

# Evaluation de l'intérêt de la préformation préopératoire d'une plaque d'ostéosynthèse en titane sur modèle obtenu par impression 3D pour le traitement des fractures du plancher orbitaire : une revue systématique de la littérature et description d'un nouveau protocole

*Evaluation of the preoperative pre-bending of titanium mesh on a model obtained by 3D printing for treatment of orbital floor fractures : a systematic review of the literature and description of a new protocol*

**Engels T., Waskiewicz K., Glineur R. et Oth O.**

Service de Stomatologie et Chirurgie maxillo-faciale, Hôpital Erasme, Université libre de Bruxelles (ULB)

## RESUME

*Introduction : La fracture du plancher orbitaire est une pathologie fréquente. Elle peut entraîner des conséquences graves comme l'énoptalmie et la diplopie. Une reconstruction orbitaire anatomique est primordiale pour restaurer la fonction oculaire et l'esthétique faciale. Le titane est un matériau de choix dans cette indication. L'adaptation d'une plaque d'ostéosynthèse à l'anatomie complexe du plancher en peropératoire est la principale difficulté chirurgicale. Pour contourner celle-ci, il est intéressant de préformer la plaque en préopératoire sur un modèle orbitaire 3D. Cette étude réalise une revue systématique sur le sujet et propose un protocole innovant, simple et accessible.*

*Matériel et méthodes : Une revue systématique examinant 5 bases de données a identifié un total de 288 résultats. Parmi ceux-ci, 24 articles ont été sélectionnés pour une analyse approfondie et 11 publications ont finalement été retenues. Un nouveau protocole utilisant cette technique est décrit.*

*Résultats : Cette revue systématique met en évidence les avantages qu'offre cette technologie pour le traitement chirurgical des fractures de plancher d'orbite, notamment une amélioration de la précision des reconstructions chirurgicales, une réduction de la durée opératoire et moins de morbidité postopératoire.*

## ABSTRACT

*Introduction : Orbital floor fracture is a frequent pathology. It can lead to serious consequences such as enophthalmia and diplopia. Anatomical orbital reconstruction is essential to recover ocular function and facial aesthetics. Titanium is a widely used material in this indication. The adaptation of a titanium plate to the complex anatomy of the orbital floor is the main difficulty of this surgery. To counter this, it is advantageous to prebend the titanium plate preoperatively on a 3D orbital model. This study provides a systematic review on the subject and proposes a simple and affordable method for all.*

*Methods : A systematic review screening 5 databases identified 288 papers. Of these, 24 were selected for further analysis and 11 matching the topic were finally selected. A new protocol using this technology is described.*

*Results : This systematic review highlights the advantages of this technology for surgical treatment of orbital floor fractures, including improved reconstruction accuracy, reduced operative time and better postoperative patients' condition .*

*Conclusions : 3D printing technology offers many benefits in the management of orbital floor fractures. To develop its expansion, we propose a safe and affordable protocol using this technology exploiting free softwares.*

*Conclusions : La technologie d'impression 3D offre de nombreux avantages dans la prise en charge des fractures du plancher orbitaire. Pour développer son expansion, nous proposons un protocole sûr et accessible utilisant cette technologie exploitant uniquement des logiciels gratuits.*

*Rev Med Brux 2019 ; 40 : 502-8  
Doi : 10.30637/2019.18-047*

*Rev Med Brux 2019 ; 40 : 502-8  
Doi : 10.30637/2019.18-047*

*Key words : orbital fractures, prebent titanium mesh, three-dimensional printing, rapid prototyping*

## INTRODUCTION

La fracture du plancher orbitaire est une pathologie fréquente, rencontrée dans plus de 40 % des traumatismes maxillo-faciaux<sup>1-8</sup>. Les causes principales sont les accidents routiers, les agressions, les chutes et les accidents sportifs<sup>4,6,9</sup>. Les symptômes varient selon l'étendue et la localisation de la fracture. Ils comprennent des douleurs localisées et des dysesthésies dans le territoire de la branche sous-orbitaire du nerf trijumeau<sup>1,3,6-11</sup>. Les signes cliniques recherchés sont les ecchymoses et hématomes péri orbitaires, l'œdème palpébral, la lagophtalmie et les hémorragies conjonctivales. Les complications d'énophtalmie et de diplopie nécessitent une prise en charge chirurgicale<sup>1,3,6,8-11</sup>. L'énophtalmie est définie comme une asymétrie de la projection sagittale des globes oculaires de plus de 2 mm vers l'arrière<sup>1,8,11</sup>. Elle est provoquée par une augmentation du volume de l'orbite fracturée. Une augmentation du volume de l'ordre de 5 % est suffisante pour provoquer une énophtalmie franche<sup>1</sup>. La symétrie et l'esthétique faciale ainsi que la fonction oculaire en sont généralement atteintes<sup>2,12</sup>. La diplopie est une vision double décrite par le patient lors du regard dans une ou plusieurs zones de son champ visuel. Le patient se plaint de diplopie à l'élévation du regard lorsque la graisse orbitaire ou le muscle droit inférieur sont incarcérés dans le trait de fracture. Le diagnostic est établi par un test ophtalmologique dit test de Lancaster. La diplopie est très mal tolérée quand elle survient dans le champ de vision fonctionnel du patient.

Il existe différentes techniques de reconstruction du plancher orbitaire (téflon, matériaux résorbables, PDS, ...) dont les plaques d'ostéosynthèse en titane<sup>11,13-15</sup>. La principale difficulté de l'intervention est l'adaptation précise de la plaque en titane sur le plancher orbitaire fracturé afin de restaurer son anatomie<sup>1,3,11</sup>. Cette étape implique des pliages et essais successifs, nécessitant des abords chirurgicaux sous-palpébraux élargis, avec des risques de lésions des tissus mous de la péri-orbite et des tissus vasculo-nerveux intra-orbitaires. La durée opératoire en est également allongée. De plus, la forme de la plaque finalement obtenue n'est pas toujours optimale.

Dans les années 1980, les impressions tridimensionnelles (imprimantes 3D) ont fait leur apparition dans l'industrie mécanique. Le monde

médical s'intéresse à ses multiples possibilités depuis le début du 21<sup>e</sup> siècle<sup>16,17</sup>. En chirurgie maxillo-faciale, l'impression 3D est fréquemment utilisée pour la réalisation de guides de coupes en chirurgie orthognathique ou de modèles anatomiques tridimensionnels. Dans le traitement chirurgical des fractures du plancher orbitaire, la technologie est particulièrement avantageuse. L'impression d'un modèle 3D de l'orbite permet de visualiser de manière aisée la taille et la localisation exacte de la fracture. L'obtention d'un modèle 3D en miroir de l'orbite hétérolatérale saine permet d'y préformer la plaque d'ostéosynthèse pour assurer une reconstruction la plus anatomique possible. Le coût de cette technologie est le principal frein à sa généralisation. A l'origine, les prix des imprimantes 3D étaient très élevés, mais on assiste actuellement à une démocratisation de cette technologie. Par contre, les logiciels 3D spécifiques au domaine médical restent très onéreux. Parallèlement à ceux-ci, de nombreux logiciels sont disponibles gratuitement sur internet (*freeware*), mais leur prise en main est généralement plus complexe et nécessite un temps d'apprentissage plus long.

L'objectif de cet article est double :

1. Réaliser une revue systématique sur l'utilisation de la technologie d'impression 3D dans le domaine de la prise en charge des fractures du plancher de l'orbite ;
2. Décrire une méthode développée au sein du Service de Chirurgie maxillo-faciale permettant la prise en charge des fractures du plancher de l'orbite grâce à la technologie de l'impression 3D et utilisant des logiciels *freeware*. Cette méthode permet de plier la plaque d'ostéosynthèse en préopératoire, diminuer le temps opératoire, obtenir un résultat le plus anatomique possible et réduire la taille de l'incision chirurgicale.

## MATERIEL ET METHODES

### Revue de la littérature

Une revue de la littérature scientifique a été menée en examinant cinq bases de données : Medline, Elsevier Science Direct, Scopus, Springer Link et Cochrane Library. La formule de recherche suivante a été utilisée : (" *orbital fractures* ") AND (" *pre-bent titanium mesh* " OR " *preformed titanium mesh* " OR " *3D Model* " OR " *3D printing* " OR " *rapid*

prototyping "). Aucune limite dans le temps n'a été spécifiée.

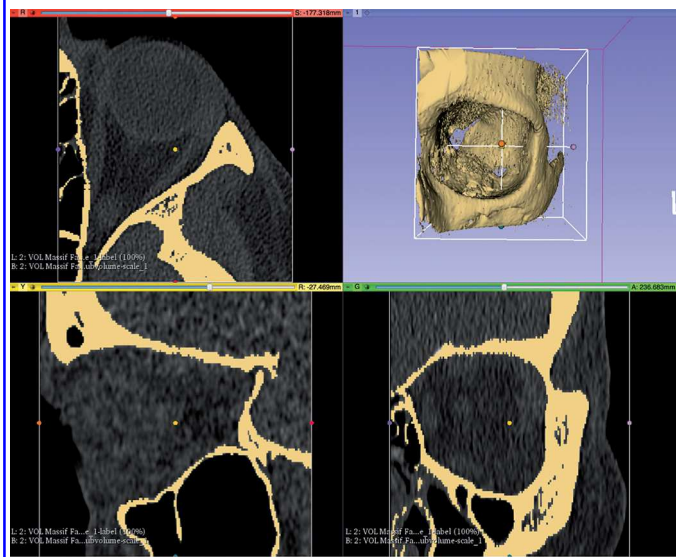
Les critères d'inclusion suivants ont été définis :

1. Etude ou *case report* portant sur l'être humain ;
2. Création d'un modèle orbitaire physique par la technique de l'impression 3D ;
3. Utilisation du modèle orbitaire comme support à la formation préopératoire d'une plaque d'ostéosynthèse en titane ;
4. Article rédigé en anglais ou en français.

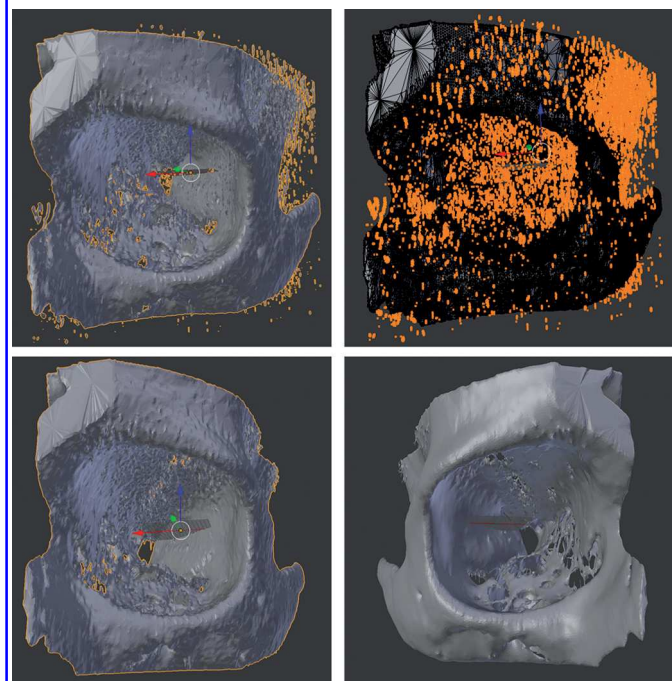
### Elaboration d'un nouveau protocole de préformation de la plaque d'ostéosynthèse permettant la reconstruction du plancher de l'orbite, sur un modèle en miroir de l'orbite saine, en utilisant des logiciels freeware

La segmentation du scanner se fait à l'aide du logiciel 3DSlicer®, afin d'obtenir un fichier au format STL (STereoLithography) (figure 1). Ce fichier STL est ensuite retravaillé avec un second logiciel freeware, Blender® (Blender Foundation, Amsterdam, Pays-Bas), dans le but d'obtenir notamment le modèle en miroir de l'orbite saine (figure 2). La dernière étape consiste à exporter le modèle vers l'imprimante 3D (Replicator+®, Makebot Industries, New-York, Etats-Unis) qui fonctionne sur le principe de la technologie d'impression additive FDM (*Fused Deposition Modeling*) et utilise un matériau thermoplastique : l'acide polylactique (PLA). Le PLA se présente sous la forme d'un filament solide chauffé à 215°C. A cette température, le matériau atteint son point de fusion et se liquéfie. Une fine couche de matière est déposée sur un support. A son contact, la température du PLA chute instantanément et le matériau retrouve sa forme solide. Une nouvelle couche de PLA est ensuite déposée sur la précédente pour former progressivement le modèle orbitaire. La plaque d'ostéosynthèse en titane (*Titanium Orbital Mesh Plate, Synthes®*) est ensuite préformée et adaptée sur ce modèle (figure 3). Elle est enfin protégée dans un

**Figure 1 :** Segmentation des structures osseuses de l'orbite gauche saine dans le logiciel 3DSlicer®.



**Figure 2 :** Manipulations du fichier STL dans le logiciel Blender®. Supérieur gauche : aspect d'origine à l'importation. Supérieur droit : sélection des zones parasites issues de la segmentation. Inférieur gauche : modèle nettoyé des zones parasites. Inférieur droit : aspect final du modèle, après miroir dans le plan sagittal et lissage des surfaces.



**Figure 3 :** Préformation de la plaque de titane selon l'anatomie du plancher orbitaire sur le modèle 3D.

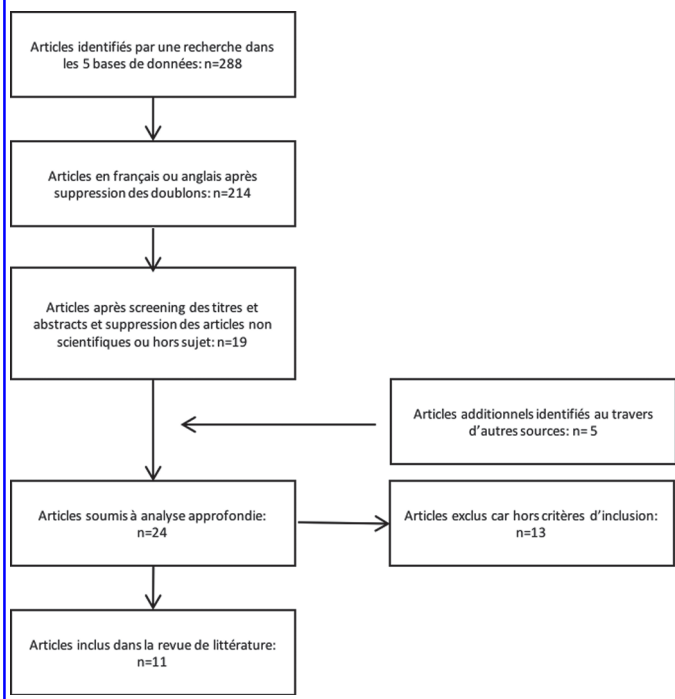


contenant rigide pour prévenir toute déformation lors de sa stérilisation.

## RESULTATS

Un total de 288 résultats a été identifié en examinant les 5 bases de données. A l'aide du logiciel d'assistance à la recherche scientifique Zotero®, 24 articles ont été retenus pour une analyse approfondie. Après analyse du texte intégral, 11 d'entre eux ont finalement été sélectionnés pour la revue de littérature, tous publiés entre 2006 et 2017 (figure 4)<sup>2-6,9,10,12,15,16,18</sup>. Un résumé des données est disponible sous forme de tableau.

**Figure 4 : Diagramme de flux de la revue systématique.**



En 2006, Metzger décrit la nécessité d'une reconstruction optimale du plancher orbitaire fracturé pour la restauration de la fonction et de l'esthétique du visage<sup>2</sup>. Il effectue un miroir de l'orbite saine et imprime ce modèle pour y préformer une plaque de titane. Schön applique cette technique à 19 patients atteints d'une fracture du plancher orbitaire<sup>3</sup>. Ils ne déplorent aucune énoptalmie ou diplopie post-opératoire et décrivent une réduction du temps opératoire, ainsi qu'un geste chirurgical précis et peu invasif.

En 2009, Kozakiewicz applique cette technique chez 6 patients et conclut à sa validité dans la reconstruction des fractures du plancher orbitaire<sup>4</sup>. En 2011, l'étude est poursuivie chez 24 patients répartis en 2 groupes<sup>5</sup>. Le suivi et l'évaluation ophtalmologique des patients révèlent des résultats supérieurs dans le groupe traité à l'aide de l'impression 3D.

En 2011 toujours, Mustafa traite une série de 22 patients<sup>15</sup>. Aucune énoptalmie ou diplopie post-opératoire n'est rapportée par l'auteur. Il conclut que

**Tableau : Données des 11 articles inclus dans la revue de littérature.**

Auteurs	Effectif	Objectif de l'étude	Résultats/Conclusions
<b>Metzger et al. (2006)<sup>2</sup></b>	5 patients	Etude pilote, développe et teste la précision d'un protocole de préformation de plaques titane individuelles	Excellente précision des reconstructions orbitaires obtenues par la préformation des plaques titanes sur modèle 3D
<b>Schön et al. (2006)<sup>3</sup></b>	19 patients	Présente les résultats de reconstructions orbitaires par plaques titane préformées en préopératoire sur modèle 3D	Reconstructions plus rapides, précises et moins invasives à l'aide de plaques titane préformées, comparées aux reconstructions classiques
<b>Kozakiewicz et al. (2009)<sup>4</sup></b>	6 patients (4 reprises ou fractures anciennes)	Etude préliminaire, présente un protocole de réparation des fractures de plancher orbitaire par plaques titane préformées sur modèle 3D	Amélioration significative des symptômes chez 3 patients et guérison complète chez les 3 autres patients
<b>Kozakiewicz et al. (2011)<sup>5</sup></b>	24 patients (2 groupes de 12)	Etude rétrospective, comparaison de 2 groupes (technique classique vs préformation des plaques titane sur modèle 3D)	A 2 et 12 mois postopératoire, résultats supérieurs pour la vision et la mobilité oculaire dans le groupe 3D
<b>Mustafa et al. (2011)<sup>15</sup></b>	22 patients	Présente les résultats des reconstructions orbitaires par plaques titane préformées en préopératoire sur modèle 3D	Résolution précoce de diplopie chez 10 patients, légère diplopie résiduelle chez 6 patients, reprise chirurgicale chez 1 patient. Résolution de l'énoptalmie chez 8 patients sur 9. Réduction du temps opératoire et amélioration des résultats fonctionnels et esthétiques
<b>Kozakiewicz et al. (2013)<sup>9</sup></b>	57 patients	Compare l'utilisation des plaques titane préformées sur modèle 3D versus polyéthylène préformé	A 6 mois postopératoire, pas de différence de vision significative entre les 2 groupes
<b>Strong et al. (2013)<sup>10</sup></b>	15 cadavres (30 orbites)	Etude sur cadavre comparant 3 groupes : plaques titane préformées sur modèle 3D, adaptation des plaques "à la main" (technique classique) et plaques commerciales préformées	Pas de différence en termes de restauration du volume orbitaire. Préférence des auteurs pour les plaques préformées commercialement (groupe 3) pour la facilité d'utilisation et le faible coût
<b>Lim et al. (2014)<sup>16</sup></b>	3 patients	Rapport de 3 cas de fractures du plancher orbitaire, traités par la technique de préformation des plaques titane sur modèles 3D	Temps de placement peropératoire de la plaque titane variant de 1 à 6 minutes, bons résultats fonctionnels et diminution de la durée opératoire qui induit une réduction des coûts généraux
<b>Rana et al. (2015)<sup>12</sup></b>	34 patients (2 groupes de 17)	Comparaison de 2 groupes : reconstructions orbitaires par plaques titane préformées en préopératoire et par PSI (Patient Specific Implant)	Reconstructions orbitaires plus précises avec les PSI, mais le coût de cette technique limite son utilisation
<b>Zimmerer et al. (2016)<sup>6</sup></b>	195 patients	Etude prospective multicentrique comparant 2 groupes : reconstructions par la technique classique versus plaques titane préformées en préopératoire et PSI	Pas de différences en termes de complications à 12 semaines. Réduction du temps opératoire et reconstructions significativement plus précises avec les plaques préformées
<b>Zielinski et al. (2017)<sup>18</sup></b>	93 patients	Etude comparant 2 groupes : 39 patients traités par plaques titane préformées en préopératoire versus 54 patients traités par la technique classique	Pas de différence de résultats fonctionnels entre les 2 groupes. Dans le premier groupe, réduction du temps opératoire, du temps d'anesthésie, et amélioration de la condition postopératoire des patients

ces plaques d'ostéosynthèse individuelles sont aisées à manipuler, insérer et fixer au sein du foyer de fracture. Elles permettent de restaurer de façon précise le contour et le volume orbitaire, tout en réduisant le temps opératoire et en améliorant les résultats fonctionnels et esthétiques.

En 2013, Kozakiewicz publie une nouvelle étude comparant la préformation de plaques de titane sur modèle 3D avec l'utilisation d'un autre matériau préformé, le polyéthylène, sur un groupe de 57 patients<sup>9</sup>. Il conclut que les 2 méthodes peuvent être utilisées dans cette indication.

La même année, Strong présente une étude réalisée sur 15 cadavres. Il compare l'utilisation de plaques de titane préformées sur modèle 3D, préformées de manière " anatomiques " dans le commerce et modelées à la main en peropératoire<sup>10</sup>. Il conclut à la supériorité des plaques préformées disponibles dans le commerce du fait de leur facilité d'utilisation et de leur coût abordable. Il juge néanmoins trop chers les coûts de fabrication des modèles 3D.

En 2014, Lim applique la technique du miroir de l'orbite saine pour le traitement de 3 patients atteints de fractures orbitaires<sup>16</sup>. Le temps de placement peropératoire de la plaque de titane varie de 1 à 6 minutes. Il décrit d'excellents résultats fonctionnels et une nette diminution de la durée opératoire qui induirait une réduction des coûts généraux.

En 2015, Rana publie une étude portant sur 34 patients<sup>12</sup>. Il compare les reconstructions orbitaires par plaque de titane préformée sur modèle 3D et par un implant individuel, usiné spécifiquement pour le patient (*Patient Specific Implant, PSI*). Il démontre une nette supériorité en précision des reconstructions par *PSI*. Cependant, les coûts de fabrication de ce type d'implant et du système de navigation chirurgical nécessaire à son placement réduisent les possibilités d'utilisations de cette technologie à certains grands centres de pointe.

En 2016, Zimmerer publie une large étude prospective multicentrique rassemblant 195 patients<sup>6</sup>. Divisés en 2 groupes, le premier est traité par plaques de titane préformées de façon " anatomique " dans le commerce et le second est traité par plaques préformées sur un modèle imprimé en 3D ou par *PSI* usiné. Le temps opératoire est significativement réduit dans le second groupe. Il n'y a pas de différence significative au niveau des complications après 12 semaines de suivi. L'évaluation des scanners postopératoires démontre une supériorité significative des reconstructions chez les patients traités par implants individuels. Un biais est toutefois présent car certains patients ont bénéficié d'une assistance opératoire par un système de navigation chirurgical. Il n'est donc pas possible d'attribuer la précision des reconstructions avec certitude au seul type d'implant utilisé.

Enfin, Zielinski a récemment publié une étude portant sur 93 patients, traités soit de façon classique, soit par plaques préformées<sup>18</sup>. Il conclut que les plaques préformées ne donnent pas de différence significative d'un point de vue ophtalmologique, mais la condition postopératoire des patients est améliorée grâce à la diminution du temps chirurgical, du temps d'anesthésie général qui en découle et des pertes sanguines associées.

## DISCUSSION

La prise en charge chirurgicale des fractures du plancher de l'orbite est très controversée. Elle dépend de nombreux facteurs tels que la taille de la fracture, sa localisation, les symptômes et complications associés. Elle varie selon l'état général du patient et les habitudes du praticien et de son équipe<sup>1</sup>.

La greffe osseuse autologue était auparavant considérée comme le *gold standard* pour le traitement chirurgical des fractures du plancher orbitaire<sup>1-4,10,11,18,19</sup>. Le greffon osseux est prélevé au niveau crânien, maxillaire, mandibulaire, costal ou iliaque. Il est parfaitement toléré et n'entraîne pas de réaction immunologique. Cependant, cette technique présente des inconvénients. Elle nécessite un site donneur et est associée à une certaine morbidité : majoration du temps opératoire, du risque de complications hémorragiques et infectieuses et de la durée d'hospitalisation. De plus, le greffon est rigide et difficilement adaptable à l'anatomie orbitaire. Il peut entraîner des résultats assez décevants en termes de restauration. Enfin, il manque de moyens de fixité et sa résorption naturelle est imprévisible.

Ces inconvénients majeurs ont orienté les recherches vers de nouveaux matériaux alloplastiques<sup>2,4,11</sup>. Les greffes allogéniques de dure-mère lyophilisée, les biocéramiques, l'hydroxyapatite, le verre bioactif, le titane et certains produits résorbables ont tous rencontrés plus ou moins de succès<sup>11</sup>.

En 1992, Sugar traite pour la première fois, avec succès, une fracture orbitaire en utilisant une plaque de titane<sup>13</sup>. Il décrit le titane comme un matériau de choix pour une utilisation plus large en chirurgie maxillo-faciale. Actuellement, ce métal léger et résistant est l'un des matériaux alloplastiques les plus utilisés dans la discipline. Il est largement disponible, biocompatible et très bien toléré<sup>2,3,6,10,11,15,19</sup>. Sa résistance et sa rigidité sont adaptées à de nombreuses indications de reconstruction, surtout dans les cas de larges défauts. Enfin, il est aisément fixable à l'aide de vis et présente une faible susceptibilité aux infections. Il reste toutefois difficile à modeler. En 2003, Ellis et Tan comparent deux formes de reconstructions d'une fracture de plancher orbitaire, à l'aide, d'une part, d'un greffon osseux autologue et, d'autre part, d'une plaque de titane<sup>19</sup>. Ils concluent que les 2 matériaux peuvent être utilisés mais décrivent une meilleure précision anatomique pour les reconstructions en titane. Si l'utilisation de ces plaques est très répandue,

l'intervention chirurgicale reste techniquement délicate et complexe. Cependant, la restauration précise de l'anatomie orbitaire est primordiale pour la fonction oculomotrice et l'esthétique faciale<sup>2-5</sup>.

Dans les années 1980, les premières recherches sur l'impression 3D ont débuté dans l'ingénierie mécanique avant de gagner l'intérêt du monde médical<sup>16</sup>. En 2016, dans une revue de la littérature centrée sur l'utilisation de l'impression 3D dans le milieu médical, Tack illustre l'intérêt grandissant pour cette technologie<sup>17</sup>. Les imprimantes 3D sont exploitées dans de nombreuses spécialités telles que la chirurgie maxillo-faciale, la neurochirurgie et l'orthopédie. Cette technologie est très avantageuse. Elle permet une visualisation optimale des cas complexes par l'impression de modèles physiques. Du matériel d'ostéosynthèse personnalisé et adapté à chaque patient peut être façonné. Des guides de coupes chirurgicales peuvent être obtenus et utilisés dans les cas de chirurgie orthognathique ou de résections oncologiques. Enfin, les modèles anatomiques imprimés servent de supports pédagogiques dans l'enseignement et la formation des étudiants mais favorisent et améliorent aussi la relation médecin-patient.

Dans le cadre des fractures du plancher orbitaire, l'impression 3D est très utile pour contourner la principale difficulté de l'intervention, l'adaptation parfaite de la plaque à l'anatomie particulière du plancher de l'orbite. Classiquement, le chirurgien expose le foyer de fracture en abordant la région par une incision transconjonctivale ou transcutanée. Les tissus herniés dans le sinus maxillaire sont réduits dans la cavité orbitaire. La plaque de titane est pliée manuellement et introduite au contact du plancher pour essai. L'adaptation de la plaque nécessite très souvent de nombreux retraits et réinsertions de celle-ci afin d'obtenir un résultat rarement optimal. Ces essais successifs augmentent la durée opératoire, l'œdème et la morbidité per- et postopératoire. La préformation de la plaque permet sa réduction de surface et son insertion par un abord chirurgical réduit de type transconjonctival, non visible par rapport aux abords transcutanés<sup>5</sup>. La rançon cicatricielle et esthétique est bien moindre.

Toutefois, notre revue de littérature a mis en lumière les inconvénients de cette technologie. La coopération de nombreux intervenants attachés à différents départements de recherche est souvent nécessaire, allongeant inévitablement les délais de production des modèles 3D<sup>5,6,15</sup>. D'autre part, la technique du miroir de l'orbite saine ne peut pas être appliquée aux cas de fractures pan-faciales ou aux atteintes orbitaires bilatérales<sup>5</sup>. Enfin, les coûts liés à l'utilisation de cette technologie peuvent rapidement devenir prohibitifs<sup>6</sup>. Les *patient specific implants (PSI)* constituent la pointe de la technologie dans ce domaine. Ces *PSI* sont des plaques d'ostéosynthèse réalisées sur base d'un scanner tomodensitométrie du patient, et directement imprimées en titane. Elles sont donc parfaitement adaptées à l'anatomie propre

du patient. Cette technologie de précision implique des coûts importants peu adaptés à une utilisation de routine. Enfin, si les prix des imprimantes 3D commencent à se démocratiser, les protocoles suivis dans la majorité des études examinées nécessitent des logiciels 3D dont les coûts peuvent être un frein majeur à leur utilisation quotidienne<sup>12</sup>.

Pour ces raisons, nous avons cherché à développer un protocole au sein du Service de Stomatologie et Chirurgie maxillo-faciale de l'hôpital universitaire Erasme à l'aide de logiciels disponibles gratuitement sur internet. Ce protocole, tel qu'il est décrit dans la rubrique matériel et méthodes, est largement accessible. La concurrence sur le marché de l'impression 3D a permis de réduire globalement les coûts des machines : on trouve actuellement des imprimantes 3D performantes en dessous de 2.000 euros. Les consommables d'impression excèdent rarement les quelques euros, variant en fonction de la taille du modèle imprimé.

## CONCLUSION

La technologie de l'impression 3D est adaptée aux besoins rencontrés dans la prise en charge des fractures du plancher orbitaire. Elle offre de réels avantages techniques en favorisant l'aisance du geste chirurgical. La difficulté du pliage peropératoire de la plaque d'ostéosynthèse est contournée par sa préformation préopératoire sur modèle orbitaire 3D. La taille de la plaque ainsi réduite autorise la réalisation d'un abord chirurgical transconjonctival, ce qui évite les rançons esthétiques des cicatrices cutanées.

La revue de la littérature a mis l'accent sur l'optimisation de la sécurité du patient, la diminution de la durée opératoire et de la morbidité postopératoire. La précision des reconstructions orbitaires obtenues induit un impact positif sur la restauration de la fonction visuelle et sur l'esthétique du visage des patients.

Il nous semble, de ce fait, intéressant de rendre cette technologie accessible par un protocole peu onéreux, basé sur l'utilisation de logiciels disponibles gratuitement sur internet, les seuls investissements nécessaires étant l'imprimante 3D et ses consommables.

Conflits d'intérêt : Le Dr Oth a reçu une bourse de la Direction médicale de l'Hôpital Erasme pour la réalisation de ce travail.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Gart MS, Gosain AK. Evidence-based medicine : Orbital floor fractures. *Plast Reconstr Surg*. 2014;134(6):1345-55.
2. Metzger MC, Schön R, Schulze D, Carvalho C, Gutwald R, Schmelzeisen R. Individual preformed titanium meshes for orbital fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2006;102(4):442-7.

3. Schön R, Metzger MC, Zizelmann C, Weyer N, Schmelzeisen R. Individually preformed titanium mesh implants for a true-to-original repair of orbital fractures. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2006;35(11):990-5.
4. Kozakiewicz M, Elgalal M, Loba P, Komuński P, Arkuszewski P, Broniarczyk-Loba A *et al.* Clinical application of 3D pre-bent titanium implants for orbital floor fractures. *J Craniomaxillofac Surg.* 2009;37(4):229-34.
5. Kozakiewicz M, Elgalal M, Piotr L, Broniarczyk-Loba A, Stefanczyk L. Treatment with individual orbital wall implants in humans - 1-Year ophthalmologic evaluation. *J Craniomaxillofac Surg.* 2011;39(1):30-6.
6. Zimmerer RM, Ellis E 3rd, Aniceto GS, Schramm A, Wagner ME, Grant MP *et al.* A prospective multicenter study to compare the precision of posttraumatic internal orbital reconstruction with standard preformed and individualized orbital implants. *J Craniomaxillofac Surg.* 2016;44(9):1485-97.
7. Dubois L, Steenen SA, Gooris PJ, Mourits MP, Becking AG. Controversies in orbital reconstruction-I. Defect-driven orbital reconstruction : a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2015;44(3):308-15.
8. Wan KH, Chong KK, Young AL. The Role of Computer-Assisted Technology in Post-Traumatic Orbital Reconstruction : A PRISMA-driven Systematic Review. *Sci Rep.* 2015;5:17914.
9. Kozakiewicz M, Szymor P. Comparison of pre-bent titanium mesh versus polyethylene implants in patient specific orbital reconstructions. *Head Face Med.* 2013;9:32.
10. Strong EB, Fuller SC, Wiley DF, Zumbansen J, Wilson MD, Metzger MC. Preformed vs intraoperative bending of titanium mesh for orbital reconstruction. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2013;149(1):60-6.
11. Bairo F. Biomaterials and implants for orbital floor repair. *Acta Biomater.* 2011;7(9):3248-66.
12. Rana M, Chui CH, Wagner M, Zimmerer R, Rana M, Gellrich NC. Increasing the accuracy of orbital reconstruction with selective laser-melted patient-specific implants combined with intraoperative navigation. *J Oral Maxillofac Surg.* 2015;73(6):1113-8.
13. Sugar AW, Kuriakose M, Walshaw ND. Titanium mesh in orbital wall reconstruction. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 1992;21(3):140-4.
14. Gear AJ, Lokeh A, Aldridge JH, Migliori MR, Benjamin CI, Schubert W. Safety of titanium mesh for orbital reconstruction. *Ann Plast Surg.* 2002;48(1):1-9.
15. Mustafa SF, Evans PL, Bocca A, Patton DW, Sugar AW, Baxter PW. Customized titanium reconstruction of post-traumatic orbital wall defects : a review of 22 cases. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2011;40(12):1357-62.
16. Lim CG, Campbell DI, Clucas DM. Rapid Prototyping Technology in Orbital Floor Reconstruction : Application in Three Patients. *Craniomaxillofac Trauma Reconstr.* 2014;7(2):143-6.
17. Tack P, Victor J, Gemmel P, Annemans L. 3D-printing techniques in a medical setting : a systematic literature review. *Biomed Eng Online.* 2016;15(1):115.
18. Zieliński R, Malińska M, Kozakiewicz M. Classical versus custom orbital wall reconstruction: Selected factors regarding surgery and hospitalization. *J Craniomaxillofac Surg.* 2017;45(5):710-5.
19. Ellis E 3rd, Tan Y. Assessment of internal orbital reconstructions for pure blowout fractures : Cranial bone grafts versus titanium mesh. *J Oral Maxillofac Surg.* 2003;61(4):442-53.

**Correspondance :**

T. ENGELS  
 Hôpital Erasme  
 Service de Stomatologie et Chirurgie maxillo-faciale  
 Route de Lennik, 808  
 1070 Anderlecht  
 E-mail : thengels@ulb.ac.be

Travail reçu le 15 mai 2018 ; accepté dans sa version définitive le 12 février 2019.