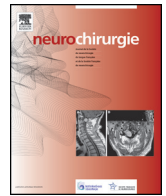




Disponible en ligne sur  
**ScienceDirect**  
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France  
**EM|consulte**  
www.em-consulte.com



Article original

## Pourquoi peut-on utiliser une plastie en hydroxyapatite pour réparer une perte de substance osseuse de la boîte crânienne chez les enfants : expérience à propos de 19 cas

*Why a hydroxyapatite cranioplasty can be used to repair a cranial bone defect in children: Experience of 19 cases*

P.-A. Beuriat, A. Szathmari, B. Grassiot, F. Di Rocco, C. Mottolese\*

Service de neurochirurgie pédiatrique, hôpital neurologique Pierre-Wertheimer, 69, boulevard Pinel, 69677 Bron, France

### INFO ARTICLE

*Historique de l'article :*

Reçu le 28 janvier 2016  
Reçu sous la forme révisée  
le 25 mars 2016  
Accepté le 9 avril 2016  
Disponible sur Internet le xxx

*Keywords:*

Cranioplasty  
Pediatric  
Bone defect  
Hydroxyapatite

*Mots clés :*

Plastie crânienne  
Pédiatrie  
Perte de substance osseuse  
Hydroxyapatite

### ABSTRACT

*Introduction.* – The use of an autologous bone graft to repair a cranial bone defect is sometimes impossible in pediatric cases. CUSTOMBONE® made with hydroxyapatite is a good alternative in these indications for neurosurgeons.

*Material and methods.* – We present a pediatric series of 19 children who benefited from a cranioplasty using CUSTOMBONE®. Their ages ranged between 8 months and 13 years with a mean of 6 years and 2 months. The most frequent indication was a cranioplasty after a post-traumatic decompressive craniectomy.

*Results.* – No complications were reported. Cosmetic outcome was satisfactory in all patients. Only one plasty needed to be changed after a severe head trauma during the postoperative period. The assessment of cerebral blood flow was improved in all patients postoperatively. Complete ossification of the plasty is a long process. The mean time for the ossification to begin was 13 months (range: 3–22 months). The mean follow-up was 2.7 years.

*Discussion.* – The excellent integration of the prosthesis is related to the accuracy of the reconstruction of the preoperative model. The minimum thickness of the plasty (4 mm) could represent a challenge in very young children. One limitation is the cost, which remains high.

*Conclusion.* – CUSTOMBONE® met the criteria of protection and restoration of the normal intracranial physiology with good cosmetic results, which are necessary qualities for excellent clinical outcome.

© 2016 Published by Elsevier Masson SAS.

### RÉSUMÉ

*Introduction.* – L'utilisation d'os autologue pour fermer une perte de substance osseuse est souvent impossible en pathologie pédiatrique. La plastie CUSTOMBONE® en hydroxyapatite représente pour nous un bon compromis dans cette indication.

*Matériel et méthode.* – Nous présentons une série pédiatrique de 19 enfants ayant bénéficié d'une chirurgie de cranioplastie avec le CUSTOMBONE®. L'âge des patients variait entre 8 mois et 13 ans avec un âge moyen de 6 ans et 2 mois. L'indication la plus fréquente était la cranioplastie post-craniectomie décompressive post-traumatique.

*Résultats.* – Aucun problème technique n'a été rencontré. Les résultats esthétiques ont été satisfaisants chez tous les patients. Seule une plastie a dû être reposée suite à un traumatisme crânien en postopératoire. Chez tous les patients, les débits sanguins cérébraux ont été améliorés en postopératoire. La période d'ossification complète de la plastie est longue. Un début d'ossification a pu être observé en moyenne 13 mois après la mise en place de la plastie (de 3 à 22 mois). La moyenne de suivie est de 2,7 ans.

\* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : [carmine.mottolese@chu-lyon.fr](mailto:carmine.mottolese@chu-lyon.fr) (C. Mottolese).

*Discussion.* – L'excellente capacité d'intégration de la prothèse est en relation à la précision de la reconstruction du modèle préopératoire. L'épaisseur minimum de la plastie (4 mm) peut représenter un problème chez les patients en bas âge. Une limite à son utilisation est son prix qui reste élevé.

*Conclusion.* – La plastie CUSTOMBONE® remplit à notre avis les critères de protection, de restauration de la physiologie cérébrale normale avec des résultats esthétiques satisfaisants, qualités nécessaires pour des résultats cliniques excellents.

© 2016 Publié par Elsevier Masson SAS.

## 1. Introduction

Les plasties crâniennes représentent une chirurgie nécessaire chez les adultes et chez les enfants. Le meilleur matériel pour pouvoir réaliser une plastie crânienne est le tissu autologue [1–3].

Parfois la perte de substance peut être si importante que l'utilisation de matériel autologue pose des problèmes car la surface à prélever est trop importante avec un taux de complications qui n'est pas négligeable et ce même en pathologie pédiatrique [4–6].

Pour éviter ces complications, il devient nécessaire d'utiliser des matériaux substitutifs. Différents matériaux sont actuellement disponibles. L'hydroxyapatite ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ), reproduit de façon synthétique en 3 dimensions (3D) l'hydroxyapatite humaine, composant essentiel de l'os. Sa structure favorise l'osté-conduction et l'ostéo-induction. Il n'est pas reconnu comme étranger par l'organisme, ceci explique l'absence de phénomène de rejet et le faible risque infectieux [7]. Les prothèses sont constituées à 80 % par des macropores et à 20 % par des micropores [8–10]. La microporosité favorise l'imbibition d'eau.

Nous présentons notre expérience de l'utilisation de la plastie CUSTOMBONE® (Fin-Ceramica Faenza S.p.A and Codman Neuro Inc, Depuy Synthes company) dans la réparation des pertes de substances osseuses chez l'enfant.

## 2. Notre expérience

### 2.1. Matériel et méthodes

Entre 2006 et 2013, nous avons opéré 19 enfants consécutivement pour une perte de substance osseuse au niveau crânien. Les différentes données cliniques et radiologiques ont été rétrospectivement analysées.

L'âge variait entre 8 mois et 13 ans avec un âge moyen de 6 ans et 2 mois (4 enfants avaient moins de 5 ans, médiane : 4 ans et 8 mois). Il s'agissait de 7 filles et de 12 garçons. L'indication de plastie était dans 3 cas à la suite d'un sacrifice du volet envahi par un processus tumoral, dans 2 cas à la suite d'un problème infectieux, après exérèse d'une tumeur cérébrale et après chirurgie d'un anévrisme de la bifurcation carotidienne gauche. Dans les 14 autres cas c'était à la suite de volet décompressif pour des traumatismes crâniens graves. Les localisations des différents volets sont résumées dans le **Tableau 1**.

Dans ce groupe de patients chez trois malades opérés dans d'autres centres, le volet osseux n'avait pas été conservé. Chez une des deux patients opérés pendant un séjour à l'étranger, l'infection

**Tableau 1**

Localisation des différents volets ayant bénéficié d'un CUSTOMBONE®.  
Localization of the different bone defect that benefited from a CUSTOMBONE®.

Localisation	Nombre de patients
Hémisphérique droit	8
Hémisphérique gauche	5
Fronto-temporal	2
Bi-frontal	3
Fosse postérieure	1

s'était développée au niveau du site d'implantation, au niveau de la paroi abdominale, pour conserver le volet.

Chez trois enfants d'un âge inférieur à trois ans opérés à la suite d'un accident de la voie publique, la lente progression clinique et la récupération tardive avaient rendu inadéquate le volet pour combler la lacune osseuse. Chez trois enfants, la plastie avait été nécessaire après le sacrifice d'un volet d'hémi-craniectomie remis en place après conservation dans notre banque d'os. Chez deux patients, la plastie a été réalisée après une large craniectomie pour une ostéite infectieuse associée à un empyème extradural dans la région frontale, consécutive à une pan sinusite maxillo-ethmoïdo-spenoïdale ayant nécessité un traitement antibiotique. Dans tous les cas où il y avait un antécédent infectieux, les plasties ont été réalisées après un délai d'au moins un an selon le protocole de notre comité de lutte contre les infections nosocomiales.

Tous les enfants ont été suivis en postopératoire sauf un qui est parti dans un autre pays européen après un an. Le suivi le plus court était de seulement 6 mois et le plus long de 9 ans. Le suivi moyen était de 2,7 ans. Tous les enfants continuent à être suivis.

Tous les enfants ont bénéficié de mesure du débit sanguin cérébral avant la remise en place de la plastie. Un contrôle postopératoire a pu être pratiqué chez tous les patients entre 6 et 12 mois après la mise en place de la plastie.

Tous les enfants ont un suivi clinique et pour la totalité des patients nous avons pu avoir au moins un contrôle avec un scanner cérébral. Le scanner a permis d'évaluer la présence d'une néo-régénération osseuse, d'une éventuelle dislocation de la plastie, d'une ossification complète de la plastie. En général, le scanner cérébral de contrôle a été réalisé à 48 heures après la procédure chirurgicale, ensuite à trois mois pour la première consultation et à un an et ensuite une fois par an selon le protocole que nous avons organisé. Nous n'avons pas utilisé une échelle pour mettre en évidence le degré d'ossification de la plastie mais nous avons simplement rapporté la présence de régénération de tissu osseux. Avec les coupes osseuses, nous avons aussi étudié l'alignement des berges osseuses et donc la présence d'un escalier, soit dans le sens d'un enfoncement, soit dans le cas d'un soulèvement du volet. Pour cette évaluation, le scanner 3D semble être utile.

Les résultats esthétiques ont été jugés en fonction de la persistance et de la visibilité d'asymétrie dans la région concernée par la plastie. Cette évaluation comporte deux seuls critères : satisfaisant ou non satisfaisant du point de vue de la famille, du patient (quand cela est possible) et de l'équipe médicale.

### 2.2. Résultats

Chez tous les patients, la plastie crânienne a été bien encastrée dans le lit de réception. L'adaptabilité a été jugée satisfaisante chez tous les patients exceptés deux, avec un défaut fronto-orbitaire dans un cas et au niveau du vertex chez l'autre. Pour ce dernier cas, la fixation du volet était bonne mais avec protrusion du vertex palpable à l'extérieur, sans véritable conséquence esthétique. Dans le cas de la prothèse fronto-orbitaire, le résultat esthétique n'a pas été jugé parfait en termes de symétrie même si la correction était bonne par rapport à la situation de départ (exérèse

d'une tumeur du nerf optique en bas âge ayant développé une asymétrie fronto-orbitaire sévère).

Une seule patiente a présenté une complication sous forme de pseudo-méningocèle qui a nécessité un drainage avec une dérivation méningo-péritonéale (dérivation sans valve entre la pseudo-méningocèle et le péritoine) pendant une période de six mois.

Cette patiente est la seule à avoir présenté une fracture de la plastie après reprise d'une activité physique sans limitations. Elle avait un retard neuropsychologique avec une épilepsie séquellaire responsable de chutes avec traumatisme crânien fréquentes, et l'un de ces traumatismes a été responsable de la fracture complète d'une plastie frontale. Cela a nécessité une intervention chirurgicale, d'une part, pour substituer la portion endommagée et, d'autre part, pour changer la dérivation méningo-péritonéale obstruée par les débris de la plastie. Dans ce cas particulier, nous avons pu bénéficier du deuxième exemplaire de la plastie qui a permis de ne pas attendre une nouvelle confection et d'exécuter la substitution dans le même temps.

Ce seul accident confirme, à notre avis, les propriétés de résistance du matériel et en conséquence, nous ne conseillons pas l'utilisation d'un casque de protection même chez les patients avec épilepsie.

Tous les patients ont eu un contrôle scannographique selon le protocole (Fig. 1) à 3 mois et à un an de la mise en place de la plastie. Deux exceptions : un patient qui est parti dans son pays d'origine et un autre pour lequel le suivi n'a été que de six mois.

Du point de vue radiologique, l'étude des scanners de contrôle et surtout l'évaluation des scanners en 3D ont permis de retrouver la trame de la plastie. Dans tous les cas, il a été possible de mettre en évidence la présence de ponts osseux d'ossification, ce qui montre la possibilité d'ostéo-induction et d'ostéo-conduction de la plastie et donc la possibilité de favoriser la pénétration de tissu néoformé à travers la structure poreuse du modèle (Fig. 2). Un début d'ossification a pu être observé en moyenne 13 mois après la mise en place de la plastie (de 3 à 22 mois).

Chez les deux patients de moins de deux ans, on a constaté sur les coupes osseuses une différence d'épaisseur entre la plastie et l'os. Ceci détermine le dépassement de la berge externe de la plastie de 1 mm par rapport à la berge extérieure du site récepteur sans conséquence évidente ni fonctionnelle ni esthétique.

La fixation de la plastie a été effectuée avec du fil non résorbable (Fig. 3) sauf dans le dernier cas pour lequel des clips métalliques ont été aussi employés sans aucun inconvénient : pas d'altération de la structure de la plastie ni de fracture.

L'étude des débits sanguins cérébraux avant la remise de la plastie a montré une réduction soit du volume sanguin total, soit une

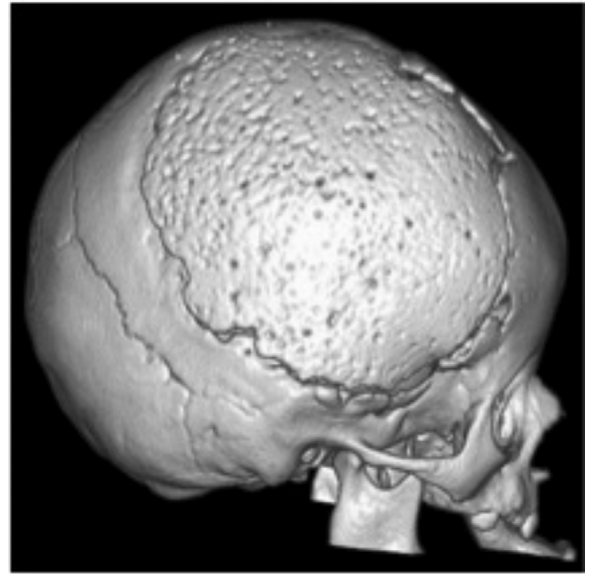


Fig. 1. Reconstruction 3D du scanner postopératoire immédiat : on note la parfaite adaptabilité de la plastie au niveau du site receveur.  
3D reconstruction of the early postoperative CT scan: there is a perfect adaptability of the plasty.

réduction des volumes sanguins dans les régions fronto-pariétales ou pariéto-occipitales dites zones frontières toujours associées à des manifestations cliniques. Les contrôles des débits sanguins pratiqués entre 6 et 12 mois après l'intervention ont montré dans tous les cas leur normalisation, ce qui confirme que la plastie CUSTOMBONE® favorise le retour à la normale du milieu intracrânien (Fig. 4).

Les résultats cosmétiques à long terme ont été jugés bons à excellents avec aucune plainte de la part de familles ni des enfants plus grand (Fig. 5).

### 3. Discussion

La réalisation d'une plastie crânienne est récurrente en neurochirurgie. La cause la plus fréquente est la craniectomie décompressive post-traumatique suivie du sacrifice d'un volet après une complication infectieuse avec ostéite ou en cas d'invasion tumorale obligeant sa suppression pour obtenir une exérèse complète et enfin les complications ischémiques [11].

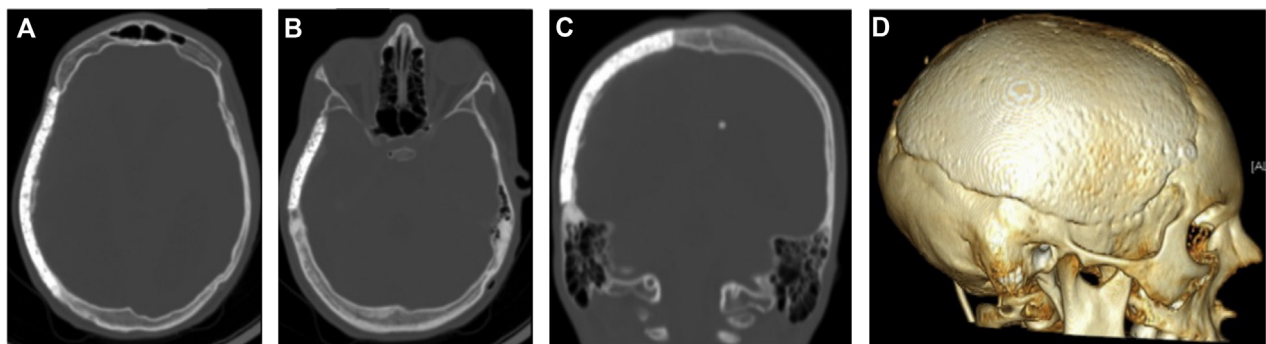
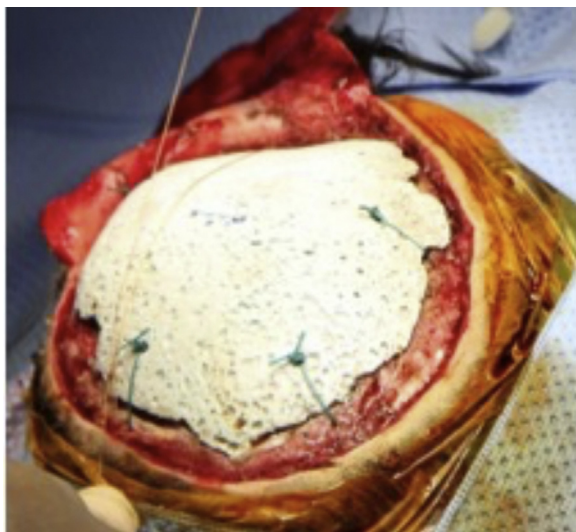


Fig. 2. Scanner postopératoire à distance. A et B. Coupe axiale, on note l'ostéo-intégration de la plastie au niveau de la région pariétale (A) et temporo-basale (B). C. Coupe coronale, on note une formation d'os au contact de la plastie depuis la zone de contact temporo-basale avec l'os receveur qui s'étend quasiment tout le long de celle-ci. D. Reconstruction 3D du scanner montrant différent pont osseux entre la cranioplastie et l'os receveur.  
Late postoperative CT scan. A and B. Axial view, see the osteo-integration of the plasty at the level of the parietal (A) and temporo-basal (B) region. C. Coronal view, note the bony formation on contact with the internal part of the plasty. D. 3D - scan reconstruction showing bone bridge between the cranial vault and the plasty.



**Fig. 3.** Vue peropératoire : la plastie est fixée avec du fil résorbable.  
*Peroperative view: the plasty is attached with a resorbable suture.*

### 3.1. Historique des matériaux utilisés pour les plasties crâniennes

Différents matériaux ont été préconisés pour la fermeture d'une perte de substance osseuse au niveau du crâne. Les cartilages de cadavres humains, le méthyl-méthacrylate, le vitallium, le ticonium, le tantale et le titane ont été utilisés. Tous ces matériaux ont des avantages et des inconvénients [4,5,12-14] ce qui montre que, même de nos jours, il n'y a pas un consensus sur leur choix. En effet, le premier substitut proposé dans l'air moderne a été le cartilage de cadavre humain. Celui-ci a montré un haut pourcentage d'échec en termes d'ossification et d'infections [4]. Les mêmes problèmes ont été rapportés avec l'utilisation d'os de cadavre humain [5]. Le vitallium ne présentait pas les qualités de flexibilité pour le remodelage même si lui était attribué d'excellentes propriétés de résistance [12,13]. Le ticonium et le tantale présentent des bonnes qualités

de biocompatibilité mais sont coûteux et associés à une haute incidence de céphalées chez les patients et surtout à un problème de conduction de la chaleur qui représente une source de problèmes pour le système nerveux sous-jacent [14]. Enfin, le titane est sûrement difficile à modeler mais certainement moins cher et avec de bonnes propriétés de biocompatibilités et une bonne adaptabilité aux besoins radiologiques car il est possible de pratiquer des IRM sans artefacts gênants [5]. L'histoire montre que le substitut idéal doit avoir des qualités de résistance, d'adaptabilité et de biocompatibilité, à un coût convenable, permettant une utilisation efficace en chirurgie réparatrice.

L'hydroxyapatite synthétique [9] semble posséder tous les prérequis pour être considéré comme un matériau idéal pour la reconstruction crânienne compte tenu de son adaptabilité, de ses résultats esthétiques et du faible taux de complications observées. Ceci a déjà été montré en pathologie pédiatrique [6].

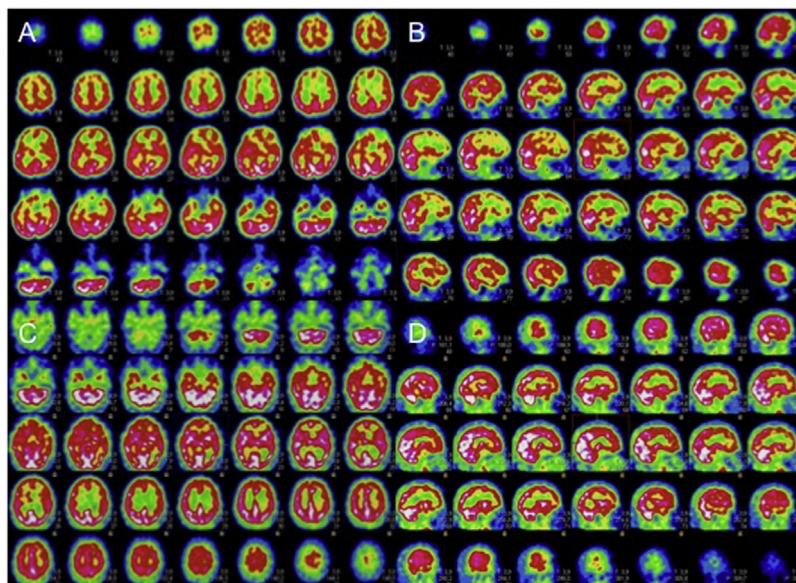
### 3.2. Pourquoi combler une perte de substance osseuse crânienne ?

Lorsque la boîte crânienne n'est pas fermée, le cerveau n'est plus dans son milieu physiologique. En conséquence, le fonctionnement cérébral est altéré car la pression de perfusion cérébrale (PPC) ainsi que les débits sanguins cérébraux sont anormaux [15,16].

En absence de volet osseux, la pression intracrânienne (PIC) s'équilibre avec les valeurs de la pression atmosphérique ce qui entraîne une baisse des performances de toutes les fonctions supérieures, mémoire, concentration, performances scolaires ainsi que des troubles moteurs. Des céphalées chroniques peuvent aussi apparaître souvent majorées par la position debout. La circulation du liquide céphalo-spinal (LCS) est aussi altérée [17]. Ce tableau clinique se rapproche du syndrome des ventricules fentes [18].

Lorsque la boîte crânienne est ouverte, il n'y a pas de protection naturelle pour le cerveau et les conséquences d'un traumatisme peuvent être plus sévères [19].

La reconstruction doit avoir des exigences esthétiques car le regard des autres peut engendrer un mal-être chez les patients.



**Fig. 4.** A et B. Étude des débits sanguins cérébraux chez un enfant après réalisation d'une craniectomie décompressive. On peut voir l'asymétrie droite-gauche avec hypoperfusion hémisphérique gauche. C et D. Étude des débits sanguins cérébraux chez un enfant après réalisation d'une cranioplastie. On peut voir que l'asymétrie droite-gauche a disparu et que l'ensemble de la perfusion cérébrale est amélioré.  
*A and B. Post-craniectomy study of the cerebral blood flow. Note the right-left asymmetry with a hypoperfusion of the left hemisphere. C and D. Post-cranioplasty study of the cerebral blood flow. Note that the right-left asymmetry has disappeared and that the global brain blood flow has increased.*



**Fig. 5.** Résultat esthétique à distance : celui-ci est très satisfaisant chez notre plus jeune patiente ayant bénéficié d'une plastie fronto-temporo-pariétale gauche à l'âge de 8 mois.

*Long-term cosmetic result: very satisfactory in our youngest patient who was operated on at the age of 8 using a left fronto-parietal bone repair after a decompressive craniectomy.*

Les qualités d'ostéo-intégration sont en relation avec la reconstruction du modèle 3D (Fig. 6) qui peut être modifié par le chirurgien. Le protocole radiologique comporte un scanner avec des coupes fines de 2 mm, une définition d'au moins 512 × 512 pixels et une inclinaison du gantry de 0°. Le chirurgien peut programmer un complément de résection osseuse afin de permettre un meilleur affrontement des berges du défaut osseux et aussi un résultat esthétique satisfaisant surtout lorsque la correction intéresse les régions frontales [11,20–23]. De plus, au bloc opératoire, des corrections avec la pince à os ou avec une fraise rotative peuvent être réalisées sans altérer la structure ni créer de points de faiblesse qui pourraient favoriser sa fracture.

La fixation de la plastie est facilement réalisée soit avec des fils non résorbables soit, comme nous l'avons fait, dans quelques cas, avec des clips métalliques.

Avec cette série nous avons montré que l'âge des patients dans l'absolu n'est pas un facteur limitant même si un âge inférieur à

deux ans a été déconseillé [6]. Ceci est lié au fait que l'épaisseur des prothèses ne peut pas descendre en dessous de 4 mm afin de ne pas altérer la structure intime de la prothèse et donc sa solidité.

D'autres publications ont montré le bien fondé de l'utilisation de la plastie CUSTOMBONE® avec un faible taux de complication, d'infection et d'instabilité de la prothèse [6,7,24].

### 3.3. La prothèse CUSTOMBONE® peut-elle avoir un effet protecteur adéquat ?

L'analyse de notre expérience nous permet de répondre affirmativement. Tous les patients qui ont un suivi supérieur à 3 ans (6 patients) ont une vie complètement normale et aucun événement indésirable n'a été rapporté concernant l'intégrité de la prothèse.

Le fait de n'avoir eu qu'un cas de bris de la plastie lié à des traumatismes crâniens, sévères et répétés, confirme les qualités de résistance aux stimuli extérieurs et la capacité de protection pour le système nerveux central. Nous ne conseillons pas le port d'un casque car cela est contraignant et fastidieux pour les enfants. De plus, ces enfants ne sont pas plus à risque d'être exposé à un traumatisme crânien qu'un enfant sans plastie.

Chez nos patients la mise en place d'une prothèse CUSTOMBONE® a permis la normalisation de la PPC dans les régions frontières et dans celles en hypoperfusion avant la plastie. Ceci a déjà été rapporté dans la littérature [15,16].

Il nous semble donc que cette prothèse a une excellente capacité de protection. De plus, elle permet la restauration de la physiologie normale à l'intérieur de la boîte crânienne. Si cela n'était pas le cas, l'évolution clinique des patients après pose de la cranioplastie ne serait pas si bonne et l'étude des débits sanguins cérébraux ne montrerait pas leur amélioration significative après cranioplastie. Cependant, ces propriétés de restauration des conditions physiologiques intracrâniennes sont une caractéristique également retrouvée lorsque la cranioplastie est réalisée avec d'autres matériaux que l'hydroxyapatite [16] y compris du matériel autologue [15].

### 3.4. L'ostéo-intégration de la plastie CUSTOMBONE® est-elle réelle ?

La capacité d'ostéo-intégration de l'hydroxyapatite a été montrée par différentes études de la littérature [23,25–29]. De plus, la



**Fig. 6.** Modélisation préliminaire du modèle 3D : basé sur le scanner postopératoire du patient.  
*3D modeling of the plasty: based on a postoperative CT scan.*

démonstration de son ossification a été rapportée dans la littérature [30,31].

Chez nos 19 patients, il a été mis en évidence la présence de ponts osseux entre les berges du site récepteur et ceux de la plastie. Le scanner en fenêtres osseuses et 3D peut montrer la présence d'une néoformation de tissu, qui est sans doute capable de fixer la prothèse et empêche certains mouvements de flottement en assurant la stabilité. L'imagerie permet de vérifier la symétrie de la reconstruction.

Hardy a établi une échelle d'ossification en quatre grades où le grade 4 a été défini comme le degré d'ossification confluite [11]. Notre expérience ne semble pas retrouver la même constatation car chez aucun de nos patients, même avec un recul de plus de 10 ans, nous n'avons pas pu mettre en évidence une ossification complète de la prothèse.

La trame poreuse de la plastie est toujours reconnaissable sur les coupes du scanner, ce qui suggère que l'ossification complète nécessite un délai supérieur à 10 ans. Les premiers signes de formation osseuse sont visibles entre 3 et 6 mois. L'ostéo-induction et la formation de ponts osseux ne s'accompagnent pas de phénomènes inflammatoires ni de réactions infectieuses.

Il est nécessaire d'attendre la résolution des phénomènes d'œdème cérébral et des troubles de la circulation liquidienne avant la mise en place de la plastie. En cas d'ostéite infectieuse, ce délai doit être de un an. Dans ce cas, la plastie ne doit pas être confectionnée trop tôt car il faut tenir compte de la croissance du crâne de l'enfant. Notre expérience montre que le délai de réimplantation n'augmente pas les risques de complications contrairement à ce qui a été rapporté par Beauchamp en 2010 [32].

À la différence de Hardy, nous n'avons pas observé de processus de néo-ossification en dessous de la prothèse mais nous utilisons un substitut de dure mère en goretex qui n'a aucun pouvoir ostéogénique [11].

### 3.5. Facilité d'utilisation

La mise en place est simple. Le délai entre la conception de la plastie et la livraison est raisonnable, dépassant rarement deux mois entre la demande et la livraison au bloc opératoire.

Le temps de préparation au bloc opératoire est court. Trente minutes de trempage dans un bain de rifampicine sont conseillées avant la pose définitive. Le respect de cette consigne permet de limiter les complications infectieuses.

### 3.6. Limites du CUSTOMBONE®

Un facteur limitant est néanmoins présent : le prix. Celui-ci est de 8000 euros pour deux exemplaires qui sont livrés en confectios stériles. Le prix élevé de départ est sans doute compensé par le faible taux de complications au regard de son utilisation et surtout des excellents résultats esthétiques qui permettent de réduire l'incidence de troubles comportementaux chez les patients. D'autres interventions chirurgicales sont évitées. Toutefois, une étude française a estimé que l'utilisation de la prothèse en hydroxyapatite représente une dépense d'au moins 3945 euros de plus par rapport à une plastie réalisée avec un matériel autologue [33].

La Haute Autorité de santé (HAS) et la Commission nationale d'évaluation des dispositifs médicaux et des technologies de santé (CNEDiMETS) ont établi des règles concernant l'autorisation d'utilisation du CUSTOMBONE® : « les substituts osseux sur mesure destinés à la reconstruction crânienne sont indiqués en cas de reconstruction crânienne, sur entente préalable, après échec de l'autogreffe ou dans le cas d'un délabrement supérieur à 35 cm<sup>2</sup> et/ou situé dans la zone antérieure ou fronto-temporale, chez les patients ayant un bon pronostic neurologique et/ou carcinologique » (HAS-avis de la CNEDiMETS du 28 janvier 2014).

Le prix reste élevé mais la plastie est livrée en deux exemplaires, chose qui peut être utile en cas de rupture par inadvertance au moment de la pose ou dans le cas d'une fracture quelques semaines ou mois après la mise en place, comme nous avons pu l'observer chez un de nos patients.

La réparation de lésions très étendues avec une large courbure, par exemple lors de craniectomie bi-frontale peut être un problème chez le petit enfant. Dans ce cas, la reconstruction est réalisée par l'intermédiaire d'une prothèse en deux parties plutôt qu'avec un modèle unique.

Enfin, nous ne conseillons pas l'utilisation du CUSTOMBONE® pour la reconstruction de la base du crâne en cas de pathologie traumatique ou tumorale. À ce niveau, l'utilisation de matériel osseux autologue nous semble très fortement recommandée.

## 4. Conclusion

Notre expérience confirme les excellentes qualités de la plastie CUSTOMBONE® dans le traitement des pertes de substances osseuses crâniennes chez les enfants. Elle permet une protection adéquate du cerveau, une restauration de la physiologie intracrânienne, des résultats esthétiques satisfaisants et une récupération clinique rapide qui facilite les programmes de rééducation.

La réimplantation d'un volet autologue représente le choix d'élection. Dans le cas où le volet osseux n'est plus disponible (infection, tumeur, résorption), l'utilisation de la prothèse CUSTOMBONE® mérite une place dans l'arsenal thérapeutique des neurochirurgiens pédiatres. Cette plastie représente un véritable progrès en termes de chirurgie réparatrice et reconstructive avec des résultats esthétiques extrêmement satisfaisants. Ces résultats sont possibles grâce à la technique de lithographie.

Les qualités de la plastie et les résultats cliniques obtenus justifient, à notre avis, l'actuel coût. Si le coût initial est élevé, nous sommes convaincus que les qualités de cette plastie permettent de réduire les dépenses à long terme lié à des multiples reprises chirurgicales et hospitalisations. De plus, l'amélioration de la qualité de vie des patients permettra leur meilleure intégration scolaire et sociale.

## Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

## Références

- [1] Kreuz FP, Hyatt GW, Turner TC, Bassett AL. The preservation and clinical use of freeze-dried bone. *J Bone Joint Surg Am* 1951;33-A:863–72 [passim].
- [2] Odom GL, Woodhall B, Wrenn FR. The use of refrigerated autogenous bone flaps for cranioplasty. *J Neurosurg* 1952;9:606–10, <http://dx.doi.org/10.3171/jns.1952.9.6.0606>.
- [3] Abbott KH. Use of frozen cranial bone flaps for autogenous and homologous grafts in cranioplasty and spinal interbody fusion. *J Neurosurg* 1953;10:380–8, <http://dx.doi.org/10.3171/jns.1953.10.4.0380>.
- [4] Durand JL, Renier D, Marchac D. [The history of cranioplasty]. *Ann Chir Plast Esthet* 1997;42:75–83.
- [5] Shah AM, Jung H, Skirboll S. Materials used in cranioplasty: a history and analysis. *Neurosurg Focus* 2014;36:E19, <http://dx.doi.org/10.3171/2014.2.FOCUS13561>.
- [6] Frassanito P, Tamburrini G, Massimi L, Di Rocco C, Nataloni A, Fabbri G, et al. Post-marketing surveillance of CustomBone Service implanted in children under 7 years old. *Acta Neurochir (Wien)* 2015;157:115–21, <http://dx.doi.org/10.1007/s00701-014-2254-y>.
- [7] Staffa G, Barbanera A, Faiola A, Fricia M, Limoni P, Mottaran R, et al. Custom made bioceramic implants in complex and large cranial reconstruction: a two-year follow-up. *J Craniomaxillofac Surg* 2012;40:e65–70, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcms.2011.04.014>.
- [8] Boyde A, Corsi A, Quarto R, Cancedda R, Bianco P. Osteoconduction in large macroporous hydroxyapatite ceramic implants: evidence for a complementary integration and disintegration mechanism. *Bone* 1999;24:579–89.

- [9] Fabbri M, Celotti GC, Ravaglioli A. Hydroxyapatite-based porous aggregates: physico-chemical nature, structure, texture and architecture. *Biomaterials* 1995;16:225–8.
- [10] Constantino P, Freidman C, Jones K, Chow L, Pelzer H, Sisson S. Hydroxyapatite cement. I. Basic chemistry and histologic properties. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1991;123:319–84.
- [11] Hardy H, Tollard E, Derrey S, Delcampe P, Péron J-M, Fréger P, et al. [Clinical and ossification outcome of custom-made hydroxyapatite prothese for large skull defect]. *Neurochirurgie* 2012;58:25–9, <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuchi.2011.09.006>.
- [12] Venable CS, Stuck WG, Beach A. The effects on bone of the presence of metals; based upon electrolysis: an experimental study. *Ann Surg* 1937;105:917–38.
- [13] Geib F. Vitallium skull plates. *JAMA* 1941;117:8–12.
- [14] Woolf J, Walker A. Cranioplasty: collective review. *Int Abs Surg* 1945;81:1–23.
- [15] Yoshida K, Furuse M, Izawa A, Iizima N, Kuchiwaki H, Inao S. Dynamics of cerebral blood flow and metabolism in patients with cranioplasty as evaluated by <sup>133</sup>Xe CT and <sup>31</sup>P magnetic resonance spectroscopy. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1996;61:166–71.
- [16] Wen L, Lou H-Y, Xu J, Wang H, Huang X, Gong J-B, et al. The impact of cranioplasty on cerebral blood perfusion in patients treated with decompressive craniectomy for severe traumatic brain injury. *Brain Inj* 2015;29:1654–60, <http://dx.doi.org/10.3109/02699052.2015.1075248>.
- [17] Stiver SI, Wintermark M, Manley GT. Reversible monoparesis following decompressive hemicraniectomy for traumatic brain injury. *J Neurosurg* 2008;109:245–54, <http://dx.doi.org/10.3171/JNS/2008/109/8/0245>.
- [18] Beuriat P-A, Paulus C, Grassiot B, Szathmari A, Mottolese C. Cranial vault expansion with the split bone flap technique in shunt-related craniostylosis. *Rev Stomatol Chir Maxillofac Chir Orale* 2015;116:239–44, <http://dx.doi.org/10.1016/j.revsto.2015.06.006>.
- [19] Wegeforth P. A note on experimental cranioplasty. *Ann Surg* 1919;69:384–8.
- [20] Donati L, Baruffaldi-Preis FW, Di Leo A, Donati V, Cavallini M, Marazzi M, et al. Ten-year experience with craniofacial implants: clinical and experimental results. *Int Surg* 1997;82:325–31.
- [21] Matukas VJ, Clanton JT, Langford KH, Aronin PA. Hydroxylapatite: an adjunct to cranial bone grafting. *J Neurosurg* 1988;69:514–7, <http://dx.doi.org/10.3171/jns.1988.69.4.0514>.
- [22] Rawlings CE. Modern bone substitutes with emphasis on calcium phosphate ceramics and osteoinductors. *Neurosurgery* 1993;33:935–8.
- [23] Cocchi R, Nataloni A, Martinetti R, Fabbri M, Belpassi A, Piconi C. Porous hydroxyapatite custom made component for the reconstruction of cranial theca areas. In: Yoshikawa T, editor. *Bioceramics*, vol. 12. Japan: Nara; 1999. p. 57–70.
- [24] Steffini R, Esposito G, Zanotti B, Iaccarino C, Fontanella MM, Servadei F. Use of “custom made” porous hydroxyapatite implants for cranioplasty: postoperative analysis of complications in 1549 patients. *Surg Neurol Int* 2013;4:12, <http://dx.doi.org/10.4103/2152-7806.106290>.
- [25] Costantino PD, Chaplin JM, Wolpoe ME, Catalano PJ, Sen C, Bederson JB, et al. Applications of fast-setting hydroxyapatite cement: cranioplasty. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2000;123:409–12, <http://dx.doi.org/10.1067/mhn.2000.107679>.
- [26] Durham SR, McComb JG, Levy ML. Correction of large (>25 cm<sup>2</sup>) cranial defects with “reinforced” hydroxyapatite cement: technique and complications. *Neurosurgery* 2003;52:842–5 [discussion 845].
- [27] Wiltfang J, Kessler P, Buchfelder M, Merten H-A, Neukam FW, Rupprecht S. Reconstruction of skull bone defects using the hydroxyapatite cement with calvarial split transplants. *J Oral Maxillofac Surg* 2004;62:29–35.
- [28] Eppley BL, Hollier L, Stal S. Hydroxyapatite cranioplasty: 2. Clinical experience with a new quick-setting material. *J Craniofac Surg* 2003;14:209–14.
- [29] Burstein FD, Cohen SR, Hudgins R, Boydston W, Simms C. The use of hydroxyapatite cement in secondary craniofacial reconstruction. *Plast Reconstr Surg* 1999;104:1270–5.
- [30] Messina G, Dones I, Nataloni A, Franzini A. Histologically demonstrated skull bone integration in a hydroxyapatite prosthesis in a human. *Acta Neurochir (Wien)* 2011;153:1717–8, <http://dx.doi.org/10.1007/s00701-011-1014-5>.
- [31] Marcacci M, Kon E, Zaffagnini S, Giardino R, Rocca M, Corsi A, et al. Reconstruction of extensive long-bone defects in sheep using porous hydroxyapatite sponges. *Calcif Tissue Int* 1999;64:83–90.
- [32] Beauchamp KM, Kashuk J, Moore EE, Bolles G, Rabb C, Seinfeld J, et al. Cranioplasty after postinjury decompressive craniectomy: is timing of the essence? *J Trauma* 2010;69:270–4, <http://dx.doi.org/10.1097/TA.0b013e3181e491c2>.
- [33] Lemée J-M, Petit D, Splingard M, Menei P. Autologous bone flap versus hydroxyapatite prosthesis in first intention in secondary cranioplasty after decompressive craniectomy: a French medico-economical study. *Neurochirurgie* 2013;59:60–3, <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuchi.2012.10.138>.