

RÉSUMÉ Cet article a pour objectif de décrire les apports de la CFAO dans le développement de nouvelles techniques de reconstruction osseuse. L'utilisation de grilles en titane totalement conçues et fabriquées par CFAO se révèle être une des évolutions les plus récentes.

MOTS CLÉS: Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur (CFAO) • grille titane • augmentation osseuse • sur mesure • régénération osseuse guidée (ROG)

ABSTRACT This article aims to describe the contributions of CAD/CAM in the development of new bone reconstruction techniques. The use of the titanium scaffold totally designed and manufactured by CFAO is one of the more recent developments.

KEYWORDS: Titanium mesh • scaffold • alveolar bone augmentation • computer-aided-design/computer-aided-manufacturing (CAD/CAM) • custom-made • guided bone regeneration (GBR)

Référencement bibliographique

Cet article peut être recherché ou cité sous la référence suivante : Arroche M, Drouhet G, Benhamou A, Wintenberg P, Fromentin O. Apport de la CFAO dans les techniques d'augmentation osseuse par ROG, *Implant* 2020;26:45-55.

Liens d'intérêts

Les auteurs déclarent n'avoir aucun lien d'intérêts concernant cet article.

Apport de la CFAO dans les techniques d'augmentation osseuse par ROG

M. ARROCHE, G. DROUHET,
A. BENHAMOU, P. WINTENBERGER,
O. FROMENTIN

INTRODUCTION

La mise en place d'implants dentaires constitue une alternative thérapeutique fiable et prédictive pour restaurer la fonction et l'esthétique chez des patients édentés^[1].

La réussite et la pérennité d'un traitement implantaire sont conditionnées par la nécessité d'un volume osseux suffisant^[2], or la résorption post-extractionnelle, la maladie parodontale, les traumatismes sont autant de paramètres pouvant conduire à la réduction de ce volume osseux^[3]. C'est pourquoi, dans ces situations, l'indication d'augmentation osseuse est posée, avant ou pendant la chirurgie implantaire^[4].

Diverses méthodes existent pour reconstruire la crête osseuse afin d'obtenir un volume suffisant. Les techniques d'appositions de greffons osseux prélevés sur un site extra- ou intra-oral, l'utilisation de blocs constitués de matériau allogénique^[5], la distraction osseuse^[6], l'ostéotomie^[7], associées à différents biomatériaux de comblement des espaces résiduels autour du greffon apposé, sont des méthodes qui permettent d'améliorer le volume osseux verticalement et horizontalement^[8]. Néanmoins, la littérature rapporte une fréquence élevée d'échecs et de complications lors de ces différentes interventions^[8]. C'est pourquoi l'obtention d'une adéquation optimale entre l'architecture du greffon et le site receveur par une configuration tridimensionnelle appropriée se révèle une proposition intéressante en termes de modalité thérapeutique, dans le cadre des augmentations de la crête alvéolaire par des techniques de ROG associant une grille rigide, un biomatériau et/ou de l'os autogène^[2].

Jusqu'à récemment, pour ces techniques, le volume de l'augmentation osseuse voulue était évalué sur des examens radiographiques afin de décider de la forme

DOSSIER CLINIQUE

finale de la grille en titane qui était découpée manuellement à la forme souhaitée^[9]. Malheureusement, cette approche est complexe, chronophage, et la taille ainsi que la forme obtenues peuvent être très imprécises, car dépendant en grande partie de la capacité des praticiens à façonner manuellement les formes 3D de la future reconstruction osseuse.

Grâce à la combinaison de techniques numériques et de la CFAO, de nouvelles solutions pour planifier ainsi que pour concevoir les chirurgies reconstructives osseuses, en optimisant l'adéquation de l'architecture du greffon et du site receveur, sont actuellement proposées.

L'utilisation de grilles personnalisées, conçues pour s'adapter précisément à la forme tridimensionnelle des défauts osseux à compenser, devrait permettre d'améliorer la vascularisation du site opéré ainsi que la biocompatibilité de la reconstruction, limitant d'autant la morbidité associée à cette intervention^[10].

Le but de cet article est de synthétiser les connaissances cliniques et scientifiques actuelles concernant les protocoles de ROG, associées aux grilles en différents matériaux mis en forme par CFAO.

ROG AVEC GRILLE TITANE DE FORME STANDARD À DÉCOUPER

Les grilles en titane ont été largement utilisées pour la reconstruction des défauts buccaux et maxillo-faciaux^[11, 12]. Du fait de leur rigidité, elles permettent de maintenir le volume créé au niveau du site greffé et d'éviter l'affaissement des tissus mous^[13, 14], autorisant ainsi la croissance osseuse^[13]. Elles présentent également d'autres avantages, tels que la biocompatibilité ou la résistance à la corrosion, se révélant indiquées dans les techniques d'augmentation osseuse en association avec une greffe osseuse particulière^[14, 15]. En outre, les grilles en titane ont une bonne résistance mécanique^[16, 17] et peuvent être facilement découpées, façonnées puis fixées avec des vis d'ostéosynthèse ou des clous chirurgicaux. Cependant, pour Miyamoto *et al.*^[18], les résultats cliniques concernant l'augmentation dépendent du type d'architecture du défaut osseux préopératoire.

Pour ce qui est des matériaux, l'os autogène a toujours été considéré comme la référence, ou « *gold standard* », en raison de ses propriétés ostéogéniques, ostéo-inductives et ostéoconduites. Mais la nécessité d'un site de prélèvement distant de la zone à reconstruire, la disponibilité plus ou moins limitée de tissu osseux, les risques de morbidité en rapport avec le site donneur sont autant d'inconvénients à son utilisation.

Pour pallier ces inconvénients, des substituts osseux ont été développés, tels que l'os allogénique, xénogénique ou synthétique, qui peuvent être utilisés seuls ou en mélange avec de l'os autologue en différentes proportions selon les auteurs^[19].

Le procédé conventionnel de ROG avec grille titane non personnalisée entraîne des inconvénients relatifs à la découpe et au pliage manuel de la grille pour lui donner la forme souhaitée. Ces étapes prolongent la durée de la chirurgie. C'est pourquoi il a été développé des procédés de conception et de production de ces grilles par CFAO pour optimiser la forme de celles-ci, tout en réduisant le temps opératoire.

GRILLE TITANE MANUELLEMENT AJUSTÉE SUR UN MODÈLE RÉALISÉ PAR CFAO

Le prototypage rapide (RP) recouvre l'ensemble des moyens industriels de fabrication d'objets construits virtuellement. La production de ces projets virtuels s'effectue soit par des procédés additifs (par ajouts de matière), soit par des procédés soustractifs (par usinage d'un bloc). L'impression 3D (FDM) et la stéréolithographie (SLA) sont deux technologies couramment utilisées pour la production immédiate de modèles individuels (prototypes) par ajouts de matière.

Ces technologies peuvent être utilisées dans la production de modèles conçus pour effectuer le modelage et la préparation de la grille en titane. Durant cette étape, il est possible également de préparer la perforation de la grille afin de prévoir la transfixation par la vis d'ostéosynthèse lors de la chirurgie^[20, 21].

Pratiquement, les fichiers DICOM correspondant aux données numériques acquises lors de l'examen radiologique par CBCT sont importés dans un logiciel de conception type 3D Slicer (logiciel en accès libre). La zone intéressée par la greffe osseuse est délimitée et une augmentation virtuelle du volume est effectuée. Un fichier de format .STL de ce projet est généré, permettant la réalisation d'un modèle par impression 3D ou par stéréolithographie.

C'est sur ce modèle que le praticien peut, en amont de l'intervention, découper et modeler la grille titane^[22].

L'utilisation d'un modèle imprimé dans la phase préopératoire raccourcit ainsi le temps de l'intervention, et donc les risques d'exposition des tissus à l'infection, de manque de vascularisation à long terme ainsi que d'étiement des tissus^[21, 23].

L'avantage de cette technique de préparation d'une grille standard réside également dans son coût plus limité que celui d'un procédé complet de fabrication par CFAO d'une grille spécifique sur mesure.

GRILLE TITANE FABRIQUÉE SUR MESURE PAR CFAO

La reconstruction osseuse par technique de ROG est également possible grâce à l'utilisation de grilles titanes fabriquées par CFAO et combinée à de l'os autogène ou à de xéngreffes en diverses proportions.

Les grilles en titane produites par CFAO (type Yxoss CBR®, Reoss) présentent une épaisseur de 0,2 mm. Ceci leur conférerait la rigidité pour maintenir le greffon osseux et protéger l'os néoformé, ainsi que la possibilité d'être suffisamment flexibles pour permettre un maintien de la fermeture des tissus mous, prévenant ainsi le risque de déhiscence des muqueuses^[24]. La présence de perforations permet de ne pas bloquer le flux sanguin en provenance de l'os et de la muqueuse^[24].

À la surface du titane, une couche d'oxyde se forme passivement, permettant l'adhésion et la colonisation cellulaire ainsi que la différenciation des cellules en ostéocytes du côté greffé.

La forme du maillage de la grille est conçue lors de la planification et permet d'aménager des perforations pour les vis de stabilisation ou pour les futurs implants. En outre, la conception par microfusion laser permet d'obtenir une forme régulière et lisse, par opposition à celle adaptée manuellement, limitant ainsi le risque de déhiscence des tissus mous^[16].

Néanmoins, étant non résorbable, cette grille devra être retirée dans un second temps lors de la pose des implants^[18].

Protocole opératoire d'utilisation d'une grille titane sur mesure

Lorsque l'indication d'une ROG avec membrane titane est posée (FIG. 1) et que sa réalisation par CFAO est décidée, le patient reçoit une information complète par le praticien sur l'intervention, les matériaux utilisés ainsi que sur les alternatives existantes au traitement. Un consentement éclairé doit être obtenu.

Les images DICOM issues de l'examen radiographique CBCT sont transférées sur un site sécurisé (<https://www.reoss.eu/myreoss>). Cette interface permet de communiquer avec le technicien en charge de la conception numérique de la grille et de sa fabrication. Une fois la planification effectuée, la grille titane est conçue et fabriquée en générant un modèle 3D du défaut osseux à partir des fichiers DICOM obtenus lors du CBCT (FIG. 2 ET 3). L'architecture de la grille titane est conçue en fonction du volume d'augmentation souhaité, puis validée par le praticien grâce à un fichier PDF actif, avant d'être fabriquée (FIG. 4 A 7). La grille produite est vérifiée puis stérilisée par le praticien.

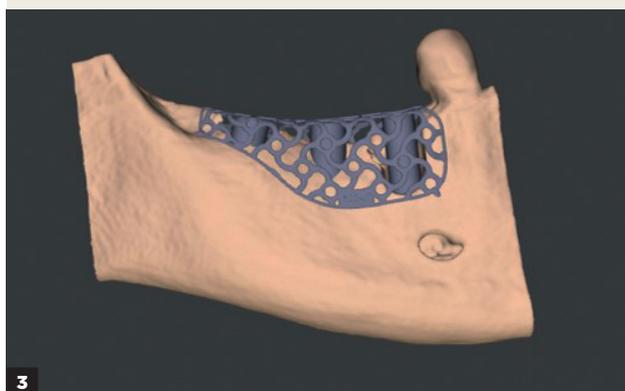
Au niveau chirurgical, un lambeau muco-périosté est réalisé, puis un curetage minutieux de la zone à greffer



1



2



3

FIGURE 1 Arcade mandibulaire édentée secteur 4. La racine de 45 est à extraire.

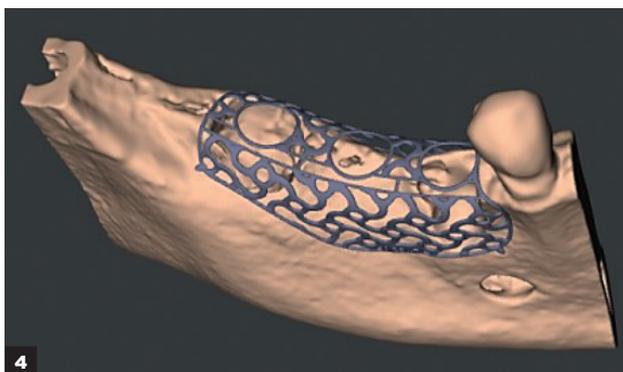
FIGURE 2 Après examen cône beam et planification prothétique, conception CAO d'une grille titane sur un modèle virtuel tenant compte du futur emplacement implantaire. Augmentation volumique souhaitée tant en hauteur qu'en largeur.

FIGURE 3 Projet CAO de la grille sur le modèle. Visualisation dans le plan sagittal de l'augmentation de hauteur souhaitée, ainsi que de la perte osseuse post-extractionnelle en 45 estimée virtuellement. La 48 a été extraite 8 semaines auparavant.

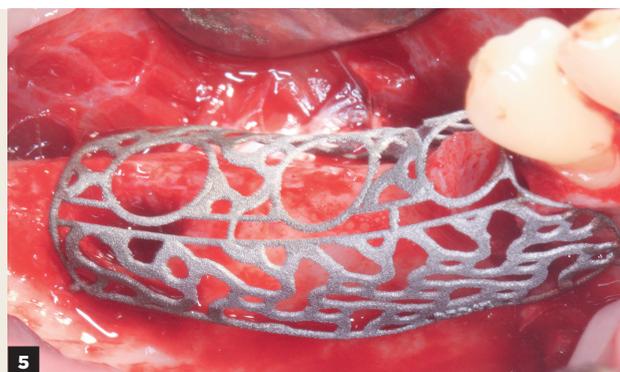
DOSSIER CLINIQUE

est effectué, et la grille est essayée (FIG. 8 ET 9). En cas d'utilisation d'os autologue, le prélèvement intra-oral est effectué, celui-ci est broyé puis mélangé avec un substitut osseux, l'ensemble est positionné sous la grille

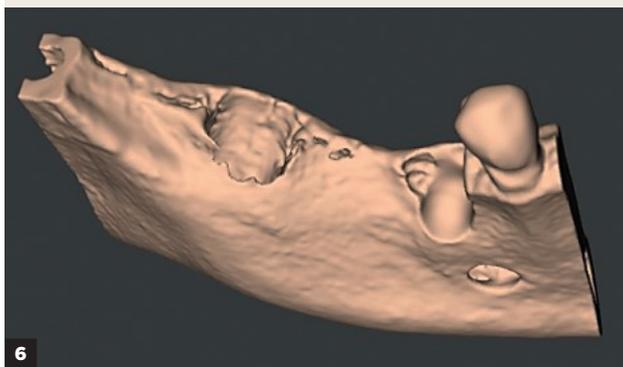
(FIG. 10). Celle-ci est mise en place avec un ajustement passif sans tension au niveau des tissus mous. La structure est stabilisée par des vis d'ostéosynthèse placées au niveau de perforations prévues dans la grille titane (FIG. 11).



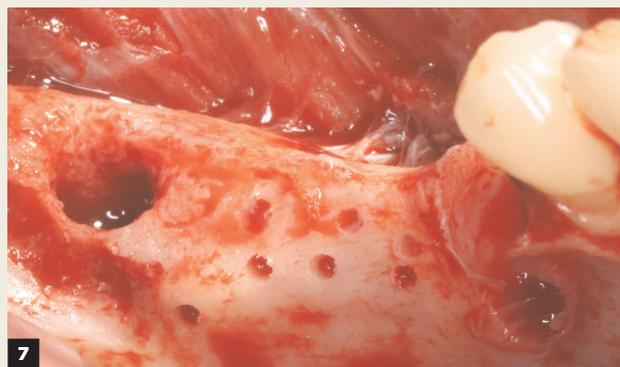
4



5



6



7

FIGURE 4 Modèle virtuel avec grille en place.

FIGURE 5 Essayage de la grille après extraction de la racine de 45.

FIGURE 6 Modèle virtuel de la situation au niveau osseux.

FIGURE 7 Situation clinique après réalisation des perforations corticales.



8



9

FIGURE 8 Mélange 50 % os autogène prélevé sur le site (SafeScraper®, Geistlich) et 50 % xéno greffe (Bio Oss®, Geistlich).

FIGURE 9 La grille est garnie avec le mélange osseux, positionnée sur le site et transvissée avec 2 vis.

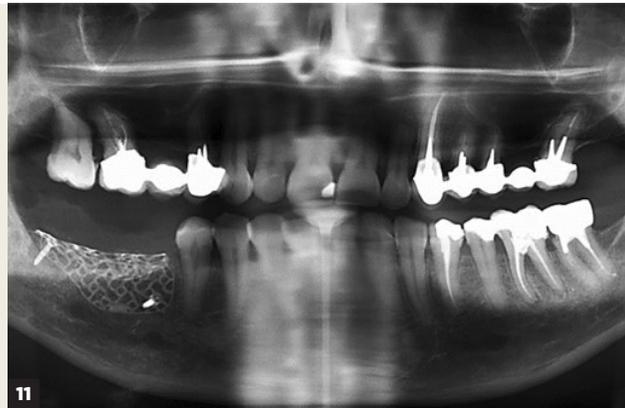


FIGURE 10 Après mise en place d'une membrane résorbable (BioGuide®, Geistlich), le lambeau est suturé à l'aide de sutures Nylon 4.0 non résorbables.

FIGURE 11 Orthopantomogramme postopératoire.

FIGURE 12 À 6 mois postopératoires, une exposition de la membrane titane est constatée en disto-vestibulaire de 44.

Une membrane résorbable recouvre ensuite la grille pour stimuler la régénération des tissus mous et prévenir leur invagination. La plaie est refermée sans tension. Un contrôle radiographie postopératoire permet de contrôler la situation de la grille et du biomatériau maintenu sur le site opéré (FIG. 12).

Dans une étude récente^[25] sur modèle animal, les auteurs concluent à une meilleure régénération osseuse quand la grille titane est utilisée en association avec une membrane de collagène, par rapport à l'utilisation d'une membrane seule ou d'une grille seule.

Une antibiothérapie ainsi que des antalgiques sont prescrits. Les instructions postopératoires classiques sont délivrées au patient ainsi que des recommandations sur l'hygiène buccale à adopter. Les patients opérés doivent ménager la zone d'intervention et respecter une alimentation molle pendant 3 semaines. Le maintien d'une hygiène rigoureuse adéquate est nécessaire, nécessitant des bains de bouche avec une solution à 0,2% de chlorhexidine et l'application d'un gel de chlorhexidine à 0,2% sur la plaie 2 fois par jour. Le port d'une prothèse amovible doit être proscrit durant 1 mois après la chirurgie^[26].

Six mois après l'intervention, un nouvel examen radiologique CBCT permet de vérifier l'augmentation osseuse et de planifier la chirurgie implantaire. Durant cette intervention, un lambeau de pleine épaisseur est réalisé, les vis de fixation sont retirées et la grille est séparée en 2, puis extraite grâce aux zones de fragilité planifiées durant la conception. Le ou les implants sont ensuite mis en place dans l'os néoformé en suivant un protocole opératoire classique.

ROG ET UTILISATION DE GRILLES TITANE: LITTÉRATURE ET RÉSULTATS THÉRAPEUTIQUES

Actuellement, peu d'études permettent d'évaluer les résultats de ces protocoles utilisant des grilles en titane. En outre, la plupart de ces travaux sont consacrés aux grilles titane non personnalisées.

Dans l'étude de Proussaefs et Lozada^[16], une carotte osseuse d'un diamètre de 2,6 mm est réalisée sur le site greffé lors de la réouverture, avant la pose de l'implant. Après une préparation histologique appropriée, il est observé une proportion osseuse nouvellement formée de 36%, associés à 49% de tissu conjonctif et à environ 4% de particules d'hydroxyapatite d'origine bovine (Bio-oss®, Geistlich). Les auteurs ne rapportent aucune trace d'inflammation ou de résorption.

Dans le cas d'une exposition précoce de la grille, la proportion d'os néoformé dans l'échantillon était plus limitée. Des mesures de l'os nouvellement formé ont également été effectuées à partir des examens 3D pré- et postopératoires. Un mois après la greffe, le gain d'os néoformé verticalement était de 2,9 mm et de 4,5 mm horizontalement. Six mois après l'insertion implantaire, il s'était réduit à 2,6 mm verticalement et à 3,8 mm horizontalement, soit une résorption osseuse de 15%.

L'étude de Miyamoto *et al.*^[18], qui est effectuée sur 41 patients et 50 sites traités par greffe osseuse utilisant des grilles en titane non personnalisées associées à de l'os autogène, évalue le gain osseux lors du retrait de la grille 6 mois après sa mise en place.

Cette étude conclut à un succès des augmentations osseuses grâce à cette technique, en séparant les

DOSSIER CLINIQUE

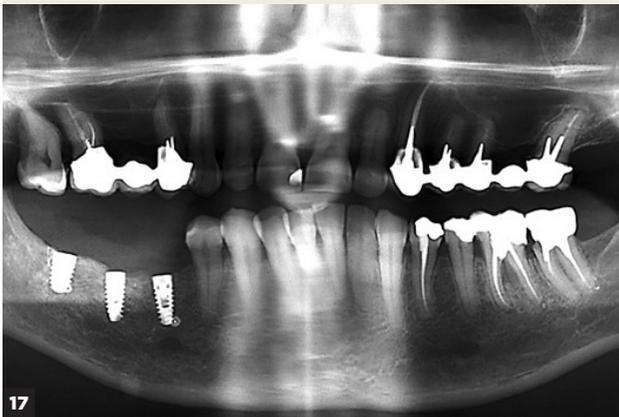
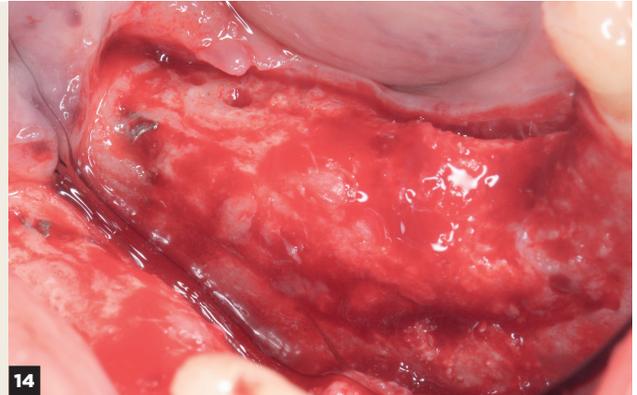


FIGURE 13 Après avoir récliné un lambeau d'accès, vue du site opératoire à 6 mois, grille en place.

FIGURE 14 La grille est déposée après retrait des vis et fragmentation.

FIGURE 15 Forage des 3 sites implantaires planifiés.

FIGURE 16 Insertion de 3 implants Mis Seven[®].

FIGURE 17 Orthopantomogramme de contrôle post-implantaire.

FIGURE 18 Arcade mandibulaire édentée bilatéralement.

FIGURE 19 Orthopantomogramme de la situation clinique initiale.



types de défauts en 3 catégories : horizontaux (H), *socket* (S) ainsi que horizontaux et verticaux (HV).

Le gain horizontal moyen avec le défaut de type H était de 3,9 1,9 mm. Le défaut de type S a entraîné l'augmentation osseuse la plus efficace (gain horizontal moyen : 5,7 1,4 mm ; gain vertical moyen : 12,4 3,1 mm).

Les défauts à la fois horizontaux (H) et verticaux (V) sont les plus difficiles à augmenter (gain horizontal moyen : 3,7 2,0 mm ; gain vertical moyen : 5,4 3,4 mm).

Le défaut de type HV a montré une résorption osseuse significativement plus élevée que les autres types de défauts.

Dans l'étude récente de Ciocca *et al.*^[27], sur 9 patients traités avec des grilles titanées personnalisées et un mélange d'os autogène associé à des cristaux d'hydroxyapatite d'origine bovine en proportion 1/1, à 7 mois postopératoires, les auteurs observent une augmentation osseuse verticale et horizontale en moyenne de 3,8 mm à la mandibule et de 3,9 mm au maxillaire. Par ailleurs, les auteurs ne signalent pas de perte implantaire après deux ans de suivi.

Dans l'étude de Sumida *et al.*^[28], les auteurs comparent 2 groupes de 13 patients qui doivent subir une augmentation osseuse avant la pose d'implants dentaires.

Ils notent une durée d'opération plus courte dans le groupe traité avec des grilles personnalisées en titane, 75,4 11,6 mn contre 111,9 17,8 mn dans le groupe traité avec des grilles du commerce adaptées en peropératoire.

Les auteurs signalent une moindre utilisation de vis de transfixation des grilles dans le groupe traité avec des grilles personnalisées, par rapport à celles de forme standard.

Enfin, le nombre d'infections et de déhiscences muqueuses ne se révèle pas statistiquement différent entre les deux groupes.

En termes d'inconvénients, la littérature rapporte que la complication postopératoire la plus fréquente réside dans la déhiscence des tissus mous. Néanmoins, le risque serait beaucoup plus limité qu'en utilisant des membranes résorbables en raison de la biocompatibilité du titane, ce qui limiterait l'inflammation sur le site exposé^[29].

Selon les travaux de Lizio *et al.*^[30], chaque surface non couverte de la grille de 1 cm* réduirait de 16 % la croissance osseuse prévue. Pour ces auteurs, il existerait également une relation entre l'exposition précoce et la formation d'os nouvellement formé.

Proussaefs et Lozada^[16] signalent que l'exposition des grilles en titane entraînerait une perte osseuse horizontale et verticale de 8 à 10 %. Le risque de déhiscence pourrait être accru en fonction de la position des muscles superficiels et de la quantité de gencive kératinisée présente.

D'après Miyamoto *et al.*^[18], les principales complications post-chirurgicales seraient l'exposition de la grille, les infections, les résorptions osseuses (totales ou partielles) ainsi que des troubles neurologiques temporaires.

Sur le plan clinique, l'inconvénient majeur de ces grilles en titane réside dans l'obligation de retrait pour limiter le risque de fibrose des tissus mous^[31]. Ceci nécessite une approche invasive similaire à celle de la chirurgie initiale^[18].

Par ailleurs, il faut noter le coût significatif de ces dispositifs, particulièrement en cas d'utilisation de membrane personnalisée par CFAO (de 350 à 780 €), qui serait justifié par les procédés de conception puis de mise en forme par microfusion laser. D'autres coûts annexes sont à ajouter, liés à la situation des implants projetés et à l'utilisation d'une membrane résorbable de recouvrement.

Ceci limite d'autant le développement actuel de ces protocoles et explique l'apparition sur le marché d'autres biomatériaux mis en forme par CFAO pour réaliser ces membranes d'espacement personnalisées utilisées dans les techniques de ROG.

MEMBRANES ET AUTRES BIOMATÉRIAUX MIS EN FORME PAR CFAO

D'autres procédures basées sur la modélisation peropératoire du greffon ont été décrites dans la littérature.

Il est désormais possible de fabriquer des membranes 3D sur mesure, dans des matériaux biocompatibles autres que le titane, répondant ainsi à la difficulté représentée par la dépose nécessaire du matériel non résorbable.

C'est le cas notamment de l'association hydroxyapatite et acide polylactique, qui se résorbe totalement entre 3 et 5 ans^[32]. Ces membranes sont plus résistantes mécaniquement que celles en PLLA pure et permettraient une formation osseuse plus rapide^[33]. Elles sont fabriquées par stéréolithographie (SLA) à partir d'une modélisation tridimensionnelle.

La recherche développe aujourd'hui une autre membrane avec des surfaces extérieures lisses et intérieures poreuses associant le poly-lactide-co-glycolide (PLGA) et le phosphate tricalcique (TCP), créant une structure architecturale censée être similaire à celle de l'os spongieux^[34]. Le temps total de dégradation serait similaire à celui de la formation osseuse naturelle^[35].

En association avec ces membranes et dans une logique de résorbabilité totale du matériel implantable, des vis en polymère d'acide lactidique (PLA), résorbable intégralement sous 9 mois, ont été mises au point et sont disponibles sur le marché (SonicWeld Rx®, KLS Martin).

DOSSIER CLINIQUE

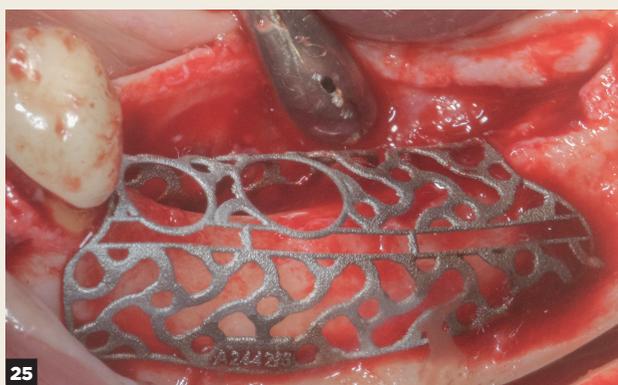
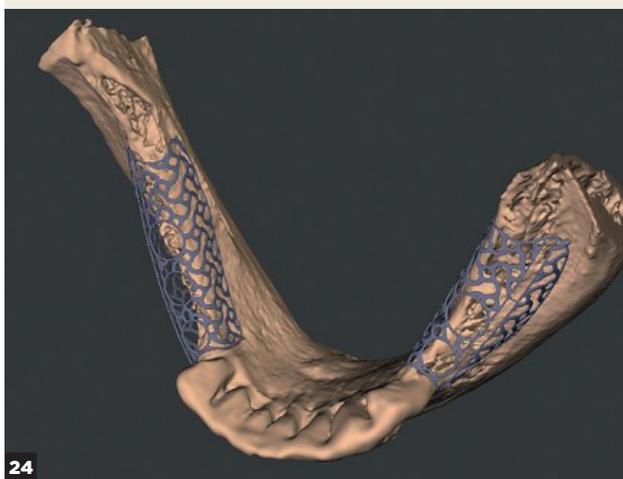
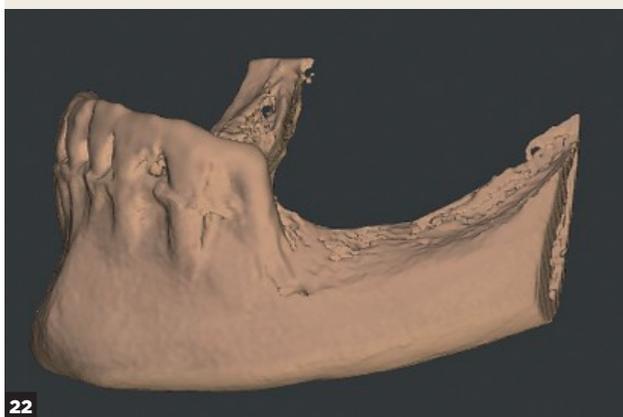
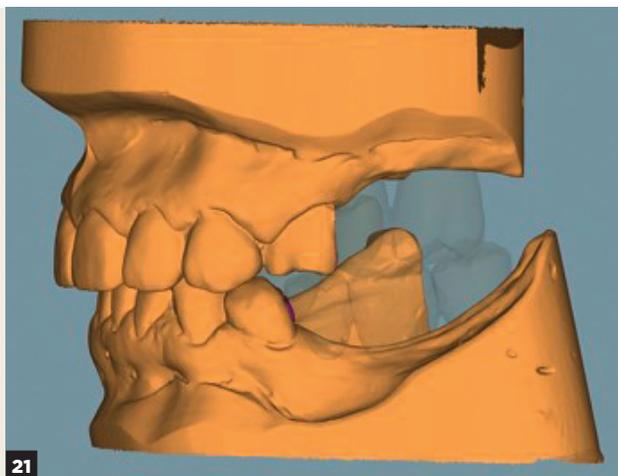


FIGURE 20 Arcades en occlusion, vue sagittale clinique secteur 2 et 3.

FIGURE 21 Vue sagittale gauche des modèles d'étude virtuels en occlusion.

FIGURE 22 Vue latérale virtuelle de la situation osseuse de l'arcade mandibulaire issue de l'examen cône beam.

FIGURES 23 et 24 Projet CAO de deux grilles titane en secteur 3 et 4.

FIGURE 25 Essayage de la grille titane secteur 4.

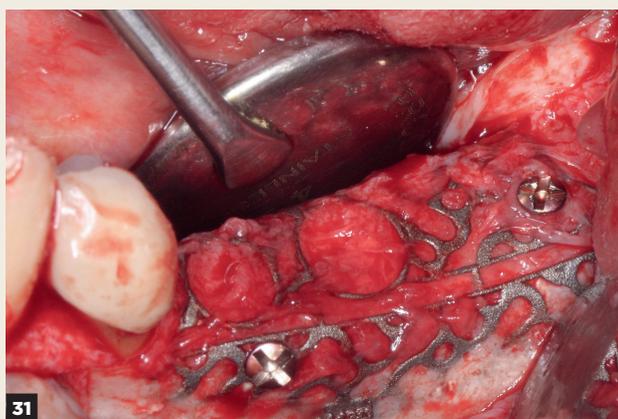
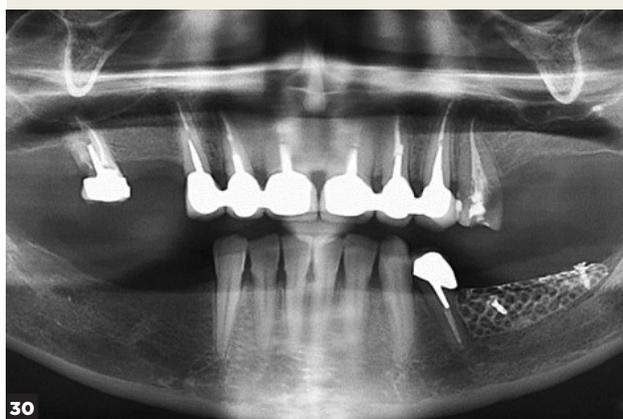
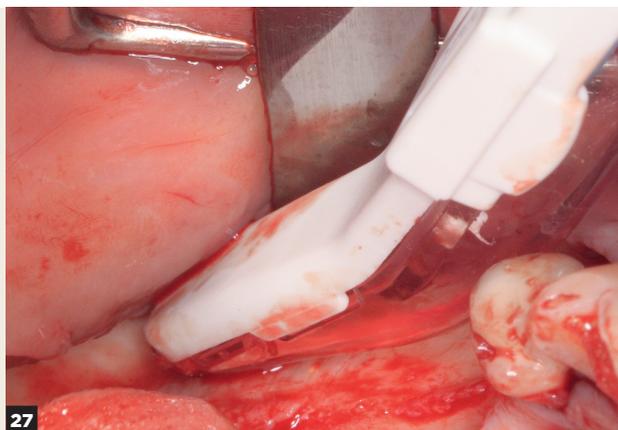


FIGURE 26 Perforations de la corticale du site opératoire.

FIGURE 27 Prélèvement d'os autologue sur le site (SafeScraper®, Geistlich).

FIGURE 28 Après avoir garni la grille du mélange os autologue/xéno greffe, l'ensemble est immobilisé sur le site à l'aide de 2 vis de transfixation, vestibulaire et occlusale.

FIGURE 29 Après avoir placé une membrane résorbable (BioGuide®, Geistlich) sur la grille, le lambeau est suturé (Fil Nylon 4.0).

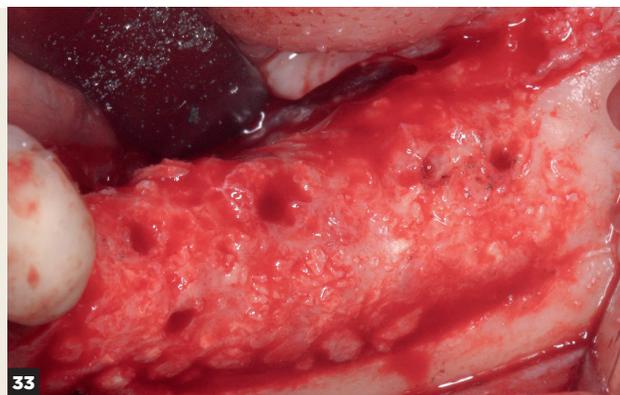
FIGURE 30 Orthopantomogramme postopératoire.

FIGURE 31 À 6 mois postopératoires, réouverture du site.

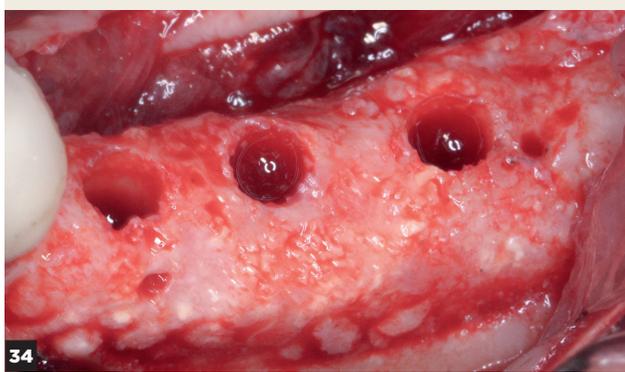
DOSSIER CLINIQUE



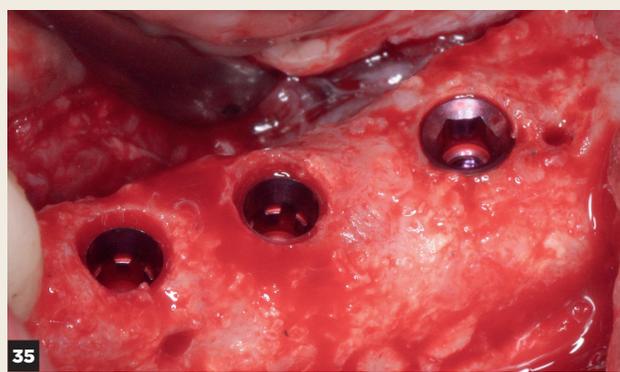
32



33



34



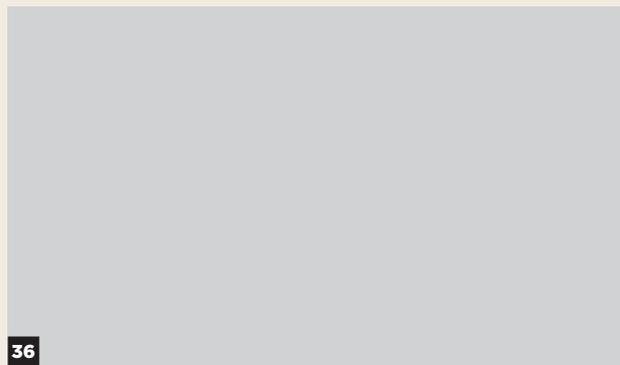
35

FIGURES 32 et 33 Retrait de la grille et visualisation du volume osseux néoformé.

FIGURE 34 Forage implantaire en site de 35, 36 et 37.

FIGURE 35 Insertion de 3 implants MIS.

FIGURE 36 Orthopantomogramme de contrôle post-implantaire.



36

CONCLUSION

À l'issue de cette présentation des membranes mises en forme par CFAO et utilisées dans les techniques de ROG, il apparaît qu'actuellement la membrane en titane de forme standard adaptée manuellement sur un modèle imprimé représente la solution la plus pertinente en termes de coût pour un gain notable de temps opératoire.

Concernant l'utilisation clinique des grilles en titane conçues et fabriquées par CFAO, peu de publications sont disponibles dans la littérature et les résultats en termes de gains osseux tridimensionnels sont à confir-

mer. Par ailleurs, d'autres matériaux que le titane peuvent être mis en forme par CFAO et contribuer ainsi à la réalisation de membranes dont la résorbabilité éviterait un deuxième temps opératoire, tout en limitant la morbidité et les coûts associés. ■

Auteurs

Mickael ARROCHE, Guillaume DROUHET, Anne BENHAMOU, Pierre WINTENBERGER, Olivier FROMENTIN.

► DUCICP Université Paris 7-Denis Diderot, hôpital Rothschild (AP-HP)

BIBLIOGRAPHIE

1. Moraschini V, Poubel LA, Ferreira VF, Barboza Edos S. Evaluation of survival and success rates of dental implants reported in longitudinal studies with a follow-up period of at least 10 years: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2015;44:377-388.
2. Al-Nawas B, Schiegnitz E. Augmentation procedures using bone substitute materials or autogenous bone-a systematic review and meta-analysis. *Europ J Oral Implantol* 2014;7:219-234.
3. Rocchietta I, Fontana F, Simion M. Clinical outcomes of vertical bone augmentation to enable dental implant placement: a systematic review. *J Clin Periodontol* 2008;35:203-215.
4. Esposito M, Grusovin MG, Felice P, Karatzopoulos G, Worthington HV, Coulthard P. The efficacy of horizontal and vertical bone augmentation procedures for dental implants- a Cochrane systematic review. *Eur J Oral Implant* 2009;2:167-184.
5. Mehta RP, Deschler DG. Mandibular reconstruction in 2004: an analysis of different techniques. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg* 2004;12:288-293.
6. Yun KI, Choi H, Wright RF, Ahn HS, Chang BM, Kim HJ. Efficacy of alveolar vertical distraction osteogenesis and autogenous bone grafting for dental implants: systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2016;31:26-36.
7. Teng F, Zhang Q, Wu M, Rachana S, Ou G. Clinical use of ridge-splitting combined with ridge expansion osteotomy, sandwich bone augmentation, and simultaneous implantation. *Br J Oral Maxillofac Surg* 2014;52:703-708.
8. Mangano F, Macchi A, Caprioglio A, Sammons RL, Piattelli A, Mangano C. Survival and complication rates of fixed restorations supported by locking-taper implants: a prospective study with 1 to 10 years of follow-up. *J Prosthodont* 2014;23:434-444.
9. Mangano FG, Zecca PA, van Noort R, *et al*. Custom made computer aided design/computer-aided-manufacturing biphasic calcium phosphate. *Case Rep Dent* 2015;2015:941265.
10. Rasperini G, Pilipchuk SP, Flanagan CL, *et al*. 3D printed bioresorbable scaffold for periodontal repair. *J Dent Res* 2015;94:1535-1575.
11. Simion M, Fontana F, Rasperini G, Maiorana C. Vertical ridge augmentation by expanded-polytetrafluoroethylene membrane and a combination of intraoral autogenous bone graft and deproteinized anorganic bovine bone (Bio Oss). *Clin Oral Implants Res* 2007;18:620-629.
12. Merli M, Moscatelli M, Mariotti G, Rotundo R, Bernardelli F, Nieri M. Bone level variation after vertical ridge augmentation: resorbable barriers versus titanium-reinforced barriers. A 6-year double-blind randomized clinical trial. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014;29:905-913.
13. Vrielinck L, Sun Y, Schepers S, Politis C, Van Slycke S, Agbaje JO. Osseous reconstruction using an occlusive titanium membrane following marginal mandibulectomy: proof of principle. *J Craniofac Surg* 2014;25:1112-1114.
14. Rakhmatia YD, Ayukawa Y, Furuhashi A, Koyano K. Current barrier membranes: titanium mesh and 44 other membranes for guided bone regeneration in dental applications. *J Prosthodont Res* 2013;57:3-14.
15. Her S, Kang T, Fien MJ. Titanium mesh as an alternative to a membrane for ridge augmentation. *J Oral Maxillofac Surg* 2012;70:803-810.
16. Proussaefs P, Lozada J. Use of titanium mesh for staged localized alveolar ridge augmentation: clinical and histologic-histomorphometric evaluation. *J Oral Implantol* 2006;32:237-247.
17. Proussaefs P, Lozada J, Kleinman A, Rohrer MD, McMillan PJ. The use of titanium mesh in conjunction with autogenous bone graft and inorganic bovine bone mineral (bio-oss) for localized alveolar ridge augmentation: a human study. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2003;23:185-195.
18. Miyamoto I, Funaki K, Yamauchi K, Kodama T, Takahashi T. Alveolar ridge reconstruction with titanium mesh and autogenous particulate bone graft: computed tomography-based evaluations of augmented bone quality and quantity. *Clin Implant Dent Relat Res* 2012;14:304-311.
19. Yildirim M, Spiekermann H, Handt S, Edelhoff D. Maxillary sinus augmentation with the xenograft Bio-Oss and autogenous intraoral bone for qualitative improvement of the implant site: A histologic and histomorphometric clinical study in humans. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2001;16:23-33.
20. Li J, Zhang L, Lv S, Li S, Wang N, Zhang Z. Fabrication of individual scaffolds based on a patient-specific alveolar bone defect model. *J Biotechnol* 2011;151:87-93.
21. Ciocca L, De Crescenzo F, Fantini M, Scotti R. CAD/CAM and rapid prototyped scaffold construction for bone regenerative medicine and surgical transfer of virtual planning: a pilot study. *Comput Med Imaging Graph* 2009;33:58-62.
22. Draenert G, Gebhart F, Mitov G, Neff A. Biomaterial shell bending with 3D printed templates in vertical alveolar ridge augmentation: a technical note. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2017;123:651-660.
23. Li J, Zhang L, Lv S, Li S, Wang N, Zhang Z. Fabrication of individual scaffolds based on a patient-specific alveolar bone defect model. *J Biotechnol* 2011;151:87-93.
24. Yamada H, Nakaoka K, Horiuchi T, *et al*. Mandibular reconstruction using custom-made titanium mesh tray and particulate cancellous bone and marrow harvested from bilateral posterior iliac. *J Plast Surg Hand Surg* 2014;48:183-190.
25. Li H, Zheng J, Zhang S, Yang C, Kwon YD, Kim YJ. Experiment of GBR for repair of peri-implant alveolar defects in beagle dogs. *Sci Rep* 2018;8:16532.
26. Poli PP, Beretta M, Cicciù M, Maiorana C. Alveolar ridge augmentation with titanium mesh. A retrospective clinical study. *Open Dent J* 2014;8:148-158.
27. Ciocca L, Lizio G, Baldissara P, Sambuco A, Scotti R, Corinaldesi G. Prosthodontically CAD-CAM guided bone augmentation of atrophic jaws using customized titanium Mesh: Preliminary results of an open prospective study. *J Oral Implantol* 2018;44:131-137.
28. Sumida T, Otawa N, Kamata YU, Kamakura S, *et al*. Custom made titanium devices as membranes for bone augmentation in implant treatment: clinical application and the comparison with conventional titanium mesh. *J Craniomaxillofac Surg* 2015;43:2183-2188.
29. Rocuzzo M, Ramieri G, Bunino M, Berrone S. Autogenous bone graft alone or associated with titanium mesh for vertical alveolar ridge augmentation: a controlled clinical trial. *Clin Oral Implants Res* 2007;18:286-294.
30. Lizio G, Corinaldesi G, Marchetti C. Alveolar ridge reconstruction with titanium mesh: a three-dimensional evaluation of factors affecting bone augmentation. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014;29:1354-1363.
31. Rocuzzo M, Ramieri G, Spada MC, Bianchi SD, Berrone S. Vertical alveolar ridge augmentation by means of a titanium mesh and autogenous bone grafts. *Clin Oral Implants Res* 2004;15:73-81.
32. Shikinami Y, Matsusue Y, Nakamura T. The complete process of bioresorption and bone replacement using devices made of forged composites of raw hydroxyapatite particles/poly L-lactide (F-u-HA/PLLA). *Biomaterials* 2005;26:5542-5551.
33. Matsuo A, Chiba H, Takahashi H, Toyoda J, Abukawa H. Clinical application of a custom-made bioresorbable raw particulate hydroxyapatite/ poly-L-lactide mesh tray for mandibular reconstruction. *Odontology* 2010;98:85-88.
34. Spath S, Drescher P, Seitz H. Impact of particle size of ceramic granule blends on mechanical strength and porosity of 3D printed scaffolds. *Materials* 2015;8:4720-4732.
35. Ruhe PQ, Hedberg EL, Padron NT, Spauwen PH, Jansen JA, Mikos AG. rhBMP-2 release from injectable poly (DL-lactic-co-glycolic acid)/ calcium-phosphate cement composites. *J Bone Joint Surg Am* 2003;85A:75-81.