




Disponible en ligne sur
 ScienceDirect
www.sciencedirect.com

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



Imagerie dans le cathétérisme des cardiopathies congénitales : place de l'échocardiographie 3D transthoracique

3D echocardiography to guide transcatheter procedure in congenital heart disease

Ph. Acar*, S. Hascoet, P.-E. Séguéla, Y. Dulac

*Unité de cardiologie pédiatrique, Hôpital des Enfants, 330 avenue de Grande-Bretagne,
31026 Toulouse, France*

MOTS CLÉS

Échocardiographie 3D ;
Pédiatrie ;
Cathétérisme
interventionnel ;
Cardiopathies
congénitales

Résumé

L'échocardiographie 3D transthoracique a longtemps été freinée dans son développement en raison de conditions techniques d'acquisition compliquées et de qualité d'images médiocres. L'avènement des sondes matricielles permet au 3D en devenant temps réel d'entrer dans la pratique clinique courante. Si la voie œsophagienne a permis au 3D de trouver ses lettres de noblesses par ses descriptions anatomiques uniques des valves et des septa, l'échocardiographie transthoracique peut désormais se décliner en modes 2D, Doppler et 3D. Ses applications dans la cardiologie congénitale et pédiatrique sont multiples : description anatomique précise des défauts septaux auriculaires et ventriculaires, classification des bicuspidies aortiques et analyse du mécanisme de sténose. Ainsi, l'échocardiographie 3D permet-elle de sélectionner de façon non invasive les patients, de guider et de juger du résultat d'un cathétérisme interventionnel. L'imagerie 3D est un excellent moyen de communication entre l'imageur et le cardiologue interventionnel mais aussi de délivrer des informations claires au patient et à la famille avant et après un cathétérisme.

© 2011 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

KEYWORDS

3D echocardiography;
Children;

Summary

Three-dimensional echocardiography has improved dramatically due to technical advances in probe design and computer processing. The introduction of real time 3D echocardiography has led to its use in everyday clinical practice. Congenital heart disease demands a detailed understanding of the spatial relationships of cardiac structures to

*Auteur correspondant.

Adresse e-mail : acar.p@chu-toulouse.fr (Philippe Acar)

Interventional
catheterisation;
Congenital heart
diseases

plan treatment. The introduction of new transthoracic 3D probes has extended the applications to real-time guidance of catheter procedures. Prominent among the cardiac lesions which have been studied are: atrial septal defects, ventricular septal defects and stenotic bicuspid aortic valves. Its values should be decisive in many congenital cardiac lesions requiring interventional catheterisation. 3D echocardiography is an easy way to communicate to the patient and its family about the pathology.

© 2011 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Introduction

La place de l'imagerie ultrasonore dans le cathétérisme des cardiopathies congénitales s'est considérablement accrue cette dernière décennie avec l'apparition de nouveau mode (comme le 3D) et de nouvelles voies d'abords (transœsophagienne et intracardiaque). Le rôle de l'échocardiographie est multiple : préciser le diagnostic et indiquer le traitement, juger de la faisabilité du cathétérisme, guider le geste et démontrer le succès (ou l'échec) de la méthode. Avant d'en développer les indications, nous aborderons la technologie 3D.

Le mode 3D

L'échocardiographie 3D apparue dans les années 1990 s'est longtemps heurtée à des modes d'acquisition et de reconstruction longs et compliqués. La motorisation externe des sondes, la perte de l'information numérique lors de transfert vidéo et logiciel déporté lent rendaient le 3D inutilisable en pratique clinique. La vraie démocratisation du 3D est contemporaine de l'apparition du temps réel qui offre une acquisition volumique et surtout une visualisation tridimensionnelle en direct [1-3]. Les nouvelles générations d'appareil ultrasonore permettent un nouveau mode d'imagerie, le 3D, et le xplan en sus des classiques modes TM et 2D. La rapidité des examens (essentiel chez l'enfant) et la qualité des images y ont beaucoup gagné grâce aux sondes matricielles transthoraciques qui travaillent sur des gammes de fréquences de 1 à 7 MHz (Fig. 1). La nouvelle génération Philips [Echocardiographe iE33, xMATRIX édition (Philips Healthcare, Andover, MA, États-Unis)] avec ses sondes X5-1 et X7-2 donne la possibilité de réaliser un examen complet 2D et 3D par voie transthoracique chez l'enfant et l'adulte. L'introduction de la technologie xMATRIX dans la sonde transœsophagienne (sonde X7-2t) rajoute une 2^e voie d'abord au 3D particulièrement utile dans le guidage des procédures interventionnelles, propos qui sera traité par Eric Brochet. L'échocardiographie transthoracique 3D ne vient pas en remplacement de l'échographie conventionnelle mais en complément. Notre propos est de démontrer son apport dans les cardiopathies congénitales traitées par cathétérisme interventionnel.

Création d'une CIA

Chez l'enfant, il peut être nécessaire d'ouvrir la cloison interauriculaire dans 2 situations : la transposition des gros



Figure 1. Évolution des sondes 3D au cours du temps. a | b
a : Moteur rotationnel externe (années 1990-2002). La sonde 2D était placée dans un volumineux cylindre relié à un logiciel externe (Tomtec, Munich, All). Celui-ci commandait la rotation sur 180° avec des acquisitions séquentielles tous les 3 ou 4° de 60 à 80 coupes 2D transférées puis interpolées en volume par le logiciel. La lourdeur du dispositif, la lenteur d'acquisition et les risques inhérents d'artéfacts de mouvement rendaient son utilisation peu démocratique.
b : Exemple de sonde matricielle temps-réel (Philips, Andover, US). La 1^{re} sonde développée, la X3-1, apparue en 2002 était la moins résolutive et la plus volumineuse. En 2006, la sonde pédiatrique X7-2 (photo) avec ses hautes fréquences et une ergonomie optimisée a permis des acquisitions 3D en pédiatrie (y compris chez le nouveau-né). Très récemment, la sonde X5-1 de taille semblable à la sonde S5-1 devrait permettre un développement des acquisitions 3D chez l'adulte, et le grand enfant.

vaisseaux (pour favoriser le shunt des veines pulmonaires vers l'aorte) et l'hypertension artérielle primitive grave (pour ouvrir une soupape de sécurité en créant un shunt droite-gauche). Notre équipe a récemment rapporté l'utilisation de l'échocardiographie 3D lors d'une procédure de Rashkind chez un nouveau-né [4]. L'imagerie 3D du septum interauriculaire pourrait être une aide à tous les cathétérismes transeptaux afin de guider la ponction (Fig. 2). Il reste à définir la voie d'abord (transthoracique ou transœsophagienne) la plus facilement utilisable.

Fermeture des communications interauriculaires (CIA)

L'échocardiographie 3D des CIA a d'abord été transœsophagienne pratiquée en salle de cathétérisme [5]. Cette nouvelle imagerie de surface visualisant la structure par une vue « d'en-face », c'est-à-dire de l'une ou l'autre

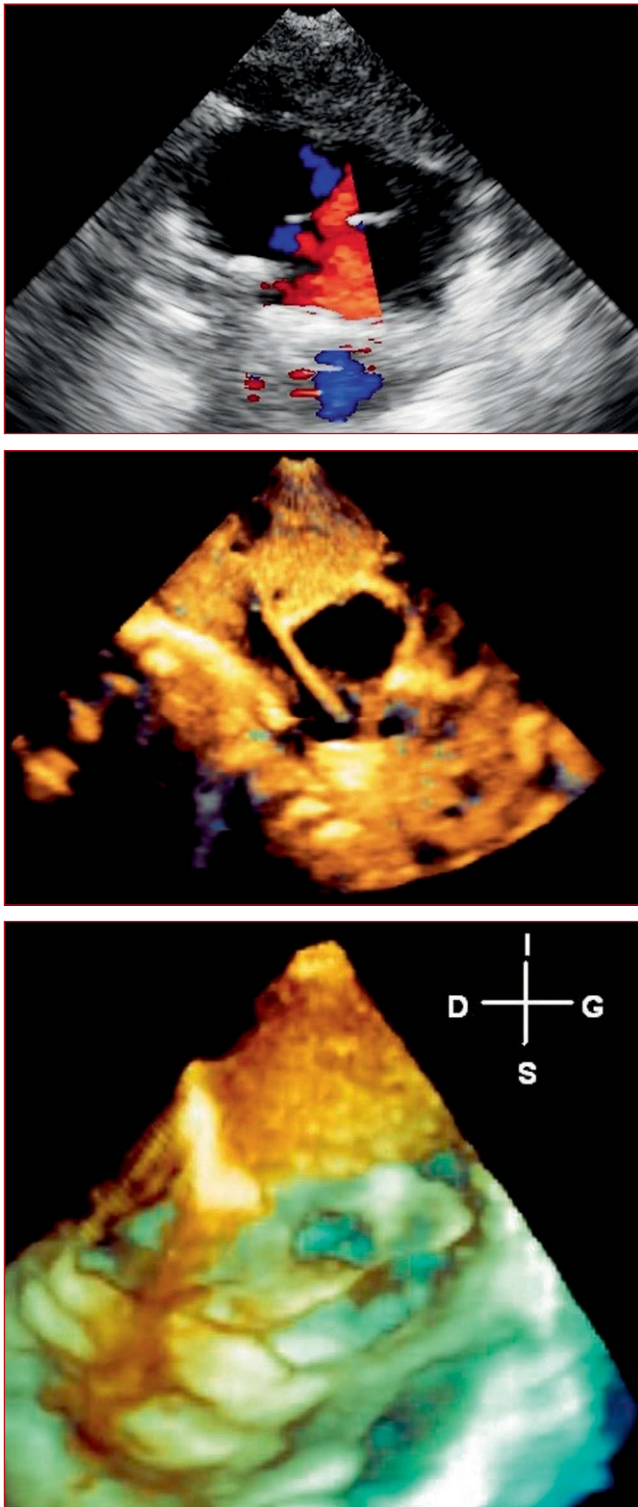


Figure 2. Guidage échographique d'une procédure de Rash-kind chez un nouveau-né avec transposition des gros vaisseaux.
 a : Coupe 2D sous-costale montrant un shunt auriculaire restrictif.
 b : Coupe épaisse 3D montrant le cathéter introduit par voie veine ombilicale franchir le foramen ovale
 c : Vue 3D de face à partir l'oreillette droite montrant la large CIA créée après déchirure au ballon. I : inférieur ; S : supérieur ; D : droite ; G : gauche.

oreillette, nous a appris que les CIA avaient une géométrie très variable (rarement arrondie) et que leur surface (Fig. 3) variait fortement au cours du cycle cardiaque (diamètre maximal en téléstole). Pour la sélection des patients (et particulièrement les enfants), la méthode oesophagienne est trop invasive. L'échocardiographie 3D par voie transthoracique est toujours faisable chez l'enfant et de qualité variable avec la fenêtre acoustique chez l'adulte [6, 7]. Les 3 paramètres échocardiographiques mesurés pour juger de la faisabilité de la mise en place de l'obturateur ont été définis en fonction de la géométrie de la prothèse Amplatzer (AGA, Plymouth, MN, US) : 1) le diamètre maximal du défaut septal ; 2) la mesure des berges qui doivent être ≥ 5 mm ; 3) la taille du septum qui doit être supérieure au (1) + 12, 14 ou 16 mm selon la taille du dispositif sélectionné, correspondant à la différence entre le diamètre du moyeu central de la prothèse et le diamètre du disque gauche. Le diamètre étiré au ballon mesuré lors du cathétérisme tient compte de l'élasticité du septum et est souvent supérieur au diamètre maximal de la CIA mesuré par échocardiographie 3D (Tableau 1). Le choix de la taille de prothèse se fait en tenant compte à la fois du diamètre anatomique de la CIA mesuré en 3D mais aussi de la résistance du septum testé par le ballonnet [5]. Les figures 4 à 6 illustrent l'apport du 3D dans la sélection des patients mais aussi la vérification du positionnement de la prothèse.

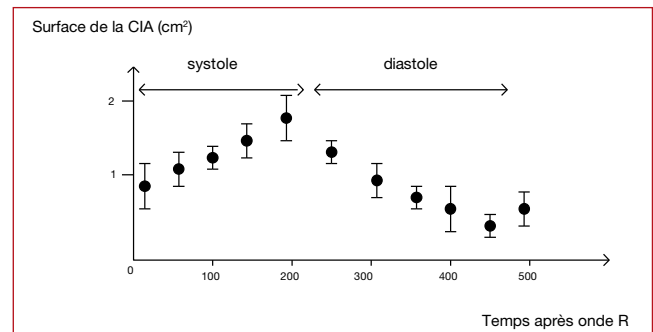


Figure 3. Variation de la surface de la CIA mesurée par échocardiographie 3D au cours du cycle cardiaque. La CIA atteint son diamètre maximal en téléstole (remplissage des oreillettes) et minimal en télédiastole (contraction atriale).

Tableau 1 Comparaison des mesures de la CIA par échocardiographie 3D et par la méthode du ballonnet. Si les méthodes 3D TT et TO donnent des résultats très proches, les valeurs des diamètres étirés sont en moyenne supérieures de 2 à 3 mm. La taille de l'Amplatzer est souvent intermédiaire entre les valeurs échographiques et interventionnelles.

N	DM 3D TT (mm)	DM 3D TO (mm)	Ballon étiré (mm)	Succès (89%)	Amplatzer (taille) (18-30)
36	20 ± 4 (14-30)	21 ± 4 (15-30)	23 ± 4 (17-30)	32 (89%)	22 (18-30)

N : nombre de patients ; DM: diamètre maximal de la CIA ; TT: transthoracique; TO: transoesophagien

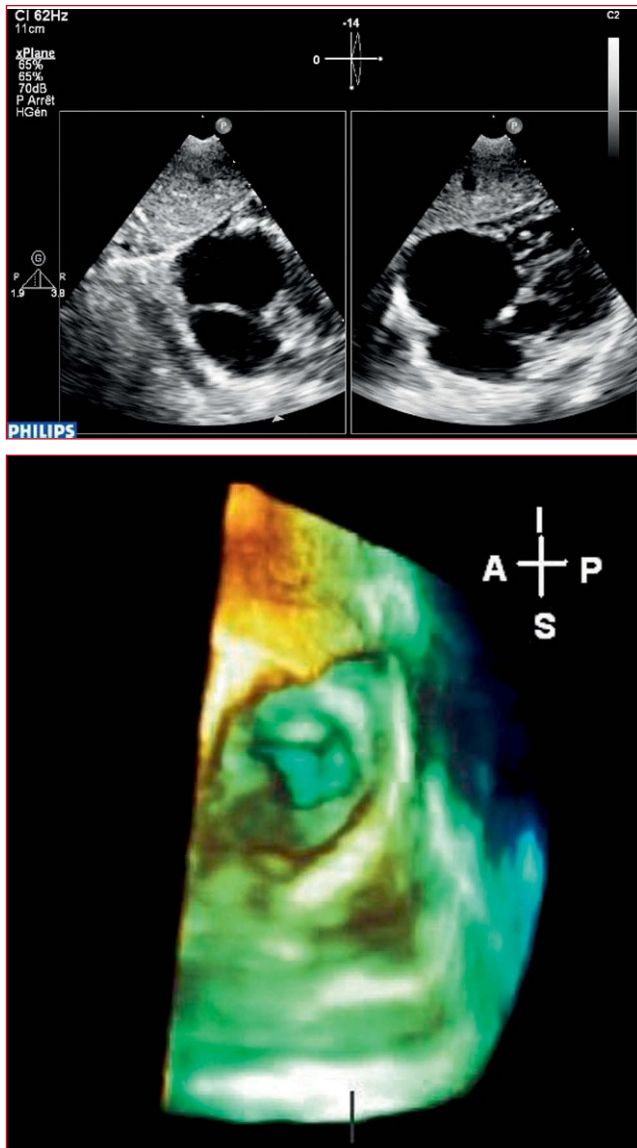


Figure 4. CIA ostium secundum chez un enfant de 6 ans.
 a : Biplan sous-costale permettant d'obtenir simultanément 2 plans perpendiculaires du septum interauriculaire. Sur la coupe transverse (gauche), la CIA paraît de petite taille avec une large berge postérieure. Sur la coupe longitudinale (droite), le défaut septal est beaucoup plus large avec une extension postérieure.
 b : Vue 3D de face à partir de l'oreillette droite confirmant la géométrie non circulaire de la CIA avec un diamètre maximal dans le plan longitudinal. La berge postérieure entre la CIA et la paroi de l'oreillette mesure 5 mm, dans les limites de faisabilité de la fermeture percutanée. I : inférieur ; S : supérieur ; A : antérieur ; P : postérieur.

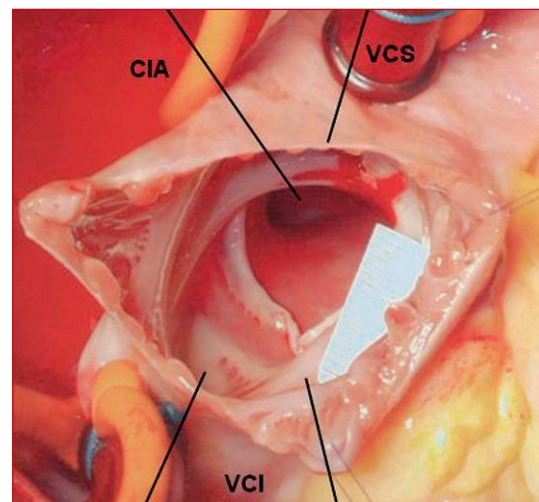
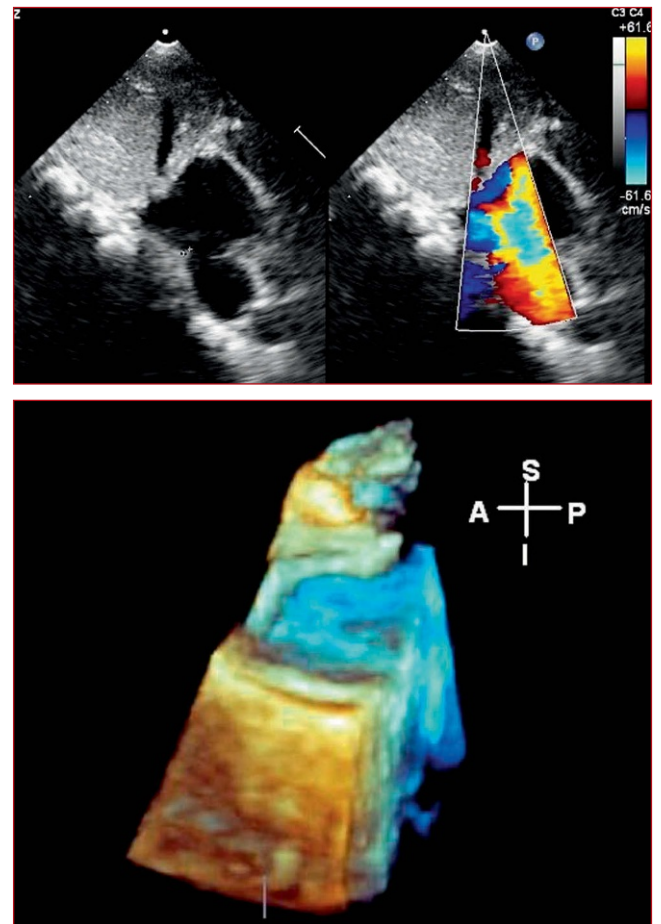


Figure 5. CIA ostium secundum fermée chirurgicalement chez un enfant de 3 ans.
 a : Coupe 2D sous-costale sans et avec Doppler couleur montrant un large shunt auriculaire gauche-droite avec une courte berge postéro-inférieure vers la veine cave inférieure.
 b : Vue 3D de face à partir de l'oreillette droite montrant que la berge postérieure est déficiente sur toute sa circonférence contre-indiquant la mise en place d'un obturateur par voie percutanée. S : supérieur ; I : inférieur ; A : antérieur ; P : postérieur.
 c : Vue chirurgicale confirmant l'absence totale de berge postérieure rendant impossible l'insertion de la prothèse Amplatzer. VCS : veine cave supérieure. VCI : veine cave inférieure.

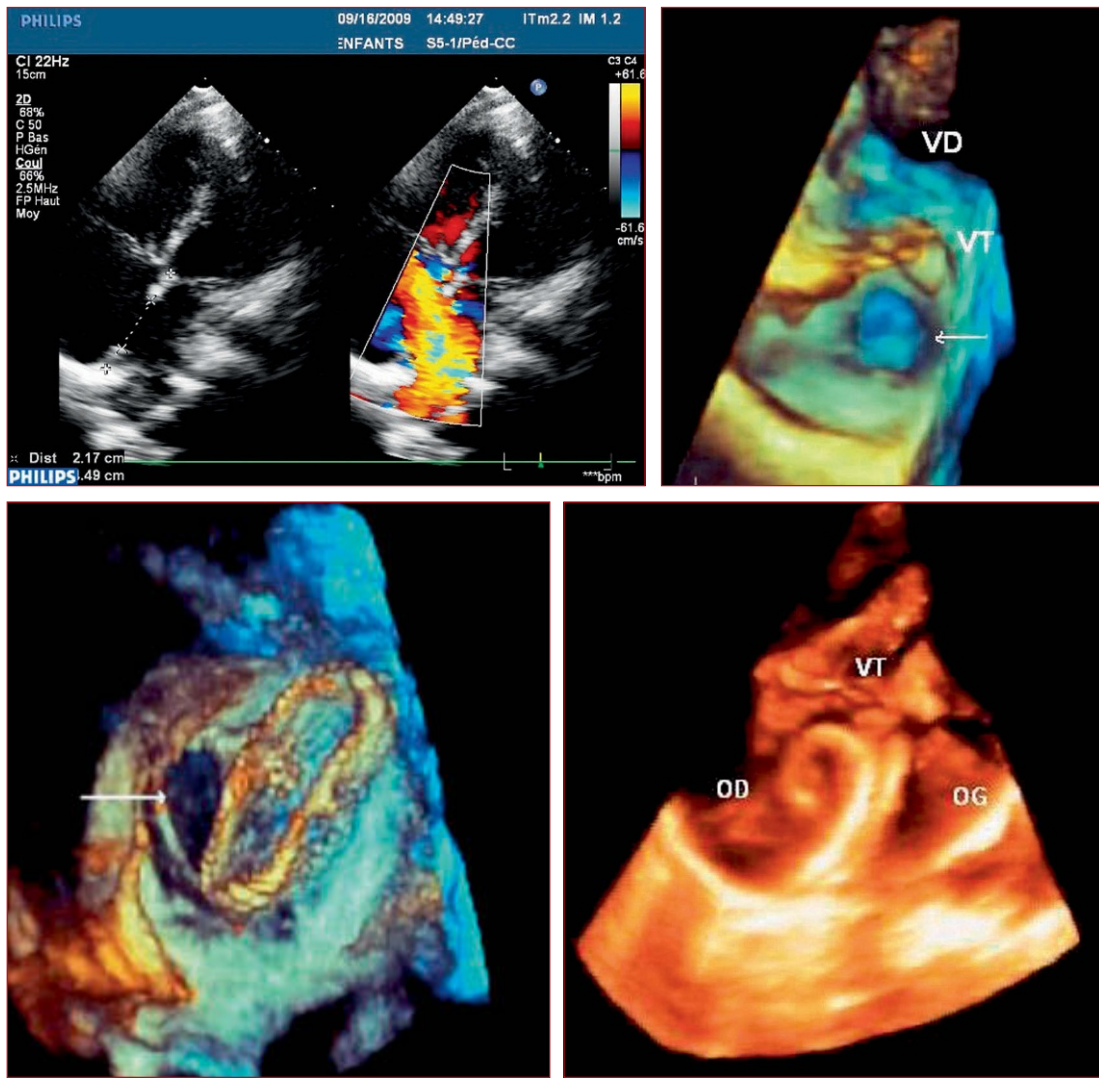


Figure 6. CIA ostium secundum fermée par voie percutanée chez un enfant de 7 ans.
 a : Coupe 2D apicale sans et avec Doppler couleur montrant une CIA centrale avec un shunt auriculaire gauche-droite. La longueur du septum mesuré (mesuré en télésystole) rapporté au diamètre maximal de la CIA ainsi que les berges (postérieure et inférieure) paraissent compatible avec une fermeture percutanée.
 b : Vue 3D de face à partir de l'oreillette droite confirmant la faisabilité du cathétérisme interventionnel. La CIA (flèche) est ronde, unique et centrale avec des berges solides.
 VT : valve tricuspide ; VD : ventricule droit.
 c : Vue 3D de face à partir de l'oreillette gauche de la prothèse Amplatzer acquise en cours de procédure par voie transoesophagienne. Le disque gauche a été déployé dans l'oreillette et va être progressivement appliqué sur le septum avant déploiement du disque droit et largage de la prothèse.
 d : Vue 3D de face à partir de l'oreillette droite acquise le lendemain de la procédure par voie transthoracique. Le disque droit est bien appliqué et occupe une large surface du septum interauriculaire.
 OG : oreillette gauche ; OD : oreillette droite.

Fermeture des communications interventriculaires (CIV)

Si le septum interauriculaire lisse et libre de toutes structures est adapté à la mise en place d'obturateur, le septum interventriculaire avec ses épais trabéculations et la proximité des valves auriculo-ventriculaire et aortique offre une place limitée au cathétérisme interventionnel. La fermeture de CIV

dans le septum musculaire est faisable sans risque de lésions. La position sous-aortique du défaut septal rend beaucoup plus difficile la procédure. Même si la prothèse Amplatzer a une géométrie adaptée à l'anatomie des CIV périmembraneuses, le risque de bloc auriculo-ventriculaire après implantation réduit considérablement les indications [8,9]. Les figures 7 à 9 illustrent l'apport du 3D dans la description anatomique du septum interventriculaire.

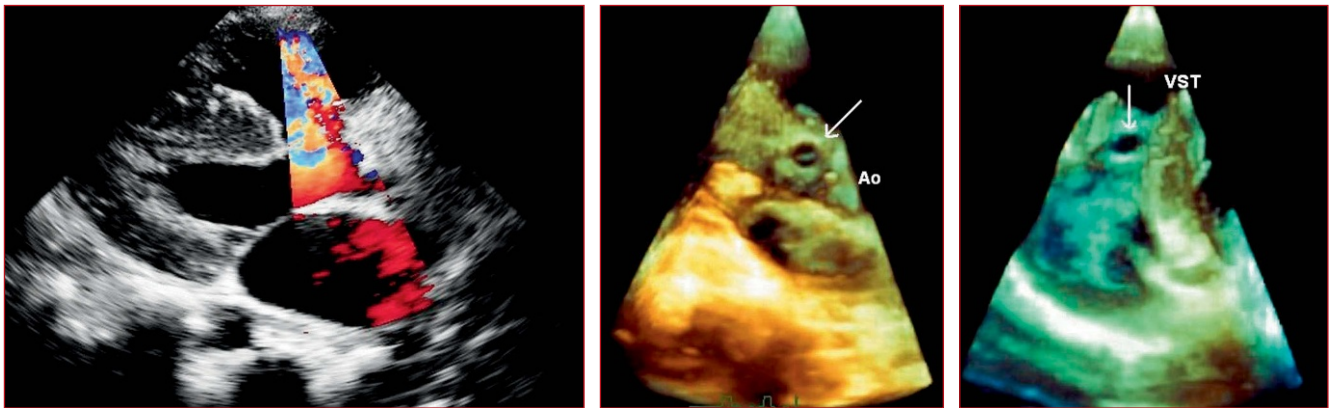


Figure 7. CIV périmembraneuse chez un adolescent de 14 ans.

a : Coupe 2D parasternale grand axe avec Doppler couleur montrant un shunt ventriculaire gauche-droite vélocé par une CIV en position sous-aortique.

b : Vue 3D de face à partir du ventricule gauche montrant la CIV (flèche) de forme arrondie en continuité avec la sigmoïde aortique antéro-droite. Ao : aorte.

c : Vue 3D de face à partir du ventricule droit montrant la CIV (flèche) située à proximité du feuillet septal de la valve tricuspide (FST). La proximité des valves mais aussi de la voie de conduction rend très difficile les procédures de la fermeture percutanée des CIV périmembraneuses.

a | b | c

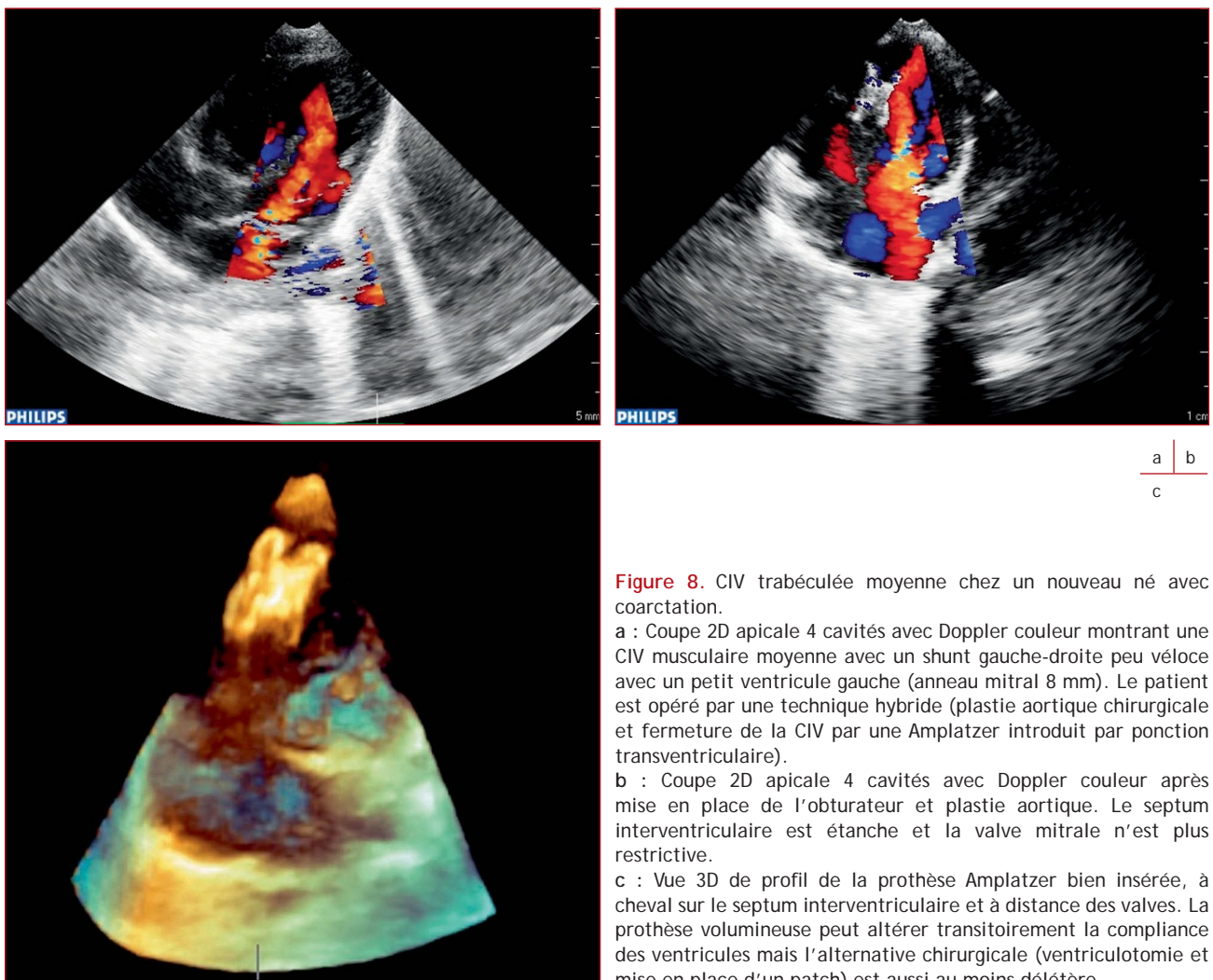


Figure 8. CIV trabéculée moyenne chez un nouveau né avec coarctation.

a : Coupe 2D apicale 4 cavités avec Doppler couleur montrant une CIV musculaire moyenne avec un shunt gauche-droite peu vélocé avec un petit ventricule gauche (anneau mitral 8 mm). Le patient est opéré par une technique hybride (plastie aortique chirurgicale et fermeture de la CIV par une Amplatzer introduit par ponction transventriculaire).

b : Coupe 2D apicale 4 cavités avec Doppler couleur après mise en place de l'obturateur et plastie aortique. Le septum interventriculaire est étanche et la valve mitrale n'est plus restrictive.

c : Vue 3D de profil de la prothèse Amplatzer bien insérée, à cheval sur le septum interventriculaire et à distance des valves. La prothèse volumineuse peut altérer transitoirement la compliance des ventricules mais l'alternative chirurgicale (ventriculotomie et mise en place d'un patch) est aussi au moins délétère.

a | b | c

Dilatations valvulaires

Les sténoses valvulaires congénitales sont des pathologies assez fréquentes de l'enfant qui ont parfois un grave retentissement sur le myocarde ventriculaire. Elles peuvent nécessiter un traitement urgent. Si la dilatation percutanée par ballonnet est une méthode moins invasive que la chirurgie, son geste reste limité à une ouverture commissurale. Il est donc particulièrement important de décrire le mécanisme sténotique de la valve avant d'envisager une telle méthode. Si les valves aortique et pulmonaire peuvent se prêter à une dilatation percutanée (Fig. 10-13), la valve mitrale congénitale essentiellement sténosante

par son appareil sous-valvulaire n'est pas dilatable par à une procédure interventionnelle. L'échocardiographie 3D peut être une aide à la sélection des patients en décrivant le mécanisme de la sténose (commissure, surface et bords libres des valves) mais aussi en écho guidant le geste de dilatation afin de limiter les déchirures valvulaires et les fuites séquellaires [10,11]. PE Séguéla a rapporté une étude comparative de l'échocardiographie 2D et 3D chez 64 enfants avec bicuspidie aortique [12]. Faute de visualiser le raphé en 2D, le type 0 dans la classification de Sivers est souvent surestimé par rapport au type 1. L'échocardiographie 3D identifie un raphé dans plus de 2/3 des bicuspidies aortiques (type 2), prévalence proche des séries anatomiques (Tableau 2).

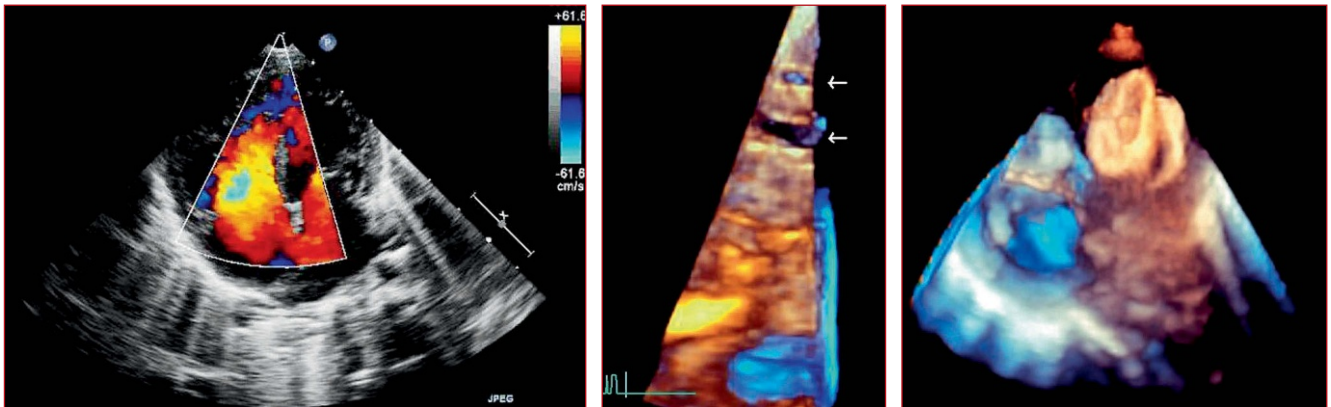


Figure 9. CIV trabéculées multiples chez un nourrisson de 18 mois. a | b | c
 a : Coupe 2D apicale 4 cavités avec Doppler couleur montrant des CIV multiples dans la partie basse du septum interventriculaire.
 b : Vue 3D de face à partir du ventricule gauche. La petite CIV est apicale avec une 2^e CIV plus étirée située 3 mm au dessus (flèches) .
 c : Vue 3D de face à partir du ventricule droit après implantation d'un Amplatzer dans la plus large des CIV. Le large obturateur permet une occlusion des 2 CIV sans gêner la valve tricuspide (VT).

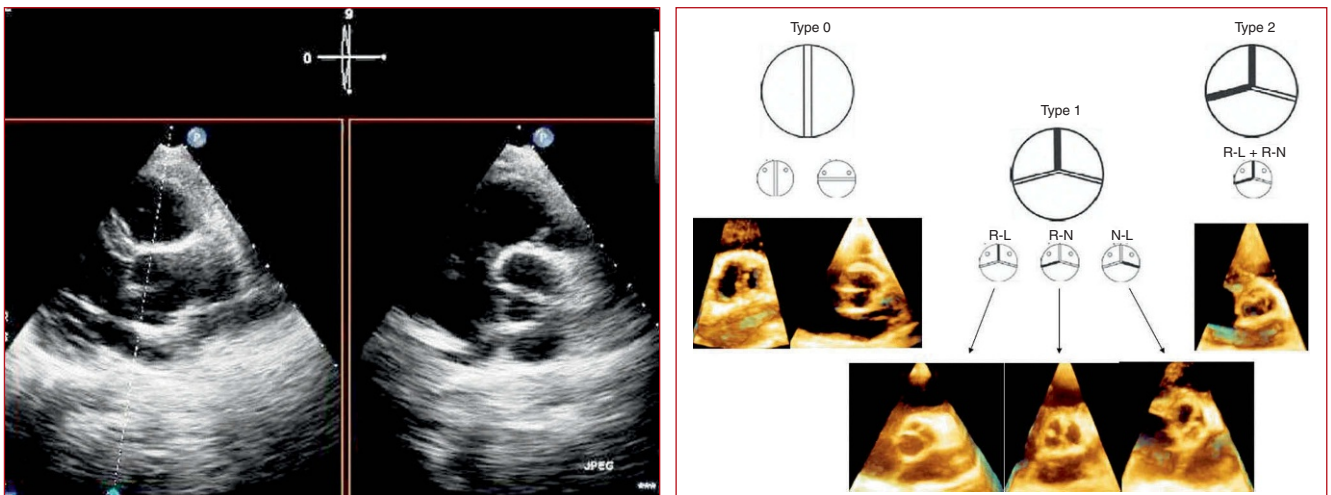


Figure 10. Bicuspidies aortiques. a | b
 a : Imagerie biplan d'une valve aortique bicuspide. L'acquisition se fait à partir d'une coupe parasternale grand axe (à gauche). Le 2^e plan est obtenu en temps réel en coupant perpendiculairement la valve ce qui permet d'identifier les 2 feuillets. Noter que le feuillet postérieur est moins développé favorisant le développement de sténose valvulaire. L'imagerie biplan permet d'obtenir des mesures fiables de l'anneau aortique et de l'aorte ascendante.
 b : Classification des bicuspidies aortiques. L'échocardiographie 3D en visualisant les commissures ainsi que le nombre (0, 1 ou 2) et la position du raphé (correspondant à une fusion commissurale complète) permet de décrire 3 types de bicuspidie aortique et dans le type 1, le plus fréquent, 3 sous-types selon la position du raphé.

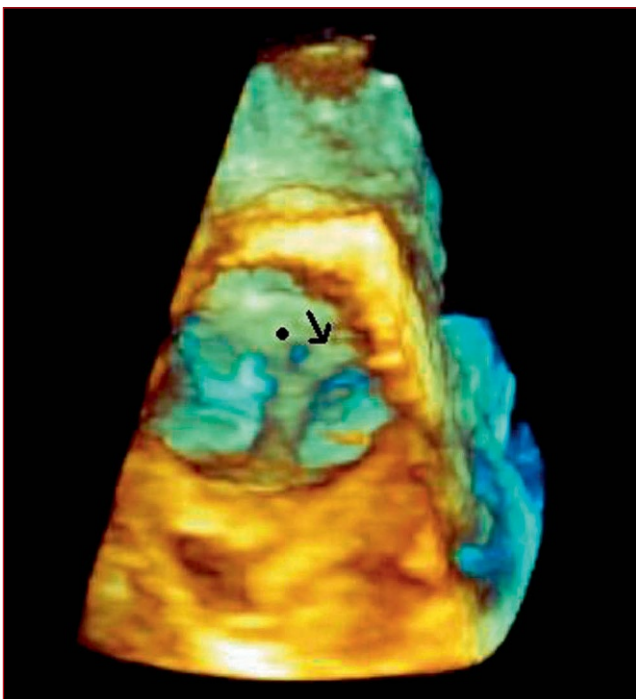
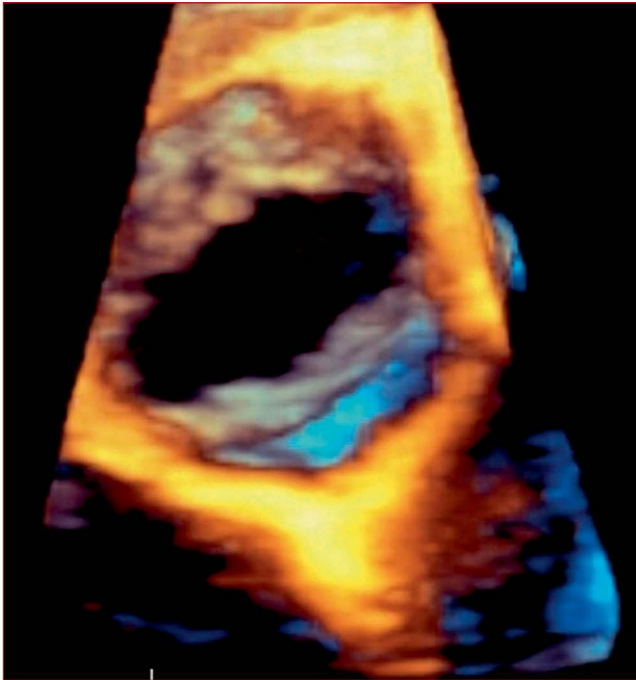


Figure 11. Bicuspidie aortique fuyante avec raphé.
 a : Vue 3D en face à partir de l'aorte en systole. a
 Les 2 commissures sont libres. b
 b : Vue 3D en face à partir de l'aorte en diastole. La valve paraît tricuspide en raison d'un raphé (flèche). Noter une zone de non-coaptation (adjacent au rond noir) responsable d'une fuite valvulaire aortique.

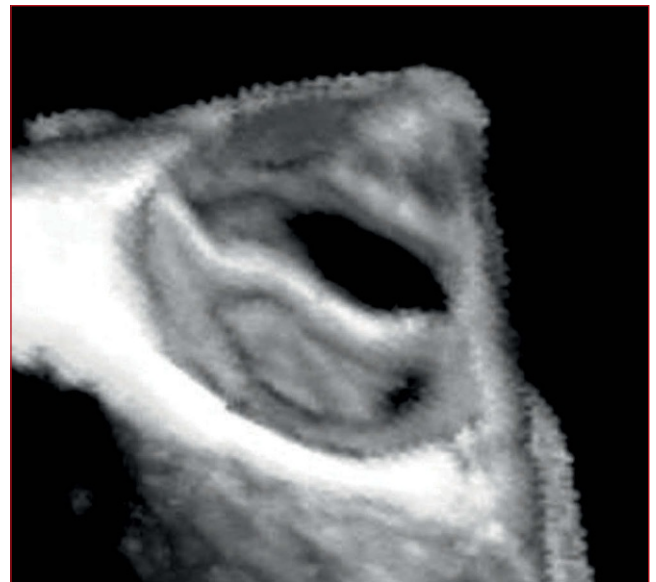
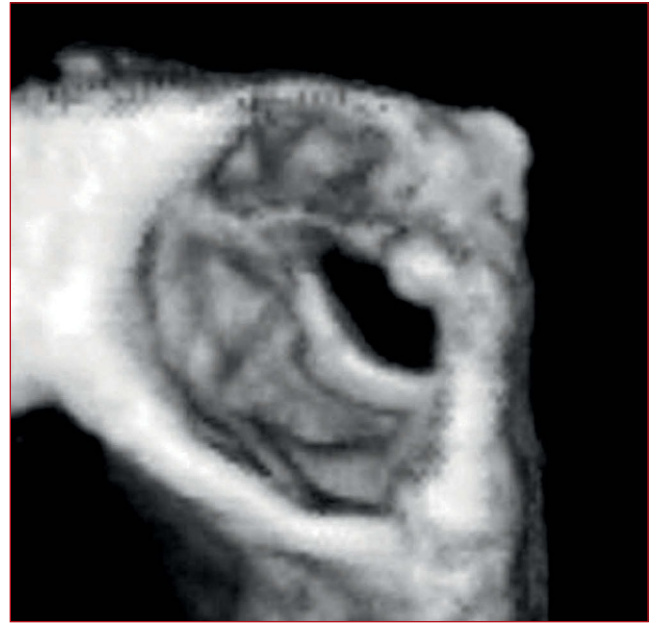


Figure 12. Bicuspidie aortique sténosante sans raphé.
 a : Vue 3D en face à partir de l'aorte en systole. a
 Le mécanisme de la sténose est parfaitement décrit avec b
 une fusion de la commissure antéro-gauche. Si les bords libres des valves sont épaissis, les feuillets gardent leur souplesse. Un geste de dilatation au ballon a été réalisé sous contrôle échographique.
 b : Vue 3D en face à partir de l'aorte en systole après dilatation. La commissure antéro-gauche a été ouverte permettant de doubler la surface orificielle aortique sans création de fuite aortique significative, ni déchirure commissurale.

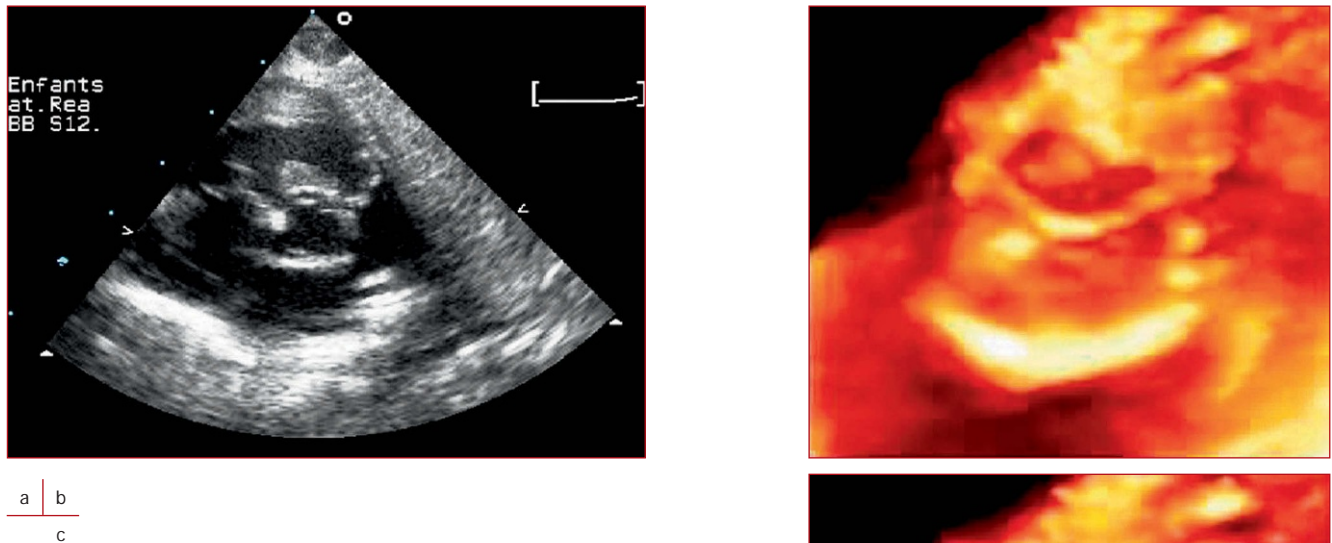


Figure 13. Sténose valvulaire pulmonaire critique chez un nouveau-né.
 a : Coupe 2D parasternale petit axe. La valve pulmonaire est épaisse et s'ouvre en dôme. L'anneau pulmonaire est de taille normale.
 b : Vue 3D en face à partir du tronc pulmonaire montrant la valve pulmonaire en diastole. Si les deux commissures sont bien identifiées, la commissure postérieure est moins visible.
 c : Vue 3D en face à partir du tronc pulmonaire montrant la valve pulmonaire en systole. Les commissures sont fusionnées ne laissant qu'un pertuis central à l'éjection. La valve a été dilatée avec succès par voie percutanée au ballonnet.

Tableau 2 Classification des bicuspidies aortiques par échocardiographie 2D et 3D. Le raphé (ou fusion commissurale complète) est mieux identifié par le 3D permettant de reclassifier des types 0 (raphé non visible en 2D) en types 1 (représentant les 2/3 des bicuspidies aortiques selon les descriptions anatomiques).

	Type 0		Type 1			Type 2
			L-R	R-N	L-N	L-R / R-N
2DE n = 70	14 % (10)	25 % (18)	38 % (27)	15 % (11)	0 % (0)	6 % (4)
3D XP n = 64	6 % (4)	20 % (13)	39 % (25)	22 % (14)	1 % (1)	11 % (7)
3D live n = 64	4 % (3)	12 % (8)	47 % (30)	20 % (13)	5 % (3)	11 % (7)

Conclusion

L'échocardiographie 3D par sa facilité d'utilisation est entrée dans l'exploration courante des cardiopathies congénitales. Cette nouvelle imagerie est un moyen unique de compréhension de l'anatomie intracardiaque mais aussi de communication de la pathologie au patient et sa famille. L'échocardiographie 3D accompagne toutes les étapes du cathétérisme interventionnel de la sélection des patients au guidage du geste lui-même et la visualisation de son résultat.

Conflits d'intérêts

Les auteurs de cet article n'ont déclaré aucun conflit d'intérêts.

Références

- [1] Acar P, Abadir S, Paranon S, Latcu G, Grosjean J, Dulac Y. Live 3D echocardiography with the pediatric cardiac matrix probe. *Echocardiography* 2007;24:750-5.
- [2] Simpson JM, Miller O. Three-dimensional echocardiography in congenital heart disease. *Arch Cardiovasc Dis* 2011;104:5-56.
- [3] Hascoet S, Brierre G, Caudron G, Cardin C, Bongard V, Acar P. Assessment of left ventricular volumes and function by real-time 3D echocardiography in a paediatric population: a Tomtec versus Qlab comparison. *Echocardiography* 2010;27:1263-73.
- [4] Séguéla PE, Hascoet S, Acar P. Umbilical venous catheter to wait for the rashkind procedure. *Arch Cardiovasc Dis* 2011;103 [in press].
- [5] Abdel-Massih T, Aggoun Y, Douste-Blazy MY, Agnoletti G, Acar P. Calibrage des communications interauriculaires : comparaison des méthodes du ballon et de l'échocardiographie transoesophagienne 3D. *Arch Mal Coeur Vaiss* 2002;95:399-403.
- [6] McKendrick R, Owada CY. Real-time 3D echocardiography-guided transcatheter device closure of atrial septal defects. *Catheter Cardiovasc Interv* 2005;65:442-6.
- [7] Morgan GJ, Casey F, Craig B, Sands A. Assessing ASDs prior to device closure using 3D echo. Just pretty pictures or a useful clinical tool? *Eur J Echocardiogr* 2008;9:478-82.
- [8] Acar P, Abdel-Massih T, Douste-Blazy MY, Dulac Y, Bonhoeffer P, Sidi D. Assessment of muscular ventricular septal defect closure by transcatheter or surgical approach: a 3D echocardiographic study. *Eur J Echocardiogr* 2002;3:185-91.
- [9] van den Bosch AE, Ten Harkel DJ, McGhie JS, Roos-Hesselink JW, Simoons ML, Bogers AJ, et al. Feasibility and accuracy of real-time 3D echo assessment of ventricular septal defects. *J Am Soc Echocardiogr* 2006;19:7-13.
- [10] Acar P, Aggoun Y, Saliba Z, Sidi D, Kachaner J. Effect of balloon dilatation on aortic stenosis assessed by 3D echo reconstruction. *Circulation* 1999;99:2598-9.
- [11] Suradi H, Byers S, Green-Hess D, Gradus-Pizlo I, Sawada S, Feigenbaum H. Feasibility of using real time "Live 3D" echocardiography to visualize the stenotic aortic valve. *Echocardiography* 2010;27:1011-20.
- [12] Seguela PE, Arnaudis B, Amadiou R, Dulac Y, Acar P. Usefulness of 3D echocardiography for the diagnosis of bicuspid aortic valve: a pediatric study. *Arch Cardiovasc Dis* 2011;104 (Suppl 3):C296.