

Préparation prothétique pré-implantaire

Laurent MORGON*

68 rue Montgolfier, 69006 Lyon, France

1. Introduction

La fiabilité des implants ostéo-intégrés n'est plus à démontrer, plusieurs études multicentriques révélant un taux de succès proche de 97 % à la mandibule et de plus de 90 % au maxillaire [63, 66].

Cependant, la crête alvéolaire, chez les adultes présentant des édentations par agénésie ou perte dentaire, est réduite en volume notamment dans sa dimension verticale. Le succès de la reconstruction prothétique dépend de l'espace à aménager par le traitement orthodontique, de la qualité et de la quantité d'os. L'atrophie de l'os alvéolaire nécessitant souvent une reconstruction des procès alvéolaires, l'ostéogénèse par distraction représente une alternative récente, peu utilisée, dans l'éventail des possibilités thérapeutiques (greffes, ROG), malgré des résultats cliniques très satisfaisants [49, 80].

2. Le cadre orthodontique

Le nombre croissant d'adultes traités en thérapeutique multi-attache, a permis d'ouvrir le champ des traitements prothétiques et implantaire en créant des situations cliniques favorables à la pose de prothèses implanto-portées.

Les avantages sont esthétiques et anatomiques car la préparation permet d'obtenir une meilleure architecture des tissus et des dents bordant l'édentation. Les patients présentant des agénésies unitaires, multiples ou des absences dentaires non compensées entraînant des migrations qui rendent impossibles les reconstructions prothétiques sont les principales indications de ces traitements multi-disciplinaires [39, 50, 53].

Les édentations ou l'affaissement des tissus de soutien créent un contexte biomécanique nécessitant un renfort d'ancrage. Les minivis ou les miniplaques

trouvent ici leurs indications et toute leur efficacité en rendant possible les mouvements d'ingression, le redressement des axes et la répartition des piliers. Les objectifs de traitement comme le nivellement, l'alignement des dents, la coordination des arcades et la répartition des espaces se feront en fonction des impératifs implantaires [78].

3. Les impératifs implantaires

3.1. Notion de « concept global »

Les restaurations prothétiques doivent s'intégrer dans la sphère oro-faciale afin de répondre aux exigences esthétiques et fonctionnelles, leur prise en charge sous-entendant [5] :

- Une intégration morphologique et esthétique dans laquelle la prothèse implanto-portée est en harmonie avec le visage, les lèvres, les dents naturelles et le parodonte.
- Une intégration biologique par l'aménagement des tissus péri-implantaires.
- Une intégration fonctionnelle où l'harmonie des rapports occlusaux statiques et dynamiques pérennise la stabilité occlusale.

3.2. Considérations cliniques et anatomiques

Les principaux paramètres à considérer en implantologie sont :

- Le type d'édentement réparti en quatre classes principales (édentement antérieur, postérieur, uni ou bilatéral, ou encastré).
- La distance mésio-distale bordant l'édentement à restaurer, associée au parallélisme des racines.
- La forme des dents et les biotypes parodontaux [70] :
 - Le biotype plat, opaque et épais (85 %), favorable à la chirurgie présentant un bon pronostic.

* Auteur pour correspondance : laurent.morgon@wanadoo.fr

- Le biotype fin, translucide et festonné (15 %), demandant souvent un réaménagement par greffe.
 - Le parodonte réduit, lié à une chirurgie, une pathologie parodontale ou au vieillissement, qui présente un certain potentiel de régénération.
- La gencive marginale qui sera modifiée par le traitement orthodontique en alignant les collets, facteur important dans la réussite esthétique de la prothèse implanto-portée.
 - La forme, le sommet et la hauteur de la crête osseuse, réaménagés par des greffes, une égression orthodontique forcée ou une technique de distraction alvéolaire.
 - La relation intermaxillaire corrigée par le traitement multi-attache associé ou non à une chirurgie orthognatique.

3.3. Le positionnement de l'implant

Les implants standards ont un diamètre de 3,75 mm pour une longueur de 7 à 15 mm, mais il est possible d'utiliser des implants de 4 à 6 mm dans un os de faible densité ou de faible épaisseur, les implants de 3 mm étant particulièrement indiqués dans le traitement des agénésies des incisives latérales maxillaires [66]. Ainsi, avec un implant standard, il est nécessaire d'avoir un espace mésio-distal de 7 mm minimum, soit 1,5 mm de chaque côté [67].

Les critères de positionnement de l'implant sont très précis :

- Dans le sens vestibulo-lingual, l'implant doit se situer dans l'axe de la crête, entouré d'1 mm d'os, dans la continuité de la future dent prothétique en privilégiant un appui bicortical [5, 66]. Dans un secteur esthétique, l'épaisseur de la lamelle vestibulaire doit être supérieure ou égale à 2 mm, l'implant ne devant jamais être vestibulaire par rapport à une droite joignant le collet des dents adjacentes [3, 22]. La majorité des auteurs préconisent de le placer dans une situation plus palatine du fait de la résorption osseuse, ce qui laisse un hiatus de 2 mm entre la partie vestibulaire de l'implant et la table osseuse vestibulaire ; la distraction alvéolaire ou l'égression orthodontique forcée permettent de palier à ce problème [7].
- Dans le sens corono-apical, le positionnement vertical de l'implant est fondamental pour le ré-

sultat esthétique de la prothèse. La norme actuellement retenue est de situer le plateau de l'implant 2 à 3 mm plus apicalement que la ligne amélo-cémentaire des dents adjacentes [7]. Si le parodonte est réduit ou si l'implant est de plus gros diamètre, cette distance sera de 1 mm afin de diminuer le risque de fausse poche [3, 5, 66]. Le traitement orthodontique intervient dans l'alignement des collets et l'ingression orthodontique des dents antagonistes égressées à l'aide de minivis ou de miniplaques, car une distance de 7 mm est nécessaire entre la crête osseuse et la dent antagoniste pour réaliser la prothèse implanto-portée [22, 67].

- Dans le sens mésio-distal, la distance interproximale minimale entre une dent et un implant est de 1,5 à 2 mm et de 2,5 à 3 mm entre deux implants [3, 5, 22]. L'espace entre les implants et les dents bordant l'édentation doit être suffisant pour pouvoir l'orienter parallèlement à l'axe des dents naturelles afin d'obtenir un résultat esthétique optimal [52].

3.4. L'aménagement parodontal du site

La reconstruction implantaire des zones édentées nécessite la mise en œuvre de techniques augmentant le volume osseux comme la distraction alvéolaire, l'utilisation de greffes ou de matériaux alloplastiques [2]. Lorsqu'un implant doit remplacer une dent ankylosée, fracturée, cariée ou dont le support parodontal est insuffisant, l'égression orthodontique et la distraction permettent d'aménager le site receveur pour répondre aux impératifs implantaires [49, 78].

- L'égression orthodontique forcée

Cette technique non invasive améliore la topographie tridimensionnelle du complexe parodontal grâce au potentiel d'adaptation du ligament alvéolo-dentaire, car le mouvement d'égression est accompagné par la migration des tissus parodontaux [39, 80].

Cette technique a été utilisée dans les cas de fracture radiculaire pour permettre de conserver la racine et de réaliser une reconstruction prothétique [71, 77], mais elle est surtout indiquée pour augmenter le volume osseux et recréer des papilles, améliorant ainsi le résultat esthétique implantaire. Son indication principale est antérieure au maxillaire pour

remplacer unitairement des incisives centrales et latérales [24, 40, 51, 80], mais elle peut être utilisée en technique linguale [62] et peut concerner plusieurs dents [57].

Holst, *et al.* [39] et Brindis et Block [10] résument les principes de cette technique :

- La force d'égression doit être comprise entre 30 et 75 g (une force excessive pouvant entraîner une ankylose ou une destruction des tissus parodontaux).
- L'égression est en moyenne de 1 mm par mois (la vitesse est proportionnelle à la densité de l'os).
- La gencive attachée migre d'environ 80 % de l'égression.
- La période de contention est de 12 semaines avant implantation.
- Une sur-correction de 2 à 3 mm est nécessaire car la gencive marginale se rétracte après l'implantation.

– La distraction d'une dent ankylosée

Après expulsion, une dent réimplantée peut s'ankyloser entraînant une différence de hauteur entre les collets et les faces occlusales chez l'enfant ou l'adolescent, du fait de la croissance alvéolaire.

Ces patients peuvent être traités à l'âge adulte, par égression du bloc osseux incluant la dent ankylosée, à l'aide de distracteurs alvéolaires associés à un appareil multi-attache pour contrôler le déplacement du fragment distracté. La dent est ensuite extraite et remplacée par un implant [39, 44, 47].

4. La distraction alvéolaire

(Tous nos remerciements à G. Lefebvre pour sa collaboration.)

La distraction alvéolaire se définit comme l'élévation et le déplacement contrôlé d'un segment d'os alvéolaire mobilisé progressivement selon les principes de l'ostéogénèse par contrainte en traction d'Ilizarov [42, 43].

Cette technique utilisée au maxillaire et à la mandibule fait appel à des distracteurs intra-buccaux ; elle permet de recréer une architecture de la crête alvéolaire permettant la pose d'implants avec un résultat esthétique et fonctionnel optimal, l'augmentation du volume des tissus mous et notamment de la gencive attachée diminuant le risque de péri-implantite.

4.1. Indications

- Perte de substance alvéolaire post-traumatique : il s'agit de la perte osseuse la plus fréquente au niveau des secteurs incisivo-canins pour Chin [18].
- Atrophie alvéolaire par perte dentaire [65].
- Reconstruction après chirurgie carcinologique.
- Dans les cas d'agénésies multiples où le déficit alvéolaire est majeur, plusieurs solutions thérapeutiques ont été proposées :
 - Mommaerts distrait les dents temporaires après ostéotomie [23].
 - Watzek, *et al.* [90, 92] ont réalisé des distractions multi-directionnelles d'implants mal positionnés, car trop précocement implantés chez les adolescents : leur système a permis une reconstruction prothétique plus esthétique et équilibrée sur le plan fonctionnel.
- Dents ankylosées en infraclusion : Elles peuvent être déplacées avec un distracteur pour corriger une bascule du plan d'occlusion et fermer des béances localisées [44, 47, 82]. Hidding [38] a été l'un des premiers à utiliser un distracteur sous-muqueux, Schierle [75] ayant proposé un système relié aux dents à l'aide d'un arc orthodontique pour éviter le risque de lésions radiculaires par des vis de fixation.
- Fentes alvéolaires [45].
- En complément d'une reconstruction par greffe osseuse pour Kunkel, *et al.* [48] et Lizio, *et al.* [52].
- Alvéolyse horizontale : Dans un certain nombre de cas, la crête alvéolaire voit sa hauteur conservée, mais son épaisseur est insuffisante pour recevoir un implant. Nosaka, *et al.* [59] et Bernini, *et al.* [6] utilisent des distracteurs horizontaux associés à des corticotomies pour obtenir la reconstitution du volume osseux.

Gaggl, *et al.* [27] ont publié la plus grande série de distractions transversales (14 implants chez 7 patients) et insiste sur la nécessité de distraire de 0,35 mm par jour car le fragment osseux déplacé est de taille réduite.

4.2. Les systèmes de distraction

4.2.1. Les distracteurs extra-osseux

- Le système Track[®] (KLS Martin) (Fig. 1). Il existe trois modèles de ce distracteur en titane permettant un allongement de 10 à 20 mm [36, 37, 88].



Figure 1
Système Track® (KLS Martin).

- Le système à vérin est relié à des miniplaques de 50 mm fixées avec des vis mono-corticales.
- Le système Verona® (Medicon), semblable au système Track®.
 - Le système FAD (*Floating Alveolar Device*) [69]. Ce distracteur bidirectionnel fixé à la surface externe de l'os alvéolaire ne requiert aucun appui dentaire. Il permet de contrôler la quantité et la direction de la distraction verticalement et horizontalement, ce qui évite la linguo-version du fragment distracté et l'application de forces orthodontiques.

4.2.2. Les distracteurs intra-osseux

- Le système Lead® (*Leibinger Endosseous Alveolar Distraction System*) [18–20,31,64,83,88] (Fig. 2). Il est constitué d'une vis centrale maintenue par deux miniplaques, la première pour la stabilisation et la seconde pour le déplacement du fragment osseux. Son inconvénient majeur réside dans la bascule du fragment distracté, cet effet pouvant être contrôlé en utilisant un double distracteur [31] ou une version modifiée [33].
- Le système ACE osteogenic distractor [56, 86–88].
- Le système CAD (*Compact Alveolar Distractor*) [45, 86].
- Le système GDD (*Groningen Distraction Device*), préconisé par Raghobear, *et al.* [65].

La plupart des auteurs se servent de distracteurs intra-osseux [45, 84, 88] car ils permettent la sépa-

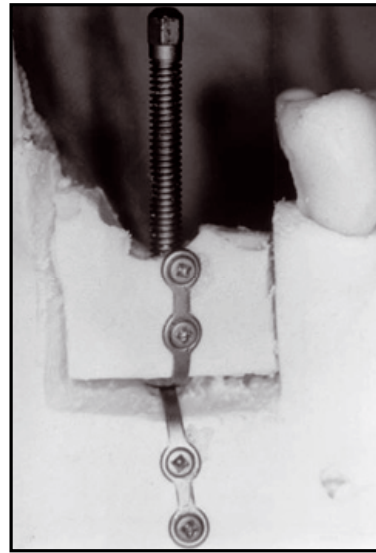


Figure 2
Système Lead®.

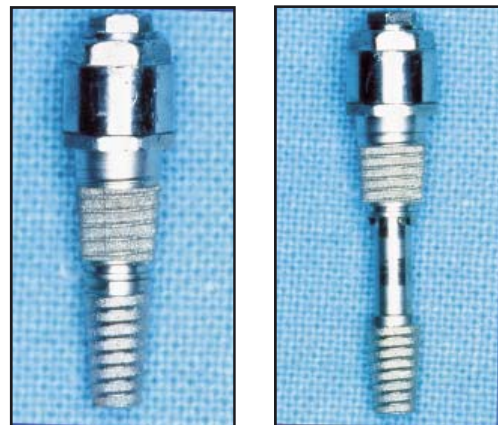


Figure 3
Système Dissis®.

ration de très petits fragments, ils sont mieux tolérés et peuvent servir de lits implantaires sans chirurgie complémentaire.

4.2.3. Les implants distracteurs [25, 26, 29, 30, 45, 76]

Le système Dissis® est le plus utilisé de cette dernière génération de distracteurs (Fig. 3). Son principal avantage réside dans son utilisation comme implant support de la prothèse après la distraction, mais il doit être parfaitement positionné, Gaggl, *et al.* [29] proposant un guide chirurgical pour pallier à ce problème.

4.3. Les différentes phases de distraction

- *L'ostéotomie.* Elle permet de sectionner le fragment osseux avec une scie oscillante, un ostéotome ou un bistouri piézo-électrique [34].
- *La phase de latence.* Évaluée à sept jours par la majorité des auteurs, elle diminue les risques de déhiscence ou d'exposition osseuse avant le début de la distraction [11, 19–21]. Une période plus longue, supérieure à 15 jours, assurerait une meilleure vascularisation dans les cas où la muqueuse environnante est très fine ou endommagée [74].
- *La phase de distraction.* L'activation du distracteur provoque l'ostéogénèse du segment osseux progressivement séparé, la quantité de distraction étant déterminée par la hauteur minimum d'os alvéolaire nécessaire à la pose de l'implant. Il existe cependant une résorption osseuse qui incite à une sur correction de 20 à 25 % [26, 72]. L'amplitude de la distraction est étudiée par Saulacic, *et al.* en 2008 [74] dans une revue de littérature : elle est en moyenne de 0,71 mm (\pm 0,27 mm) pour les distracteurs extra-osseux et de 0,4 à 0,5 mm avec les implants distracteurs. Le rythme varie de 2 à 4 activations par jour pour une amplitude quotidienne de 1 mm [89].
- *La phase de consolidation.* Elle sert à la maturation de l'os généré par la distraction. Pour Amir [1], un minimum de 10 semaines est requis pour permettre à l'os néoformé de se minéraliser, Saulacic estimant que la phase moyenne de consolidation est de 12 semaines avec une différence pour les distracteurs intra-osseux (8 semaines), les distracteurs extra-osseux (11 semaines) et les implants distracteurs (18 semaines). Pendant cette période, il faut éviter de traumatiser les tissus mous environnants en interrompant le traitement orthodontique s'il est associé à la distraction alvéolaire.
- *La mise en place de l'implant.* Le moment idéal pour poser l'implant a été souvent discuté dans les protocoles de distraction, les premières publications recommandant un délai de quatre semaines entre le retrait du dispositif et l'implantation [37].

Les études histologiques chez l'animal ont montré la prédominance de l'activité ostéoclasique au 88^e jour, ce qui inciterait à poser l'implant précocement [60].

Hidding et Chin [19] proposent de placer l'implant en même temps que le retrait du distracteur, sa mise en charge se faisant selon un protocole classique de l'implantologie prothétique [89].

- *Les complications.* Elles ont été étudiées par Garcia, *et al.* [32], Saulacic, *et al.* [73] et Mazzonetto, *et al.* [54], mais la principale complication est liée à la bascule linguale ou palatine du fragment osseux car le vecteur de distraction est difficile à contrôler du fait des insertions musculaires et aponévrotiques.

Pour Urbani [88], ce mouvement se produit dans 4 cas sur 5, plusieurs solutions ayant été proposées pour palier à cet inconvénient :

- Ricardi, *et al.* [68] et Herford, *et al.* [35] proposent de solidariser un arc orthodontique aux dents adjacentes en le reliant à la vis de distraction.
- Oh, *et al.* [61] fixent un arc orthodontique sur les dents avec de la résine et le relient au distracteur avec un élastique empêchant la bascule linguale du fragment osseux.
- Hidding, *et al.* [37] utilisent les plaques du distracteur en les recourbant pour corriger le vecteur de distraction.
- Baek, *et al.* [4] réalisent des distractions trifocales par adjonction de minivis et de dispositifs orthodontiques de traction.

4.4. Les facteurs influençant la distraction alvéolaire

4.4.1. L'ostéotomie

Elle doit diverger en direction occlusale pour faciliter le déplacement vertical du fragment osseux, un angle de 30° favorisant une meilleure régénération osseuse par rapport à une ostéotomie strictement verticale. Les différentes études montrent qu'il est important de ne pas pratiquer un détachement mucopériosté en lingual, afin de maintenir une bonne vascularisation du segment osseux déplacé [11].

Hu, *et al.* [41] comparant les effets produits par une corticotomie et une ostéotomie, estiment que la corticotomie est préférable sur le plan de la cicatrisation osseuse.

4.4.2. Le temps de latence

Le temps de latence avant la distraction est fondé sur les expériences de distraction des os

longs [42, 43] mais n'aurait pas de réelle influence sur les résultats, bien que les études s'accordent pour estimer la période idéale entre 4 et 15 jours [11].

4.4.3. La fréquence et amplitude de la distraction

Les études chez l'animal montrent qu'une distraction de 0,5 mm par jour produit du tissu chondroïde, alors qu'une amplitude de 1 mm engendre une ossification intra-membranaire avec une formation plus rapide de l'os néoformé [11].

Gaggl, *et al.* [26], dans une étude clinique chez l'homme, évaluent le rythme idéal à 0,5 mm par jour car, à des vitesses plus rapides, le risque d'altérer l'interface osseuse avec le distracteur est plus important. Cependant, pour Mofid, *et al.* [58], une vitesse trop faible engendrerait un risque d'ankylose prématuré, un rythme de 1 mm par jour en une à deux activations étant la solution retenue actuellement par la majorité des auteurs.

4.4.4. Le temps de consolidation

Les études sur l'animal et l'homme ont permis de déterminer le moment le plus propice à la pose des implants : Gaggl, *et al.* [28] observent chez l'animal, au 6^e mois, une consolidation osseuse de 70 à 80 %. Selon une étude histologique de Zaffe, *et al.* [91], la période de consolidation avant placement de l'implant dans l'os néoformé doit être de 8 à 12 semaines. Avant, l'os est trop faiblement minéralisé et, après, la minéralisation osseuse serait trop importante.

4.4.5. L'utilisation d'agents pharmacologiques ou physiques

Les travaux réalisés chez l'animal ont cherché à réduire le temps de traitement à l'aide de procédures accélérant la formation osseuse comme la stimulation électrique [11], les ultrasons [79], l'insuline *growth factor I* [81], les cellules progénitrices médullaires ou l'analogie synthétique de la vitamine D. Ce dernier agent serait le plus facile à mettre en œuvre dans le cadre de la distraction alvéolaire chez l'homme par son action sur l'ossification.

4.4.6. L'âge du patient

Pour Cano, *et al.* [11], plus le patient est jeune, plus la régénération osseuse est rapide, le tabac affectant l'apport vasculaire.

4.4.7. Les facteurs biomécaniques

- Les distracteurs intra-osseux, en cas de hauteur osseuse faible, peuvent engendrer une instabilité et compromettre le résultat final.
- Un vecteur de distraction incorrect génère un déficit osseux vestibulaire contre-indiquant la pose des implants, car le volume osseux ne répond pas aux impératifs implantaires [18].
- La stimulation du caillot chez l'homme, décrite par Consolo, *et al.* [21], qui consiste à exercer des tensions pendant la phase de consolidation grâce à des activations et des désactivations successives du distracteur, révèle une meilleure densité osseuse et une plus grande quantité d'os trabéculaire dans le groupe stimulé.

4.5. Les études cliniques

- Les études chez l'homme démontrent l'efficacité de la distraction alvéolaire.

Hidding, *et al.* [37] et Chin [18] ont publié deux séries cliniques sur plus de 300 patients : le gain d'os alvéolaire est suffisant dans 95 % des cas avec un taux de succès des implants à 6 ans de 98 %.

Chiapasco, *et al.* [15] obtiennent un gain de 8,5 mm sur une série de huit patients. Ces résultats sont confirmés par Rachmiel, *et al.* [64] et Uckan, *et al.* [83], qui trouvent une augmentation de 8 à 10 mm associée à un taux d'échec très faible des implants.

Mazzonetto, *et al.* [55] et Kanno, *et al.* [46], dans des études cliniques portant sur 40 patients traités par des distracteurs intra-osseux, mettent en évidence une augmentation moyenne de 9 mm avec un taux de succès implantaire de 92,5 %.

Saulacic, *et al.* en 2008 [74], dans une revue de littérature, rapportent un gain vertical moyen de 5 mm pour les implants distracteurs, de 7,9 mm pour les distracteurs intra-osseux et de 9,3 mm pour les distracteurs extra-osseux ; ces résultats sont confirmés par les travaux de Chiapasco, *et al.* en 2004 et en 2009 [12, 13].

Les travaux de Bilbao, *et al.* en 2009 [9], réalisés en comparant les données de radiofréquence entre les implants placés dans l'os natif et l'os distracté, révèlent cependant que le taux de succès est inférieur dans le deuxième groupe.

– Les techniques alternatives à la distraction.

Une étude prospective de Chiapasco, *et al.* en 2004 [14] compare les résultats de la distraction alvéolaire et la régénération osseuse guidée dans le traitement des déficits alvéolaires verticaux : les résultats concernant le niveau osseux et la résorption péri-implantaire sont meilleurs à long terme avec un taux de succès implantaire plus élevé dans le groupe distraction.

L'étude réalisée en 2007 par ce même auteur [16], entre la distraction alvéolaire et la greffe autologue en onlay, conclut à une résorption osseuse plus importante dans le groupe greffe, sans différence entre les taux de succès implantaires.

Pour Uckan, *et al.* [85], les complications sont mineures et plus fréquentes dans le groupe distraction (66 %), mais sont plus faciles à traiter que celles survenant avec la greffe osseuse autologue (34 %), avec un taux de succès implantaire identique.

Ces résultats sont confirmés par une étude de Bianchi, *et al.* en 2008 [8] qui compare la distraction avec la greffe osseuse en inlay au niveau des secteurs postérieurs mandibulaires : le gain osseux moyen est plus important (10 mm pour la distraction et 5,8 mm pour la greffe) et le taux de complication plus élevé (respectivement 60 % et 15 %).

Les revues de littérature [12, 17] sur les procédés d'augmentation du volume osseux des crêtes édentées insistent cependant sur le manque de méthodologie des articles publiés. Les auteurs recommandent de choisir la technique la plus simple et la moins invasive qui atteindra les objectifs du traitement. La distraction alvéolaire présente un taux de succès élevé permettant de répondre aux impératifs implantaires.

Bibliographie

- [1] Amir LR, Becking AG, Jovanovic A. Formation of osseous regeneration in alveolar distraction osteogenesis with histological and radiological aspects. *J Oral Maxillofac Surg* 2007;65:608–614.
- [2] Aouate G. *L'implantologie non enfouie*. Issy-les-Moulineaux: Masson, 2008: 60 p.
- [3] Armand S. *La restauration unitaire antérieure en Implantologie*. Quintessence International, 2008: 108 p.
- [4] Baek SH, Kim NY, Paeng JY, Kim MJ. Trifocal distraction-compression osteosynthesis in conjunction with passive self-ligating brackets for the reconstruction of a large bony defect and multiple missing teeth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133:601–611.
- [5] Baudoin C, Bennani V. Un projet prothétique en implantologie. *Quintessence Int*, 2005: 133 p.
- [6] Bernini R, Lombardo G, Urbani G. Treatment of localized alveolar bone defects using distraction osteogenesis. Arnaud E, Diner PA. *International congress on cranial and facial bone distraction processes*. Bologne: Monduzzi Editore, 2001:95–101.
- [7] Bert M, Missika P. Les clés du succès en Implantologie. Prévenir les complications et les échecs. Rueil: Editions CdP, 2009:27–30.
- [8] Bianchi A, Felice P, Lizio G. Alveolar distraction osteogenesis versus onlay bone grafting in posterior mandibular atrophy: a prospective study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;105:282–292.
- [9] Bilbao A, Oliveira MH, Varela-Centelles PL. Assessment of dental implant stability in osseo-distraction-generated bone: a resonance frequency analysis. *Clin Oral Implants Res* 2009;20:772–777.
- [10] Brindis MA, Block MS. Orthodontic tooth extrusion to enhance soft tissue implant esthetics. *J Oral Maxillofac* 2009;67:49–59.
- [11] Cano J, Campo J, Moreno LA, Bascones A. Osteogenic alveolar distraction: a review of the literature. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006;101:11–28.
- [12] Chiapasco M, Casenti P, Zaniboni M. Bone augmentation procedures in implants dentistry. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009;24:237–259.
- [13] Chiapasco M, Consolo U, Bianchi A, 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;19:399–407.
- [14] Chiapasco M, Romeo E, Casentini P, Rimondini L. Alveolar distraction osteogenesis vs. vertical guided bone regeneration for the correction of vertically deficient edentulous ridges: a 1–3 year prospective study on humans. *Clin Oral Implants Res* 2004;15:82–95.
- [15] Chiapasco M, Romeo E, Vogel G. Vertical distraction osteogenesis of edentulous ridges for improvement of oral implant positioning: a clinical report of preliminary results. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2001;16:43–51.
- [16] Chiapasco M, Zaniboni M, Rimondini L. Autogenous onlay bone grafts vs. alveolar distraction osteogenesis for the correction of vertically deficient edentulous ridges: a 2–4 year prospective study on humans. *Clin Oral Implants Res* 2007;18:432–440.
- [17] Chiapasco M, Zaniboni M, Boisco M. Augmentation procedures for the rehabilitation of deficient edentulous ridges with oral implants. *Clin Oral Implants Res* 2006;17:136–159.
- [18] Chin M. Alveolar distraction: endosseous, self-retaining devices. In: Diner PA, Vasquez MP, editors. *Second international congress on cranial and facial bone distraction process*. Boogna: Monduzzi, 1999:9–16.
- [19] Chin M. Alveolar process reconstruction using distraction osteogenesis. In: Diner PA, Vasquez MP, ed, *Proceedings of 2nd International Congress on Cranial and Facial Bone Distraction Processes*, Paris, June 17–19 1999:51–54.

- [20] Chin M. Reconstruction alvéolaire par distraction osseuse orthopédique [Alveolar regeneration by orthopedic bone distraction]. *J Parodontol Implantol Orale* 1999;18:199–210.
- [21] Consolo U, Bertoldi C, Zaffe D. Intermittent loading improves results in mandibular alveolar distraction osteogenesis. *Clin Oral Implants Res* 2006;17:179–187.
- [22] Davarpanah M, Szmukler-Moncler S, Khoury PM, Jakubowicz-Kohen B, Martinez H. Manuel d'implantologie clinique. Concepts, protocoles et innovations récentes. Rueil: Editions CdP, 2008:148–364.
- [23] Deryckere F, Neyt L, Abeloos J, De Clercq C, Mommaerts M. Augmentation de la hauteur du procès alvéolaire par distraction osseuse [Treatment of a congenitally missing upper lateral incisor with an implant]. *Rev Belge Med Dent* 2001;56:9–14.
- [24] Francischone CE, Costa CG, Francischone AC, Ribeiro HT, Silva RJ. Controlled orthodontic extrusion to create gingival papilla: a case report. *Quintessence Int* 2002;33:561–565.
- [25] Gaggl A, Schultes G, Kärcher H. Distraction Implant-a-new possibility for augmentive treatment of edentulous atrophic: case report. *Br J Oral Maxillofac Surg* 1999;37:481–485.
- [26] Gaggl A, Schultes G, Kärcher H. Vertical alveolar ridge distraction with prosthetic treatable distractors: a clinical investigation. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2000;15:701–710.
- [27] Gaggl A, Schultes G, Kärcher H. Widening of the alveolar ridge for preparation of implant sites by alveolar ridge distraction. Arnaud E, Diner PA. International congress on cranial and facial bone distraction processes. Bologne: Monduzzi Editore, 2001:179–186.
- [28] Gaggl A, Schultes G, Regauer S, Kärcher H. Healing process after alveolar ridge distraction in sheep. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2000;90:420–429.
- [29] Gaggl A, Schultes G, Santler G, Kärcher H. Three-dimensional planning of alveolar ridge distraction by means of distraction implants. *Comput Aided Surg* 2000;5:35–41.
- [30] Gaggl A. Das Sys-Distraktions implantation. *Rev Mens Suisse Odontostomatol* 1998;26:72–73.
- [31] Garcia A, Somza M, Gandara P, Lopez J. Alveolar ridge osteogenesis using 2 intraosseous distractors : uniform and nonuniform distraction. *J Oral Maxillofac Surg* 2002;60:1510–1512.
- [32] Garcia AG, Martin MS, Vila PG, Maceiras JL. Minor complications arising in alveolar distraction osteogenesis. *J Oral Maxillofac Surg* 2002;60:496–501.
- [33] Garcia Garcia A, Peñarrocha-Diogo M, Somoza Martin M, Gandara-Vila P, Camacho F Modified LEAD system distractor to prevent tilting during alveolar distraction in the mandibular symphyseal region. *Br J Oral Maxillofac Surg* 2008;46:141–143.
- [34] Gonzales-Garcia A, Diniz-Freitas M, Somoza-Martin M. Piezoelectric and conventional osteotomy in alveolar distraction osteogenesis in a series of 17 patients. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2008;23:891–896.
- [35] Herford A, Audia F, Stucki MC, Cormick S. Alveolar distraction osteogenesis and vector control. A preliminary report. In: Arnaud E, Diner PA, ed, Third International Congress on cranial and facial bone distraction process distraction odyssey. Bologna: Monduzzi, 2001:125–130.
- [36] Hidding J, Lazar F, Zoller J. Vertical distraction of the alveolar bone. *J Craniomaxillofac Surg* 1998;26:72–73.
- [37] Hidding J, Lazar F, Zoller JE. The Cologne concept on vertical distraction osteogenesis. In: Arnaud E, Diner PA, ed, International congress on cranial and facial bone distraction processes. Bologne: Monduzzi editore, 2001:65–72.
- [38] Hidding J, Zöller JE, Lazar F Micro and macrodistraction of the jaw. A sure method of adding new bone. *Mund Kiefer Gesichtschir* 2000;4:432–437.
- [39] Holst AI, Nkenke E, Blatz MB, Geiselhöringer H, Holst S. Prosthetic considerations for orthodontic implant site development in the adult patient. *J Oral Maxillofac Surg* 2009; 67:82–88.
- [40] Holst S, Hegenbarth EA, Schlegel KA, Holst AI. Restoration of a nonrestorable central incisor using forced orthodontic eruption, immediate implant placement, and an all-ceramic restoration: a clinical report. *J Prosthet Dent* 2007;98:251–255.
- [41] Hu J, Li J, Wang D, Buckley MJ. Differences in mandibular distraction osteogenesis after corticotomy and osteotomy. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2002;31:185–189.
- [42] 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* 1989;238:249–281.
- [43] 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* 1989;239:263–285.
- [44] Isaacson RJ, Strauss RA, Bridges-Poquis A, Peluso AR, Lindauer SJ. Moving an ankylosed central incisor using orthodontics, surgery and distraction osteogenesis. *Angle Orthod* 2001;71:411–418.
- [45] Kaluzinski E, Benateau H, Labbé D, Mundreuil M. Distraction osteogenesis for the premaxillary reconstruction report of 3 cases. *Ann Chir Plast esthet* 2001;46:293–303.
- [46] Kanno T, Mitsugi M, Furuki Y, Hosve M, Ahanatsu H, Takenoba T. Overcorrection in vertical alveolar distraction osteogenesis for dental implants. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2007;36:398–402.
- [47] Kofod T, Würtz V, Melsen B. Treatment of an ankylosed central incisor by single tooth dento-osseous osteotomy and a simple distraction device. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005;127:72–80.
- [48] Kunkel M, Wahlmann U, Reichert TE, Wegener J, Wagner W. Reconstruction of mandibular defects following tumor

- ablation by vertical distraction osteogenesis using intraosseous distraction devices. *Clin Oral Implants Res* 2005;16:89–97.
- [49] Lambrecht JT, Ostojic S. Ostéogénèse verticale par distraction du procès alvéolaire à titre de préparation à la pose d'implants. *Rev Mens Suisse Odontostomatol* 2005;115:28–31.
- [50] Leclerc JF. Implants ostéo-intégrés en orthodontie linguale. *Orthod Fr* 1997;68:197–205.
- [51] Lin CD, Chang SS, Liou CS, Dong DR, Fu E. Management of interdental papillae loss with forced eruption, immediate implantation, and root-form pontic. *J Periodontol* 2006;77:135–141.
- [52] Lizio G, Corinaldesi G, Pieri F, Marchetti C. Problem with dental implants that were placed on vertically distracted fibular free flaps after resection a report of six cases. *Br J Oral Maxillofac Surg* 2009;47:455–460.
- [53] Martinez H, Renault P, Georges-Renault G, Pierrisnard L, Rouach T. Les implants : chirurgie et prothèse. Choix thérapeutique stratégique. Rueil: éditions C&P; 2008:220–224.
- [54] Mazzone R, Allais M, Maurette PE, Moreira RW. A retrospective study of the potential complications during alveolar distraction osteogenesis in 55 patients. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2007;36:6–10.
- [55] Mazzone R, Serra E, Silva FM, Ribeiro Torezan JF. Clinical assessment of 40 patients subjected to alveolar distraction osteogenesis. *Implant Dent* 2005;14:149–153.
- [56] Mc Allister BS. Vertical alveolar ridge augmentation utilizing the ACE osteogenic distraction. In: Samchukov ML, Cope JB, Cherkasin AM, ed. *Craniofacial distraction osteogenesis*. St Louis: Mosby 2001;414–422.
- [57] Mimarashi B, Torbati A, Aalam A, Chee W. Orthodontically assisted vertical augmentation in the esthetic zone. *J Prosthodont* 2010;19:235–239.
- [58] Mofid MM, Manson PN, Robertson BC, Tufaro AP, Elias JJ, Vander Kolk CA. Craniofacial distraction osteogenesis: a review of 3278 cases. *Plast Reconstr Surg* 2001;108:1103–1114.
- [59] Nosaka Y, Kitano S, Wada K, Komori T. Endosseous implants in horizontal alveolar ridge distraction osteogenesis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2002;17:846–853.
- [60] Nosaka Y, Tsunokuma M, Hayashi H, Kakudo K. Placement of implants in distraction osteogenesis: a pilot study in dogs. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2000;15:185–192.
- [61] Oh HK, Park HJ, Cho JY, Park YJ, Kook MS. Vector control of malpositioned segment during alveolar distraction osteogenesis by using rubber traction. *J Oral Maxillofac Surg* 2009;67:608–612.
- [62] Paolone MG, Kaitsas R, Paolone G, Kaitsas V. Lingual orthodontics and forced eruption: means for osseous and tissue regeneration. *Prog Orthod* 2008;9:46–57.
- [63] Périssé J, Paoli JR, Lauwers F, Lupy G. Traitement d'un cas d'agénésies dentaires multiples : solution orthodontique et implantaire. *Rev Stomatol Chir Maxillofac* 1996;97:166–171.
- [64] Rachmiel A, Srouji S, Peled M. Alveolar ridge augmentation by distraction osteogenesis. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2001;30:510–517.
- [65] Raghoebar GM, Liem RSB, Vissink A. Vertical distraction of severely resorbed edentulous mandible. A clinical, histological and electron microscopic study of 10 treated cases. *Clin Oral Implants Rest* 2002;13:558–565.
- [66] Renouard F, Nguyen-Gauffre MA. Implants et orthodontie. *Orthod Fr* 1997;68:161–170.
- [67] Renouard F, Rangert B. Prise de décision en pratique implantaire. *Quintessence International*, 2005:1–36.
- [68] Riccardi O, Pieri F, Marchetti C. A new method for vector control during alveolar distraction osteogenesis: a case report. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2006;26:53–57.
- [69] Robiony M, Toro C, Stucki-Mc Cormick SU, Zerman N, Costa F, Politi M. The “FAD” (Floating Alveolar Device): a bidirectional distraction system for distraction osteogenesis of the alveolar process. *J Oral Maxillofac Surg* 2004;62:136–142.
- [70] Sabri R, Aboujaoude N. Agénésie des incisives latérales maxillaires : approche orthodontique et implantaire. *Orthod Fr* 2008;79:283–293.
- [71] Salama M, Ishikawa T, Salama H, Funato A, Garber D. Advantages of the root submergence technique for pontic site development in esthetic implant therapy. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2007;27:521–527.
- [72] Saulacic N, Somoza-Martin M, Gandara-Vila P, Garcia-Garcia A. Relapse in alveolar distraction osteogenesis: an indication for overcorrection. *J Oral Maxillofac Surg* 2005;63:978–981.
- [73] Saulacic N, Somosa Martin M, De Los Angeles Leon Camacho M, Garcia Garcia A. Complications in alveolar distraction osteogenesis: a clinical investigation. *J Oral Maxillofac Surg* 2007;65:267–274.
- [74] Saulacic N, Iizuka T, Martin MS, Garcia AG. Alveolar distraction osteogenesis : a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2008;37:1–7.
- [75] Schierle HP, Mauck C, Schliephake H. Vertical distraction osteogenesis of the alveolar process using a tooth-borne device. *Mund kiefer Gesichtschir* 2000;4:50–52.
- [76] Schultes G, Gaggl A, Kärcher H. Distraction implants: a new operative technique for alveolar ridge augmentation. *Cranio Maxillofac Surg* 1999;27:214–221.
- [77] Schwartz-Arad D, Levin L, Ashkenazi M. Treatment options of untreatable traumatized anterior maxillary teeth for future use of dental implantation. *Implant Dent* 2004;13:11–19.
- [78] Sclar AG, Kannik J, Ferreira CF, Kaltman SI, Parker WB. Treatment planning and surgical considerations in implant therapy for patients with agenesis, oligodontia, and ectodermal dysplasia: review and case presentation. *J Oral Maxillofac Surg* 2009;67:2–12.
- [79] Shimazaki A, Inui K, Azuma Y, Nishimura N, Yamano. Low-intensity pulsed ultrasound accelerates bone

- maturation in distraction osteogenesis in rabbits. *J Bone Joint Surg Br* 2000;82:1077–1082.
- [80] Sorel O, Glez D, Hourdin S. Traitement orthodontique sur un parodonte affaibli : apport de l'orthodontie. *Orthod Fr* 2010;81:27–32.
- [81] Stewart KJ, Weyand B, Vant Hof RJ, White SA, Lvoff GO, Maffuli N, Poole MD. 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.
- [82] Susami T, Matsuzaki M, Ogihara Y, Sakiyama M, Takato T. Segmental alveolar distraction for the correction of unilateral open-bite caused by multiple ankylosed teeth: a case report. *J Orthod* 2006;33:153–159.
- [83] Uckan S, Haydar SG, Dolanmaz D. Alveolar distraction: analysis of 10 cases. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2002;94:561–565.
- [84] Uckan S, Oguz Y, Bayram B. Comparison of intraosseous and extraosseous alveolar distraction osteogenesis. *J Oral Maxillofac Surg* 2007;65:671–674.
- [85] Uckan S, Veziroglu F, Dayangac E. Alveolar distraction osteogenesis versus autogenous onlay bone grafting for alveolar ridge augmentation: technique complication and implant survival rates. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;106:511–515.
- [86] Urbani G, Lombardo G, Consolo U, Benetti F. The vertical distraction of the alveolar ridge using different types of distractor devices. Presented at the Conference on Intraoral Distraction Osteogenesis: Current techniques and future directions. Baylor College of Dentistry, Dallas, November 5–6 1999.
- [87] Urbani G, Lombardo G, Santi E, Consolo U. Distraction osteogenesis to achieve mandibular vertical bone regeneration: a case report. *Int J Periodontics Restorative Dent* 1999;19:321–331.
- [88] Urbani G. Alveolar distraction before implantation: a report of five cases and a review of the literature. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2001;21:569–579.
- [89] Vega LG, Bilbao A. Alveolar distraction osteogenesis for dental implant preparation: an update. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am* 2010;22:369–385.
- [90] Watzek G, Zechner W, Crismani A, Zauza K. A distraction abutment system for 3-dimensional distraction osteogenesis of the alveolar process technical note. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2000;15:731–737.
- [91] Zaffe D, Bertoldi C, Palumbo C, Consolo U. Morphofunctional and clinical study on mandibular alveolar distraction osteogenesis. *Clin Oral Implants Rest* 2002;13:550–557.
- [92] Zechner W, Bernhardt T, Zauza K, Watzek G. Correction of growth related implant malposition by multidimensional osteodistraction. Arnaud E, Diner PA. International congress on cranial and facial bone distraction processes. Bologne: Monduzzi Editore, 2001:117–118.