ont été plus largement étudiés dans d'autres cadres d'application, notamment au niveau cranio-maxillofacial (élongation mandibulaire) ou orthopédique. Les procédures utilisées et les facteurs conditionnant l'ostéogénèse alvéolaire par distraction sont donc issus de la compilation des études cliniques mentionnées précédemment, et d'études portant sur les conditions de distraction dans différentes situations pouvant être extrapolées à la distraction alvéolaire.

IV.2.1 Technique d'anesthésie

Le type d'anesthésie est fonction de l'accessibilité du site de distraction, de l'étendue du site, de la durée envisagée de l'acte, et des capacités du patient (Chiapasco et coll., 2004).

Aucune donnée ne permet d'associer un taux de succès à une technique d'anesthésie précise. Les distractions alvéolaires sont fréquemment réalisées sous anesthésie locale avec ou sans sédation intraveineuse. Actuellement, près de 20 à 30% des patients inclus dans des études ont été opérés sous anesthésie générale. La majorité des distractions alvéolaires relatées sont donc réalisées sous anesthésie locale ou locorégionale.

IV.2.2 Phase chirurgicale et ostéotomie

▪ **Incisions et accès mucopériosté**

La conservation d'un pédicule vasculaire périosté est fondamentale pour éviter une nécrose du fragment transporté, pour minimiser la résorption osseuse superficielle, et pour garantir un apport nutritionnel optimal du régénérat osseux. Le maintien d'un apport nutritionnel et cellulaire provenant du périoste est absolument essentiel pour la réussite d'une ostéogenèse par distraction.

Ainsi, au niveau mandibulaire, il est très important d'éviter un décollement mucopériosté lingual. Au niveau maxillaire, l'abord palatin décrit par Garcia-Garcia (2004a) permet de conserver avantageusement un pédicule vestibulaire, bien mieux vascularisé qu'un pédicule palatin. Les procédures de tunnelisation sous périostée (Garcia-Garcia et coll., 2004a), évitant une incision latérale du périoste, un décollement vestibulaire, et applicables aussi bien à la mandibule qu'au maxillaire, permettent une conservation optimale des pédicules vasculaires. Cependant, cette technique de choix contraint à l'utilisation de distracteurs intra osseux.

De plus, il est nécessaire de prévenir la réalisation de fragments transportés trop petits, ayant de ce fait un apport vasculaire limité, et augmentant ainsi le risque de nécrose.

▪ **Ostéotomies**

Les scies oscillantes et la piezo chirurgie sont préférées aux fraises fissure montées sur pièce à main, car ces techniques permettent une ostéotomie dont la largeur est minimale, et ne nécessitant pas de larges décollements périostés. Les disques diamantés permettent un trait d'ostéotomie très fin, mais nécessitent un large décollement des tissus mous.

Sur un modèle canin d'élongation mandibulaire, Tsunokuma et Nosaka (2000) décrivent l'importance de maintenir un apport sanguin, et de préserver les pédicules vasculaires issus de l'artère alvéolaire mandibulaire, en pratiquant uniquement une corticotomie, et en comptant sur la capacité d'étirement de l'os spongieux par le distracteur pour obtenir un allongement. Hu et coll. (2002) comparent les effets de corticotomies et d'ostéotomies sur un modèle animal. A deux semaines de consolidation, ils observent une densité osseuse radiologique plus importante, et une meilleure formation du cal dans le groupe des corticotomies. Les données histologiques et l'index Ca/P sont également plus favorables

dans le groupe des corticotomies. Ces observations suggèrent que la préservation des vaisseaux intramédullaires accélère la minéralisation, et minimise la formation d'un tissu transchondroïde.

Les ostéotomies verticales doivent être légèrement divergentes en direction occlusale, pour éviter toute interférence dans le mouvement du fragment, et pour minimiser les forces de cisaillement au niveau des ostéotomies latérales. Sur des tibias de lapins, Richards et coll. (1998) rapportent une meilleure régénération osseuse lorsque les ostéotomies latérales font un angle de 30°, plutôt que quand les ostéotomies sont perpendiculaires à l'axe osseux. Ils spéculent qu'une diminution des forces de cisaillement peut induire une meilleure stimulation des ostéoblastes et des centres d'ossification.

De plus, au niveau des segments mandibulaires postérieurs, l'approche de Millesi-Schobel et coll. (2000) permet une régénération plus physiologique, et évite les interférences occlusales du fragment transporté car il exécute une rotation autour de la plaque distale. Avec cette technique, les auteurs obtiennent un gain mésial plus important que le gain distal qui est quasi nul.

▪ **Prescription post opératoire**

Il n'existe pas actuellement d'études montrant précisément la pertinence d'une antibiothérapie. De nombreuses études s'accordent pour prescrire à leurs patients 50mg/Kg/j d'amoxicilline pendant 6 jours après la chirurgie en commençant 1 heure avant l'intervention. Des soins antiseptiques topiques à la chlorhexidine à 0,2% sont administrés. Les anti-inflammatoires sont très peu prescrits. Bien sûr, des antalgiques de niveau II améliore le confort post opératoire des patients.

IV.2.3 Période de latence

Les périodes de latence couramment utilisées lors de distraction maxillo-faciale (4 à 10 jours) sont fondées sur l'expérience des distractions des os longs. Il apparaît que la bonne vascularisation de la région maxillo-faciale, permet la réduction ou l'élimination de cette période de latence. Troulis et coll. (2000) étudient l'élongation mandibulaire chez le porc, et rapportent des résultats similaires chez les animaux ayant subi une distraction immédiate (sans latence) et les animaux ayant bénéficié d'une période de latence de 4 jours. Sur un modèle de mouton, Tavakoli et coll. (1998) étudient les résultats obtenus par densitométrie osseuse, la résistance biomécanique, et les caractéristiques histologiques à 20 jours de distraction après des périodes de latence de 0, 4, et 7 jours et observent aucune différence entre les trois groupes.

Une revue de 3278 cas cliniques de distraction cranio-faciale (Mofid et coll., 2001) ne montre pas de différences significatives entre les cas ayant eu une période de latence, et ceux qui n'en ont pas eu en termes de consolidation prématurée (2% contre 0.76%) ou de présence d'union fibreuse (0.4% contre 0.25%).

Une phase de latence de 4-7 jours apparaît comme nécessaire lors de distraction alvéolaire pour éviter des expositions prématurées de l'os dans l'environnement buccal (Jensen et coll. 2002).

Actuellement, la majorité des études utilisent une période de latence de 7 jours. La tendance à raccourcir le temps de latence repose sur la vascularisation importante des maxillaires. Bien que la phase de latence ne soit pas strictement nécessaire pour la régénération osseuse, une période de latence de 5-7 jours semble nécessaire pour obtenir une fermeture primaire de l'incision, et diminuer ainsi le risque de déhiscence ou de communication de la chambre de distraction avec le milieu buccal. De plus, un certain délai est considéré comme nécessaire pour permettre une migration des cellules mésenchymateuses au centre de l'intervalle d'ostéotomie. Robiony et coll. (2002) utilisent un coagulum de PRP (*Platlet rich plasma* = culot de centrifugation riche en plaquettes) et d'os autogène qu'ils disposent au niveau de l'ostéotomie basale. Pour permettre une cicatrisation avancée du cal, une période de latence de 15 jours a été choisie. Leurs résultats montrent un régénérat osseux très dense, mais il n'y a pas eu d'évaluation histologique confirmant les données radiologiques.

Enfin, l'utilisation de membranes issues de culot de centrifugation riche en plaquettes et en fibrine (*Plasma rich fibrine* = PRF) permettrait une fermeture muqueuse plus rapide et réduirait la période de latence.

IV.2.4 Phase de distraction active

IV.2.4.1 Amplitude et fréquence de distraction

Le degré et la fréquence de la distraction influencent le type d'os néoformé. De nombreuses études (cf chapitre 2) ont montré que l'amplitude de distraction détermine la différenciation cellulaire et la production de la matrice extracellulaire. Une amplitude de distraction élevée (>20000 $\mu\epsilon$ soit > 2 mm/j) produit une différenciation phénotypique fibroblastique, provoquant une prédominance de ces cellules, une matrice collagénique non minéralisée, et une réduction de la différenciation ostéoblastique. Les expérimentations animales déterminent une amplitude de distraction optimale comprise entre 0,8 et 1,5 mm/j.

Gaggle et coll. (2000a, 2000b), après une étude clinique portant sur l'évaluation d'implants distracteurs, proposent, contrairement aux autres types de distracteur, un index de distraction de 0,5 mm/j, car un index de 1mm/j risquerait d'altérer l'interface entre l'implant distracteur et l'os. Cependant, il a été montré qu'un index de 0,5 mm/j peut entraîner une consolidation prématurée, ou une cicatrisation osseuse transchondroïde altérant la vascularisation, et donc la qualité du régénérat osseux (Ueda et coll. 1999).

Ilizarov, rapporte que la fréquence idéale de distraction est une distraction continue. De ce fait, certains dispositifs d'élongation mandibulaire comportent un vérin hydraulique, ou un mécanisme à ressort pour appliquer une contrainte de tension continue et d'intensité constante.

Lors d'études cliniques portant sur la distraction alvéolaire, de nombreux auteurs essaient d'approcher cette fréquence en fragmentant les activations du distracteur plus d'une fois par jour, en distribuant l'amplitude quotidienne en 2 sessions de 0,5 mm ou 3 sessions de 0,3 mm. Les études expérimentales ont montré qu'une décomposition quotidienne d'une amplitude de distraction n'intervient pas dans la qualité du tissu nouvellement formé, mais dans sa densité, qui est augmentée quand la distraction est réalisée en plusieurs sessions (Meyer et coll., 1999).

Cependant, dans leur revue de littérature, Mofid et coll. (2001) trouvent que la proportion d'union fibreuse n'est pas supérieure quand une distraction d' 1 mm/j est appliquée en une seule session (0,3% des cas) ou quand la même amplitude est décomposée en un nombre variable de sessions (0,5% des cas). De plus, lorsqu'un index de distraction de 1mm/j est appliqué en 4 fois, ils observent plus de consolidation prématurée (2,5%) qu'en une seule session (0,3%).

Les études cliniques portant sur la distraction alvéolaire utilisent un index de distraction de 0,9 à 1mm/j en 2 ou 3 activations. Les quelques études utilisant un index de 0,5 mm/j obtiennent de bons résultats avec un régénérat osseux dense et minéralisé (Gaggle et coll. ,2000b ; Iisuka et coll. 2005). De nouveaux protocoles de distraction active proposent d'alterner des phases de tension et de compression pour simuler des charges intermittentes. Ces techniques semblent favoriser une cicatrisation accélérée et un tissu régénéré de bonne qualité. Mais ces protocoles n'ont pas été comparés aux protocoles classiques (Consolo et coll. 2006).

IV.2.4.2 Gain vertical et sur correction

IV.2.4.2.1 Prédicibilité et évaluation du gain vertical

Le gain vertical osseux est de 8 mm en moyenne sur les études clinique compilées. Le gain vertical maximum retrouvé dans plusieurs études est de 15 mm. Le gain est plus important avec l'utilisation de distracteurs extra osseux (TRACK, V-2), il est compris entre 4 et 15 mm et de moyenne 11,66 mm. Les distracteurs intra osseux (LEAD) donnent un gain vertical moyen de 6,3 mm. Les implants distracteurs obtiennent des résultats comparables aux distracteurs intra osseux.

La prédictibilité correspond à l'adéquation entre les résultats escomptés et les résultats régulièrement obtenus. Raghoobar et coll. (2002) obtiennent un gain vertical planifié identique dans 80% des cas de distraction effectués. Les deux cas n'atteignant pas le gain planifié ont une différence de 1 mm par rapport au gain désiré qui est de 7,1 mm en moyenne. Chiapasco et coll. (2004) n'obtiennent pas les résultats planifiés dans 1 cas sur 37 soit une prédictibilité des résultats (complications comprises) de plus de 97%. D'autres auteurs parlent de prédictibilité à 100% du gain vertical (Iisuka et coll., 2005 ; Garcia-Garcia 2004). L'ostéogénèse par distraction permet d'établir une très bonne prédictibilité dans les gains osseux verticaux.

Mazzonetto (Mazzonetto et coll. 2005b) et Chiapasco (Chiapasco et coll. 2004) utilisent une méthodologie clinique simple et accessible. Le gain vertical est déterminé par deux facteurs : l'addition du nombre de rotation de la vis de distraction, et l'évaluation radiographique.

Deux radios panoramiques sont nécessaires pour obtenir le gain osseux vertical. La première après la mise en place du distracteur et avant l'activation, la seconde après la phase active (fig.67). Les radiographies rétro alvéolaires ne sont pas utilisées systématiquement pour cette évaluation, car la partie basale du distracteur est souvent placée très bas, et ne permet pas d'être clairement visible sans défilement. Ainsi, la distance en millimètre entre les mini-plaques supérieure et inférieure est mesurée sur les clichés panoramiques avec une règle transparente. Pour obtenir des valeurs reflétant la réalité, il est nécessaire de calculer le facteur de déformation (FD) lié à la technique d'orthopantomographie. Pour cela il faut diviser la taille réelle de la vis de distraction, obtenue par l'addition du nombre de rotation, par la taille de l'image. Pour obtenir le gain vertical, il convient de mesurer la distance inter plaque avant la distraction, et la soustraire de la distance inter plaque post distraction, puis de multiplier le résultat par le FD pour obtenir le gain réel. La deuxième radiographie panoramique est réalisée soit après la phase active, soit à la fin de la période de consolidation (fig.67).

L'inconvénient réside dans le fait que la vis de distraction n'est pas strictement parallèle au film radiographique, l'image de la vis est donc une image légèrement défilée. Ainsi, le calcul du FD intègre une approximation. Le gain osseux calculé à partir de l'image radiographique et du FD est donc une valeur approximative. Pour obtenir une évaluation précise du gain vertical, il semble nécessaire d'avoir recours aux coupes para frontales proposées par le scanner.

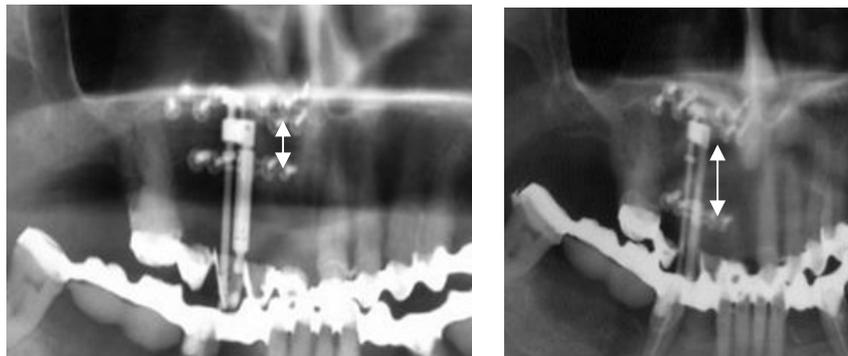


fig.67 : Evaluation du gain vertical sur deux orthopantomographies. A gauche, avant la phase active, à droite après la fin de l'activation. Le FD est calculé à partir de la hauteur des vis de distraction. Ce calcul est délicat lorsque la tige de distraction est inclinable. (D'après Mazzonetto, 2005)

IV.2.4.2.2 Evaluation de la résorption osseuse post distraction

Ce paramètre est évalué par Chiapasco et coll. (2004) en comparant la distance entre le bord crestal du segment transporté et la limite supérieure des plaques du distracteur, sur des radiographies rétro-alvéolaires prises à la fin de la distraction, et avant la mise en places des implants.

D'autres auteurs comme Saulacic et coll. (2005) mesurent sur des clichés panoramiques les distances entre le bord crestal du segment transporté, et des points précis de structures anatomiques (canal alvéolaire inférieur, orbite, sinus, fosses nasales). Cette méthode semble moins précise et plus délicate à reproduire d'un panoramique à l'autre, que celle utilisant des radiographies rétro-alvéolaires.

IV.2.4.2.3 Sur-correction

Quelques études expérimentales et cliniques montrent que la distraction cranio-faciale n'est pas exempte de résorption, à l'incidence variable. McAllister (2001) ne trouve pas de résorption significative lors d'investigations cliniques sur 10 patients traités par distraction alvéolaire. Cependant, Saulacic et coll. (2005) mettent en évidence des résorptions de degré variable sur 17 distractions réalisées sur 11 patients. Les moyennes de résorption coïncident

avec les résultats trouvés par Jensen et coll. (2002) lors d'une étude prospective, et sont de l'ordre de 1,6 mm soit 20% du gain. Chiapasco et coll. (2004) ainsi que Mazzonetto et coll. (2005) trouvent des pertes osseuses verticales mineures d'environ 0,3 mm après la période de consolidation. Une des raisons qui expliquerait ces résultats pourrait être l'utilisation de distracteur rigide (TRACK 1.0), alors que Saulacic et Jensen utilisent des distracteurs semi-rigide (LEAD et arc orthodontique). D'autant plus que Chiapasco et coll. placent 2 à 5 implants au niveau du segment distracté, alors que Saulacic en place de 1 à 3, induisant une stimulation osseuse mécanique moins importante, et des possibilités de résorption accrue.

Un segment transporté de faible étendue a tendance à être plus sujet à la résorption qu'un fragment transporté de grande étendue (>20mm) (Saulacic et coll. 2005). L'étude de Saulacic et coll. montre que l'incidence de résorption est majeure au niveau des ostéotomies latérales. La résorption de l'os crestal au niveau des ostéotomies verticales tend à rejoindre le niveau osseux adjacent. Nosaka et coll. (2002) suggèrent de placer les implants à 2 mm au minimum de l'ostéotomie latérale.

Certains auteurs considèrent que la sur-correction est bénéfique pour prévenir une éventuelle récurrence en distraction cranio-faciale. Lors de distractions mandibulaires, une étude rétrospective multicentrique révèle qu'un tiers des chirurgiens réalise une sur correction, avec une moyenne de 3,3 mm (Mofid et coll. 2001). Au niveau de la distraction alvéolaire, quelques auteurs recommandent une sur correction de 1 à 3 mm ou de 25% (Hidding et coll. 1999, Hürzeler et coll. 2002, McAllister 2001). Les résultats de Saulacic et coll. montre que la sur correction nécessaire et suffisante est de 20%. McAllister suggère que la résorption puisse dépasser la sur correction, mais cela n'est pas montré par Saulacic qui observe une résorption moyenne de 1,6 mm au niveau d'implants (la sur correction étant en moyenne de 2 mm), et même aucune résorption sur un cas.

La résorption osseuse crestale semble donc être prépondérante lors de l'utilisation de distracteur semi-rigide, de fragment transporté de petite étendue, et chez le patient jeune. Une sur correction en fonction du dispositif utilisé, de l'étendue du fragment transporté, et du gain osseux requis semble être une assurance de prédictibilité.

IV.2.4.3 Vecteurs et stabilisation pendant la distraction alvéolaire

IV.2.4.3.1 Choix des dispositifs

La conception du distracteur influence plusieurs facteurs : la difficulté ou la facilité de mise en place et de dépose du dispositif, l'ancrage osseux du dispositif, conditionnant la stabilité de la distraction, les interférences du dispositif avec l'occlusion et les tissus mous adjacents.

Les dispositifs de distraction intra osseux provoquent une fibrose autour de la vis de distraction, et lors du retrait du dispositif, il existe un défaut intra osseux en forme de puits. Urbani et coll. (1999) recommandent un délai de 4 semaines après la dépose de LEAD pour la régénération des tissus mous et osseux, car le défaut osseux provoqué par le retrait du distracteur n'est pas le site d'implantation idéal. McCallister (2002) utilise le même dispositif et observe le même inconvénient.

Le dispositif de distraction doit être stable jusqu'à ce que l'os soit entièrement régénéré dans l'intervalle de distraction. S'il existe une stabilité insuffisante, les contraintes de cisaillement induisent des micro-ruptures des néo vaisseaux, produisant des hémorragies, une hypoxie et la formation de fibrocartilage. L'instabilité du dispositif est plus communément rapportée lors d'utilisation de distracteurs intra osseux, qui requièrent une hauteur osseuse minimum du fragment transporté (Rachmiel et coll. ,2001 ; McAllister, 2001).

Les dispositifs extra osseux, induisent une réapplication du périoste plus délicate lors de la phase chirurgicale, mais la stabilité et le contrôle du vecteur de la distraction sont facilités.

IV.2.4.3.2 Choix du vecteur de distraction

La planification préopératoire du vecteur de distraction est peu mentionnée parmi les études cliniques ; il permet cependant de prédéterminer l'emplacement correct du dispositif et donc de raccourcir la durée d'intervention et d'optimiser le placement futur des implants. Gaggl et coll. (2000) proposent la création de modèles stéréolithographiques pour déterminer l'emplacement et le vecteur de distraction.

Jensen et coll. (2002) ont conduit une étude portant sur 28 patients suivis sur 5 ans, utilisant principalement des ancrages orthodontiques pour la réalisation de distractions maxillaires. Cette technique permet un déplacement vertical et horizontal du fragment transporté. A 2 mois de consolidation, le fragment est stable mais de nombreux patients présentaient des zones d'ossification altérées, avec la formation de tissu fibreux nécessitant des greffes osseuses et gingivales secondaires. Les auteurs concluent que les forces bidirectionnelles altèrent et fragilisent l'isotropisme de la zone régénérée. Pour éliminer les forces bidirectionnelles, ils recommandent pour corriger des défauts horizontaux, d'utiliser des procédures d'augmentation osseuse horizontale classique (greffes d'apposition) après la distraction verticale.

Iisuka et coll. (2005) obtiennent des résultats opposés. Ils utilisent chez 7 patients (8 distractions) le distracteur bidirectionnel V-2 pour contrer les forces centripètes appliquées sur les fragments déplacés ou pour orienter en vestibulaire la régénération osseuse. L'index de distraction est de 0,25 à 0,5 mm/j. Ils obtiennent un gain vertical de 10 à 15 mm, et une angulation de 20° à 29° ($m=25,1^\circ$) entre l'axe de la partie basale et le fragment transporté.

Les résultats histologiques montrent un tissu osseux minéralisé et très dense au niveau de la zone distractée, et des trabécules osseux qui ne sont pas orientés unidirectionnellement. L'architecture osseuse multidirectionnelle et très dense de la zone distractée suggère que ces résultats sont le fruit de l'index de distraction faible et de l'angulation progressive Iisuka et coll. (2005). Une force oblique constante, utilisée par Jensen avec son approche orthodontique provoquerait des forces de cisaillement, et l'index de distraction est trop fort pour obtenir un néo tissu dense et bien minéralisé. D'autre part, le manque de rigidité de l'arc orthodontique et du dispositif de traction peut être la cause des résultats obtenus par Jensen.

En se rappelant les travaux de Mofid et coll. (2002), montrant l'intérêt de périodes de compression lors de la distraction active, provoquant un régénérat osseux plus dense, il est à noter que l'angulation progressive du fragment transporté entraîne inévitablement la compression de la zone de régénération du côté de l'angulation.

L'évidence histologique d'une meilleure régénération osseuse provoquée par une distraction bidirectionnelle reste à confirmer par d'autres études cliniques.

Les procédures utilisées pour contrôler le vecteur de distraction sont très peu souvent mentionnées. Herford et coll. (2004) décrivent un ensemble de techniques permettant de corriger le vecteur de distraction (cf. chapitre III). Pour le déplacement de fragments plus étendus (> 20 mm), Gacia-Garcia et coll (2002) utilisent 2 distracteur LEAD plutôt qu'un seul, pour mieux contrôler les mouvements mésio-distaux que bucco-linguaux.

IV.2.5 Phase de consolidation

IV.2.5.1 Période de consolidation

La connaissance des phénomènes liés à la période de consolidation est fondée sur les études portant sur les os longs. Différents auteurs ont établi des temps de consolidation en fonction de l'allongement obtenu. Dans ce sens, au niveau des extrémités, deux jours de consolidation sont proposés pour chaque mm d'allongement obtenu (Aronson et coll. 1994). Cette méthode est appropriée à la distraction des os longs, mais n'est pas adaptée aux distractions portant sur de faibles allongements comme au niveau maxillo-facial, car à la fin de la distraction active d'os longs (environ 50 jours), une minéralisation majeure s'est déjà produite.

Actuellement, la majorité des études utilisent une période de consolidation d'environ 8 à 10 semaines. La tendance est de retirer le distracteur le plus tôt possible dans le but de

minimiser le risque de complications infectieuses, et de permettre le placement précoce des implants, avant que la chambre de distraction ne soit complètement minéralisée. Cano et coll. (2006) considèrent que le distracteur doit être maintenu le temps minimum nécessaire pour obtenir un tissu biomécaniquement résistant à la mise en place d'implants. La mise en place d'implants immédiatement après la phase active, permettant de transfixer le fragment transporté et la zone de régénération, et de prendre ancrage dans l'os basal permettrait de réduire la période de consolidation à un temps virtuellement nul.

De plus en plus, les études tendent à superposer la phase de consolidation et la phase d'ostéointégration des implants. L'implantation précoce, c'est-à-dire, selon Zaffe et coll., avant la 12^{ème} semaine post distraction, permettrait la mise en place de l'implant dans des conditions d'activité osseuse optimales. Radomisli et coll. (2001) montrent que la charge mécanique appliquée sur une zone de régénération osseuse par distraction, augmente la densité et le volume trabéculaire de l'os régénéré. Raghoobar et coll. (2002) soulignent que le tissu osseux régénéré est capable à 4 semaines de supporter mécaniquement la mise en place d'implants, et que l'activité tissulaire favorise l'ostéointégration. Selon ces mêmes auteurs, la période d'ostéointégration étant de 3 mois, la mise en place d'implant 4 semaines post distraction permettrait au total d'avoir une période de consolidation de 4 mois.

Consolo et coll. (2006) utilisent un protocole permettant de simuler sur le fragment transporté et le cal distracté une charge intermittente, en alternant compression et étirement. Chez les sujets soumis à une distraction alvéolaire stimulée, la densité osseuse est plus importante par rapport aux témoins, et un tissu osseux mature est observé dès la sixième semaine. De plus, ils observent à 8 et 12 semaines, des trabécules osseux orientés et une plus grande quantité d'os lamellaire par rapport aux témoins.

IV.2.5.2 Evaluation de la consolidation

IV.2.5.2.1 Densitométrie

La densitométrie osseuse est obtenue par absorption différentielle des rayons X et est largement utilisé pour évaluer la consolidation des fractures chez les patients atteints d'ostéoporose. Cette technique a été corrélée avec les propriétés biomécaniques du régénérat osseux post distraction. Lors d'une étude sur l'élongation mandibulaire de brebis, une résistance à la fracture de 689 N est observée à 5 semaines de consolidation et corrélée avec une densité de 0,332g/cm² (Faradieh et coll. 2000).

La densitométrie est actuellement employée expérimentalement, et les études cliniques ne font pas appel à cette méthode pour évaluer objectivement le niveau de consolidation.

IV.2.5.2.2 Tomographie

Smith et coll. (1999) utilisent des coupes TDM pour évaluer la densité osseuse au niveau de sites de distraction mandibulaire chez le chien. Ils observent une corrélation significative entre l'absence d'union osseuse et les valeurs équivalentes de densité osseuse les plus basses. Les valeurs obtenues à 6 et 8 semaines sont supérieures (et identiques entre elles) aux valeurs obtenues à 4 semaines, mais toutes inférieures aux valeurs préopératoires.

Le TDM comporte expérimentalement de nombreux avantages bien que les distracteurs métalliques provoquent des distorsions. Il présente des inconvénients lors de son utilisation clinique comme le prix de l'examen, ou l'exposition à des rayonnements X. Actuellement, l'évaluation de la consolidation par scanner n'est pas utilisée lors d'étude clinique. L'avènement de nouvelles techniques d'imagerie tomographique diminuant l'irradiation et augmentant la résolution devrait permettre leur utilisation plus fréquente pour l'évaluation de la consolidation post distraction. Ainsi le 3D Accuitomo provoque une dose équivalente de 0,06 mSv et donne une résolution 4 fois supérieure à un scanner classique irradiant à 0,2 mSv.

IV.2.5.2.3 Radiologie conventionnelle

Lors d'une évaluation radiologique de distraction alvéolaire, Samchukov et Cope (2000) observent qu'immédiatement après la phase active, seulement 27% des échantillons montrent des signes d'ossification ayant la forme de fins spicules évoluant depuis l'os original. Après 2 semaines de consolidation, 54% des échantillons montre des signes d'ossification et de minéralisation à titre de fins spicules liés à l'os original et de foyers "insulaire" au centre de l'intervalle de distraction. Les autres 46% présentent une minéralisation, avec deux zones distinctes : une zone de minéralisation liée à l'os original et une zone centrale radio claire. A 6 semaines, une densité accrue est observée et 69% des échantillons présentent une minéralisation continue sans interzone radio claire. Il est considéré que 30 à 60% de gain ou de perte de minéralisation peut être effective sans que cela se traduise par une image radiologique interprétable. En confrontant des résultats histologiques et radiologiques, il a été montré que l'interzone radio claire présente un large pourcentage de minéralisation non détectée (Raghoebear et coll. 2002).

D'autre part, il semble que les images obtenues par radiographie panoramique (qui est une zonographie) accentuent l'image radio claire et rendent l'analyse de la minéralisation plus approximative que par des clichés rétro-alvéolaires. Pour l'évaluation de la minéralisation (et non du gain verticale il est donc préférable d'utiliser des radiographies rétro-alvéolaires, en gardant à l'esprit que l'image obtenue n'est pas la transcription précise du niveau de la minéralisation.

IV.2.5.2.4 Analyse histologique

L'analyse histologique est sans doute l'évaluation de la consolidation et de la cicatrisation osseuse la plus objective. Elle nécessite cependant la réalisation d'une biopsie par carotte osseuse. Si le prélèvement est réalisé lors de la mise en place des implants, les données histologiques n'auront qu'une valeur intellectuelle et n'influenceront pas le traitement. Si le prélèvement est programmé avant la pose des implants, cela induit une intervention supplémentaire provoquant une souffrance osseuse supplémentaire.

Une étude histologique a été réalisée par Zaffe et coll. (2002) après des distractions alvéolaires chez l'homme. Ils observent l'évolution de la formation d'os mature trabéculaire à 60, 88, et 200 jours après la distraction. A l'issue de l'étude, ils recommandent la mise en place des implants avant 12 semaines de consolidation, considérant que la structure osseuse est adéquate dès la 8^{ème} semaine. Raghobear et coll. (2002) observent des résultats similaires chez 10 patients.

L'évaluation de la néoformation osseuse par analyse histologique est une méthode efficace pour explorer la cicatrisation osseuse. Elle est néanmoins invasive et altère les conditions d'implantation. Elle n'est donc pas recommandée systématiquement, d'autant plus qu'il est délicat de multiplier les prélèvements, et donc de suivre l'évolution temporelle de la consolidation. Cette méthode est donc à privilégier lors d'expérimentations, mais reste délicate lors de son utilisation clinique. Pour réaliser une biopsie, l'utilisation d'une tréphine au niveau du forage implantaire, formant ainsi une carotte osseuse reste la méthode de choix.

IV.2.5.2.5 Ultrasons

L'utilisation de l'échographie pour explorer la consolidation et l'apparition d'une nouvelle corticale a été réalisée par Kunkel et coll. (2005). Ils utilisent un échographe de 10Mhz à faisceau linéaire appliqué perpendiculairement à la base de la mandibule, parallèlement à l'axe du distracteur. L'écho des surfaces osseuses et des corticales est bien défini avant la distraction. Au cours de la distraction, l'intervalle de distraction est clairement visible grâce à la propagation des ultrasons au travers de la zone non minéralisée. La formation de la corticale est observée à partir de la 6^{ème} semaine de consolidation, et l'obtention d'une ossification complète est observée à la 32^{ème} semaine post distraction. La propagation des ondes ultrasonores varie en fonction de la minéralisation du tissu étudié. L'utilisation des ultrasons pour évaluer l'ossification et la consolidation du cal distracté semble une méthode précise (vision en coupe) et peu invasive (radiation non ionisante).

Cependant peu d'études relatent ce type de protocole pour évaluer la cicatrisation, et il existe donc peu de résultats pour obtenir des références et un protocole clairement établi

(Kunkel et coll., en 2005 sont les seuls à relater cette technique), malgré l'attrait de cette technique.

IV.2.6 Cas des implants distracteurs

Gaggl et coll. (2000a) démontrent par une étude histologique sur le mouton que le distracteur DISSIS s'ostéointègre et peut jouer un rôle d'implant mis en charge. A 6 mois une surface d'apposition entre l'os et le distracteur est évaluée à 70%-80%. Les auteurs montrent que la stabilité de l'implant distracteur est adéquate (périotest <3) à la mise en place d'une superstructure prothétique. D'autre part, une étude clinique conduite sur 35 patients montre que les implants distracteurs obtiennent un gain vertical de 4 à 6 mm, et aucune complication n'a été observée sur 29 patients (Gaggl et coll., 2000b). Cette approche est conceptuellement supérieure, car la seconde chirurgie pour déposer le distracteur et la mise en place des implants est éliminée.

Cependant, il existe de nombreuses complications délicates propres à cette approche : la perte de l'ostéointégration du dispositif et donc de l'implant, une perte osseuse marginale pendant la distraction, l'exposition latérale du dispositif, et une orientation de l'implant distracteur impropre à la réalisation d'une prothèse de qualité. L'emplacement idéal du distracteur est rarement l'emplacement idéal des implants. Cette approche est donc délicate car l'emplacement des implants et des distracteurs doit parfaitement coïncider et doit être établi avant le commencement du traitement.

Très peu d'études cliniques ont été réalisées avec des implants distracteurs. Cette approche semble progressivement abandonnée et très peu de cas cliniques relatent l'utilisation de ces dispositifs. L'utilisation d'implants distracteurs est appropriée à des cas nécessitant un faible gain vertical, dans des zones plutôt non esthétiques, et sur des zones peu étendues.

IV.2.7 Age et habitudes de vie

- **Age**

Plus l'âge du patient est élevé, moins la régénération osseuse et la consolidation sont rapides. Chez des patients jeunes, une période de latence prolongée ou un index de distraction faible peuvent provoquer une consolidation prématurée. Chin et Toth établissent

une période de latence de 5 jours lors d'élongation mandibulaire sur la tranche des 2,5 – 17 ans. Bien sûr, lors de distraction alvéolaire à visée implantaire, la croissance du patient devra être impérativement terminée avant l'application de la distraction (en dehors des cas éventuels de dysplasie ectodermique).

Il n'existe pas d'études montrant l'influence de l'âge sur les résultats de distraction. Aronson et coll. (2001) observent une différence significative de radiodensité sur des tibias distractés de rats âgés pour un groupe de 4 mois, et pour l'autre de 24 mois, présentant respectivement 95% et 36% d'os minéralisé.

▪ **Habitudes de vie**

La consommation de tabac semble affecter la régénération osseuse, et favorise la survenue de déhiscences de la muqueuse. Ueng et coll. (1999) montrent que l'altération de la vascularisation liée à la consommation de tabac induit un régénérat osseux moins dense. De nombreuses études mettent en évidence les modifications morphologiques et fonctionnelles des fibroblastes, ostéoblastes et des macrophages liées à la consommation de tabac, et permettent d'extrapoler l'effet délétère sur la distraction alvéolaire.

IV.2.8 Application d'agents physiques et pharmacologiques

Dans le but de diminuer la durée des traitements, de nombreux efforts ont été faits pour trouver des procédures accélérant la néoformation et la maturation osseuse. L'évaluation de ces procédures est actuellement uniquement expérimentale. Aucune étude clinique n'a été réalisée pour évaluer l'influence d'agents physiques ou pharmacologiques chez l'homme, nous mentionnons néanmoins les expérimentations les plus probantes.

La stimulation électrique permettrait d'améliorer la consolidation des fractures osseuse. Le mécanisme d'action apparaît plurifactoriel : une augmentation du pH provoqué par une amélioration de la vascularisation, une augmentation de la perméabilité des canaux calciques, et une stimulation de la différenciation et de la prolifération ostéoblastique. Hagiwara et coll. (2000) étudient l'effet d'un courant électrique continu de 10 μ A pendant toute la phase de distraction et de consolidation de mandibules de lapin. Les électrodes sont deux vis d'ostéosynthèse. L'étude radiologique à 10 jours de consolidation ne montre aucune différence entre les deux groupes. A 20 jours de consolidation le groupe stimulé présente une radiodensité plus importante. La densitométrie révèle des résultats 15 % supérieurs sur le groupe stimulé. Enfin, l'évaluation histologique montre une néoformation osseuse plus importante sur le groupe stimulé à 10 jours et 20 jours. Cependant, toutes ces

mesures sont sensiblement identiques entre les deux groupes, pour les évaluations à 30 et 60 jours.

L'association d'ultrasons de faible intensité (30mW/cm²) pendant la période de distraction et de consolidation a également été évaluée. Chan et coll. (2006) montrent que la densité minérale osseuse est augmentée de 10% au niveau du site de distraction stimulé par ultrasons de faible intensité. Ils observent une accélération significative de la formation osseuse et du remodelage. La néocorticalisation est également plus rapide. De meilleurs résultats sont observés sur le groupe stimulé, mais les mécanismes précis restent encore à être déterminés. Il semblerait que les ultrasons puissent stimuler la synthèse de la MEC par les ostéoblastes par un mécanisme canaux calciques-dépendant.

La détermination du rôle de divers facteurs de croissance a permis leur utilisation exogène pour tenter d'optimiser cinétiquement et qualitativement la cicatrisation osseuse.

L'injection de recombinant humain de BMP-7 (rhBMP-7) au cours de la chirurgie ou après la phase de distraction stimule le taux d'ossification, et augmente la phase minérale osseuse du régénérat osseux (Terheyden H et coll., 2003 ; Mizumoto et coll., 2003).

L'administration locale de BMP-2 via un adénovirus ou par injection locale augmente la phase organique et minérale du cal osseux pendant la distraction, augmentant significativement la taille et le volume des trabécules, ainsi que le nombre de cellules prolifératrices, par rapport à l'effet de la distraction seule. L'administration locale de rhBMP-2 améliore et raccourcit potentiellement la phase de consolidation (Ashimoff et coll., 2004 ; Rachmiel et coll., 2004). L'adjonction de rhBMP-2 par éponge collagénique ou par injection sous-cutanée compense l'effet délétère d'un index de distraction de 2mm/j. Des différences significatives de densité minérale ont été observées entre les groupes traités ou non traités sans influence du mode d'administration (Li et coll., 2002)

Stewart et coll. (1999), étudient l'application de 0,24mg/kg/j de rhIGF-1 pendant 28 jours, sur un modèle de distraction mandibulaire de lapin, grâce à une pompe osmotique. Ils observent une activité ostéoblastique plus importante sur les groupes stimulés, sans pour autant observer un accroissement de l'index d'apposition minérale ou de la résistance mécanique. Il semble que l'association d'IGF-1 augmente l'index d'apposition minérale lorsque l'index de distraction est très élevé (3mm/j), et empêche donc la formation d'union fibreuse ou pseudarthrose lors de distractions rapides.

Actuellement, il n'existe pas d'études multicentriques possédant un recul important sur un protocole d'association d'un agent pharmacologique à la distraction.

IV.3 IMPLANTATION AU NIVEAU DE LA ZONE DISTRACTE

IV.3.1 Classification clinique post distraction

Quatre catégories morphologiques ont été identifiées (I à IV) par Garcia-Garcia et coll. (2004c), et une sous catégorie (Déviation linguale : D) survenant potentiellement au niveau des catégories I à IV. Les morphologies différentes sont illustrées dans la figure 67.

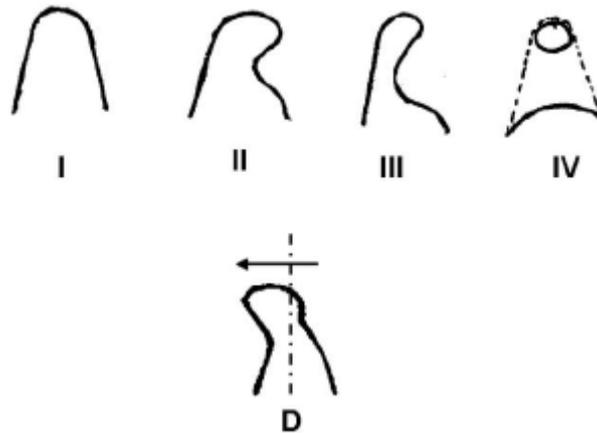


fig.67 : Au dessus, représentation des 4 différentes catégories morphologiques. Au dessous, un exemple de déviation linguale pouvant survenir. (D'après Garcia-Garcia et coll. 2004c)

Les crêtes assignées à la catégorie I montrent un large rempart alvéolaire et aucun défaut osseux transversal. La mise en place d'implants n'est pas compromise si la largeur est suffisante et si une déviation linguale (catégorie ID) n'est pas excessive. Garcia-Garcia et coll. (2004c) détermine qu'environ 42 % des cas correspondent à la catégorie I.

Les crêtes assignées à la catégorie II montrent un large rempart alvéolaire, mais présente une concavité latérale. Des fenestrations semblent la complication la plus fréquente lors de l'implantation (fig.68). Celles-ci sont traitées par l'apposition d'os autogène prélevé ou récupéré avec le forage, soit par utilisation de membranes de collagène résorbables. Garcia-Garcia et coll. (2004c) détermine qu'environ 24 % des cas correspondent à la catégorie II.

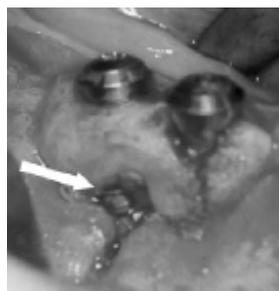


fig. 68 : fenestration implantaire au niveau d'une catégorie II.

(D'après Garcia-Garcia et coll. 2004c)

Les crêtes assignées à la catégorie III montrent un rempart alvéolaire étroit, avec une concavité latérale. Des déhiscences sont les complications les plus fréquentes lors de l'implantation (fig.69). Au traitement précédent s'ajoute la possibilité de réaliser une régénération osseuse guidée (ROG). Garcia-Garcia et coll. (2004c) détermine qu'environ 29 % des cas correspondent à la catégorie III.



fig. 69 : Déhiscence implantaire au niveau d'une catégorie III.
(D'après Garcia-Garcia et coll. 2004c)

Au niveau des crêtes assignées à la catégorie IV, le fragment transporté a formé un pont, sans formation osseuse entre le fragment et l'os basal. Cette situation nécessite une ROG de part et d'autre pour obtenir une crête implantable. Garcia-Garcia et coll. (2004c) détermine qu'environ 6 % des cas correspondent à la catégorie IV.

Au niveau des crêtes assignées aux sous catégorie D, l'axe de distraction est dévié lingualemment. Dans les cas sévères, une ostéotomie correctrice est réalisée en utilisant le fragment libre pour une apposition osseuse.

Il est important de mentionner que Garcia-Garcia et coll. (2004c) utilisent pour cette étude des distracteurs intra osseux, moins rigide que les dispositifs extra osseux. Enislidis et coll. (2005) suivent cette classification et utilisent des distracteurs LEAD et TRACK sur 45 sites ; leurs résultats sont différents. 75% des zones distractées appartiennent à la catégorie I, 13% sont catégorie II, 6% à la catégorie III, et 4% à la catégorie IV. Cette augmentation relative des catégories I semble être le fruit de l'utilisation de distracteurs rigides extra osseux. D'autre part, des situations comme celles appartenant à la catégorie III ou IV semblent rare dans les études utilisant des distracteurs extra osseux. L'utilisation de distracteurs intra osseux semi rigides semble donc favoriser la survenue de concavités latérales.

IV.3.2 Mise en place des implants

La mise en place des implants au niveau de la zone distractée n'est pas soumise à un protocole particulièrement différent à l'implantation au niveau d'un site « normal ». Dans les procédures d'implantation précoces et surtout immédiates, il faut favoriser la mise en place d'implants traversant le fragment transporté, le régénérat osseux et s'ancrant sur 1 à 3 mm au niveau de l'os basal. Il faut également veiller à prévenir toute vibration ou force transversale pouvant fracturer le fragment transporté, en utilisant des forets hélicoïdaux neufs, des techniques de forage à grande vitesse et stabiliser le fragment transporté pendant l'implantation.

Lors de distraction il est fréquent d'obtenir des régénérats osseux présentant des concavités latérales, comme nous l'avons vu précédemment :

- Les fenestrations sont traitées majoritairement par une apposition d'os autogène (de forage ou non) ou de matériaux de substitution osseuse, associés à une ROG (membrane résorbable de préférence dans ce cas)
- Les déhiscences sont traitées par ROG ou par apposition osseuse avant l'implantation.
- Les défauts osseux au niveau de la zone de régénération osseuse sont traités par ROG (membranes imperméables armées titane de préférence) ou par greffes osseuses d'apposition si le défaut est minime, et si le lit de greffe est suffisant.

En cas de déviation du fragment transporté, une ostéotomie correctrice est recommandée dans les cas sévères. Le fragment osseux libre peut être réappliqué vestibulairement, et certains auteurs le stabilisent avec les implants.

D'autre part le défaut osseux nécessitant une distraction peut être également horizontal. Nous avons vu précédemment toutes les techniques permettant de modifier le vecteur de distraction, et d'ajouter une composante horizontale au mouvement vertical. Cependant le rôle de la distraction est de recréer un rempart alvéolaire à partir d'un défaut osseux vertical. Il est nécessaire parfois pour élargir la crête alvéolaire, ou pour optimiser un rapport inter crête, d'avoir recours à des greffes d'apposition osseuse. Ceci est souvent le cas après des distractions de segments osseux appartenant au maxillaire antérieur.

Parmi les études, une moyenne de 10,7% (sur un écart type de 0 à 33%) des cas traités ont eu besoin secondairement d'un aménagement des tissus osseux. Une grande majorité d'études n'ont pas eu recours à des techniques d'aménagement osseux secondaire par greffe d'apposition ou par ROG. Ces aménagements secondaires sont surtout réalisés au niveau du maxillaire antérieur. Les greffes osseuses d'apposition ou les ROG sont indiquées lorsque la dimension horizontale de la zone distractée n'est pas optimale pour une restauration implantaire idéale.

IV.3.3 Quand placer les implants ?

L'insertion d'implants joue un rôle fondamental dans le remodelage osseux. La chirurgie à visée prothétique a certainement des effets traumatiques sur les tissus du segment osseux, mais ont également des effets stimulants sur l'activité osseuse. Les implants ont un petit effet de charge sur l'os, même s'ils ne sont pas soumis à des charges mécaniques. Zaffe et coll. (2002) montrent que dans les biopsies faites à 200 jours après la fin de la distraction (sans implantation), l'activité osseuse est dans un état quiescent, c'est-à-dire qu'un état de stabilité semble avoir été définitivement atteint, et se traduit par une diminution relative du volume trabéculaire. Cet état a été observé dans quelques biopsies effectuées à 88 jours. Les auteurs suggèrent que l'insertion rapide d'implants et leur mise en charge prothétique (selon le cas) préviennent la réduction du volume trabéculaire et de la densité osseuse. L'os fonctionnel est un os actif et dense. L'insertion précoce d'implants peut avoir un effet positif sur la structure de l'os néoformé. Le tissu osseux formé et remodelé après 60 jours de distraction a un arrangement structurel suffisamment résistant pour supporter une charge implantaire.

A l'issue de cette étude, il semble donc que la mise en place précoce d'implant soit recommandée pour l'ostéointégration des implants et le remodelage osseux. Ainsi, les implants doivent être mis en place à la 8^{ème} semaine post distraction. Raghoobar et coll. (2002) pensent, au regard de la structure osseuse, que les implants peuvent probablement être mis en place 4 semaines après la fin de la distraction. L'ostéointégration étant de 3 mois, il en résulte une stabilisation osseuse de 4 mois.

Ainsi, il apparaît que la fenêtre d'implantation est comprise entre la 4^{ème} et la 8^{ème} semaine post distraction. La procédure d'implantation précoce permet également de maintenir le moins longtemps possible le distracteur *in situ*, minimisant d'autant le risque de complications liées à sa présence. Cependant, la décision d'implantation est spécifique à chaque cas, et l'évaluation clinique de la consolidation revêt un rôle important dans la conduite de ces protocoles.

Certains auteurs comme Cano et coll. (2006) considérant que le maintien en place du distracteur est source de complications, préconisent la mise en place immédiate d'implants. Cependant ce protocole n'a pas fait l'objet d'étude pour évaluer la capacité du segment transporté et de la zone régénérée à recevoir des implants.

IV.3.4 Taux de survie et succès implantaire

Le succès implantaire est caractérisé par le maintien dans le temps de l'ostéointégration de l'implant, l'absence d'infection péri implantaire, l'absence de douleur persistante ou de dysesthésie, l'absence de mobilité, l'absence d'image radio claire continue péri implantaire, et moins de 1,5 mm de résorption osseuse péri implantaire pendant la première année de mise en fonction et 0,2 mm durant les années suivantes (Albrektsson et coll., 1986). La survie implantaire reflète la perte d'implants.

La plupart des études évaluent la survie implantaire au niveau de sites de distraction alvéolaire avant la mise en charge. Cependant, peu d'études observent la survie et le succès implantaire sur des délais supérieurs à 1 an. Enislidis et coll. (2005) obtiennent à la mandibule et sur un suivi moyen de 39,4 mois un taux de survie de 95,7%. Chiapasco et coll (2004) obtiennent un taux de succès à 1 ans est de 98,6 % et à 4 ans de 94,2%. Jensen et coll. (2002) obtiennent, au maxillaire un taux de succès à 4 ans de 90,4 %. Actuellement la moyenne des taux de succès implantaire à 1 an post charge est de 96,25%.

IV.4 COMPLICATIONS ET CONDUITE A TENIR

Dans la littérature, le pourcentage total de complications mineures et majeures est compris entre 0% (Garcia-Garcia et coll. 2002) et 75,7% (Enislidis et coll. 2004). Parmi les études sélectionnées (tableau 6), le taux moyen de complications est de 15,46%. Il s'agit donc d'une procédure qui n'est pas exempte de complications.

La majorité des complications sont de nature mineure. La déhiscence des tissus mous suivi d'une infection ou non, est la plus commune des complications mineures (25 à 40% des complications dont 5% s'infecte). Une des causes de cette complication est un index de distraction trop fort (>1mm). Le risque de déhiscence est minimisé avec un index de 0,5 à 0,8 mm/j et avec l'utilisation de distracteurs extra osseux rigides.

La complication mineure dont les conséquences peuvent compromettre le résultat est un mauvais vecteur de distraction. Pour remédier à cela nous avons vu plusieurs techniques précédemment.

Enfin, une paresthésie peut survenir pendant l'activation et se maintenir transitoirement pendant la phase de consolidation. Cette paresthésie semble être le résultat de la dépression au niveau du cal créée par l'élévation du fragment transporté. Cette complication est peu fréquente, mais dans certains cas elle persiste longtemps après la fin de la

distraktion (Enislidis et coll. mentionnent une paresthésie qui persiste pendant 4 ans mais ils ne mentionnent pas si cet paresthésie fait suite à la fracture de l'os basal)

Les complications majeures correspondent à la fracture de l'os basal ou du fragment transporté, la rupture du distracteur, et à des problèmes mécaniques sévères conduisant à l'arrêt du traitement. Les fractures de l'os basal ou du fragment transporté sont les résultats d'une mauvaise distribution des tensions provoquées par les dispositifs intra osseux, ou due à des contraintes défavorables entraînées par des dispositifs extra osseux. D'autres paramètres comme la hauteur résiduelle de l'os basal, ou la qualité osseuse locale interviennent dans la survenue de fractures osseuses pendant la distraction. Les problèmes d'ordre mécanique correspondent au blocage du transport par une interférence au niveau des ostéotomies latérales, à l'instabilité du distracteur, ou au désengagement de la vis de distraction de la plaque basale. Ces problèmes peuvent être évités en activant le distracteur pour détecter d'éventuelles interférences avant de suturer, en ajustant parfaitement le distracteur sur des modèles stéréolithographiques, et en choisissant un distracteur dont la course est adaptée au gain désiré.

Les complications majeures ou mineures surviennent principalement (85%) dans les zones mandibulaires postérieures. Les zones antérieures maxillaires et mandibulaires sont peu sujettes à des complications. Toutes les complications majeures surviennent dans la zone mandibulaire postérieure.

Les distracteurs intra osseux provoquent plus de complications que les dispositifs extra osseux (Enislidis et coll. 2004). Pour un distracteur intra osseux utilisé, il survient 1,43 complications, alors que pour un dispositif extra osseux, il survient 1,02 complications (Enislidis et coll. 2004). D'autre part les complications survenant pendant l'utilisation de distracteurs intra osseux sont fréquemment des complications majeures. Cela s'explique par la plus grande rigidité des distracteurs extra osseux. Cependant, quel que soit le dispositif employé, le nombre de complications diminue avec l'apprentissage de l'opérateur.

D'autre part, de petits défauts verticaux correspondant à une ou deux dents, ont plus tendance à être sujet à des complications que les grands segments édentés.

Le type de complication et leur traitement dépendent de leur période de survenue au cours de la procédure de distraction. Le tableau 7 montre les différentes complications survenant pendant les différentes phases du traitement par distraction et la conduite à tenir associée.

Tableau 7 : Synthèse des différentes complications observées à chaque phase du traitement. La conduite à tenir associée à chaque situation est mentionnée.

* : complications majeures.

Phase de distraction	Traitement
Phase 1 - Insertion du distracteur - Altération neurologique*	- Prévenu par une localisation correcte des ostéotomies.
Phase 2 - Période de latence -Déhiscence -Interférence occlusale	- Prévenu par régularisation de la crête. Conservation / fermeture secondaire par lambeau pour éviter toute infection de la chambre de distraction - rectification orthodontique de la vis de distraction
Phase 3 - Distraction active -Déhiscence -Inclinaison du segment -Douleur -Oedème -Hypoesthésie -Vecteur erroné -Distracteur non adapté -Consolidation prématurée -Fracture de l'os basal* -Rupture du distracteur* Problèmes mécaniques : -Blocage de la distraction* -Instabilité du distracteur* -Désengagement des vis basales* -Désengagement de la vis de distraction de la plaque basale*	- Conservation / diminution de l'index de distraction - Rectification orthodontique de l'axe de la vis de distraction - Conservation, antalgiques - Conservation - Conservation - Redéfinir un mouvement correct avec arc ou manipulation - Conservation mais résultats finaux compromis / Remplacement du distracteur - Nouvelle ostéotomie. Prévenu par un index de distraction approprié et une ostéotomie complète - Fixation intermaxillaire / intervention et ostéosynthèse - Remplacement du distracteur - Dépose du distracteur et arrêt du traitement - Dépose du distracteur, ostéosynthèse du fragment et arrêt du traitement - Ré insertion des vis dans la mini plaque basal - Ré insertion de la vis de distraction dans l'engagement basal
Phase 4 - Consolidation -Déhiscence -Hypoesthésie -Douleur -Oedème -infection de la chambre de distraction -Inflammation -Résorption du fragment	- Conservation / ostéotomie soustractive de l'os crestal / raccourcissement de la vis de distraction - Conservation - Conservation, antalgiques - Conservation - Conservation, antibiotique, antiseptique - Conservation, antiseptique - Prévenue par une sur correction de 2 mm - Fixation intermaxillaire / intervention et ostéosynthèse

transporté -Fracture de l'os basal* -Pseudarthrose ou union fibreuse	- Prévenu par une stabilisation correct du distracteur. Dépose du distracteur repoussée. En présence d'une union fibreuse : débridement de la zone et reconstruction avec une régénération osseuse guidée.
Phase 5 - Entre la dépose du distracteur et l'implantation -Déhiscence -Fracture du fragment transporté* (lors de la dépose du distracteur)	- Retouche de l'os crestal (ostéotomie soustractive) - Régénération osseuse guidée et ostéosynthèse
Phase 6 – Implantation et cicatrisation -Déhiscence -Infection -Fracture du fragment*	- Conservation, fermeture secondaire par lambeaux - Conservation - Transfixion implantaire +/- ostéosynthèse
Phase 7 – Implants post charge -Hypoesthésie -Douleur	- Conservation - Conservation

V. PLACE DE L'OSTEOGENESE PAR DISTRACTION ALVEOLAIRE PARMIL LES TECHNIQUES D'AMENAGEMENT TISSULAIRE PRE-IMPLANTAIRE : REVUE DE LA LITTERATURE.

L'ostéogénèse par distraction alvéolaire fait partie d'un ensemble de techniques chirurgicales permettant d'aménager les tissus osseux. Au nombre de ces techniques, il faut citer les deux plus communes : les greffes d'apposition osseuse, et la régénération osseuse guidée (ROG). Nous présentons les possibilités liées à chaque technique, et les champs d'applications de celles-ci.

V.1 Avantages ET inconvénients de l'ostéogénèse alvéolaire par distraction

V.1.1 Avantages

- Absence de site de prélèvement et donc absence de morbidité liée au site de prélèvement
- Accompagnement du transport osseux par les tissus mous (histogénèse) : moins de risque d'exposition des tissus durs, et moins de possibilités de résorption de la greffe
- Volume obtenu des tissus durs et mous très prédictible
- Possible inclusion de dents ou implants dans le fragment transporté, corrigeant des problèmes occlusaux ou esthétiques
- Période de consolidation osseuse plus courte, réduisant la durée du plan de traitement
- Utilisation possible de techniques de régénération complémentaires, lorsque les résultats ne sont pas complètement satisfaisants

V.1.2 Inconvénients

- Nécessité d'une hauteur osseuse d'au moins 3-4 mm pour le fragment transporté
- Coût du dispositif de distraction
- Nécessité d'avoir la collaboration du patient ou d'un de ses proches pour activer le distracteur

V.2. OSTEOGENESE PAR DISTRACTION *VERSUS* TECHNIQUES CONVENTIONNELLES D'AMENAGEMENT TISSULAIRE.

Pour évaluer le potentiel d'utilisation de la distraction alvéolaire, il est nécessaire de comparer des données comparables. La distraction alvéolaire a principalement été développée pour obtenir un gain osseux vertical, et les procédures d'expansion transversale ne sont encore que des techniques anecdotiques, bien qu'elles semblent être véritablement prometteuses. Ainsi, nous allons comparer les résultats obtenus pour la distraction alvéolaire avec certaines caractéristiques de la ROG ou des greffes d'apposition :

- Gain osseux et résorption obtenus sur des aménagements de défauts osseux verticaux
- Succès implantaire à long terme
- Complications

V.2.1 Comparaison entre la distraction alvéolaire et la régénération osseuse guidée lors d'aménagement de défauts tissulaire verticaux.

V.2.1.1 Description

La ROG est fondée sur le principe de compétition cellulaire. L'utilisation d'une membrane imperméable aux cellules permet d'exclure d'un volume de reconstruction certains types de cellules indésirables. Dans le cas de ROG, la membrane isole le caillot sanguin des cellules desmondontales ou conjonctives. Le caillot est donc envahi par des cellules qui développeront préférentiellement un phénotype osseux (fig.70).

L'utilisation de ROG est indiquée au niveau de défauts osseux anfractueux (à 3 ou 4 parois), de déhiscences ou fenestrations implantaires, ou lors de protocoles d'implantation immédiate. De nombreuses études démontrent que les membranes biorésorbables (collagène, ac. polyglycolique...) ont le même taux de succès que les membranes non résorbables (polytétrafluoroéthylène expansé = ePTFE, titane...) pour le traitement des défauts horizontaux (Hämmerle et coll. 2003). Cependant, le traitement des défauts verticaux nécessite une grande rigidité et une étanchéité parfaite, favorisant l'utilisation dans ce cas de membranes ePTFE armée titane (Hämmerle et coll. 2003).

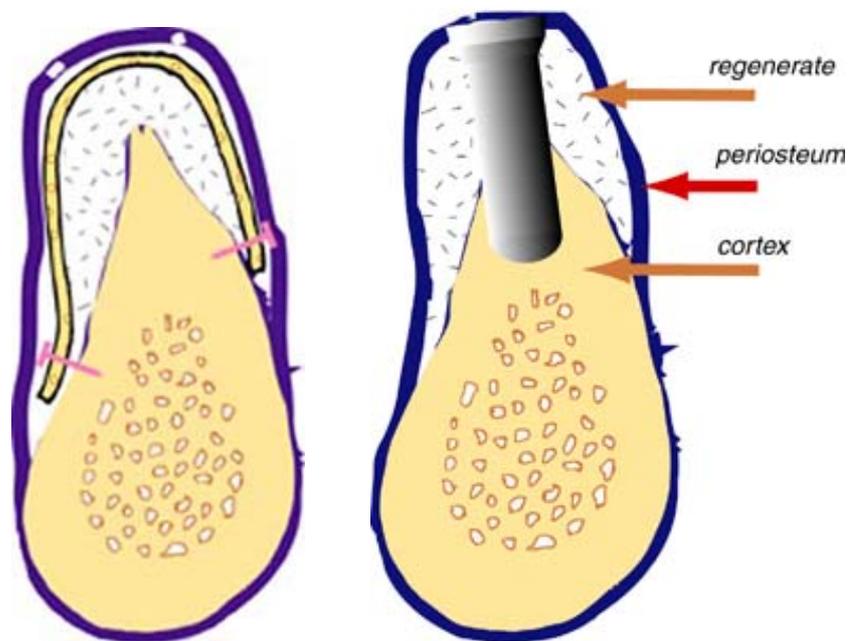


fig. 70: A gauche, la membrane maintient un espace entre la corticale osseuse et le niveau d'os néoformé désiré. Cette membrane doit être la plus stable possible et est placée directement sous le périoste. Ce gain vertical grâce à la membrane permet la mise en place d'implants dans une situation idéale comme le schéma de droite le présente. (D'après www.distraction.net/pages/chap1sec3.html)

V.2.1.2 Gain osseux et résorption

Le gain osseux vertical moyen obtenu au travers des études cliniques est d'environ 4 à 5 mm avec un maximum de 7 mm (Hämmerle et coll. 2003 ; Simion et coll., 2001 ; Chiapasco et coll., 2004). La première étude clinique et histologique chez l'homme ayant pour but de démontrer la possibilité d'augmentation verticale avec des ROG a été présentée par Simion et coll. en 1994. Les implants dépassaient de 4 à 7 mm la crête osseuse et étaient recouverts d'une membrane d'ePTFE renforcée titane. Cette étude montre que la ROG verticale est possible sans apport de biomatériaux, en laissant l'espace sous la membrane comblé par le caillot sanguin. Cependant, le gain maximum obtenu avec cette technique est de 4 mm. Tinti et coll. (1996) montre qu'une augmentation osseuse verticale est possible jusqu'à 7 mm en additionnant une apposition osseuse autogène sous la membrane. Ces résultats sont confirmés par Simion et coll. (2001) qui obtiennent des gains de près de 8 mm parmi un groupe de 32 patients.

Chen et coll. (2005) évaluent le pourcentage de réduction d'un défaut mixte (horizontal et vertical) selon la procédure employée :

- L'utilisation d'une unique membrane ePTFE conduit à une réduction de 74,9% +/- 8,0
- L'utilisation d'une membrane résorbable, à 69,1% +/- 8,3
- L'utilisation d'une membrane résorbable et d'os autogène, à 83,1% +/- 6,6
- L'apposition d'os sans membrane, à 75,3 % +/- 5,8

La résorption osseuse après dépose de la membrane est essentiellement due à l'interface membrane / os régénéré. La couche de tissu en contact avec la membrane est non minéralisée, riche en cellules et vaisseaux, et contient des fibres de collagène disposées irrégulièrement. Cette couche de tissu est provoquée par les micro- mouvements inévitables, ou par la pénétration tardive de fibroblastes conjonctifs.

La résorption est importante lorsque la ROG est pure, c'est-à-dire sans comblement sous la membrane par de l'os autogène, ou des biomatériaux de substitution osseuse. Dans ce cas la résorption se stabilise à 4 mm +/- 1 mm, quelle que soit la hauteur initiale de la membrane. Dans le cas de ROG verticale pure, la difficulté réside dans la stabilisation de la membrane. Moins elle est stable, plus le risque de résorption est grand.

Dans le cas de ROG verticale avec comblement d'os autogène, la résorption varie suivant la technique appliquée. Si les implants sont posés lors de la dépose de la membrane, la résorption cumulée entre la fin de la ROG et la mise en place de l'implant est d'environ 1.35 mm +/- 0,9. La résorption après la pose de l'implant et la connexion prothétique est d'environ 0,69 mm +/- 0,3. La résorption cumulée moyenne est donc d'environ 2,04 mm. Si les implants sont mis en place en même temps que le début de la ROG, la résorption est de 1,27 mm +/- 0,8 (Chiapasco et coll 2004). La résorption éventuelle prédictible est de 20 à 25 %.

Les résultats obtenus avec des comblements par biomatériaux sont similaires aux résultats obtenus avec des ROG verticales pures, bien que la diversité des matériaux utilisés et des protocoles appliqués dans les études ne permettent pas d'avoir des données transversales (Simion et coll. 2001 ; Hämmerle et coll. 2003).

La durée moyenne de ROG est de 8 mois avec des extrêmes de 4 à 12 mois et plus (Hämmerle et coll. 2003).

Il apparaît qu'un gain osseux verticale supérieur à 4-5 mm n'est pas prédictible, alors que les résultats obtenus avec des greffes osseuses autogènes associées aux membranes ePTFE sont prédictibles pour des gains verticaux inférieurs à 4 mm. La ROG pure ne peut aboutir à une augmentation verticale prédictible.

V.2.1.3 Complications

Les principales complications sont l'exposition et la mobilité de la membrane. Si la membrane est imperméable, et que l'operculisaiton n'atteint pas la limite de la membrane, les résultats ne sont pas compromis, bien que la résorption soit augmentée selon les études de 20 à 30 %. La mobilisation de la membrane conduit inévitablement à l'échec de la ROG.

Dans les techniques de ROG et comblement par os autogène, il faut également prendre en compte la morbidité du site de prélèvement.

V.2.1.4 Taux de survie et de succès de l'implantation à long terme

Le taux de succès et de survie des implants placés au niveau de sites de ROG horizontales sont comparables à ceux des implants placés dans de l'os natif non régénéré. Le taux de survie est de 79 à 100%, et supérieur à 90% dans la grande majorité des études. (Hämmerle et coll. 2003).

Une évaluation multicentrique d'implants placés immédiatement ou après la ROG verticale révèle un niveau osseux stable sur une période de 1 à 5 ans (Chiapasco et coll. 2004). Les augmentations ont été réalisées avec des membranes ePTFE isolant un caillot sanguin (groupe 1), une allogreffe DFDBA (demineralized freeze-dried bone allograft) (groupe 2), ou une autogreffe (groupe 3). 123 implants sont placés initialement.

- Dans le groupe 1 (6 patients) le gain vertical n'a jamais été supérieur à 4 mm, le gain moyen est de 2,7 mm. Un implant a été perdu à 1 mois, et la perte osseuse après la découverte est de 1,35 mm en moyenne.
- Le groupe 2 (11 patients) possède un gain vertical similaire, n'a pas perdu d'implants, et la perte osseuse marginale après découverte est de 1,87 mm en moyenne, avec deux implants dépassant les 3 mm de résorption marginale.
- Le groupe 3 (32 patients) obtient un gain vertical maximum de 7,5 mm avec une moyenne d'environ 3,6 mm. La perte osseuse marginale moyenne est de 1,71 mm.

Un niveau osseux péri implantaire stable est rapporté au niveau de la majeure partie des implants, bien que le gain osseux vertical souhaité, ou supérieur à celui souhaité, soit de 75 % (gain moyen de 3,6 mm).

Un implant a été perdu dans le groupe 1, et seuls deux implants ont des pertes osseuses respectives de 3,5 et 4 mm dans le groupe 2. La résorption observée sur le groupe 2 et 3 est parfois supérieure à 2-2,5mm, mais le niveau osseux étant au dessus du plateau implantaire, les critères de succès d'Albrektsson sont respectés. Bien que la perte initiale soit importante,

le taux de succès du groupe 3 est de 100% pour un gain vertical moyen de 3,6 mm (1-7,5 mm). Le groupe 1 a un taux de survie et de succès de 80% pour un gain moyen de 2,7 mm. Le groupe 2 a un taux de survie de 100 %, mais un taux de succès de 90% pour un gain vertical moyen de 3,3 mm. Le taux de survie global est de 99,1%, et le taux de succès est de 96,5%.

Les auteurs en concluent que la ROG verticale associée à de l'os autogène est la seule technique dérivée de la ROG permettant d'obtenir des résultats de gains verticaux satisfaisants et prédictibles (87 % des gains désirés obtenus). Pour les auteurs, l'os régénéré par ROG verticale associé à de l'os autogène réagit de la même manière que l'os natif non régénéré lors de la mise en place d'implants.

V.2.1.5 Comparaison

Seule la ROG associée à un comblement sous membranaire d'os autogène (ROG/os autogène) donne des résultats satisfaisants et comparables à l'ostéogénèse par distraction.

Chiapasco et coll. (2004) comparent la ROG avec ou sans placement combiné d'implants, et l'ostéogénèse par distraction sur 3 ans. Le défaut osseux sous membranaire est comblé avec de l'os autogène. Le tableau 8 résume leurs résultats :

	ROI	ROP	Résorption finale	Gain vertical moyen	Taux de succès	complications
ROG + implants	-	1,27 mm	1,27 mm	4,46 mm 2-7mm	61,5 %	2/6 : exposition membranes + infection
ROG	1,35 mm	0,69 mm	2,04 mm	5 mm 4-7mm	75 %	2/5 : exposition + paresthésie site de prélèvement osseux
Distraction	0,37 mm	0,5 mm	0,87 mm	6,6 mm 4-9 mm	94,1 %	2/10 : 2 inclinaisons lingual

Tableau 8 : ROI = résorption osseuse entre la fin de la ROG ou de la distraction et la mise en place des implants ; ROP = résorption osseuse entre la mise en place de l'implant et la connexion prothétique, par rapport au plateau implantaire.

La résorption marginale lors de la connexion prothétique sur le groupe de ROG/implants combiné est expliquée par un niveau osseux post ROG supérieur au niveau du plateau implantaire. Le taux de succès de ce protocole indique que près de 40 % des implants ne répondent pas au critère de succès d'Albrektsson. Le protocole de ROG avec os autogène et implantation différée possède des résultats comparables aux études de Chiapasco et coll. en 2001.

La conclusion de cette étude montre que la distraction alvéolaire possède des résultats supérieurs à la ROG/os autogène en termes de gain osseux vertical, du maintien de ce gain, et des complications engendrées.

Les résultats obtenus par Chiapasco et coll en 2004, sont comparables aux résultats d'études portant indépendamment sur l'ostéogenèse par distraction ou la ROG. Ces résultats ont été précédemment mentionnés et résumés dans le tableau 9.

	Gain vertical moyen	résorption	Taux de succès	prédictibilité	Durée du traitement	complications
ROG	4-5mm	20-25%	70-75%	moyenne	8-12 mois	40 %
OD	4-15 mm m=8mm	0-20% (m≈0%)	90-100%	grande	3-5 mois	15%

Tableau 9 : comparaison des valeurs moyenne obtenue lors de ROG et lors d'ostéogenèse par distraction (OD) ; m = moyenne.

Ainsi il apparaît que :

- La distraction alvéolaire est plus prédictible que la ROG/os autogène pour des gains verticaux supérieurs à 3-4 mm.
- La distraction alvéolaire permet d'obtenir des gains verticaux plus importants, qui peuvent atteindre 15 mm alors que la ROG/os autogène peut atteindre au maximum 7,5 mm dans de rares cas.
- La résorption osseuse post ROG et péri implantaire est supérieure à la résorption osseuse post distraction.
- Le recouvrement muqueux des ROG/os autogène est délicat pour les gains verticaux supérieur à 3 mm.
- La ROG/os autogène nécessite un site de prélèvement osseux.
- Les complications des ROG/os autogènes sont plus fréquentes, et les complications propres de la ROG s'additionnent aux complications liées au prélèvement.
- La durée du traitement par distraction est deux fois plus courte (fig.71 et 72)
- La ROG est une méthode moins onéreuse (le coût d'un distracteur varie du double au triple de celui d'une membrane ePTFE armée titane).

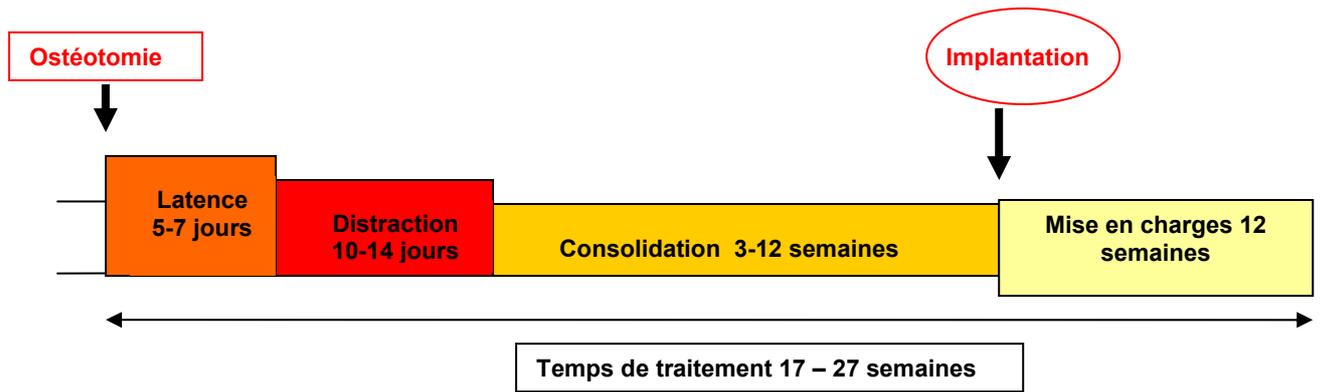


fig. 71 : Enchaînement des phases de traitement par distraction alvéolaire.

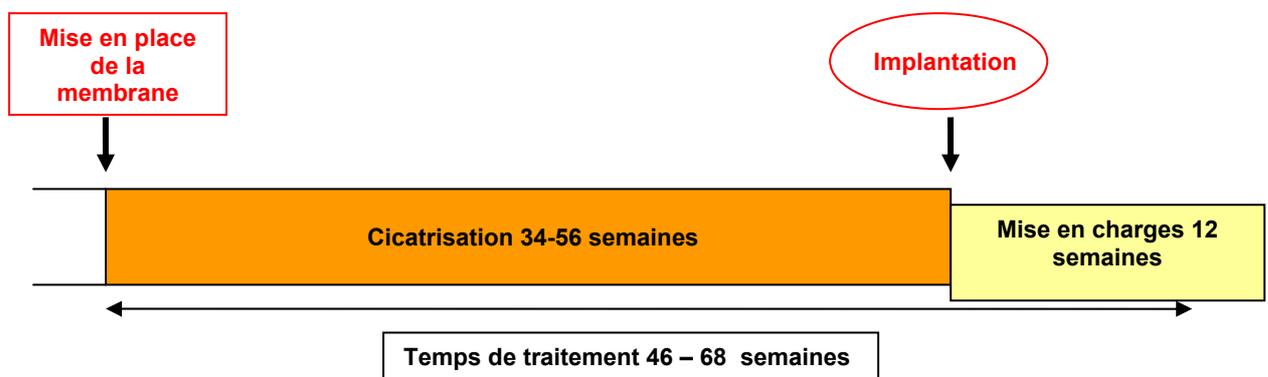


fig. 72 : Enchaînement des phases de traitement par ROG.

V.2.2 Comparaison entre la distraction alvéolaire et les greffes osseuses d'apposition lors d'aménagement de défauts tissulaires verticaux

V.2.2.1 Description

La greffe osseuse d'apposition (fig.73) a deux fonctions principales : être la source de cellules ostéogéniques, et jouer le rôle de support mécanique. Le prélèvement de blocs osseux corticaux spongieux est préféré pour les appositions sur des défauts horizontaux ou verticaux non anfractueux. Le prélèvement des blocs osseux s'effectue sur une grande variété de sites, endobuccaux, comme les zones rétro molaire maxillaire, palatin antérieur, symphysaire, et ramique antérieure, ou extra buccaux, comme la crête iliaque antérieur, la crête tibiale, et l'os pariétal. Les prélèvements endobuccaux et pariétaux sont préférés pour les greffes d'apposition maxillaire du fait de leur nature embryonnaire membraneuse,

favorisant leur cicatrisation et leur colonisation, et du fait de leur importante corticale permettant un support mécanique plus important. Les blocs osseux sont facilement conformés à l'anatomie du site receveur, et fixés à l'aide de vis d'ostéosynthèse.

Lors de prélèvements de blocs osseux mono corticaux, des études suggèrent que la majeure partie des ostéocytes est incapable de survivre à la greffe (Zerbo et coll. 2003). Il en résulte une certaine quantité d'os non vital qui est petit à petit remplacée par résorption/apposition d'os vital. L'os non vital est recolonisé par la microcirculation sanguine et les cellules ostéogéniques grâce au réseau haversien. Les ostéocytes recrutent et modulent les ostéoclastes grâce à des facteurs sécrétés ou par leur apoptose. La vitalité des ostéocytes est un facteur influençant la résorption de la greffe. Cependant, l'os non vital est remodelé plus difficilement que l'os vital. Le remodelage suivant la greffe est rapide, l'os greffé est entièrement remodelé en 7 mois (Zerbo et coll. 2003).

Les procédures de greffes osseuses d'apposition sont associées à une morbidité, comme la douleur ou des fonctions altérées des sites donneurs, ou des fonctions nerveuses altérées, comme des anesthésies, paresthésies, et dysesthésies.

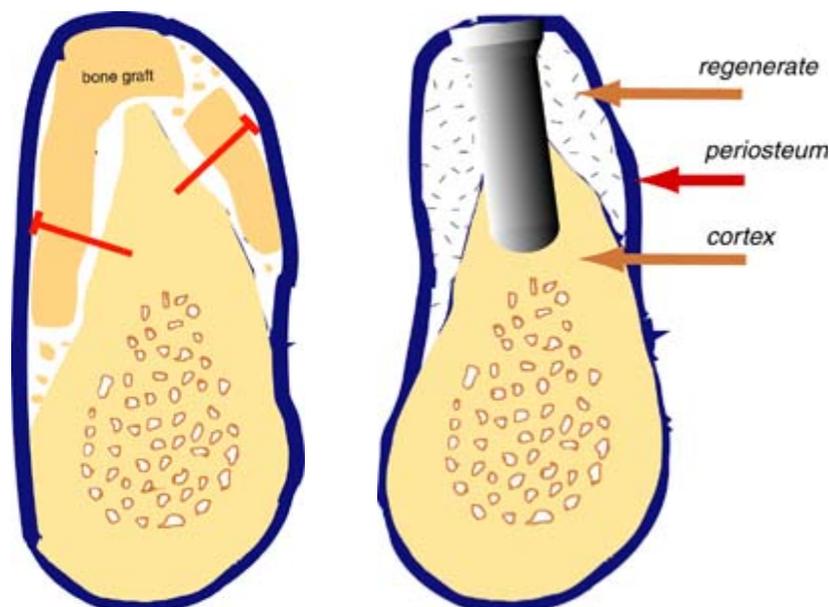


fig.73 : Des blocs osseux cortico-spongieux sont fixés au site receveur comme représenté à gauche. Ces greffons osseux vont être recolonisés partiellement par des cellules ostéoblastiques et des phénomènes d'apposition/résorption vont concourir au remodelage des greffons. (D'après www.distraction.net/pages/chap1sec4.html)

V.2.2.2 Gain osseux et résorption

La majorité des études cliniques portant sur les greffes d'apposition s'intéressent au gain transversal que permet cette technique. De plus, la diversité des sites de prélèvement, et l'adjonction de matériaux d'allogreffe ou de xéngreffe ne permettent pas de comparer objectivement l'ensemble de ces études. Les sites endobuccaux sont les plus accessibles, permettent d'obtenir des quantités suffisantes d'os pour des greffes localisées, et leur morbidité est la moins élevée. Les prélèvements iliaques et tibiaux ont été délaissés du fait de leur morbidité importante et de leurs résorptions très importantes dépassant parfois les 65% du volume greffé. Les prélèvements pariétaux fournissent une grande quantité d'os essentiellement cortical permettant des greffes s'étendant à l'ensemble du maxillaire.

Nous nous sommes intéressés aux études portant sur les possibilités de gains verticaux et dont le prélèvement est endobuccal. Nous n'évoquons pas ici les prélèvements pariétaux, car ce type d'intervention nécessite une prise en charge et un suivi disproportionné par rapport aux interventions de prélèvements endobuccaux ou de distraction.

Les gains osseux moyens obtenus lors de greffes d'appositions verticales varient selon les études de 3,4 mm à 5,75 mm (Cordaro et coll., 2002 ; Proussaefs et coll. 2005). Cependant, lors de la pose des implants 4 à 6 mois plus tard (deuxième phase chirurgicale), les gains verticaux moyens ne sont plus que respectivement de 2,2 mm à 4,75 mm. Ainsi Cordaro et coll. (2002) obtiennent un taux de résorption de 42% sur 18 patients avec des prélèvements uniquement mandibulaires (symphysaire et ramique). La résorption étant plus marquée au niveau mandibulaire qu'au niveau maxillaire. Proussaefs et coll. (2005) obtiennent une résorption moyenne de 17,4 % avec des prélèvements mandibulaires. Grâce à une évaluation scanner, Johansson et coll. (2001) observent sur 10 patients une variation volumique de 47 % après 5 mois de cicatrisation avec des prélèvements uniquement endobuccaux. En comparaison, les prélèvements pariétaux entraînent une résorption d'environ 20 % du volume initial (Smolka et coll. 2006).

La résorption des greffes d'apposition osseuse est très variable d'un sujet à l'autre. Le gain vertical est peu prédictible aussi bien pour les petits que pour les grands volumes.

L'utilisation de membranes barrières permet de minimiser la résorption et de la stabiliser autour de 20 à 30 % suivant les études (Antoun et coll. 2001 ; Rocuzzo et coll. 2005). Cependant, cette technique rejoint celle décrite précédemment, hybride entre la ROG et la greffe d'os autogène. Il apparaît néanmoins que près d'un quart du volume greffé se résorbe, et que la présence de membranes ne permet pas de prévenir une quantité de résorption constante.

D'autres auteurs proposent des alternatives à la distraction en utilisant l'apposition d'os autogène. Jensen et coll. (2006) réalisent une ostéotomie segmentaire semblable à celle

réalisé pour la distraction, et interpose au niveau de l'ostéotomie basal une greffe d'apposition. Dix patients, présentant une déficience verticale maxillaire antérieure sont traités par cette technique et suivis sur 5 ans. Cette technique donne des résultats esthétiques satisfaisants, mais le gain vertical est limité à 5 mm au niveau du maxillaire antérieur. La résorption du fragment crestal n'a pas été évaluée.

V.2.2.3 Complications

Les complications sont essentiellement liées au prélèvement osseux. La morbidité d'un prélèvement symphysaire est de 25 à 35 %. Les complications sont essentiellement neurologiques avec le traumatisme du nerf mentonnier au niveau de sa boucle antérieure. Le pédicule incisif est presque constamment sacrifié. Des dysesthésies des incisives et des canines sont présentes dans 2 à 25 % des cas. Le traumatisme des pédicules mentonniers provoque des paresthésies labio-mentonnières. Des complications dentaires peuvent survenir dans 3 à 15 % des cas (nécrose, dyschromie...). La fracture du greffon ou du bord basilaire peut également survenir. Enfin, des contractures asymétriques des muscles du menton peuvent s'observer et parfois persister définitivement.

Le prélèvement ramique a une morbidité beaucoup moins élevée (10%). Les complications sont essentiellement neurologiques avec des lésions où compressions plus ou moins importantes des nerfs mandibulaires.

La cicatrisation est également soumise à des complications compromettant les résultats. Les difficultés de recouvrement du greffon par les tissus mous ou la tension provoquée par l'œdème peuvent provoquer des expositions du greffon, aboutissant soit à une résorption exacerbée, soit à une séquestration, soit à une infection. Il peut également se créer une pseudarthrose.

Le taux de succès des greffes d'apposition est généralement supérieur à 90 % et actuellement proche de 95 % (Baccar et coll. 2005). Ce taux de succès souligne l'absence d'échec de la greffe (pseudarthrose, infection nécessitant la dépose du greffon), mais ne décrit pas la fréquence de survenue de complications ou de résorptions. Le taux de succès exempt de complications est de 60%.

V.2.2.4 Taux de survie et de succès de l'implantation à long terme

Lorsque l'implantation est réalisée dans un deuxième temps opératoire, entre 4 et 6 mois après la greffe, le taux de survie implantaire est comparable à celui observé sur de l'os natif non greffé. Au niveau de sites greffés par des prélèvements endobuccaux, Baccar et coll.

(2005) observent un taux de survie de 96,2 % et Thor et coll. (2005) un taux à 5 ans de 98,7 %.

Les taux de succès, lors d'implantations différés, sont comparables aux taux de succès dans de l'os natif.

Une étude de Perry et coll. (2005) compare l'ostéointégration implantaire au niveau de sites distractés ou de sites greffés. Les implants sont mis en place 12 semaines après la greffe ou la fin de la distraction, et les prélèvements sont effectués 8 semaines après implantation. Ils observent une surface de contact os/implants identique au niveau du tiers coronaire de l'implant, mais des différences significatives sont observées sur le tiers moyen et le tiers apical. Le pourcentage d'interface os distracté/implant est de 20 % au niveau des tiers moyen et apical, alors qu'il est de 15 % au niveau des sites greffés. Cet indice de contact traduit la capacité d'ostéointégration plus importante de l'os distracté.

Une autre étude conduite par Hodges et coll. (2006) compare le turn over à 5 mois de l'os régénéré par distraction ou par greffe d'apposition. La surface osseuse recouverte par des ostéoblastes par rapport à la surface total du système Haversien est comparé au niveau des sites greffé et au niveau des zones de distraction. Une proportion significativement plus importante de surface recouverte par des ostéoblastes est observée. De plus, le nombre d'ostéoclaste par μm^2 est significativement plus important au niveau des sites distracté, par rapport aux sites de greffes d'apposition ou au sites témoins. Cependant, aucune différence de minéralisation n'est observée entre les groupes. Il apparaît aux auteurs que les deux types de tissus sont adéquate pour la mise en place d'implants, cependant, l'os régénéré par distraction à un niveau de remodelage plus important que l'os régénéré par greffe d'apposition ou au niveau de l'os natif. Les auteurs ne tire pas de conclusions immédiates, mais souligne que le tissu régénéré par distraction est plus favorable à l'implantation que celui créé par greffe ou même l'os natif.

V.2.2.5 Comparaison

Les valeurs communes de résultat obtenu par distraction ou greffes d'apposition sont retranscrites dans le tableau 10 :

	Gain vertical moyen	résorption	Taux de succès	prédictibilité	Durée du traitement	complications
GO	3-5 mm	20-50%	90-95%	Faibles	4 à 7 mois	30-40%
OD	4-15 mm m=8mm	0-20% (m≈0%)	90-100%	grande	3 à 5 mois	15%

Tableau 10 : comparaison des valeurs moyenne obtenue lors de greffe d'apposition (GO) et lors d'ostéogénèse par distraction (OD) ; m = moyenne.

Ainsi il apparaît que :

- La greffe osseuse d'apposition de prélèvement endobuccal est une méthode bien documentée qui possède un taux de succès comparable à celui de la distraction.
- Cependant, la résorption du greffon sur des sites de reconstruction verticale n'est pas prédictible, et est d'importance variable (de 20 à 50% de résorption). La prédictibilité des greffes osseuses est très inférieure à celle de la distraction.
- Le gain vertical moyen est de 3 à 5 mm.
- Il est nécessaire d'avoir un site de prélèvement.
- La stabilité implantaire post greffe est comparable à celle des sites distractés. Le potentiel d'ostéointégration des greffes est moins important que les sites distractés.
- La durée du traitement par greffe d'apposition est plus longue (fig.74 et 75).
- Le coût de la greffe est beaucoup moins élevé.

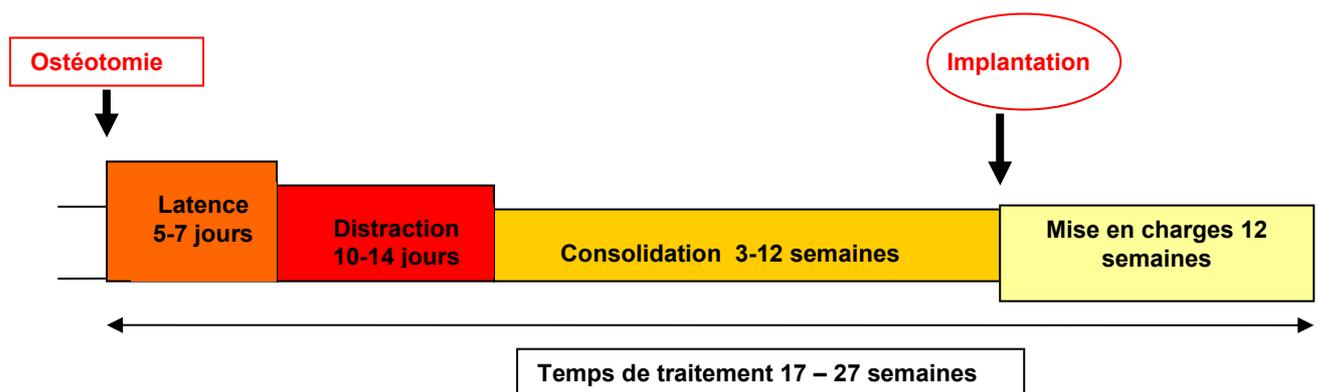


fig. 74 : Enchaînement des phases de traitement par distraction alvéolaire.

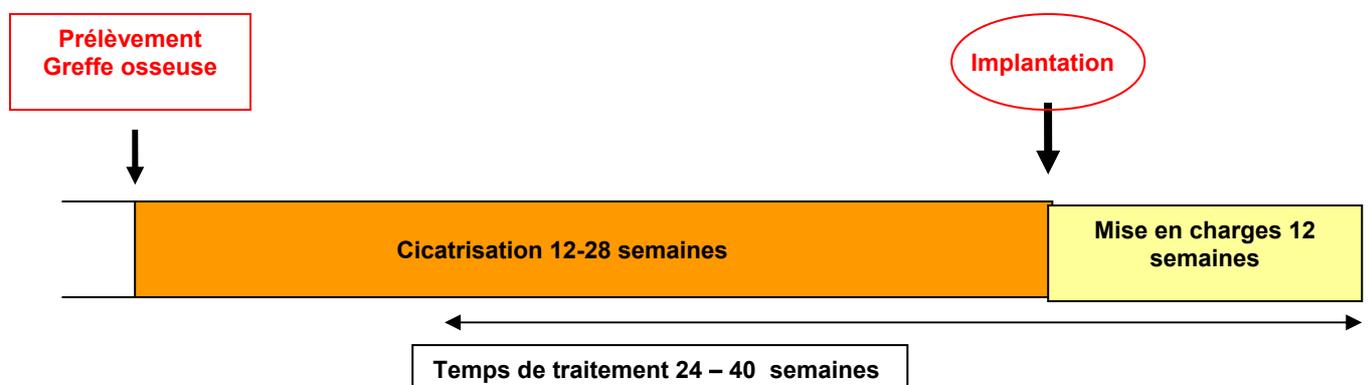


fig. 75 : Enchaînement des phases de traitement par greffe osseuse d'apposition.

VI. Conclusion

En conclusion, l'ostéogénèse alvéolaire par distraction est une technique prédictible, dont la fréquence de survenue de complications est faible, bien qu'elle puisse être importante dans certaines études. Dans la majorité des cas, ces complications sont minimales et classiques de la chirurgie buccale pré implantaire. Nous avons précédemment isolé plusieurs critères et tendances dans l'approche de chaque phase du traitement que nous allons résumer ci-dessous :

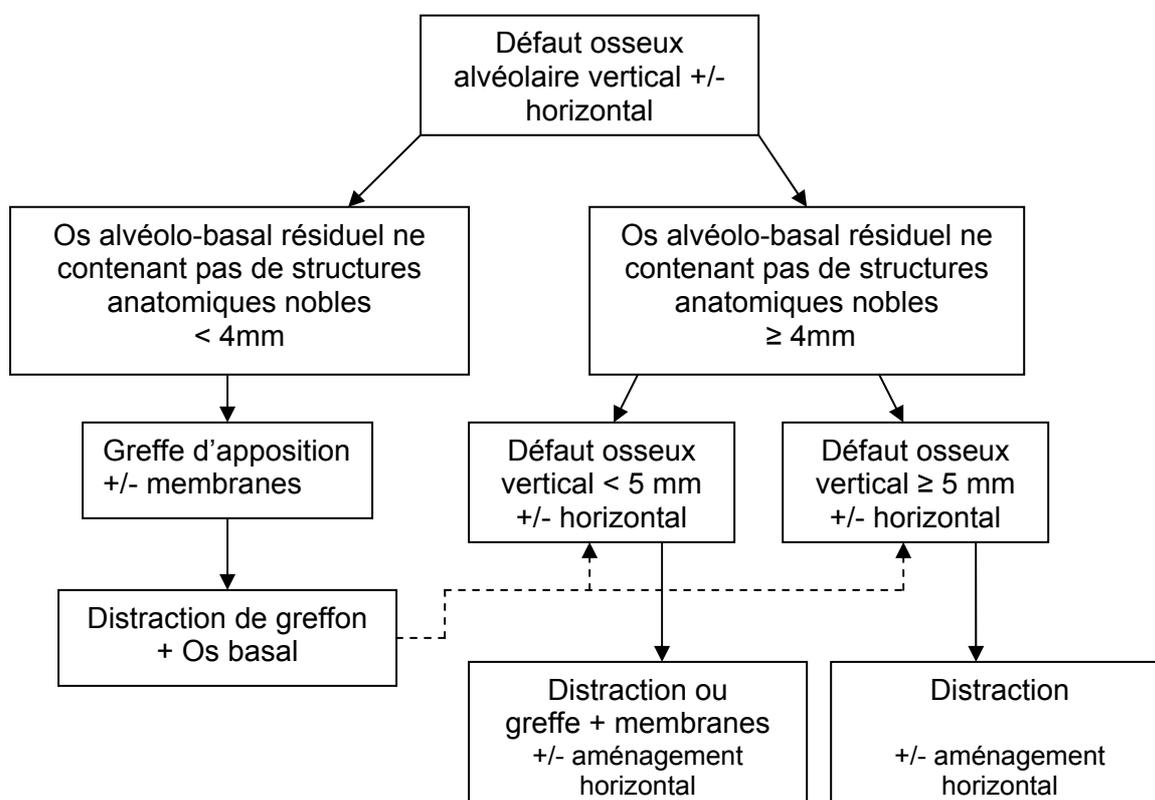
- La phase de latence optimale est de 5 à 7 jours en fonction de la cicatrisation de la muqueuse.
- Pour une distraction uni-vectorielle, l'index de distraction optimal est de 0,9 à 1 mm/j en 2 à 3 fois. Pour une distraction pluri vectorielle, ou lorsque le fragment déplacé est de petite dimension, l'index de distraction optimal est de 0,5 mm/j en 2 fois. Les protocoles de simulation de charge, alternant compression et traction donnent des résultats intéressants et sont à développer.
- Lors de la phase de consolidation, le distracteur peut être déposé dès la 3^{ème} ou la 4^{ème} semaine après la fin de la distraction, et la mise en place des implants peut être simultanée.

Ce protocole permet la mise en charge des implants 4 à 5 mois après la chirurgie inaugurale de distraction.

Au regard des résultats cliniques, la seule alternative à l'ostéogénèse par distraction pour le traitement des défauts osseux verticaux est la technique dérivée de la ROG, ou l'espace sous membranaire est comblé par de l'os autogène ; technique hybride combinant greffe osseuse d'apposition et utilisation de membranes. Néanmoins, l'ostéogénèse par distraction donne un volume osseux plus prédictible que les techniques énoncées précédemment. Elle présente un taux de succès supérieur, un taux de complication inférieur, et un gain vertical potentiel 3 fois supérieur.

L'ostéogénèse par distraction alvéolaire est la technique de choix pour le traitement des défauts verticaux osseux et muqueux supérieurs ou égaux à 5 mm. Cependant, cette technique reste délicate et complexe. L'ostéogénèse par distraction reste néanmoins une technique extrêmement séduisante qui ouvre la voie à de nombreuses applications et qui est en continuelle amélioration.

Nous résumons ci-dessous par un arbre décisionnel, les protocoles chirurgicaux devant être mis en place pour les situations cliniques de défaut verticaux ou mixte :



Les récentes études portant sur l'ostéogenèse par distraction établissent 2 objectifs de développement de cette technique : obtenir les meilleurs résultats histologiques en un temps minimum, et l'élaboration de nouveaux dispositifs utilisables sur le plus grand nombre de situations cliniques. Nous avons remarqué que les dispositifs de distraction tendent à se simplifier pour une utilisation plus accessible. L'utilisation de facteurs physiques ou pharmaceutiques comme la stimulation par ultra sons ou par facteurs de croissance, semble très prometteur, bien que leur évaluation soit encore balbutiante.

La distraction alvéolaire a actuellement toute sa place dans l'arsenal thérapeutique des traitements des défauts osseux pré-implantaires.

VII. Références bibliographiques

ALBREKTSSON T, ZARB G, WORTHINGTON P et ERIKSSON AR.

The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success.
Int J Oral Maxillofac Implants 1986; **1**(1):11-25.

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

A prospective randomized study comparing two techniques of bone augmentation: onlay graft alone or associated with a membrane.
Clin Oral Implants Res 2001; **12**(6):632-639.

APARICIO C. et O.T. JENSEN.

Alveolar ridge widening by distraction osteogenesis A case report.
Pract Proc Aesthet Dent 2001; **13** : 663

ARONSON J, GAO G, SHEN X, et coll.

et al. The effect of aging on distraction osteogenesis in rat.
J Orthop Res 2001; **19**:421-427.

ASHINOFF RL, CETRULO CL JR, GALIANO RD, et coll.

Bone morphogenic protein-2 gene therapy for mandibular distraction osteogenesis.
Ann Plast Surg 2004; **52**(6):585-590; discussion 591.

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

Pre-implantation apposition grafts for edentulous anterior maxillary. Retrospective study of 36 patients.
Rev Stomatol Chir Maxillofac 2005; **106**(3):149-51.

BOULETREAU P. J., WARREN S. et LONGAKER M.T.

The molecular biology of distraction ostéogenesis,
J Cranio-Maxillofac Surg 2002; **30**: 1-11.

BLOCK MS, CHANG A et CRAWFORD C.

Mandibular alveolar ridge augmentation in the dog using distraction osteogenesis.
J Oral Maxillofac Surg 1996; **54**(3):309-314.

BLOCK MS, ALMERICO B, CRAWFORD C et coll.

Bone response to functioning implants in dog mandibular alveolar ridges augmented with distraction osteogenesis.
Int J Oral Maxillofac Implants 1998 ; **13**(3):342-351.

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

Osteogenic alveolar distraction: a review of the literature.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2006; **101**(1):11-28.

CELAR AG, DURSTBERGER G et ZAUZA K.

Use of an individual traction prosthesis and distraction osteogenesis to reposition osseointegrated implants in a juvenile with ectodermal dysplasia: a clinical report.
J Prosthet Dent 2002; **87**(2):145-148.

CHAN CW, QIN L, LEE KM et coll.

Low intensity pulsed ultrasound accelerated bone remodeling during consolidation stage of distraction osteogenesis.
J Orthop Res 2006; **24**(2):263-270.

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

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

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

CHIAPASCO M, CONSOLO U, BIANCHI A et RONCHI P.

Alveolar distraction osteogenesis for the correction of vertically deficient edentulous ridges: a multicenter prospective study on humans.
Int J Oral Maxillofac Implants 2004; **19**(3):399-407.

CHIAPASCO M, ROMEO E, CASENTINI P et RIMONDINI L.

Alveolar distraction osteogenesis vs. vertical guided bone regeneration for the correction of vertically deficient edentulous ridges: a 1-3-year prospective study on humans.
Clin Oral Implants Res 2004; **15**(1):82-95.

CHIN M et TOTH B.A.

Distraction osteogenesis in maxillofacial surgery using internal devices: review of five cases.
J Oral Maxillofac Surg 1996; **54**(1):45-53; discussion 54.

CONSOLO U, BERTOLDI C et ZAFFE D.

Intermittent loading improves results in mandibular alveolar distraction osteogenesis.
Clin Oral Implants Res 2006; **17**(2):179-187.

COPE JB et SAMCHUKOV ML.

Regenerate bone formation and remodeling during mandibular osteodistraction.
Angle Orthod 2000; **70**(2):99-111.

CORDARO L, AMADE DS et CORDARO M.

Clinical results of alveolar ridge augmentation with mandibular block bone grafts in partially edentulous patients prior to implant placement.
Clin Oral Implants Res 2002; **13**(1):103-111.

DE DEYNE P.

Lengthening of muscle during distraction osteogenesis.
Clin Orthop Relat Res 2002; **403**(Suppl):171-177.

EINGARTNER C, COERPER S, FRITZ J, et coll.

Growth factors in distraction osteogenesis. Immuno-histological pattern of TGF-beta1 and IGF-1 in human callus induced by distraction osteogenesis.
Int Orthop 1999; **23**: 253-259,

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

Analysis of complications following alveolar distraction osteogenesis and implant placement in the partially edentulous mandible.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2005; **100**(1):25-30.

EINHORN TA.

The cell and molecular biology of fracture healing.
Clin Orthop Relat Res 1998; **355**(Suppl):7-21.

FANG TD, SALIM A, XIA W, et coll.

Angiogenesis is required for successful bone induction during distraction osteogenesis.
J Bone Miner Res 2005; **20**(7):1114-1124.

FARHADIEH RD, GIANOUTSOS MP, DICKINSON R et WALSH WR.

Effect of distraction rate on biomechanical, mineralization, and histologic properties of an ovine mandible model.
Plast Reconstr Surg 2000; **105**(3):889-895.

FARHADIEH RD, DICKINSON R, YU Y, GIANOUTSOS MP et WALSH WR.

The role of transforming growth factor-beta, insulin-like growth factor I, and basic fibroblast growth factor in distraction osteogenesis of the mandible.
J Craniofac Surg 1999; **10**(1):80-86.

FROST HM.

The biology of fracture healing, Part I.
Clin Orthop Rel Res 1989; **248**:283–293.

FROST HM.

The biology of fracture healing, Part II.
Clin Orthop Rel Res 1989; **248**:294–309.

FROST HM.

A 2003 Update of Bone Physiology and Wolff's Law for Clinicians
Angle Orthod 2003; **74**(1): 3–15.

[GAGGL A](#), [SCHULTES G](#), [REGAUER S](#) et [KARCHER H](#).

Healing process after alveolar ridge distraction in sheep.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2000a; **90**(4):420-429.

[GAGGL A](#), [SCHULTES G](#) et [KARCHER H](#).

Vertical alveolar ridge distraction with prosthetic treatable distractors: a clinical investigation.
Int J Oral Maxillofac Implants 2000b; **15**(5):701-710.

[GAGGL A](#), [SCHULTES G](#), [SANTLER G](#) et [KARCHER H](#)

Three-dimensional planning of alveolar ridge distraction by means of distraction implants.
Comput Aided Surg 2000c; **5**(1):35-41.

[GAGGL A](#), [SCHULTES G](#), [RAINER H](#) et [KARCHER H](#).

The transgingival approach for placement of distraction implants.
J Oral Maxillofac Surg 2002; **60**(7):793-796.

[GAGGL A](#), [RAINER H](#) et [CHIARI FM](#).

Horizontal distraction of the anterior maxilla in combination with bilateral sinuslift operation--preliminary report.
Int J Oral Maxillofac Surg 2005; **34**(1):37-44.

[GARCIA-GARCIA A](#) et [SOMOZA-MARTIN M](#).

Bone distraction versus dynamic guided bone regeneration.
J Oral Maxillofac Surg 2005; **63**(5):724; author reply 724-725.

[GARCIA AG](#), [MARTIN MS](#), [VILA PG](#) et coll.

Palatal approach for maxillary alveolar distraction.
J Oral Maxillofac Surg 2004; **62**(7):795-798.

[GARCIA-GARCIA A](#), [SOMOZA-MARTIN M](#), [GANDARA-VILA P](#), et coll.

Horizontal alveolar distraction: a surgical technique with the transport segment pedicled to the mucoperiosteum.
J Oral Maxillofac Surg 2004a; **62**(11):1408-1412.

[GARCIA GARCIA A](#), [SOMOZA MARTIN M](#), [GANDARA VILA P](#) et [GANDARA REY JM](#).

A preliminary morphologic classification of the alveolar ridge after distraction osteogenesis.
J Oral Maxillofac Surg 2004b; **62**(5):563-566.

[GARCIA-GARCIA A](#), [SOMOZA-MARTIN M](#), [GANDARA-VILA P](#), et coll.

Alveolar distraction before insertion of dental implants in the posterior mandible.
Br J Oral Maxillofac Surg 2003; **41**(6):376-379.

[GARCIA GARCIA A](#), [SOMOZA MARTIN M](#), [GANDARA VILA P](#) et [LOPEZ MACEIRAS J](#).

Alveolar ridge osteogenesis using 2 intraosseous distractors: uniform and nonuniform distraction.
J Oral Maxillofac Surg 2002; **60**(12):1510-1512.

HAGIWARA T et BELL WH.

Effect of electrical stimulation on mandibular distraction osteogenesis.
J Craniomaxillofac Surg 2000; **28**(1):12-19.

HAMDY RC, AMAKO M, BECKMAN L, et coll.

Effects of osteogenic protein-1 on distraction osteogenesis in rabbits.
Bone 2003; **33**(2):248-255.

HAMMERLE CH et JUNG RE.

Bone augmentation by means of barrier membranes.
Periodontol 2000 2003; **33**:36-53.

HERFORD AS et AUDIA F.

Maintaining vector control during alveolar distraction osteogenesis: a technical note.
Int J Oral Maxillofac Implants 2004; **19**(5):758-762.

HIDDING J, LAZAR F et ZOLLER JE.

Initial outcome of vertical distraction osteogenesis of the atrophic alveolar ridge.
Mund Kiefer Gesichtschir 1999; **3**(1):79-83.

HODGES NE, PERRY M, MOHAMED W et coll.

Distraction osteogenesis versus autogenous onlay grafting. Part II: biology of regenerate and onlay bone.
Int J Oral Maxillofac Implants 2006; **21**(2):237-244.

HOLINGER J., MAYER M.H.

Bone regeneration. Concepts and update.
In: McCarthy J.G. distraction of the craniofacial skeleton
New-York: Springer, 1999:3-19

HU J, LI J, WANG D et BUCKLEY MJ.

Differences in mandibular distraction osteogenesis after corticotomy and osteotomy.
Int J Oral Maxillofac Surg 2002; **31**:185-189.

HURZELER MB, 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 Periodont Rest Dent 2002; **22**(5):451-461.

ILIZAROV GA.

The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues. Part I. The influence of stability of fixation and soft-tissue preservation.
Clin Orthop Relat Res 1989a; **238**:249-281.

ILIZAROV GA.

The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues: Part II. The influence of the rate and frequency of distraction.
Clin Orthop Relat Res 1989b; **239**:263-285.

IIZUKA T, HALLERMANN W, SETO I, et coll.

Bi-directional distraction osteogenesis of the alveolar bone using an extraosseous device.
Clin Oral Implants Res 2005; **16**(6):700-707.

JAZRAWI LM, MAJESKA RJ, KLEIN ML, et coll.

Bone and cartilage formation in an experimental model of distraction osteogenesis.
J Orthop Trauma 1998; **12**(2):111-116.

JENSEN OT, KUHLKE L, BEDARD JF et WHITE D.

Alveolar segmental sandwich osteotomy for anterior maxillary vertical augmentation prior to implant placement.

J Oral Maxillofac Surg 2006; **64**(2):290-296.

JENSEN OT, COCKRELL R, KUIHIKE L et REED C.

Anterior maxillary alveolar distraction osteogenesis: a prospective 5-year clinical study.

Int J Oral Maxillofac Implants 2002; **17**(1):52-68.

JENSEN OT.

Alveolar Distraction Osteogenesis.

New-York : Quintessence Publ Co; 2002.

JOHANSSON B, GREPE A, WANNFORS K et HIRSCH JM.

A clinical study of changes in the volume of bone grafts in the atrophic maxilla.

Dentomaxillofac Radio 2001; **30**(3):157-161.

KANNO T, TAKAHASHI T et ARIYOSHI W.

Tensile mechanical strain up-regulates Runx2 and osteogenic factor expression in human periosteal cells: implications for distraction osteogenesis.

J Oral Maxillofac Surg 2005; **63**(4):499-504.

KARP NS, THORNE CH, MCCARTHY JG et SISSONS HA.

Bone lengthening in the craniofacial skeleton.

Ann Plast Surg 1990; **24**(3):231-237.

KLUG CN, MILLESI-SCHOBEL GA, MILLESI W, et coll.

Preprosthetic vertical distraction osteogenesis of the mandible using an L-shaped osteotomy and titanium membranes for guided bone regeneration.

J Oral Maxillofac Surg 2001; **59**(11):1302-1308; discussion 1309-1310.

KNOLL BI, MCCARTHY TL, CENTRELLA M et SHIN J

Strain-dependent control of transforming growth factor-beta function in osteoblasts in an in vitro model: biochemical events associated with distraction osteogenesis.

Plast Reconstr Surg 2005; **116**(1):224-233.

KNABE C, NICKLIN S, YU Y, et coll.

Growth factor expression following clinical mandibular distraction osteogenesis in humans and its comparison with existing animal studies.

J Craniomaxillofac Surg 2005; **33**(6):361-369.

KOMURO Y, TAKATO T, HARII K et YONEMARA Y.

The histologic analysis of distraction osteogenesis of the mandible in rabbits.

Plast Reconstr Surg 1994; **94**(1):152-159.

KRUSE-LOSLER B, FLOREN C, STRATMANN U, et coll.

Histologic, histomorphometric and immunohistologic changes of the gingival tissues immediately following mandibular osteodistraction.

J Clin Periodontol 2005; **32**(1):98-103.

KUNKEL M, WAHLMANN U, REICHERT TE, et coll.

Reconstruction of mandibular defects following tumor ablation by vertical distraction osteogenesis using intraosseous distraction devices.

Clin Oral Implants Res 2005; **16**(1):89-97.

LASTER Z, RACHMIEL A et JENSEN OT.

Alveolar width distraction osteogenesis for early implant placement.

J Oral Maxillofac Surg 2005; **63**(12):1724-1730. Erratum in: J Oral Maxillofac Surg 2006; **64**(3):566.

LIU Z, LUYTEN FP, LAMMENS J ET DEQUEKER J.

Molecular signalling in bone fracture healing and distraction osteogenesis.
Histol Histopathol 1999; **14**: 587-595

MASSAGUE J.

The transforming growth factor-beta family.
Annu Rev Cell Biol 1990; **6**:597-641.

MASSAGUE J et CHEN YG.

Controlling TGF-beta signaling.
Genes Dev. 2000; **14**(6):627-644.

MAZZONETTO R ET ALLAIS DE MAURETTE M.

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

MAZZONETTO R, SERRA E, SILVA FM, et RIBEIRO TOREZAN JF.

Clinical assessment of 40 patients subjected to alveolar distraction osteogenesis.
Implant Dent 2005a; **14**(2):149-153.

McALLISTER BS ET GAFFANEY TE.

Distraction osteogenesis for vertical bone augmentation prior to oral implant reconstruction.
Periodontol 2000 2003; **33**:54-66.

McALLISTER BS.

Histologic and radiographic evidence of vertical ridge augmentation utilizing distraction osteogenesis:
10 consecutively placed distractors.
J Periodonto 2001; **72**(12):1767-1779.

McCARTHY JG, STELNICKI EJ, ET GRAYSON BH.

Distraction osteogenesis of the mandible: a ten-year experience.
Semin Orthod 1999; **5**(1):3-8.

McCARTHY JG, SCHREIBER J, KARP N, et coll.

Lengthening the human mandible by gradual distraction.
Plast Reconstr Surg 1992; **89**(1):1-8; discussion 9-10.

MEHRARA BJ, ROWE NM, STEINBRECH DS, et coll.

Rat mandibular distraction osteogenesis: II. Molecular analysis of transforming growth factor beta 1
and osteocalcin gene expression.
Plast Reconstr Surg 1999; **103**:536-547.

MEYER U, MEYER T, WIESMANN HP, et coll.

The effect of magnitude and frequency of interfragmentary strain on the tissue response to distraction
osteogenesis.
J Oral Maxillofac Surg 1999; **57**(11):1331-1339; discussion 1340-1341.

MEYER U, WIESMANN HP, MEYER T, et coll.

Microstructural investigations of strain-related collagen mineralization.
Br J Oral Maxillofac Surg 2001; **39**(5):381-389.

MEYER U, MEYER T, VOSSHANS J, et JOOS U.

Decreased expression of osteocalcin and osteonectin in relation to high strains and decreased
mineralization in mandibular distraction osteogenesis.
J cranioMaxillofac Surg 1999a; **27**:222-227,

MEYER T, MEYER U, STRATMANN U, et coll.

Identification of apoptotic cell death in distraction osteogenesis.
Cell Biol Int 1999b; **23**(6):439-446.

[MILLES-SCHOBEL GA](#), [MILLES W](#), [GLASER C](#), et coll.

The L-shaped osteotomy for vertical callus distraction in the molar region of the mandible: a technical note.

J Craniomaxillofac Surg 2000; **28**(3):176-180.

MIZUMOTO Y, MOSELEY T, DREWS M, et coll.

Acceleration of regenerate ossification during distraction osteogenesis with recombinant human bone morphogenetic protein-7.

J Bone Joint Surg Am 2003; **85-A** (Suppl 3):124-130.

MOFID MM, INOUE N, ATABEY A, et coll.

Callus stimulation in distraction osteogenesis

Plast Reconstr Surg 2002; **109**(5):1621-1629.

MOFID MM, MANSON PN, ROBERTSON BC, et coll.

Craniofacial distraction osteogenesis: a review of 3278 cases.

Plast Reconstr Surg 2001; **108**(5):1103-1114; discussion 1115-1117.

NOSAKA Y, KITANO S, WADA K, et KOMORI T.

Endosseous implants in horizontal alveolar ridge distraction osteogenesis.

Int J Oral Maxillofac Implants 2002; **17**(6):846-853.

NOSAKA Y, TSUNOKUMA M, HAYASHI H, et KAKUDO K.

Placement of implants in distraction osteogenesis: a pilot study in dogs.

Int J Oral Maxillofac Implants 2000; **15**:185-192.

ODA T, SAWAKI Y et UEDA M.

Alveolar ridge augmentation by distraction osteogenesis using titanium implants: an experimental study.

Int J Oral Maxillofac Surg 1999; **28**(2):151-156.

ODA T, SAWAKI Y et UEDA M.

Experimental alveolar ridge augmentation by distraction osteogenesis using a simple device that permits secondary implant placement.

Int J Oral Maxillofac Implants 2000; **15**(1):95-102.

ODA T, SUZUKI H, YOKOTA M et UEDA M.

Horizontal alveolar distraction of the narrow maxillary ridge for implant placement.

J Oral Maxillofac Surg 2004; **62**(12):1530-1534.

PACICCA DM, PATEL N, LEE C, et coll.

Expression of angiogenic factors during distraction osteogenesis.

Bone 2003; **33**(6):889-898.

PERRY M, HODGES N, HALLMON DW, et coll.

Distraction osteogenesis versus autogenous onlay grafting. Part I: outcome of implant integration.

Int J Oral Maxillofac Implants 2005; **20**(5):695-702

PFEILSCHIFTER J, DIEL I, SCHEPPACH B, et coll.

Concentration of transforming growth factor beta in human bone tissue: relationship to age, menopause, bone turnover, and bone volume.

J Bone Miner Res 1998; **13**(4):716-730.

PROUSSAEFS P et LOZADA J.

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

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

RACHMIEL A, AIZENBUD D et PELED M.

Enhancement of bone formation by bone morphogenetic protein-2 during alveolar distraction: an experimental study in sheep.
J Periodontol 2004; **75**(11):1524-1531.

RACHMIEL A, SROUJI S et PELED M.

Alveolar ridge augmentation by distraction osteogenesis.
Int J Oral Maxillofac Surg 2001; **30**:510-517.

[RADOMISLI TE](#), [MOORE DC](#), [BARRACH HJ](#), et coll.

Weight-bearing alters the expression of collagen types I and II, BMP 2/4 and osteocalcin in the early stages of distraction osteogenesis.
J Orthop Res 2001; **19**(6):1049-1056.

RAGHOEBAR GM, LIEM RS et VISSINK A.

Vertical distraction of the severely resorbed edentulous mandible: a clinical, histological and electron microscopic study of 10 treated cases.
Clin Oral Implants Res 2002; **13**(5):558-565.

RAUCH F, LAUZIER D, CROTEAU S, et coll.

Temporal and spatial expression of Bone Morphogenetic protein-2,-4 and -7 during distraction osteogenesis in rabbits.
Bone 2000, **27**:453-459,

RICHARDS M, GOULET JA, WEISS JA, et coll.

Bone regeneration and fracture healing. Experience with distraction osteogenesis model.
Clin Orthop Relat Res 1998; **355** (Supl):S191-204.

RHEE ST et BUCHMAN SR.

Colocalization of c-Src (pp60src) and bone morphogenetic protein 2/4 expression during mandibular distraction osteogenesis: in vivo evidence of their role within an integrin-mediated mechanotransduction pathway.
Ann Plast Surg 2005; **55**(2):207-215.

ROCCUZZO M, RAMIERI G, SPADA MC, et coll.

Vertical alveolar ridge augmentation by means of a titanium mesh and autogenous bone grafts.
Clin Oral Implants Res 2004; **15**(1):73-81.

[ROBIONY M](#), [POLINI E](#), [COSTA F](#) et [POLITI M](#).

Osteogenesis distraction and platelet-rich plasma for bone restoration of the severely atrophic mandible: preliminary results.
J Oral Maxillofac Surg 2002; **60**(6):630-635.

[ROWE NM](#), [MEHRARA BJ](#), [DUDZIAK ME](#), et coll.

Rat mandibular distraction osteogenesis: Part I. Histologic and radiographic analysis.
Plast Reconstr Surg 1998; **102**(6):2022-2032.

SATO M, OCHI T, NAKASE T, et coll.

Mechanical tension stress induces expression of bone morphogenetic protein (BMP)-2 and BMP-4, but not BMP-6, BMP-7, and GDF-5 mRNA, during distraction osteogenesis.
J Bone Miner Res 1999; **14**:1084-1095.

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

Relapse in alveolar distraction osteogenesis: an indication for overcorrection.
J Oral Maxillofac Surg 2005; **63**(7):978-981.

SIMION M, JOVANOVIC SA, TINTI C et BENFENATI SP.

Long-term evaluation of osseointegrated implants inserted at the time or after vertical ridge

augmentation. A retrospective study on 123 implants with 1-5 year follow-up.
Clin Oral Implants Res 2001; **12**(1):35-45.

SIMION M, TRISI P et PIATTELLI A.

Vertical ridge augmentation using a membrane technique associated with osseointegrated implants.
Int J Periodont Rest Dent 1994; **14**(6):496-511.

SMITH RA, VARGERVIK K, KEARNS G, et coll.

Placement of an endosseous implant in a growing child with ectodermal dysplasia.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1993; **75**(6):669-673.

SMOLKA W, EGGENSBERGER N, CAROLLO V, et coll.

Changes in the volume and density of calvarial split bone grafts after alveolar ridge augmentation.
Clin Oral Implants Res 2006; **17**(2):149-155.

SNYDER CC, LEVINE GA, SWANSON HM et BROWNE EZ JR

Mandibular lengthening by gradual distraction. Preliminary report.
Plast Reconstr Surg 1973; **51**(5):506-508.

[SPECTOR JA](#), [LUCBS JS](#), [MEHRARA BJ](#), et coll.

Expression of bone morphogenetic proteins during membranous bone healing.
Plast Reconstr Surg 2001; **107**(1):124-134.

STEWART KJ, WEYAND B, VAN'T HOF RJ, et coll.

A quantitative analysis of the effect of insulin-like growth factor-1 infusion during mandibular distraction osteogenesis in rabbits.
Br J Plast Surg 1999; **52**:343-350,

[STUCKI-MCCORMICK SU](#), [FOX R](#) et [MIZRAHI R](#).

Transport distraction: mandibular reconstruction.
Atlas Oral Maxillofac Surg Clin North Am 1999; **7**(1):65-83.

TAKAHASHI, K. FUNAKI, H. SHINTANI et coll.

Use of horizontal alveolar distraction osteogenesis for implant placement in a narrow alveolar ridge A case report.
Int J Oral Maxillofac Implant 2004; **19** : 291

TAVAKOLI K, YU Y, SHAHIDI S, et coll.

Expression of growth factors in mandibular distraction zone: a sheep study.
Br J Plast Surg 1999; **52**:343-350

[TAVAKOLI K](#), [WALSH WR](#), [BONAR F](#), et coll.

The role of latency in mandibular osteodistraction.
J Craniomaxillofac Surg 1998; **26**(4):209-219.

TERHEYDEN H, WANG H, WARNKE P.H. et coll.

Acceleration of callus maturation using rhOP-1 in mandibular distraction osteogenesis in a rat model.
Int J Oral Maxillofac Surg 2003 **32**:528-533

THOR A, WANNFORS K, SENNERBY L et RASMUSSEN L.

Reconstruction of the severely resorbed maxilla with autogenous bone, platelet-rich plasma, and implants: 1-year results of a controlled prospective 5-year study.
Clin Implant Dent Relat Res 2005; **7**(4):209-220.

[TROULIS MJ](#), [GLOWACKI J](#), [PERROTT DH](#) et [KABAN LB](#).

Effects of latency and rate on bone formation in a porcine mandibular distraction model.
J Oral Maxillofac Surg 2000; **58**(5):507-513; discussion 514.

UEDA M.

Biological basis of distraction osteogenesis. In: Diner PA, Vazquez MP, ed. Second international congress on cranial and facial bone distraction process.

Bologna:Monduzzi; 1999:3-8.

UENG SW, LIN SS, WANG CR, et coll.

Bone healing of tibial lengthening is delayed by cigarette smoking: study of bone mineral density and torsional strength on rabbits.

J Trauma 1999; **46**:110-115.

URBANI G, LOMBARDO G, SANTI E et CONSOLO U.

Distraction osteogenesis to achieve mandibular vertical bone regeneration: a case report.

Int J Periodont Rest Dent 1999; **19**(4):321-331.

WARREN SM, MEHRARA BJ, STEINBRECHT DS, et coll.

Rat mandibular distraction osteogenesis. Part III. Gradual distraction versus acute lengthening. Plast Reconstr Surg 2001; **107**:441-453.

WATZEK G, ZECHNER W, CRISMANI A et ZAUZA K.

A distraction abutment system for 3-dimensional distraction osteogenesis of the alveolar process: technical note.

Int J Oral Maxillofac Implants 2000; **15**(5):731-737.

YAZAWA M, KISHI K, NAKAJIMA H et NAKAJIMA T.

Expression of bone morphogenetic proteins during mandibular distraction osteogenesis in rabbits.

J Oral Maxillofac Surg 2003; **61**(12):1505-1506.

ZAFFE D, BERTOLDI C, PALUMBO C et CONSOLO U.

Morphofunctional and clinical study on mandibular alveolar distraction osteogenesis.

Clin Oral Implants Res 2002; **13**(5):550-557.

[ZAUZA K](#), [CELAR AG](#), [ZECHNER W](#) et [WATZEK G](#).

Novel development for intraoral distraction osteogenesis by individually fabricated traction prostheses.

Clin Oral Implants Res 2004; **15**(3):371-374.

ZECHNER W, BERNHART T, ZAUZA K, et coll.

Multidimensional osteodistraction for correction of implant malposition in edentulous segments.

Clin Oral Implants Res 2001; **12**(5):531-538

ZERBO IR, DE LANGE GL, JOLDERSMA M, et coll.

Fate of monocortical bone blocks grafted in the human maxilla: a histological and histomorphometric study.

Clin Oral Implants Res 2003; **14**(6):759-766.

VIII Annexes

ANNEXE 1 : TABLEAU 6

Etudes sélectionnées analysées suivant les critères mentionnés dans la ligne supérieure, chaque ligne correspond à une étude.

Liste des abréviations :

ant = antérieur ; m = moyenne ; mm = millimètre ; j = jours ; - = pas de donnée mentionnée dans l'article ; OL = os lamellaire ; OI = os immature ; N= absence de complication, de prélèvement ou d'aménagements pré implantaire ; - = pas de succès implantaire décrit

Partie 1

AUTEURS	NOMBRE DE PATIENTS		NOMBRES DISTRACCTIONS		DISPOSITIF	TEMPS DE LATENCE (jours)	AMPLITUDE DE DISTRACTION (mm en X fois/j)
	Mandibulaire	maxillaire ant	Mandibulaire	maxillaire ant			
Chin et coll. 1999	45	?	?	?	LEAD	7	2 fois 0,8mm /j / 6j
Millesi-Schobel et coll. 2000	4	6	6	0	Distracteur Track 1,0 (Martin)	7	0,3 mm 3/j = 0,9 mm pendant 10 j
Klug et coll. 2001	10	13	0	0	TRACK 1.0	7	0,3 mm 3/j = 0,9mm/j
Gagl et coll. 2000	37	20	17	17	62 DISSIS	7	0,5 mm/j
Jensen et coll. 2002	25	0	25	0	arc orthodontique	7	1mm 3/semaines / 2 semaines
Uckan et coll. 2002	10	8 (7 ant)	2	2	LEAD	7	0,4 mm 2/j = 0,8 mm/j
Raghoobar et coll. 2002	10	10	0	0	GDD	5	0,5 mm 2/j = 1 mm/j
Zaffe et coll. 2002	10	10	0	0	TRACK 1.0	7	0,5 mm 2/j = 1 mm/j
Garcia-Garcia et coll. 2002	4	5	2	2	LEAD	7	0,5 mm / 12 h / 5-8j
Gagl et coll. 2002	12	8	4	4	DISSIS	7	0,5 mm en 2 à 4 fois
Robiony et coll. 2002	5	5	0	0	Track 1.0 + PRP + os autogène	15	0,5mm/j
Garcia-Garcia et coll. 2003	7	10	0	0	LEAD	7	0,5 mm2/j = 1mm/j
Chiapasco et coll. 2004	37	18	19	19	TRACK 1 ou 1,5	7	0,5 mm 2/j = 1mm/j
Enislidis et coll. 2004	37	45 (6 ant)	0	0	14 LEAD, 39 TRACK	4 à 18, m=8,2	0,9 mm en 3/j
Garcia-Garcia et coll. 2004	12	0	17	17	LEAD	7	1mm/j mand et 0,5 mm/j max
Salliac et coll. 2005	11	15	2	2	LEAD	7	1mm/j
Mazzonetto R et coll. 2005	40	?	?	?	TRACK 1,0	7	1 mm en 3/j pendant 6 à 12 j
Mazzonetto et Allais de Maurette 2005	60	36 (5 ant)	24	24	TRACK 1,0	7	0,33 mm 3/j
Iizuka et coll. 2005	6 à 14	7 à 14	8 à 14	8 à 14	9 à 14	10 à 14	0,25-05 mm/j

PERIODE DE CONSOLIDATION (semaines)	GAIN VERTICAL	Aménagement osseux post distraction	EVALUATION HISTOLOGIQUE
4 dépose du distracteur, 6 implants			N
10 distracteur en place	6-9 mm (zone antérieure)		OL à 10 semaines
6 à 8 dépose du distracteur	m= 8mm	4 ROG	N
charge à 16 - 24 s	6-9 mm	N	N
8	3-15mm; m=6,5mm	18 greffes osseuses	N
5-8, dépose de vis, 7-4 avant implants	5-15 mm, m=8,73 mm	N	N
8	6-8 mm; m=6,8mm	N	OL à 8 s
8, dépose du Distracteur, 4 avant implants	10-15mm ; m=12mm	N	OI à 8, OL à 24
12	5-8 mm; m=5,8 mm	N	N
4 implants en plus, 16 charge	5-7 mm	N	N
8 dépose distracteur +implants,charge 2	m=10,3mm	N	N
12	m=5mm	N	N
8 à 12	4-15mm; m=9,9mm	1 greffe osseuse	N
4 à 22, m=10	5-15 mm, m=8,2mm	9 greffes d'apposition, 3 ROG	N
12	m=5,73 mm +/- 1,11mm	4 ROG; 1 ostéotomie correctrice	N
12	m=6,08 +/- 1,9 mm	N	N
10	6-12mm ; 9,5mm	13 greffes osseuses	N
12	m=6,30 mm	20 greffes d'apposition	N
4-16 s, m=12	10-15 mm, m=13,6 mm	2 greffes d'apposition	OI à 8

COMPLICATIONS	maintien et correction du vecteur	D'IMPLANTS et suivi	survie et succès implantaire
2,2% (1 non union)			
25% (1 fracture du distracteur) Taux de succès de distraction	distracteur plus de 12 mois		
23% (1 fracture du distracteur, 2 déhiscence)			
67% (4 vecteurs résistants, sur correction, 2 distracteur perdus, 1 consolidation prématuré)	distracteurs multiples		
100%	arc orthodontique		
70% (3 vecteurs incorrect, 1 fracture du fragment, 1 hémorragie linguale)	arc orthodontique		100% et -
92,3% (1 fracture de la plaque basale)	Tige guidée		96,7% (perte de 2 DISSIS) et 95%
100% (1 déhiscence)	62 DISSIS		90,4% et 90,4%
100% (1 vecteur incorrecte)	Douleur à 30 ans post charge		85% et -
90% (fracture distale)	20		100% et 95%
100%	12 ITI, 8 Branemark, charge à 12 s		
90% (vecteur incorrect)	arc orthodontique		
100% (1 vecteur incorrect, 1 fracture mandibulaire)	arc orthodontique ; charge 3 mois, post charge 1 ans		100% et -
53 complications chez 75,7 % des patients	manipulation manuelle		96,6% DISSIS et 93,3%
100 (3 déhiscences et 6 déhiscences lors de la pose des implants)	30 DISSIS + 1 à 4 implants par patients		
100% (3 absorptions)			
200% (4 déhiscences, 3 expositions des vis, 1 fracture frag, 1 fracture dispo, 1 choix inadapté)	16 ITI, 4 Friadent		100% et 100%
97,3% (1 fracture de la plaque basale, 1 fracture mandibulaire)	138 (37 branemark, 39 ITI, 27 friadent, 35 3i)		100% et 94,2%
95,5% (1 fracture du dispositif, 1 fracture mandibulaire)	37 ITI, 10 Friadents ; charge 3 mois après, post charge 1 ans		95,7% (3 avant charge, 1 après) et -
100%	33 ITI, 10 Friadents ; charge 3 mois après, post charge 1 ans		100% et -
100%	74		100% et -
92,5% (1 fracture du dispositif, 1 fracture du fragment, 1 choix inadapté du distracteur)	21 ITI		100% et -
91,56% (1 fracture du fragment et 4 difficultés des patients d'activation du distracteur)			

ANNEXE 2: LISTE DES ABREVIATIONS ET UNITES UTILISEES

ADN: Acide desoxiribo nucléique

ARN (m): Acide ribo nucléique (messenger)

BMU: Basic multicellular unit

BMP: bone morphogenetic proteins

CSB: Cellules souche mésenchymateuse

ePTFE: polytétrafluoroéthylène expansé

FD: Facteur de déformation

FGF: fibroblast growth factor

IGF: insulin-like growth factor

MEC: Matrice extra cellulaire

PDGF: platelet-derived growth factor

ROG: Régénération osseuse guidée

RT-PCR: Retro transcriptase polymerase chain reaction

TGF: transforming growth factor

VEGF: Vascular endothelial growth factor

mm: millimètre= 10^{-6} m

Kg: Kilo gramme= 10^3 g

MPa: Mega pascal= 10^6 Pa

με: micro-tension

ANNEXE 3

g.m.raghoobar@kchir.azg.nl

Thesis of odontology

Doctor,

I'm writting my thesis about alveolar distraction and I would like to insert photo and schematic picture from your article "Vertical distraction of severely resorbed edentelous mandible":

The fig.2 p.561

the fig.4 p.562

the fig.5 p.563

I mention obviously your reference in my bibliography.

Could I have your autorisation?

Best regards

Damien Feuillet, resident dental surgery, CHU Nantes Hotel Dieu, France.

damfeuille@hotmail.com

Autorisation : fig.14 et fig. 15

Hi Damien:

You have my personal permission, but the official approval must come from the Journal in which the article was published. Please obtain formal approval from the journal.

Best,

Mike Longaker

At 09:47 AM 9/11/2006, you wrote:

Doctor,

I'm writting my thesis about alveolar distraction and I would like to insert schematic picture from your article "the molecular biology of distraction osteogenesis":

fig.2 p.2

fig.4 p.7

I mention obviously your reference in my bibliography.

Could I have your autorisation?

best regards

Damien Feuillet, resident dental surgery, CHU Nantes Hotel Dieu, France.

damfeuille@hotmail.com

Thank you for completing this form. Below you will find the details that you have submitted for your own files.

Send to: healthpermissions@elsevier.com
Date: 11 Sep 2006 18:03:24
URL:
http://www.elsevier.com/wps/find/obtainpermissionform.cws_home?isSubmitted=yes&navigateXmlFileName=/store/prod_webcache_act/framework_support/obtainpermission.xml

Request From:
D Feuillet
CHU hotel Dieu
73 rue du prefet Bonnefoy
44000
Nantes
France

Contact Details:
Telephone:
Fax:
Email Address: damfeuille@hotmail.com

To use the following material:

ISSN/ISBN:
Title: journal of cranio-maxillofacial surgery
Author(s): Bouletreau, Warren, Longaker
Volume: 30
Issue: 1
Year: 2002
Pages: 1 - 11
Article title: The molecular biologie of distraction osteogenesis

How much of the requested material is to be used:
fig.2 p.2
fig.4 p.7

Are you the author: Yes
Author at institute: Yes

How/where will the requested material be used: In a thesis or
dissertation

Details:

I'm writting my thesis about alveolar distraction and I would like to
insert
schematic picture from your article "the molecular biology of distraction
osteogenesis":

fig.2 p.2
fig.4 p.7

I mention obviously your reference in my bibliography.
Could I have your autorisation?
Best regards

Damien Feuillet, resident dental surgery, CHU Nantes Hotel Dieu, France.
damfeuille@hotmail.com

Autorisation : fig.45, fig.47,fig. 51, fig.52, et fig.61.

De : JORGE CANO SANCHEZ jo.cano@wanadoo.es

À : "damien feuillet" damfeuille@hotmail.com

Objet : Re: Thesis of odontology

Hi...

you could get pictures for the thesis only if it is not going to be published...

regards

Jorge Cano

----- Original Message ----- From: "damien feuillet" <damfeuille@hotmail.com>

To: <jo.cano@wanadoo.es>

Sent: Monday, September 11, 2006 7:00 PM

Subject: thesis of odontology

jo.cano@wanadoo.es

Doctor,

I'm writting my thesis about alveolar distraction and I would like to insert schematic picture from your article "osteogenic alveolar distraction: a review of the literature":

fig.1 p.16

fig.2 p.16

fig.3 p.16

fig.6 p.17

I mention obviously your reference in my bibliography.

Could I have your autorisation?

Best regards.

Damien Feuillet, resident dental surgery, CHU Nantes Hotel Dieu, France.

damfeuille@hotmail.com

alexander.gaggl@kfunigraz.ac.at

Doctor,

I'm writting my thesis about alveolar distraction and I would like to insert photo and schematic picture from your article "Distraction implants - a new possibility for augmentative treatment of the edentelous atrophic mandible":

fig.1 p.482

fig.2 p.482

fig.3 p.482

and from "the trans gingival approach for placement of distraction implants":

fig.3 p.795

I mention obviously your reference in my bibliography.

Could I have your autorisation?

Best regards.

Entschuldigung für haben Sie geschrieben in English, aber mein Deutsch ist nicht mehr so gut...

Damien Feuillet, resident dental surgery, CHU Nantes Hotel Dieu, France.
damfeuillet@hotmail.com

Autorisation fig.67, 68 et 69

De :

A : ciabelgg@usc.es

Doctor,

I'm writting my thesis about alveolar distraction and I would like to insert photo and schematic picture from your article "A preliminary morphologic classification of the alveolar ridge after distraction osteogenesis":

fig.1 p.564

fig.2 p.565

fig.3 p.565

I mention obviously your reference in my bibliography.

Could I have your autorisation?

Best regards.

Damien Feuillet, resident dental surgery, CHU Nantes Hotel Dieu, France.
damfeuillet@hotmail.com

Autorisation fig.59, fig.58, fig.57, fig.56, fig.67:

De : Prof. Knut A. Grötz <groetz@emailone.de>

Envoyé : mardi 12 septembre 2006 16:13:39

À : "damien feuillet" <damfeuillet@hotmail.com>

Objet : Re: thesis of odontology

Sehr geehrter Herr Kollege!

gegen eine Zitierung ist grundsatzlich gar nichts einzuwenden. Da Sie Abb. verwenden moechten, setzen Sie sich bitte mit dem Autor des Posters in Verbindung und holen dort ein Einverstaendnis ein.

Beste kollegiale Gruesse!

Prof. Dr. Dr. Knut A. Grötz
Direktor der Klinik für Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie
der HSK Dr. Horst Schmidt Klinik Wiesbaden
Lehrauftrag Univ.-Klinik Mainz
Burgstrasse 2 - 4, 65183 Wiesbaden
Tel.: 0611/370041
Fax.: 0611/370042

----- Original Message ----- From: "damien feuillet"
<damfeuille@hotmail.com>
To: <groetz@emailone.de>
Sent: Tuesday, September 12, 2006 10:03 AM
Subject: thesis of odontology

Doctor,
I'm writting my thesis about alveolar distraction and I would like to
insert photo from the on-line poster "Simultaneous vertical and
horizontal bone augmentation with a new bi-directional distraction
device" from page
www.ipj.quintessenz.de/index.php?content=issues&doc=poster&select=239:

fig.3
fig.4
fig.5
fig.6
fig.11
fig.12
fig.15

I mention obviously your reference in my bibliography.
Could I have your autorisation?
Best regards.

Entschuldigung für haben Sie geschrieben in English, aber mein Deutsch
ist nicht mehr so gut...

Damien Feuillet, resident dental surgery, CHU Nantes Hotel Dieu,
France.
damfeuille@hotmail.com

FEUILLET (Damien) – Aménagement tissulaire pré-implantaire par distraction osseuse alvéolaire – f ; tabl., 30cm (Thèse : Chir. Dent.; Nantes ; 2006)

RESUME

L'ostéointégration des implants endo osseux est largement reportée dans la littérature scientifique. L'obtention de l'ostéointégration est prédictible et largement reproductible. Cependant, la mise en place d'implants endo osseux est conditionnée par l'existence d'un volume osseux adéquat, et par une anatomie des procès alvéolaires adaptée. Parmi toute la gamme des défauts osseux, les défauts verticaux sont les plus délicats à réhabiliter. Depuis dix ans, une technique d'orthopédie, l'ostéogenèse par distraction, donne des résultats étonnants au niveau des procès alvéolaires pour l'aménagement osseux pré-implantaire

Après avoir décrit les évènements biologiques survenant lors d'une distraction alvéolaire et les techniques de distraction alvéolaire, nous avons discuté les résultats présentés par une sélection d'études pour déterminer les critères permettant une distraction optimal. Enfin, nous avons comparé l'ostéogenèse par distraction au technique de régénération osseuse guidée et de greffes osseuse autogène dans le traitement des défauts osseux verticaux.

Rubrique de classement : Implantologie

Mots Clés Bibliodent : Aménagement pré implantaire, distraction alvéolaire, implants dentaire.

Mots Clés :

MEHS :

Jury : Président : Monsieur le Professeur Olivier LABOUX

Assesseurs : Monsieur le Professeur Alain DANIEL
Monsieur le Docteur Afchine SAFFARZADEH
Monsieur le Docteur Jean François BREMOND

Directeur : Monsieur le Docteur Saïd KIMAKHE

Adresse de l'auteur : 73 rue du préfet Bonnefoy, 44000 Nantes
damfeuille@hotmail.com