



UNIVERSITE DU DROIT ET DE LA SANTE - LILLE 2

**FACULTE DE MEDECINE HENRI WAREMBOURG**

Année : 2017

THESE POUR LE DIPLOME D'ETAT  
DE DOCTEUR EN MEDECINE

**Technique simplifiée de la procédure de Tirone David :  
impact clinique et hémodynamique en imagerie multimodale**

Présentée et soutenue publiquement le 02 octobre 2017 à 18 heures

**Par Alexis Classeau**

---

**JURY**

**Président :**

**Monsieur le Professeur André VINCENELLI**

**Assesseurs :**

**Monsieur le Professeur David MONTAIGNE**

**Monsieur le Docteur Thomas MODINE**

**Monsieur le Docteur François PONTANA**

**Directeur de Thèse :**

**Monsieur le Docteur Augustin COISNE**

---

## **Avertissement**

**La Faculté n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses : celles-ci sont propres à leurs auteurs.**

## LISTE DES ABREVIATIONS

AIT :	Accident ischémique transitoire
AVC :	Accident vasculaire cérébral
BO :	Bloc opératoire
BPCO :	Broncho pneumopathie chronique obstructive
CEC :	Circulation extra-corporelle
DTDVG :	Diamètre télé diastolique du ventricule gauche
EFCV :	Explorations fonctionnelles cardio-vasculaires
ETT :	Echographie trans-thoracique
EP :	Embolie pulmonaire
FA :	Fibrillation atriale
FEVG :	Fraction d'éjection du ventricule gauche
HTA :	Hypertension artérielle
IAO :	Insuffisance aortique
IDM :	Infarctus du myocarde
IMC :	Indice de masse corporelle
IRM :	Imagerie par résonance magnétique
JST :	Jonction sino-tubulaire
NYHA :	New york heart association
PAS :	Pression artérielle systolique
PAD :	Pression artérielle diastolique
PM :	Pacemaker
RVM :	Remplacement valvulaire mitral
SAS :	Syndrome d'apnée du sommeil
SOG :	Surface de l'oreillette gauche
TAPSE :	Tricuspid annular plane systolic excursion
TDM :	Tomodensitométrie
TM :	Temps mouvement
VOP :	Vitesse de l'onde de pouls
WSS :	Wall shear stress

## TABLE DES MATIERES

<b>Résumé .....</b>	<b>1</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>3</b>
Contexte.....	3
Description des techniques chirurgicales .....	5
Etude hémodynamique .....	7
<b>Matériel et méthodes .....</b>	<b>11</b>
Population étudiée .....	11
Données cliniques et biologiques .....	12
Données chirurgicales .....	12
Suivi clinique.....	12
Données échographiques .....	13
Données IRM .....	15
Analyses statistiques.....	15
<b>Résultats .....</b>	<b>17</b>
Population.....	17
Données chirurgicales .....	19
Suivi post-opératoire précoce .....	19
Suivi post-opératoire tardif.....	21
Données échographiques .....	23
Données IRM .....	24
<b>Discussion .....</b>	<b>27</b>
Population.....	27
Données per-opératoires.....	27
Suivi post-opératoire précoce .....	28
Suivi post-opératoire tardif.....	30
Analyse échographique .....	30
Analyse IRM .....	31
Limites.....	32
<b>Conclusion.....</b>	<b>34</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>35</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>39</b>

## RESUME

**Contexte :** L'intervention de Tirone David est une bonne option dans le traitement des anévrismes de la racine aortique. De multiples évolutions ont été apportées à cette chirurgie ces deux dernières décennies. Modifiant la ligne de suture aortique proximale et simplifiant le geste opératoire, une nouvelle technique a été décrite par le Dr Modine. En la comparant à la technique classique, nous avons voulu montrer sa sûreté, et évaluer son impact hémodynamique.

**Matériel et méthodes :** De 2006 à 2015, 41 patients opérés par la nouvelle technique pour un anévrisme de la racine aortique au CHRU de Lille ont été appariés à 41 patients opérés par la technique classique. Le suivi clinique a été réalisé entre octobre 2016 et juin 2017. L'étude hémodynamique du flux systolique aortique a été réalisée à l'aide de 2 outils. L'échocardiographie a permis l'étude de 3 paramètres : la vitesse de l'onde de pouls (VOP), le module d'élasticité et l'index de rigidité. L'IRM 4D a permis une analyse dynamique du flux sanguin systolique, de son excentricité, ainsi que du stress pariétal aortique (WSS).

**Résultats :** Le suivi moyen était de  $4,79 \pm 2$  années, aucune différence n'a été montrée sur le taux de mortalité toutes causes confondues (0,62), ainsi que sur le critère composite d'évènements ( $p=0,39$ ) et la nécessité d'une ré-intervention tardive ( $p=0,54$ ). Le taux d'insuffisance aortique précoce et tardive était comparable entre les deux techniques ( $p=0,12$  et  $p=0,052$ , respectivement). Les trois paramètres hémodynamiques échographiques n'ont pas montré de différence entre les techniques ( $p=0,32$  pour la VOP,  $p=0,14$  pour l'index de rigidité, et  $p=0,58$  pour le module d'élasticité). En IRM 4D, le stress pariétal global était comparable ( $p=0,27$ ), ainsi que le type de flux ( $p=0,12$ ) et son excentricité ( $p=0,34$ ).

**Conclusion :** La nouvelle technique du Dr Modine semble montrer sa sûreté en terme d'évènements à court et moyen terme. L'hémodynamique en analyse multimodale au sein de

l'aorte thoracique est comparable avec la technique classique. Des études complémentaires sont nécessaires afin d'évaluer son impact à long terme sur une population plus importante.

## INTRODUCTION

### Contexte

L'anévrisme de la racine aortique correspond à une dilatation artérielle avec perte de son parallélisme, de l'anneau aortique à la jonction sino-tubulaire. Son incidence est estimée à 4,5 cas pour 100.000 habitants. C'est une pathologie le plus souvent asymptomatique et de découverte fortuite. Ses étiologies diffèrent des anévrismes athéromateux de l'aorte abdominale par la prédominance des facteurs génétiques. Cette dilatation aortique est le plus souvent idiopathique, mais elle s'intègre parfois dans des pathologies du tissu élastique artériel tels que le syndrome de Marfan, le syndrome d'Ehlers Danlos, ou les bicuspidies valvulaires (1). La dissection de l'aorte ascendante et l'insuffisance aortique représentent ses principales complications, la première étant la plus grave avec un pronostic à court terme effroyable. L'incidence de survenue d'une dissection ou d'une rupture d'anévrisme augmente avec sa taille (2). La chirurgie de ces anévrismes représente donc un réel enjeu afin de prévenir de ces complications. Plusieurs techniques sont utilisées, l'idée globale étant de réséquer la portion artérielle pathologique. Lorsque qu'il existe une atteinte valvulaire difficilement réparable, l'intervention préférée est celle de Bentall. Cette intervention, décrite dès 1968, consiste en un remplacement complet de la racine aortique à l'aide d'un tube prothétique sur lequel est sertie une valve aortique prothétique, avec réimplantation des ostias coronaires (3). Elle a montré d'excellents résultats à court et long terme (4). Cependant elle expose aux complications liées à l'implantation d'une prothèse valvulaire, incluant hémorragies sous anticoagulants, évènements thrombo-emboliques ou infectieux.

S'abolissant de ces complications, les techniques de remplacement de l'aorte ascendante avec conservation de la valve aortique ont donc connu un essor ces deux dernières décennies. Les deux chirurgies les plus utilisées sont dites de « remodelage » et de « réimplantation ». Elles

sont dorénavant des options bien établies dans la chirurgie des anévrismes de la racine aortique chez des patients présentant une valve morphologiquement peu altérée (5). La technique de « remodelage » que le Dr Yacoub propose en 1979 utilise un tube prothétique festonné en trois néo-sinus de Valsalva, suturé de telle sorte qu'il épouse les contours de l'anneau aortique (6) (*Annexe 1*). Cette procédure ne traite pas l'anneau aortique, qui risque de se dilater et d'entraîner une fuite valvulaire. La deuxième technique dite de « réimplantation », que le Dr Tirone David décrit depuis le début des années 1990, inclut l'anneau aortique à l'intérieur du tube prothétique (7) (*Annexe 2*). A première vue cette technique apparaît moins « physiologique » que celle décrite par Yacoub, semblant entraver la mobilité naturelle des cusps aortiques à l'intérieur du tube. En effet le « remodelage » réalisé par la technique de Yacoub apparaît être plus « anatomique », recréant des néo-sinus de Valsalva et reproduisant un mouvement valvulaire plus naturel (8). Mais la technique de Tirone David a évolué au cours des années. Son avantage principal est sa meilleure stabilisation de l'anneau aortique. La dernière principale évolution concerne la conformation du tube prothétique et la création de néo-sinus préformés, comme avec la prothèse « Gelweave Valsalva » (9) (*Annexe 3*). La restauration d'une racine plus anatomique prend tout son sens lorsque l'on connaît l'utilité des sinus dans la dynamique d'ouverture et de fermeture valvulaire, et dans la perfusion coronarienne (10,11,12), afin d'obtenir une meilleure durabilité valvulaire après ces interventions, même si cela reste encore débattu (13).

La procédure de Tirone David montre des résultats comparables avec celle de Yacoub, mais on remarque pour la première une tendance à un moindre risque d'insuffisance aortique à long terme (14). Elle est la plus pratiquée aujourd'hui, et démontre depuis toutes ces années sa sûreté en terme de complications post-opératoires et de morbi-mortalité à long terme (15). Elle est devenue le traitement de choix des anévrismes de la racine aortique chez les patients jeunes sans atteinte valvulaire majeure (13). Elle a été reprise par les chirurgiens du monde

entier, mais reste une chirurgie techniquement difficile nécessitant des chirurgiens expérimentés, dans des centres experts. A la fin des années 2000 le Dr Thomas Modine, exerçant au CHRU de Lille, propose une nouvelle réalisation de cette technique.

### **Description des techniques chirurgicales**

#### *Partie commune aux 2 techniques :*

Les interventions sont réalisées sous anesthésie générale après sternotomie médiane. Une circulation extra-corporelle est mise en route après avoir canulé l'aorte ascendante distale, la crosse aortique, ou l'artère fémorale, en fonction de l'extension anévrismale. L'oreillette droite est également canulée. L'aorte ascendante est ensuite clampée juste avant le départ du tronc artériel brachio-céphalique. Une cardioplegie antérograde froide est obtenue. On réalise une exérèse du tissu aortique pathologique anévrismal par aortotomie transversale haute et basse. Cette dernière est réalisée avec une découpe des trois sinus, ne conservant approximativement que 5 mm de paroi aortique à ce niveau. Ces millimètres de paroi seront nécessaires à la suture dans le tube prothétique. Un fil de traction est placé au niveau de chaque commissure. L'anneau aortique est disséqué pour dégager au maximum la racine aortique de l'artère pulmonaire, du ventricule droit, et du toit de l'oreillette gauche. L'anneau aortique, la valve, les sinus sont ensuite soigneusement examinés afin de vérifier leur intégrité et la faisabilité de l'intervention. C'est à ce moment qu'une plastie aortique peut être réalisée en cas de prolapsus associé. Les ostias coronaires sont disséqués soigneusement. Le calibrage de la prothèse est réalisé en utilisant une bougie passée au travers de l'anneau aortique. La taille de la prothèse choisie sera en général plus grande de 2 mm par rapport à la bougie. Une prothèse munie de néo-sinus de type « Gelweave Valsalva » (9) est utilisée dans les deux techniques de notre essai. La suture proximale de cette prothèse diffère entre les techniques.

*Selon le Dr Tirone David (« technique classique »)*

La technique classique utilise une suture proximale de l'anneau à l'aide de points pledgetés en U placés sous le plan valvulaire aortique (16). Ces fils sont attachés à la prothèse en Dacron. On coulisse ensuite cette prothèse jusqu'à l'anneau. Une fois la première ligne de suture proximale à l'anneau basal réalisée, il faut maintenant fixer ce qui reste des millimètres de la paroi aortique native à l'intérieur de la prothèse en Dacron. Une deuxième ligne de suture à l'aide d'un surjet est utilisée pour fixer cette portion à la prothèse (*Annexe 4*).

*Selon le Dr Thomas Modine (« nouvelle technique »)*

La nouvelle technique utilise une suture proximale de l'anneau à l'aide de points pledgetés en U couvrant entièrement l'anneau basal. Ces fils sont également attachés à la prothèse en Dacron que l'on coulisse jusqu'à l'anneau. A l'inverse de Tirone David, il s'affranchit du surjet servant à suturer le reste du squelette des sinus à la prothèse. Le Dr Modine propose comme deuxième ligne de suture proximale l'utilisation de seulement 3 points de suspension commissuraux au niveau de chacune des 3 languettes commissurales de paroi aortique native laissées en place. Il fixe et suspend ces 3 points au niveau de la jonction sino-tubulaire intra-prothétique (17) (*Annexe 5*).

*Finalisation des procédures*

Ces interventions nécessitent toutes les deux un contrôle de la continence valvulaire par un test à l'eau. Elles se poursuivent par une réimplantation des ostias coronaires dans la prothèse à l'aide de surjets. Reste ensuite à réaliser la suture distale par un surjet simple entre la prothèse et l'aorte tubulaire. On réalise une cardioplégie de reperfusion chaude, un

déclampage aortique, et on contrôle l'hémostase au niveau des différentes sutures. Une bonne hémodynamique permet enfin le sevrage de la CEC après ablation des canules.

La nouvelle technique permettrait :

- de raccourcir le temps opératoire en simplifiant le geste
- d'éviter une déformation valvulaire et une distorsion de prothèse
- d'éviter de compromettre la forme et la taille des néo-sinus, et faciliter la réimplantation des ostias coronaires par gain de place à ce niveau.

La nouvelle technique donne de bons résultats à court terme (17), mais peu de données sont disponibles concernant les événements à moyen terme et l'hémodynamique au sein de l'aorte thoracique.

### **Etude hémodynamique :**

Se différenciant de la technique chirurgicale classique par sa ligne de suture simplifiée avec un moindre risque théorique de déformation valvulaire, la nouvelle technique pourrait entraîner une modification du comportement dynamique du flux sanguin éjecté dans l'aorte ascendante à chaque systole.

### Etude hémodynamique à l'aide de l'échographie :

Il existe 3 paramètres échocardiographiques pour évaluer l'hémodynamique aortique : la vitesse de l'onde de pouls, le module d'élasticité et l'index de rigidité artérielle.

L'onde de pouls est définie comme étant l'onde de déformation de la paroi artérielle suite à l'ébranlement sanguin dans l'aorte ascendante lors du choc d'éjection ventriculaire cardiaque. Elle se propage sur la surface du sang présent dans les artères. Il faut la différencier du débit sanguin, car elle se propage plus vite que la vitesse d'écoulement du sang. La vitesse de l'onde de pouls (VOP) peut être évaluée à l'aide du Doppler à onde pulsée (18). Il existe de solides preuves quant à la corrélation entre une VOP aortique augmentée et un sur-risque cardiovasculaire (19,20,21). Plus l'artère est rigide et plus la VOP augmente (22). En effet l'aorte thoracique agit comme un conduit et un coussin pour le flux pulsatile, et toute majoration de la rigidité artérielle entraîne une accélération de ce flux pulsatile et de la VOP. Les interventions de remplacement de la racine aortique induisent une modification de sa structure. La VOP étant dépendante des propriétés biophysiques de la structure artérielle sous-jacente (23), il nous a paru intéressant de comparer ses valeurs dans les deux populations chirurgicales. La rigidité artérielle, étudiée le plus souvent comme facteur de risque cardiovasculaire (23), peut être évaluée à son tour de manière indirecte grâce à l'échographie. Deux paramètres sont les plus souvent décrits dans la littérature (23,24,25) : le module d'élasticité ( $E_p$ ) et l'index de rigidité artérielle (Stiffness index), qui représentent les propriétés mécaniques de la paroi aortique. Nous avons donc également comparé ces paramètres. Afin d'étendre l'évaluation hémodynamique aortique, nous avons conduit une analyse multimodale en utilisant l'IRM de flux 4D.

Etude hémodynamique à l'aide de l'IRM « 4D flow »:

L'IRM cardiaque est une technique nouvelle en pleine expansion, et une imagerie permettant une évaluation hémodynamique aortique approfondie par l'analyse dynamique du flux et du stress appliqué à la paroi aortique. Le "4D flow" est une séquence d'IRM volumique avec une large couverture d'acquisition, donnant des informations sur le flux sanguin dans les 3 plans de l'espace, au cours du cycle cardiaque. L'IRM de flux 4D permet un placement rétrospectif des plans de coupe dans n'importe quel endroit du volume acquis. L'avènement récent de cet outil a permis de s'intéresser au comportement dynamique du flux sanguin à travers les vaisseaux (27). Un flux altéré, à savoir hélicoïdal ou turbulent marqué, a été décrit comme entraînant une perte de puissance du flux, avec en cause une altération des contraintes de cisaillement, ainsi qu'une friction et une perte de viscosité de ce flux tourbillonnant (28). Nous savons que la perturbation de ces flux est associée à une altération de la géométrie artérielle (29). Dans une population de patients atteints du syndrome de Marfan, des flux anormaux hélicoïdaux et turbulents dans l'aorte thoracique ont été décrits (30). La présence d'un flux hélicoïdal plus marqué localement était associée à un plus grand risque de dilatation de la paroi aortique en regard (30). Des travaux réalisés en post-opératoire de remplacement de la racine aortique ont décrit un taux plus important de flux hélicoïdaux et turbulents après la mise en place d'un tube aortique prothétique (29). Toujours en post-opératoire et dans le cadre d'un syndrome de Marfan, on observe un risque plus important de dissection aortique de type B chez les patients présentant une altération du flux dans l'aorte thoracique (31). Un stress pariétal (WSS) localisé plus important peut entraîner une altération structurelle de la paroi aortique (32). Il correspond à la force de friction du sang parallèlement à son écoulement. En d'autres termes, le sang qui s'écoule le long de la paroi du vaisseau crée une force de « traînée » dans le sens du flux sanguin sur les cellules endothéliales. Chez les patients porteurs d'une bicuspidie avec un jet aortique excentré, l'élévation localisée du WSS

peut être prédictive d'un plus grand risque de rupture de la paroi aortique (32). Utilisant l'IRM 4D dans cet essai, nous allons pouvoir pour chaque technique chirurgicale décrire le comportement dynamique du flux aortique, ainsi qu'étudier le WSS appliqué sur les différents segments aortiques.

**L'objectif de ce travail** est donc de :

1. Montrer la sûreté à court et moyen terme de la nouvelle technique chirurgicale
2. Comparer l'impact de ces interventions sur l'hémodynamique aortique grâce à l'échocardiographie et l'IRM

## MATERIEL ET METHODES

### Population étudiée

Nous avons conduit une étude de cohorte observationnelle, monocentrique, incluant d'abord 41 patients opérés d'un remplacement de l'aorte thoracique ascendante avec conservation de la valve aortique native par la nouvelle technique, que nous avons ensuite appariés avec 41 patients opérés de la technique de Tirone David dite classique. Les patients ont été appariés sur l'âge, le sexe, la bicuspidie et la date d'intervention. L'étude comprenait donc 82 patients au total. Les interventions ont eu lieu entre 2006 et 2015 au sein du CHRU de Lille. Les patients opérés étaient issus des services de chirurgie cardiaque du Dr Koussa et du Pr Vincentelli. Ils étaient tous porteurs d'une dilatation anévrysmale de l'aorte ascendante d'indication chirurgicale selon les recommandations en vigueur.

L'étude s'intéressait aux patients de chirurgie cardiaque nécessitant :

- un remplacement de l'aorte ascendante anévrysmale par un tube prothétique et conservation de la valve aortique native, avec réimplantation des ostias coronaires,
- associé plus ou moins à d'autres gestes comme une plastie aortique, un pontage coronarien, ou une chirurgie valvulaire mitrale,
- sous circulation extra corporelle et par sternotomie médiane

Nous avons exclu les patients :

- ayant un antécédent de chirurgie cardiaque,
- opérés d'une dissection aortique de type A de la classification de Stanford,
- porteurs d'une cardiopathie congénitale,
- dont l'âge était inférieur à 18 ans.

### Données cliniques et biologiques

Nous avons recueilli en préopératoire, pour chaque patient, les données cliniques suivantes : le sexe, l'âge, la taille (en m), le poids (en kg), le calcul de l'IMC (en kg/m<sup>2</sup>), le stade de dyspnée selon l'échelle NYHA, la présence d'une hypertension artérielle, d'une dyslipidémie, d'un diabète, d'un tabagisme, d'une fibrillation atriale, d'une coronaropathie, d'une artériopathie périphérique, d'une BPCO, d'un antécédent d'accident vasculaire cérébral. La donnée biologique jugée pertinente recueillie en pré-opératoire a été la créatinine (en mg/l). Le pic du taux de troponine T hyper-sensible (en ng/l) a lui été recueilli en post-opératoire précoce.

### Données chirurgicales

Nous avons jugé comme pertinent de recueillir :

- l'indication chirurgicale (anévrisme ou dissection aortique)
- la date de l'intervention
- le nom du chirurgien opérateur
- l'association ou non à d'autres gestes durant l'intervention et leur type
- la durée de clampage aortique et de CEC
- le diamètre prothétique
- le calcul du score de morbi-mortalité pré opératoire Euroscore II

### Suivi clinique

Le recueil des évènements en post-opératoire a été réalisé entre octobre 2016 et juin 2017.

Nous avons relevé la présence dans la période post-opératoire précoce :

- d'une fibrillation atriale
- d'un accident vasculaire cérébral
- d'une embolie pulmonaire
- d'une implantation d'un stimulateur cardiaque
- d'une ré-intervention précoce et son motif

La durée d'hospitalisation et la nécessité ou non de recours aux amines vasopressives ont également été relevées dans cette période.

En post-opératoire tardif, nous avons étudié un critère composite d'évènement comprenant : le décès toutes causes confondues, le décès d'origine cardiovasculaire, la survenue d'une insuffisance cardiaque, d'une revascularisation coronarienne, et d'un infarctus du myocarde. La survenue d'une insuffisance cardiaque était définie comme l'apparition de signes cliniques d'insuffisance cardiaque entraînant ou non une hospitalisation, l'augmentation de la posologie du traitement diurétique, ou l'élévation du taux de BNP.

### **Etude hémodynamique**

Afin d'obtenir des informations pertinentes à ce sujet, nous avons conduit une analyse multimodale à l'aide de l'échographie trans-thoracique et l'IRM 4D avec analyse dynamique du flux aortique.

### **Données échographiques**

Supposant que la nouvelle ligne de suture puisse engendrer une différence de propagation du flux aortique à travers la valve aortique et l'aorte ascendante, nous avons réalisé une évaluation hémodynamique simple à l'aide notamment de trois paramètres échographiques.

Les échographies ont été réalisées dans le service d'EFCV du Pr Montaigne, selon les recommandations de l'American Society of Echocardiography. Les appareils utilisés étaient des échographes de la marque General Electric (Vivid 9). Les images étaient stockées et pouvaient être relues ensuite sur le logiciel EchoPAC (V 22.1.0 GE Medical System).

Nous avons utilisé lors des échographies le mode TM, le mode 2D et le Doppler, avec une prise de pression artérielle simultanée. Les mesures standards des fonctions ventriculaires gauche et droite ont été réalisées, ainsi que les pressions de remplissage ventriculaire gauche et la surface atriale gauche. Une coupe parasternale haute était effectuée pour mesurer l'aorte ascendante à l'aide du mode TM en mesurant le diamètre télédiastolique (DTD) et le diamètre télésystolique (DTS) (*Annexe 6*). L'épaisseur de la paroi n'a pas été mesurée, son épaisseur étant dépendante du gain. L'ensemble des autres mesures ont été réalisées à l'aide d'une coupe supra-sternale, permettant de dégager la crosse aortique. Le traceur a été placé de façon la plus proximale et centrale possible dans l'aorte ascendante et un traçage Doppler pulsé a été enregistré à une vitesse de 100 mm/s. On effectuait ce même traçage cette fois le plus distal possible au niveau l'aorte descendante. Ces deux enregistrements ont été effectués à moins de dix secondes d'intervalle pour chaque patient, éliminant un biais éventuel lié à un changement de fréquence cardiaque. La longueur de l'arc aortique a été mesurée entre ces 2 points (*Annexe 8*). Le temps entre le début du QRS et le début de l'enveloppe doppler aortique ascendante et descendante correspondent respectivement aux temps T1 et T2 (*Annexe 7*).

Nous avons pu calculer à l'aide de ces données recueillies plusieurs paramètres hémodynamiques :

- la vitesse de l'onde de pouls (VOP) selon la formule :  $VOP = \text{longueur de l'arc aortique} / \text{temps de transit} (= T2 - T1)$ , en cm/s

- la module d'élasticité ( $E_p$ ) selon la formule :  $E_p = \text{pression pulsée (=PAs - PAd)} / ((\text{DTS max} - \text{DTD})/\text{DTD})$  en mm Hg
- l'index de rigidité artérielle (Stiffness Index = SI) selon la formule :  
$$\text{SI} = \ln(\text{PAs}/\text{PAd}) / ((\text{DTS max} - \text{DTD})/\text{DTD})$$

Sur les échographies réalisées dans la période post-opératoire précoce (J7), nous avons relevé la présence ou non d'une régurgitation aortique et son grade.

### Données IRM

L'appareil utilisé était de marque Siemens AERA 1,5. Le WSS (en mPa) a été analysé sur quatre portions différentes, à savoir au niveau des néo-sinus de Valsalva, de la jonction sino-tubulaire prothétique, de la portion tubulaire, et de la crosse aortique. Une moyenne de ce WSS a également été effectuée pour les analyses statistiques. Nous avons analysé le type de flux aortique ainsi que son excentricité. Le flux aortique a été classé pour chaque patient en trois groupes : 0=laminaire, 1=hélicoïdal, ou 2=turbulent (*Annexe 9 A*). Nous avons décrit trois types de flux : 0=central, 1=modérément excentré, et 2=excentré (*Annexe 9 B*). Nous avons analysé le type de flux ainsi que son excentricité dans chaque portion de l'aorte thoracique, et en avons présenté dans la partie résultats le flux et l'excentricité les plus pathologiques.

### Analyses statistiques

Les statistiques ont été réalisées avec les logiciels SPSS version 20.0 et MedCalc v16.4.3. Les variables quantitatives ont été décrites par leur moyenne et leur déviation standard en cas de distribution normale et par leur médiane et intervalle interquartile le cas échéant. La normalité

des variables a été évaluée graphiquement et par un test de Kolmogorov-Smirnov. Les variables qualitatives ont été décrites par leur effectif et leur fréquence associée exprimée en pourcentage. Pour les variables quantitatives, la comparaison des 2 groupes a été réalisée par un test de Student en cas de distribution normale de la variable et par un test non paramétrique de Mann-Whitney Wilcoxon le cas échéant. Pour les variables qualitatives un test du Khi-deux a été réalisé. Les analyses statistiques ont été considérées comme significatives au risque de première espèce fixé à 5%. Nous avons utilisé un log-rank test pour comparer la survenue des évènements entre les 2 groupes. Ces évènements sont représentés sur une courbe de Kaplan Meier.

## RESULTATS

### Population

Les caractéristiques cliniques et biologiques de la population ont été résumées dans le *tableau 1*. La population de l'étude comprenait 82 patients. La majorité des patients étaient des hommes (n=66, 80%), dont l'âge moyen était de  $57 \pm 13$  ans. La population était en surpoids (IMC =  $28,4 \pm 5,2$  kg/m<sup>2</sup>). 11% des patients étaient atteints de la maladie de Marfan, et 12% porteurs d'une bicuspidie aortique. Les patients étaient le plus souvent hypertendus (n=55, 67%), et n'avaient pour la plupart aucune gêne fonctionnelle (n = 48, 59% au stade NYHA 1). Ils étaient porteurs d'une dyslipidémie pour 28% (n=23) d'entre eux, tabagiques pour 16% (n=13), avec un antécédent de fibrillation atriale pour 15% (n=12), d'AVC ou AIT pour 4% (n=3), d'une coronaropathie pour 9% (n=7), diabétiques pour 5% (n=4), ou atteints d'une artériopathie périphérique pour 2% (n=2). Les données de l'imagerie montraient que la FEVG préopératoire était globalement normale ( $59,2 \pm 7,5$  %). Une insuffisance aortique était rapportée chez 56% des patients, avec une majorité de fuites minimales et modérées (respectivement 24% et 29%). 15% d'IAo sévères étaient rapportées (n=12). Le diamètre moyen des sinus de Valsalva sur le scanner était de  $51,1 \pm 6,5$  mm. La créatininémie médiane était de 9 [8-11] mg/l.

Nous avons séparé la population selon les deux techniques chirurgicales, distinguant les groupes « nouvelle technique » (n=41) et « technique classique » (n=41). La nouvelle technique était réalisée à 85% par le chirurgien A, tandis que la technique classique à 80% par le chirurgien C. On ne retrouvait pas de différence significative entre les deux groupes en préopératoire concernant les caractéristiques cliniques, biologiques, et d'imagerie de la population, hormis sur le nombre de patients porteurs d'une dyslipidémie (p=0,03), et ceux porteurs d'une coronaropathie (p=0,049), témoignant d'un bon matching entre les 2 groupes.

<b>Tableau 1 : Données préopératoires</b>				
	<b>Population totale n=82</b>	<b>Nouvelle Technique n=41</b>	<b>Technique « classique » n=41</b>	<b>p</b>
<b>Clinique</b>				
Sexe masculin	66 (81)	32 (78)	34 (83)	0,58
Age (années)	57,1 ± 13,4	57 ± 14,3	57,1 ± 12,7	0,96
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	28,4 ± 5,2	29,3 ± 6,5	27,5 ± 3,6	0,12
Stade NYHA				0,33
1	48 (59)	21 (51)	27 (66)	
2	31 (38)	19 (46)	12 (29)	
3	3 (4)	1 (2)	2 (5)	
4	0 (0)	0 (0)	0 (0)	
Tabac	13 (16)	5 (12)	8 (20)	0,35
Diabète	4 (5)	1 (2)	3 (7)	0,31
HTA	55 (67)	22 (54)	33 (80)	0,01
Dyslipidémie	23 (28)	7 (17)	16 (39)	<b>0,03</b>
FA	12 (15)	7 (17)	5 (12)	0,53
AVC / AIT	3 (4)	2 (5)	1 (2)	0,56
Coronaropathie	7 (9)	1 (2)	6 (15)	<b>0,049</b>
Artériopathie	2 (2)	2 (5)	0 (0)	0,15
BPCO	0 (0)	0 (0)	0 (0)	--
Marfan / Loyes Dietz	9 (11)	7 (17)	2 (5)	0,08
Bicuspidie	10 (12)	4 (10)	6 (15)	0,50
<b>Imagerie</b>				
FEVG (%)	59,2 ± 7,5	58,5 ± 6,9	60 ± 8	0,39
Aortic Regurgitation	56 (68)	24 (59)	32 (78)	0,60
Minime	20 (24)	9 (22)	11 (27)	
Modérée	24 (29)	9 (22)	15 (37)	
Sévère	12 (15)	6 (15)	6 (15)	
Diamètre sinus TDM (mm)	51,7 ± 6,5	50,1 ± 6,8	53,3 ± 5,9	<b>0,02</b>
<b>Biologique</b>				
Créatininémie (mg/l)	9 [8-11]	8 [8-10]	9,6 [8,45-11]	0,17
Les effectifs sont présentés en nombre (n) et en %. Les valeurs sont présentées par la moyenne ± déviation standard en cas de distribution normale. En cas de distribution non normale les valeurs sont représentées en médiane et 1 <sup>er</sup> et 3 <sup>ème</sup> quartile.				
<i>AIT : accident ischémique transitoire ; AVC : accident vasculaire cérébral ; BPCO : broncho pneumopathie chronique obstructive ; FA : fibrillation atriale ; FEVG : Fraction d'éjection ventriculaire ; HTA : hypertension artérielle ; IMC : indice de masse corporelle ; NYHA : New york heart association ; SAS : syndrome d'apnée du sommeil ; TDM : tomodensitométrie</i>				

### Données chirurgicales

Les données chirurgicales ont été détaillées dans les *tableaux 2* et *2bis*. Aucune différence significative entre les groupes n'était établie concernant le score de risque préopératoire, avec un Euroscore II médian à 1,14 [0,96-1,43], ces patients étant globalement à risque chirurgical bas. Les temps de CEC et de clampage apparaissaient plus longs dans le groupe « nouvelle technique » par rapport au groupe « technique classique » : respectivement 132 [100,2-138] versus 103 [92,7-120] minutes ( $p=0,0005$ ) pour le temps de CEC, et 112 [101-129] versus 85 [75,5-94,7] minutes ( $p=0,0001$ ) pour le temps de clampage. Des procédures associées à la chirurgie de remplacement de la racine aortique étaient majoritairement effectuées dans le groupe « technique classique » (37% versus 2%) avec comme principales procédures un wrapping de l'anastomose aortique distale (17% versus 2%) et une plastie valvulaire aortique (12% versus 0%). Un geste associé de pontage coronarien a été réalisé pour 5% ( $n=2$ ) des patients du groupe « technique classique ».

### Suivi post-opératoire précoce

Aucune différence significative n'a été montrée à propos du nombre de jours d'hospitalisation lié à la chirurgie ( $p=0,38$ ). Durant cette période on n'observait pas de différence sur le recours aux amines vasopressives ( $p=0,5$ ). On ne notait pas non plus de différence significative concernant le taux d'insuffisance aortique sur l'échocardiographie réalisée à J7 post-opératoire ( $p=0,12$ ). On remarquait 1 insuffisance aortique sévère à J7 dans le groupe « nouvelle technique », liée à un lâchage de suture au niveau d'une commissure, ayant conduit à une ré-intervention précoce à J4. Au sujet des complications les plus fréquemment rencontrées dans la période post-opératoire précoce, on ne retrouvait pas de différence

<b>Tableau 2 : Données chirurgicales</b>				
	<b>Population totale n=82</b>	<b>Nouvelle technique n=41</b>	<b>Technique « classique » n=41</b>	<b>p</b>
Euroscore II	1,14 [0,96-1,53]	1,14 [0,98-1,49]	1,14 [0,96-1,56]	0,78
Temps CEC (min)	120 [100,2-138]	132 [124-145]	103 [92,7-120]	<b>0,0005</b>
Temps Clampage (min)	100 [84-120]	112 [101-129]	85 [75,5-94,7]	<b>0,0001</b>
Taille prothèse	30,4 ± 2	30,9 ± 1,8	29,9 ± 4,3	<b>0,02</b>
Procédures associées	16 (20)	1 (2)	15 (37)	<b>0,0001</b>
Plastie Mitrale	1 (1)	0 (0)	1 (2)	
RVM	1 (1)	1 (2)	0 (0)	
Plastie aortique	5 (6)	0 (0)	5 (12)	
Chirurgie associée aorte	7 (9)	0 (0)	7 (17)	
Pontage coronaire	2 (2)	0 (0)	2 (5)	

Les effectifs sont présentés en nombre (n) et en %. Les valeurs sont présentées par la moyenne ± déviation standard en cas de distribution normale. En cas de distribution non normale les valeurs sont représentées en médiane et 1<sup>er</sup> et 3<sup>ème</sup> quartile.

*CEC : Circulation extra corporelle ; RVM : Remplacement valvulaire mitral*

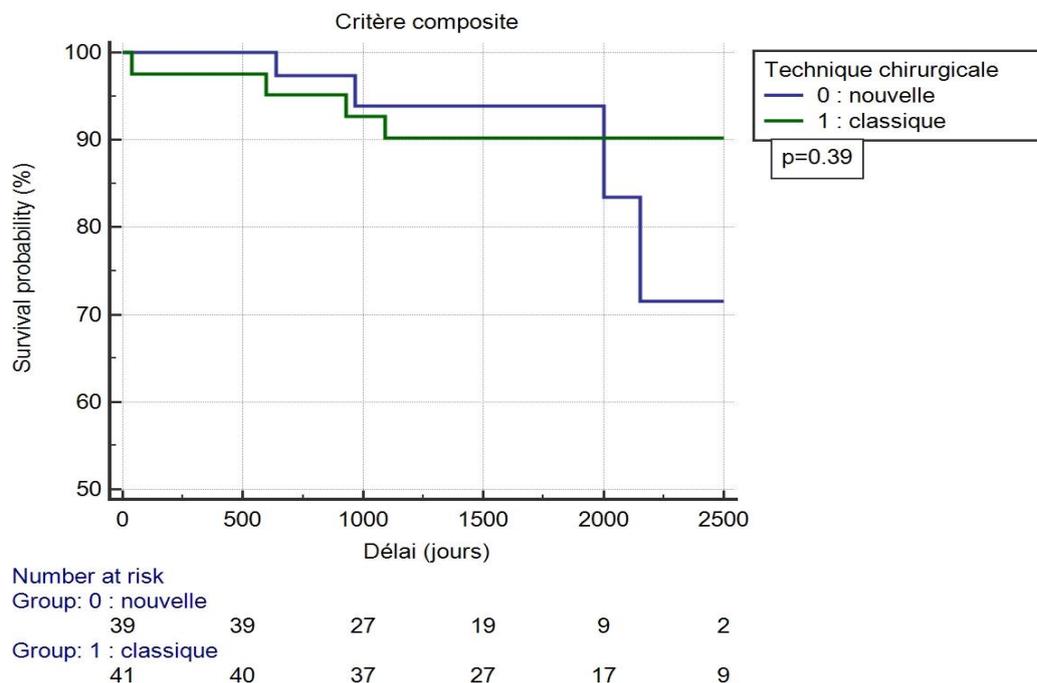
<b>Tableau 2bis : Données chirurgicales</b>		
	<b>Nombre de chirurgie</b>	<b>Temps de CEC (min)</b>
<b>Nouvelle technique (n=41)</b>		
Chirurgien A	35	136 ± 27
Chirurgien B	6	146 ± 14
<b>Technique « classique » (n=41)</b>		
Chirurgien C	33	102 ± 18
Chirurgien D	4	204 ± 12
Chirurgien E	2	133 ± 38
Chirurgien F	2	147 ± 18

significative sur le taux d'AVC ( $p=0,56$ ), de fibrillation atriale ( $p=0,65$ ), d'infarctus du myocarde de type 5 ( $p=0,15$ ), ou d'implantation d'un stimulateur cardiaque ( $p=1$ ). On remarquait toutefois un taux significativement plus important d'embolie pulmonaire dans le groupe « nouvelle technique » (15% versus 2%,  $p=0,049$ ). Significativement plus de drainage péricardique ont été effectués pour la nouvelle technique (6 versus 1,  $p=0,049$ ), avec 3 épanchements péricardiques drainés par voie percutanée, et 3 par voie chirurgicale. Les données sur le suivi post-opératoire précoce sont détaillées dans le *tableau 3*.

### Suivi post-opératoire tardif

On ne retrouvait pas de différence de mortalité à long terme entre les deux techniques, qu'elle soit de toutes causes ou de cause cardiovasculaire (respectivement  $p=0,62$  et  $p=0,78$ ), avec un suivi moyen de  $4,8 \pm 2$  années. Le taux de survie de notre population était de 94% ( $n=78$ ). Aucune différence significative n'a été montrée entre les deux techniques concernant le critère composite d'évènement ( $p=0,39$ ) (*figure 1*), ainsi que pour les éléments composant ce critère : le taux d'AVC ( $p=0,98$ ), d'infarctus du myocarde ( $p=0,32$ ), d'insuffisance cardiaque ( $p=0,08$ ), ou de nécessité d'une nouvelle intervention à distance ( $p=0,54$ ). On notait 2 ré-interventions tardives dans le groupe « nouvelle technique » pour 2 remplacements valvulaires aortiques en raison d'un rétrécissement aortique serré et d'une insuffisance aortique sévère. La seule ré-intervention tardive dans le groupe « technique classique » a été effectuée pour endocardite infectieuse avec mise en place d'un Bentall mécanique. Les données sur le suivi post-opératoire tardif sont détaillées dans le *tableau 3*.

<b>Tableau 3: Complications post-opératoires</b>				
	<b>Population totale n=82</b>	<b>Nouvelle technique n=41</b>	<b>Technique « classique » n=41</b>	<b>p</b>
<b>Précoces</b>				
Nombre jours d'hospitalisation	10 [9-13]	11 [10-13,2]	10 [9-11,5]	0,38
Amines	10 (12)	6 (15)	4 (10)	0,50
IDM type 5	2 (2)	0 (0)	2 (5)	0,15
IAo à J7	35 (43)	21 (51)	14 (34)	0,12
Minime	28 (34)	15 (37)	13 (32)	
Modérée	6 (8)	5 (12)	1 (2)	
Sévère	1 (1)	1 (2)	0 (0)	
AVC	3 (4)	1 (2)	2 (5)	0,56
EP	7 (9)	6 (15)	1 (2)	<b>0,049</b>
FA	30 (37)	14 (34)	16 (39)	0,65
Implantation PM	4 (5)	2 (5)	2 (5)	1
Ré interventions précoces	1 (1)	1 (2)	0 (0)	0,32
Drainage péricardique	7 (9)	6 (15)	1 (2)	<b>0,049</b>
<b>Tardives</b>				
MACCE	12 (15)	6 (15)	6 (15)	0,39
Décès toutes causes	5 (6)	3 (7)	2 (5)	0,62
Décès cardiovasculaires	4 (5)	2 (5)	2 (5)	0,98
AVC	4 (5)	2 (5)	2 (5)	0,98
IDM	1 (1)	0 (0)	1 (2)	0,32
IC	3 (4)	0 (0)	3 (7)	0,08
Ré interventions tardives	3 (4)	2 (5)	1 (2)	0,54
Les effectifs sont présentés en nombre (n) et en %. Les valeurs sont présentées par la moyenne ± déviation standard en cas de distribution normale. En cas de distribution non normale les valeurs sont représentées en médiane et 1 <sup>er</sup> et 3 <sup>ème</sup> quartile.				
<i>AVC : accident vasculaire cérébral ; CV : cardiovasculaire ; EP : embolie pulmonaire ; FA : fibrillation atriale ; IAo : insuffisance aortique ; IC : insuffisance cardiaque ; IDM : infarctus du myocarde ; MACCE : major adverse cardiovascular and cerebrovascular event ; PM : pacemaker ;</i>				

Figure 1 : critère composite d'évènements cardiovasculairesDonnées ETT

Ces données sont détaillées dans le *tableau 4*. Les échographies cardiaques ont pu être réalisées pour 64 patients au cours du suivi, entre octobre 2016 et juillet 2017, en moyenne  $4,8 \pm 2$  années après l'intervention chirurgicale, avec des échographies réalisées un peu plus à distance dans le groupe « technique classique » ( $5,7 \pm 2$  ans versus  $3,9 \pm 2,2$  ans,  $p=0,0001$ ). La FEVG restait préservée dans les deux groupes, à  $61 \pm 8,7\%$  pour la « nouvelle technique », et  $63,5 \pm 10\%$  pour la « technique classique » ( $p=0,28$ ). Le diamètre télédiastolique ventriculaire gauche médian était mesuré à  $50,9 \pm 7,4$  mm, sans différence significative retrouvée entre les deux groupes ( $p=0,22$ ). On ne retrouvait pas non plus de différence significative concernant le profil de pressions de remplissage ventriculaire gauche ( $p=0,12$ ), la surface de l'oreillette gauche ( $p=0,14$ ), et la fonction ventriculaire droite évaluée par le TAPSE ( $p=0,55$ ). Concernant la VOP au niveau de la crosse, aucune différence significative

n'a été retrouvée ( $725 \pm 89$  versus  $773 \pm 164$  cm/s,  $p=0,32$ ). Concernant les paramètres de rigidité artérielle, on n'identifiait pas non plus de différence significative sur le module d'élasticité ( $1647 \pm 412$  versus  $1583 \pm 465$  mm Hg,  $p=0,58$ ), ou sur l'index de rigidité artérielle ( $15,9 \pm 3,8$  versus  $14,3 \pm 0,7$ ,  $p=0,14$ ). Concernant le taux d'insuffisance aortique, on ne retrouvait pas de différence significative entre les deux techniques ( $p=0,052$ ). On remarquait l'absence d'insuffisance aortique modérée et sévère dans le groupe « technique classique ».

### Données IRM

Ces données sont détaillées dans le *tableau 5*. 27 patients ont pu bénéficier d'une IRM avec le logiciel d'acquisition en 4D « CAAS ». Une analyse de la dynamique du flux sanguin dans l'aorte ascendante et du stress pariétal (WSS) a pu être réalisée en aveugle par un intervenant. Ces IRM ont été réalisées entre septembre 2016 et juillet 2017, avec un délai après l'intervention de  $4,8 \pm 2$  années. 2 patients dans le groupe « nouvelle technique » étaient porteurs d'une bicuspidie, contre 3 dans le groupe « technique classique ». Aucune différence significative n'a été retrouvée sur la taille de l'aorte, du tube prothétique ( $p=0,17$ ) à l'aorte descendante ( $p=0,40$ ), en passant par la crosse ( $p=0,68$ ). On ne mettait pas en évidence de différence significative sur le taux de stress pariétal appliqué sur chaque portion de la paroi aortique, des néo-sinus de valsalva ( $p=0,35$ ) jusqu'à la crosse ( $p=0,62$ ). Le WSS global était mesuré respectivement à  $1458 \pm 411$  versus  $1265 \pm 457$  mPa, sans différence significative, dans les groupes technique « nouvelle » et « classique » ( $p=0,27$ ). L'évaluation de l'excentricité du flux à l'aide de sa vitesse n'a pas montré de différence significative entre les deux techniques ( $p=0,34$ ), et ce pour chaque portion de l'aorte. Concernant la dynamique et le type de flux dans toute l'aorte thoracique, on ne notait pas de différence significative entre les deux techniques ( $p=0,12$ ). Un seul flux laminaire est retrouvé pour l'ensemble des patients,

dans le groupe « technique classique ». On notait 2 flux hélicoïdaux (14%) pour la nouvelle technique, contre 4 (31%) pour la technique classique. Un flux turbulent a été retrouvé pour 12 patients (86%) opérés la nouvelle technique, contre 8 patients (61%) opérés par la technique classique. L'annexe 9 illustre chaque type de flux.

**Tableau 4 : Données ETT**

	<b>Population totale n=64</b>	<b>Nouvelle technique n=31</b>	<b>Technique « classique » n=33</b>	<b>p</b>
Délai après BO (j)	1750 ± 734	1407 ± 785	2073 ± 720	<b>0,0001</b>
FEVG (%)	62,3 ± 9,4	61 ± 8,7	63,5 ± 10	0,28
DTDVG (mm)	50,9 ± 7,4	52,1 ± 8,1	49,8 ± 6,5	0,22
DTDVG > 70 mm	3 (5)	2 (6)	1 (3)	0,52
IAO	33 (52)	17 (55)	16 (48)	0,052
Minime	29 (45)	13 (42)	16 (48)	
Modérée	3 (5)	3 (10)	0 (0)	
Sévère	1 (2)	1 (3)	0 (0)	
E/E' moyenné	7,4 ± 2,7	6,8 ± 2,5	7,9 ± 2,7	0,12
SOG (cm <sup>2</sup> )	24,6 ± 6,4	25,9 ± 7,5	23,5 ± 5,1	0,14
TAPSE (mm)	19,1 ± 3,8	19,5 ± 4,1	18,9 ± 3,5	0,55
VOP (cm/s)	750 ± 176	725 ± 189	773 ± 164	0,32
EP modulus (mm Hg)	1614 ± 437	1647 ± 412	1583 ± 465	0,58
Stiffness index	15,1 ± 3,9	15,9 ± 3,8	14,3 ± 0,7	0,14

Les effectifs sont présentés en nombre (n) et en %. Les valeurs sont présentées par la moyenne ± déviation standard en cas de distribution normale. En cas de distribution non normale les valeurs sont représentées en médiane et 1<sup>er</sup> et 3<sup>ème</sup> quartile.

*BO : bloc opératoire ; DTDVG : diamètre télédiastolique ventriculaire gauche ; ETT : échographie trans-thoracique ; FEVG : fraction d'éjection ventriculaire gauche ; IAO : insuffisance aortique ; JST : jonction sino-tubulaire ; SOG : surface de l'oreillette gauche ; TAPSE : tricuspide annular plane systolic excursion ; VOP : vitesse de l'onde de pouls*

<b>Tableau 5: Données IRM</b>				
	<b>Population totale n=27</b>	<b>Nouvelle technique n=14</b>	<b>Technique « classique » n=13</b>	<b>p</b>
<b>Taille Aorte (mm)</b>				
Sinus Valsalva	35,3 ± 4,3	37 ± 5,9	34 ± 2,2	0,14
Tube prothétique	35,4 ± 4,3	36,5 ± 5,1	34,2 ± 3	0,17
Crosse	32,3 ± 4,5	31,9 ± 3,8	32,7 ± 5	0,68
Descendante	26,6 ± 2,9	27,2 ± 4	26,2 ± 1,5	0,40
<b>WSS (mPa)</b>				
Sinus Valsalva	1305 ± 638	1418 ± 664	1183 ± 610	0,35
JST	1726 ± 610	1864 ± 673	1577 ± 519	0,23
Tubulaire	1585 ± 521	1697 ± 430	1464 ± 598	0,25
Crosse	866 ± 316	898 ± 214	835 ± 401	0,62
Global	1361 ± 437	1458 ± 411	1265 ± 457	0,27
<b>Excentricité du flux</b>				0,34
Central	9 (33)	3 (21)	6 (46)	
Modérément excentré	9 (33)	6 (43)	3 (23)	
Excentré	9 (33)	5 (36)	4 (31)	
<b>Type flux</b>				0,12
Laminaire	1 (4)	0 (0)	1 (8)	
Hélicoïdal	6 (22)	2 (14)	4 (31)	
Turbulent	20 (74)	12 (86)	8 (61)	
<p>Les effectifs sont présentés en nombre (n) et en %. Les valeurs sont présentées par la moyenne ± déviation standard en cas de distribution normale. En cas de distribution non normale les valeurs sont représentées en médiane et 1<sup>er</sup> et 3<sup>ème</sup> quartile.</p> <p><i>JST : jonction sino-tubulaire ; mPa : milli Pascal ; WSS : wall shear stress</i></p>				

## DISCUSSION

Ce travail avait pour but d'évaluer l'impact clinique et hémodynamique d'une nouvelle technique chirurgicale de remplacement de la racine aortique avec conservation de la valve native, classiquement décrite par le Dr Tirone David. Nous avons comparé une cohorte monocentrique de patients opérés par ces deux techniques. Les résultats nous montrent l'absence de différence sur les principales complications post-opératoires précoces, hormis sur l'embolie pulmonaire et les drainages péricardiques plus fréquemment retrouvés pour la nouvelle technique. Les techniques ne diffèrent pas sur le critère composite d'évènements à moyen terme. Aucune différence n'est retrouvée sur les paramètres hémodynamiques aortiques évalués en imagerie multimodale.

### Population étudiée

Notre population était représentative des patients habituellement opérés d'un remplacement de l'aorte ascendante sur dilatation anévrysmale (15), avec un âge moyen 57 ans, un risque chirurgical bas, une insuffisance aortique préopératoire principalement de grade faible à modérée, et une FEVG majoritairement préservée.

### Données peropératoires

En comparant ces techniques sur le temps de circulation extra corporelle, on remarque que celui-ci est plus long dans le groupe opéré par la nouvelle technique. Ce résultat peut être atténué puisqu'il est largement en lien avec le temps opératoire d'un seul chirurgien majoritairement opérateur dans le groupe contrôle « technique classique ». Lorsque l'on compare avec les autres chirurgiens effectuant la technique classique, le temps de CEC

nécessaire à la réalisation de cette nouvelle technique ne semble pas différer de la technique classique. Les données de la littérature à ce sujet confortent cette observation. Dans une cohorte de 333 patients opérés consécutivement par la méthode classique, David et al. (15) rapporte un temps de CEC de  $142 \pm 33$  minutes, plus long que celui rapporté dans notre essai pour la nouvelle technique. Les autres principales cohortes de patients opérés par la technique classique de Tirone David rapportent des temps de CEC encore plus longs : Shrestha et al. (33), Libriech et al. (34), et Kvitting et al. (35) décrivent respectivement des temps de 153 [66-440],  $166 \pm 36$ , et 265 [239-301] minutes dans leurs cohortes de 126, 201, et 170 patients. Seul De Paulis et al. (36) rapporte un temps plus court de  $127,9 \pm 29,8$  minutes. Dans notre essai le nombre important de procédures associées aux interventions dans le groupe « technique classique » pourrait à lui seul expliquer un temps de CEC plus long pour les chirurgiens minoritairement opérateurs.

En comparaison aux données de la littérature la nouvelle technique chirurgicale ne nécessiterait donc pas un temps de CEC plus long.

#### Suivi post-opératoire précoce

En ce qui concerne la période d'hospitalisation qui suit l'intervention et ses principales complications, la nouvelle technique apparaît être aussi sûre que la technique classique. Aucun décès précoce n'est à relever. De façon surprenante une des différences observée concerne l'embolie pulmonaire, plus fréquemment retrouvée dans le groupe « nouvelle technique » ( $p=0,049$ ), sans lien évident avec la façon d'effectuer cette chirurgie.

On remarque cependant un taux plus important de drainage en raison d'un épanchement péricardique pour la nouvelle technique, avec un nombre égal de drainage par voie chirurgicale et par voie percutanée. Tous les patients ont survécu. Dans sa cohorte, Tirone

David (15) rapporte 8,7% de reprise précoce pour saignement, contre 15% (n=6) dans cet essai. De Paulis et al. (36) et Leontyev et al. (37) rapportent des taux respectivement de 8% et 8,9% de ré-interventions pour saignement intra-péricardique. Étonnamment les drainages percutanés n'apparaissent pas dans leur description, expliquant peut-être la différence observée avec cet essai. Une insuffisance aortique sévère liée à un lâchage de suture commissurale a été observée dans les jours suivant l'intervention pour le groupe nouvelle technique, nécessitant une reprise au bloc opératoire avec succès. David et al. (15) rapporte également 1 reprise précoce pour insuffisance aortique significative dans sa cohorte de 333 patients. L'hypothèse, si elle est évoquée, d'une plus grande fragilité de la continence valvulaire aortique chez les patients opérés par la nouvelle technique apparaît peu fiable, car effectuer une ligne de suture avec surjet dans ce cas précis n'aurait probablement pas permis d'éviter la fuite aortique, compte-tenu de l'importance d'une bonne attache commissurale pour la continence valvulaire.

Dans le groupe opéré par la technique classique, deux infarctus du myocarde sont survenus en période post-opératoire, contre aucun pour la nouvelle technique. David et al. (15) rapporte un taux de 1,2% d'IDM péri-opératoires. L'espace libéré par l'absence de surjet pour la réimplantation coronaire pourrait permettre d'expliquer cette différence, mais cette observation devra être confirmée sur une plus grande cohorte.

La nouvelle technique n'est pas plus pourvoyeuse d'AVC, de fibrillation atriale, ou de troubles de conduction nécessitant l'implantation d'un pacemaker.

Ces résultats nous montrent qu'à court terme, la nouvelle technique semble être aussi sûre que la technique classique, hormis peut-être un sur-risque d'épanchement péricardique.

### Suivi post-opératoire tardif

Les deux techniques sont comparables à propos des complications tardives au cours du suivi, notamment sur les critères durs de mortalité toute cause et de cause cardio-vasculaire. On retrouve un taux de survie de 93% chez les patients opérés à l'aide de la nouvelle technique. David et al. (38) rapporte en 2013 sur sa cohorte de 296 patients un taux de survie de 95% à 5 ans. Les autres principales études de cohortes de patients opérés avec la technique classique montrent un taux de survie comparable à 5 ans, à savoir entre 85% et 98 % (33,34,36).

Les deux méthodes chirurgicales sont également comparables à presque 5 ans de suivi post-opératoire sur le taux d'insuffisance aortique. Les patients opérés par la nouvelle technique sont indemnes d'insuffisance aortique modérée à sévère pour 87% d'entre eux, taux légèrement inférieur à ceux décrits dans la littérature (15,35,36), mais tout à fait acceptable.

Notre essai montre l'absence de remplacement valvulaire aortique à distance pour 95% des patients opérés par la nouvelle technique, taux similaire à ceux décrits dans les principales cohortes de patients opérés par la technique classique (15,34,36).

Tirone David a montré toute la sûreté de sa technique sur un taux d'évènements cardio-vasculaires bas, avec un suivi jusqu'à 20 ans (15). D'autres essais seront nécessaires afin de confirmer celle de la nouvelle technique à plus long terme.

### Analyse échographique

Les données échographiques sont comparables quant aux paramètres hémodynamiques évalués. Certains résultats sont malgré tout à relever sur l'influence entre ces techniques et l'hémodynamique aortique. Les études qui jusqu'alors s'intéressaient à ces paramètres étaient réalisées le plus souvent sur des cohortes de jeunes patients avec une aorte ascendante

« native » et non prothétique (23,24,25). Dans cet essai on note une accélération de la vitesse de l'onde pouls dans la crosse aortique avec une VOP médiane à  $750 \pm 176$  cm/s. Pour comparaison, la VOP d'une aorte ascendante native est d'environ 450 cm/s (18). Cela se comprend facilement quand on connaît la relation inversement proportionnelle de la VOP avec la distensibilité artérielle (23), et la moindre déformation à chaque systole ventriculaire de ce tube prothétique en Dacron et donc plus rigide. Faire un lien entre cette VOP augmentée et un sur-risque cardiovasculaire apparaît hâtif dans cette population, compte-tenu de sa mesure au niveau de la crosse après une aorte prothétique, quand on sait que la VOP étudiée comme facteur de risque cardio-vasculaire dans la littérature est mesurée de l'artère carotide à l'artère fémorale, à l'aide d'appareils automatiques (19,20). L'élévation des paramètres de rigidité de la paroi de l'aorte ascendante dans la population de notre essai s'explique aisément quand on compare la rigidité d'une prothèse en Dacron à celle d'une paroi aortique native. Pour comparaison, dans les principaux essais évaluant ces données, le module d'élasticité est retrouvé entre 200 et 300 mm Hg, et l'index de rigidité est calculé entre 2 et 4 (23,24,25,39). L'utilisation des mêmes prothèses dans les deux techniques de notre étude explique l'absence de différence sur ces paramètres.

### Analyse IRM

L'IRM 4D nous a permis une analyse plus fine de l'hémodynamique aortique sur une partie de notre cohorte. Les paramètres les plus étudiés dans la littérature à ce sujet sont le stress appliqué sur la paroi (WSS) et le comportement dynamique du flux sanguin lors de l'éjection ventriculaire gauche (30,40). On remarque premièrement dans cette population post-opératoire une grande majorité de flux hélicoïdaux et surtout turbulents, comme décrit dans l'essai de Bogren et al. (29). La nouvelle technique engendre plus de flux turbulents alors que la technique classique engendre plus de flux hélicoïdaux. Aucun essai dans la littérature

n'évalue la différence d'impact entre ces deux flux, même si l'on peut penser que plus le flux est tourbillonnant et turbulent, plus il s'éloigne d'une dynamique physiologique (41). Toutefois on ne retrouve pas de différence concernant la taille de l'aorte au niveau de la crosse et de sa portion descendante, dans l'hypothèse qu'un flux plus turbulent entraîne une altération structurelle de la paroi artérielle avec dilatation anévrismale, après l'anastomose chirurgicale distale (30). Hope et al. (31) décrit chez un patient présentant un flux turbulent localisé au niveau de la portion proximale de l'aorte descendante l'apparition d'une dissection aortique de type B, après 5 ans de suivi post-opératoire d'une intervention de Tirone David. Cette association n'a pas été retrouvée dans notre essai. Hope et al. (42) décrit que l'évaluation de l'excentricité du jet dans l'aorte ascendante permet d'identifier les patients à risque d'évolution anévrismale de leur paroi aortique. La nouvelle technique ne semble pas influencer l'excentricité du flux, car elle apparaît similaire dans chaque portion aortique du tube prothétique à la crosse, avec un taux équivalent de flux central, modérément excentré, ou excentré. Le stress pariétal aortique est lui aussi comparable pour les deux méthodes dans chacune des portions étudiées.

Ces résultats nous confortent dans l'idée que la nouvelle ligne de suture proximale aortique plus simple décrite dans la nouvelle technique ne semble pas altérer l'hémodynamique de l'aorte thoracique en comparaison à la technique classique, sans risque surajouté de dilatation anévrismale secondaire. Des études prospectives évaluant l'impact de ces altérations hémodynamiques apparaissent nécessaires.

### Limites

Les limites principales de cette étude sont représentées par son design observationnel et l'absence de randomisation. L'utilisation d'un score de propension aurait pu atténuer l'impact

d'un biais de sélection potentiel, bien que les groupes aient été correctement appariés. En raison de la faible incidence des complications lors du suivi, il est possible que la présente étude n'ait pas été suffisamment puissante pour détecter des différences subtiles dans les résultats à long terme. Nous avons conduit une étude monocentrique avec un risque d'effet centre. La vaste majorité des interventions chez les patients opérés par la nouvelle technique ont été réalisées par un seul chirurgien, ce qui limite la généralisation des résultats. Les échographies étaient réalisées par un seul intervenant, leur lecture était néanmoins centralisée. Les IRM étaient elles aussi analysées par un seul intervenant, néanmoins avec une lecture en aveugle.

Malgré ces limites, cet essai représente l'étude longitudinale comparative la plus longue disponible examinant les résultats à moyen terme de la nouvelle technique par rapport à la technique classique. La taille de l'échantillon relativement grande et la disponibilité d'un suivi complet rendent les résultats pertinents et fournissent des données comparatives importantes à la littérature actuelle.

## **Conclusion**

L'intervention de Tirone David est une bonne option pour le traitement des anévrismes de l'aorte ascendante, associés ou non à une insuffisance aortique, notamment chez des patients jeunes, les femmes avec désir de grossesse, ou les patients dont le traitement anticoagulant n'apparaît pas adapté à leur mode de vie. Les résultats de ce travail nous amènent à penser que pratiquer la technique simplifiée du Dr Modine permettrait de faciliter la réalisation de cette intervention avec un résultat similaire sur les complications à court et moyen terme. L'absence d'altération hémodynamique étudiée par analyse multimodale au sein de l'aorte thoracique nous conforte dans la sûreté de cette nouvelle technique. Compte-tenu de sa simplification, cette nouvelle méthode chirurgicale ne mériterait qu'à se développer au cours des prochaines années. D'autres essais seront toutefois nécessaires afin d'évaluer cette technique sur le long terme et sur une population plus importante.

**BIBLIOGRAPHIE**

1. Isselbacher EM. Thoracic and abdominal aortic aneurysms. *Circulation*. 2005 Feb 15;111(6):816–28.
2. Davies RR, Goldstein LJ, Coady MA, Tittle SL, Rizzo JA, Kopf GS, et al. Yearly rupture or dissection rates for thoracic aortic aneurysms: simple prediction based on size. *Ann Thorac Surg*. 2002 Jan;73(1):17-27-28.
3. Bentall H, De Bono A. A technique for complete replacement of the ascending aorta. *Thorax*. 1968 Jul;23(4):338–9.
4. Di Marco L, Pacini D, Pantaleo A, Leone A, Barberio G, Marinelli G, et al. Composite valve graft implantation for the treatment of aortic valve and root disease: Results in 1045 patients. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2016 Oct;152(4):1041–1048.e1.
5. Ouzounian M, Rao V, Manlhiot C, Abraham N, David C, Feindel CM, et al. Valve-Sparing Root Replacement Compared With Composite Valve Graft Procedures in Patients With Aortic Root Dilatation. *J Am Coll Cardiol*. 2016 Oct 25;68(17):1838–47.
6. Sarsam MA, Yacoub M. Remodeling of the aortic valve anulus. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1993 Mar;105(3):435–8.
7. David TE, Feindel CM. An aortic valve-sparing operation for patients with aortic incompetence and aneurysm of the ascending aorta. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1992 Apr;103(4):617–621; discussion 622.
8. Fries R, Graeter T, Aicher D, Reul H, Schmitz C, Böhm M, et al. In vitro comparison of aortic valve movement after valve-preserving aortic replacement. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2006 Jul;132(1):32–7.
9. De Paulis R, De Matteis GM, Nardi P, Scaffa R, Buratta MM, Chiariello L. Opening and closing characteristics of the aortic valve after valve-sparing procedures using a new aortic root conduit. *Ann Thorac Surg*. 2001 Aug;72(2):487–94.
10. Grande-Allen KJ, Cochran RP, Reinhall PG, Kunzelman KS. Re-creation of sinuses is important for sparing the aortic valve: a finite element study. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2000 Apr;119(4 Pt 1):753–63.
11. Leyh RG, Schmidtke C, Sievers HH, Yacoub MH. Opening and closing characteristics of the aortic valve after different types of valve-preserving surgery. *Circulation*. 1999 Nov 23;100(21):2153–60.
12. De Paulis R, De Matteis GM, Nardi P, Scaffa R, Bassano C, Chiariello L. Analysis of valve motion after the reimplantation type of valve-sparing procedure (David I) with a new aortic root conduit. *Ann Thorac Surg*. 2002 Jul;74(1):53–7.
13. David TE. Aortic Valve Sparing in Different Aortic Valve and Aortic Root Conditions. *J Am Coll Cardiol*. 2016 Aug 9;68(6):654–64.
14. Rahnavardi M, Yan TD, Bannon PG, Wilson MK. Aortic valve-sparing operations in aortic root aneurysms: remodeling or reimplantation? *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2011 Aug;13(2):189–97.

15. David TE, David CM, Feindel CM, Manlihot C. Reimplantation of the aortic valve at 20 years. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2017 Feb;153(2):232–8.
16. Boodhwani M, de Kerchove L, El Khoury G. Aortic root replacement using the reimplantation technique: tips and tricks. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2009 May;8(5):584–6.
17. El Arid J-M, Azzaoui R, Koussa M, Modine T. Technique to facilitate the native valve reimplantation during the david procedure. *J Card Surg.* 2014 Jul;29(4):485–6.
18. Baguet J-P, Kingwell BA, Dart AL, Shaw J, Ferrier KE, Jennings GL. Analysis of the regional pulse wave velocity by Doppler: methodology and reproducibility. *J Hum Hypertens.* 2003 Jun;17(6):407–12.
19. Ben-Shlomo Y, Spears M, Boustred C, May M, Anderson SG, Benjamin EJ, et al. Aortic pulse wave velocity improves cardiovascular event prediction: an individual participant meta-analysis of prospective observational data from 17,635 subjects. *J Am Coll Cardiol.* 2014 Feb 25;63(7):636–46.
20. Meaume S, Benetos A, Henry OF, Rudnichi A, Safar ME. Aortic pulse wave velocity predicts cardiovascular mortality in subjects >70 years of age. *Arterioscler Thromb Vasc Biol.* 2001 Dec;21(12):2046–50.
21. Sutton-Tyrrell K, Najjar SS, Boudreau RM, Venkitachalam L, Kupelian V, Simonsick EM, et al. Elevated aortic pulse wave velocity, a marker of arterial stiffness, predicts cardiovascular events in well-functioning older adults. *Circulation.* 2005 Jun 28;111(25):3384–90.
22. Vlachopoulos C, Aznaouridis K, Stefanadis C. Prediction of cardiovascular events and all-cause mortality with arterial stiffness: a systematic review and meta-analysis. *J Am Coll Cardiol.* 2010 Mar 30;55(13):1318–27.
23. Whitlock MC, Hundley WG. Noninvasive Imaging of Flow and Vascular Function in Disease of the Aorta. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2015 Sep;8(9):1094–106.
24. Sandor GGS, Hishitani T, Petty RE, Potts MT, Desouza A, Desouza E, et al. A novel Doppler echocardiographic method of measuring the biophysical properties of the aorta in pediatric patients. *J Am Soc Echocardiogr Off Publ Am Soc Echocardiogr.* 2003 Jul;16(7):745–50.
25. Bradley TJ, Potts JE, Potts MT, DeSouza AM, Sandor GGS. Echocardiographic Doppler assessment of the biophysical properties of the aorta in pediatric patients with the Marfan syndrome. *Am J Cardiol.* 2005 Nov 1;96(9):1317–21.
26. Myers KA, Leung MT, Terri Potts M, Potts JE, Sandor GGS. Noninvasive assessment of vascular function and hydraulic power and efficiency in pediatric Fontan patients. *J Am Soc Echocardiogr Off Publ Am Soc Echocardiogr.* 2013 Oct;26(10):1221–7.
27. Stankovic Z, Allen BD, Garcia J, Jarvis KB, Markl M. 4D flow imaging with MRI. *Cardiovasc Diagn Ther.* 2014 Apr;4(2):173–92.
28. Barker AJ, van Ooij P, Bandi K, Garcia J, Albaghdadi M, McCarthy P, et al. Viscous energy loss in the presence of abnormal aortic flow. *Magn Reson Med.* 2014 Sep;72(3):620–8.
29. Bogren HG, Mohiaddin RH, Yang GZ, Kilner PJ, Firmin DN. Magnetic resonance velocity vector mapping of blood flow in thoracic aortic aneurysms and grafts. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1995 Sep;110(3):704–14.

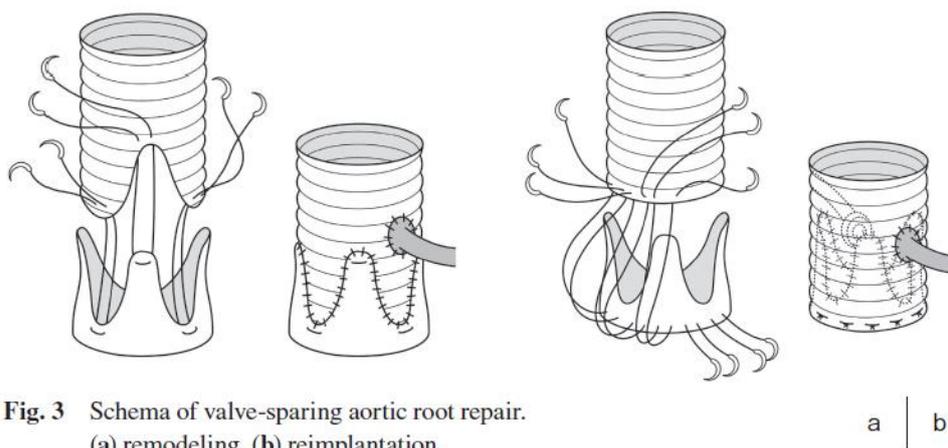
30. Geiger J, Markl M, Herzer L, Hirtler D, Loeffelbein F, Stiller B, et al. Aortic flow patterns in patients with Marfan syndrome assessed by flow-sensitive four-dimensional MRI. *J Magn Reson Imaging JMRI*. 2012 Mar;35(3):594–600.
31. Hope TA, Kvitting J-PE, Hope MD, Miller DC, Markl M, Herfkens RJ. Evaluation of Marfan patients status post valve-sparing aortic root replacement with 4D flow. *Magn Reson Imaging*. 2013 Nov;31(9):1479–84.
32. Torii R, Kalantzi M, Theodoropoulos S, Sarathchandra P, Xu XY, Yacoub MH. Predicting impending rupture of the ascending aorta with bicuspid aortic valve: spatiotemporal flow and wall shear stress. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2013 Sep;6(9):1017–9.
33. Shrestha M, Baraki H, Maeding I, Fitzner S, Sarikouch S, Khaladj N, et al. Long-term results after aortic valve-sparing operation (David I). *Eur J Cardio-Thorac Surg Off J Eur Assoc Cardio-Thorac Surg*. 2012 Jan;41(1):56-61-62.
34. Liebrich M, Kruszynski MK, Roser D, Meisner C, Doll K-N, Hemmer WB, et al. The David procedure in different valve pathologies: a single-center experience in 236 patients. *Ann Thorac Surg*. 2013 Jan;95(1):71–6.
35. Kvitting J-PE, Kari FA, Fischbein MP, Liang DH, Beraud A-S, Stephens EH, et al. David valve-sparing aortic root replacement: equivalent mid-term outcome for different valve types with or without connective tissue disorder. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2013 Jan;145(1):117–26, 127-5-127.
36. De Paulis R, Chirichilli I, Scaffa R, Weltert L, Maselli D, Salica A, et al. Long-term results of the valve reimplantation technique using a graft with sinuses. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2016 Jan;151(1):112–9.
37. Leontyev S, Trommer C, Subramanian S, Lehmann S, Dmitrieva Y, Misfeld M, et al. The outcome after aortic valve-sparing (David) operation in 179 patients: a single-centre experience. *Eur J Cardio-Thorac Surg Off J Eur Assoc Cardio-Thorac Surg*. 2012 Aug;42(2):261-266-267.
38. David TE, Armstrong S, Manlhiot C, McCrindle BW, Feindel CM. Long-term results of aortic root repair using the reimplantation technique. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2013 Mar;145(3 Suppl):S22-25.
39. Sandor GGS, Alghamdi MH, Raffin LA, Potts MT, Williams LD, Potts JE, et al. A randomized, double blind pilot study to assess the effects of losartan vs. atenolol on the biophysical properties of the aorta in patients with Marfan and Loeys-Dietz syndromes. *Int J Cardiol*. 2015 Jan 20;179:470–5.
40. von Knobelsdorff-Brenkenhoff F, Karunaharamoorthy A, Trauzeddel RF, Barker AJ, Blaszczyk E, Markl M, et al. Evaluation of Aortic Blood Flow and Wall Shear Stress in Aortic Stenosis and Its Association With Left Ventricular Remodeling. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2016 Mar;9(3):e004038.
41. Weigang E, Kari FA, Beyersdorf F, Luehr M, Eitz CD, Frydrychowicz A, et al. Flow-sensitive four-dimensional magnetic resonance imaging: flow patterns in ascending aortic aneurysms. *Eur J Cardio-Thorac Surg Off J Eur Assoc Cardio-Thorac Surg*. 2008 Jul;34(1):11–6.
42. Hope MD, Hope TA, Meadows AK, Ordovas KG, Urbania TH, Alley MT, et al. Bicuspid aortic valve: four-dimensional MR evaluation of ascending aortic systolic flow patterns. *Radiology*. 2010 Apr;255(1):53–61.

43. Shimizu H, Yozu R. Valve-sparing aortic root replacement. *Ann Thorac Cardiovasc Surg Off J Assoc Thorac Cardiovasc Surg Asia*. 2011;17(4):330–6.

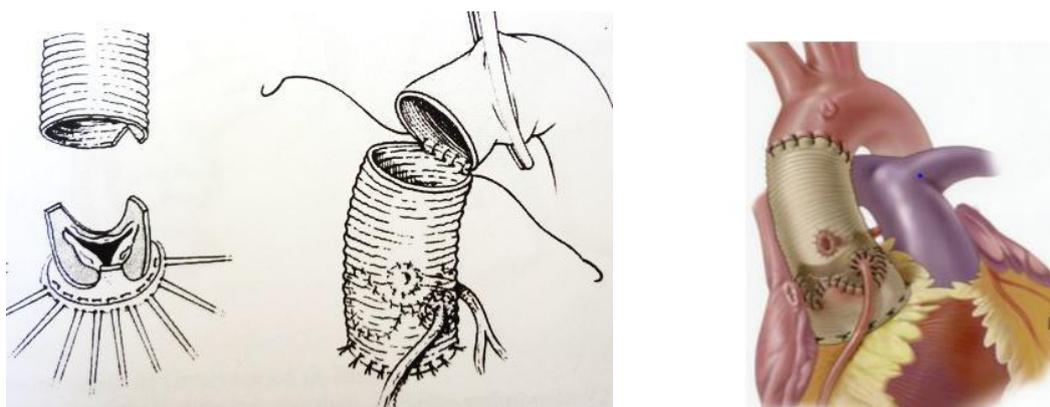
## ANNEXES

### Annexe 1 : Différences entre « Remodelage » (Yacoub) et « Réimplantation » (David) (43)

*Shimizu H, et al.*



### Annexe 2 : Technique classique de Tirone David (« réimplantation ») (7) (15)

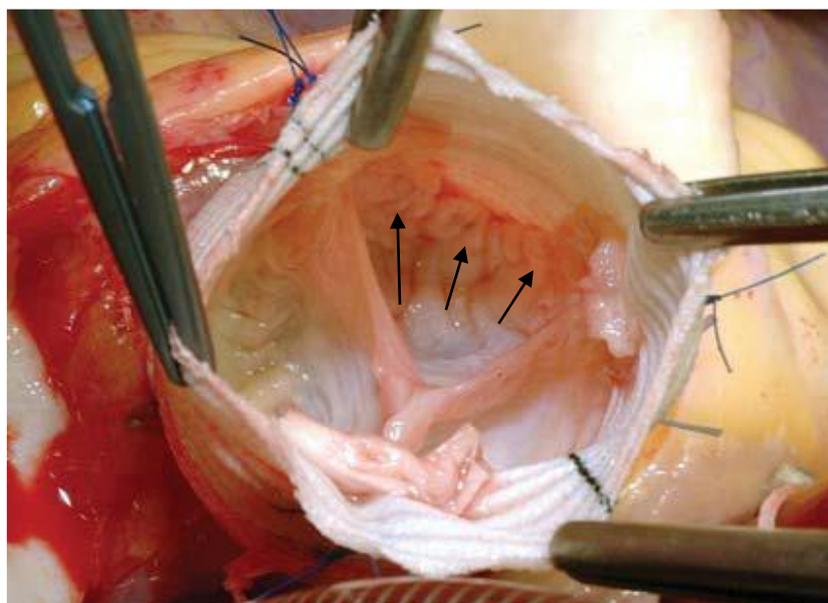


Annexe 3 : La forme d'une prothèse en Dacron avec néo-sinus préformés (« Gelweave Valsalva ») (13)

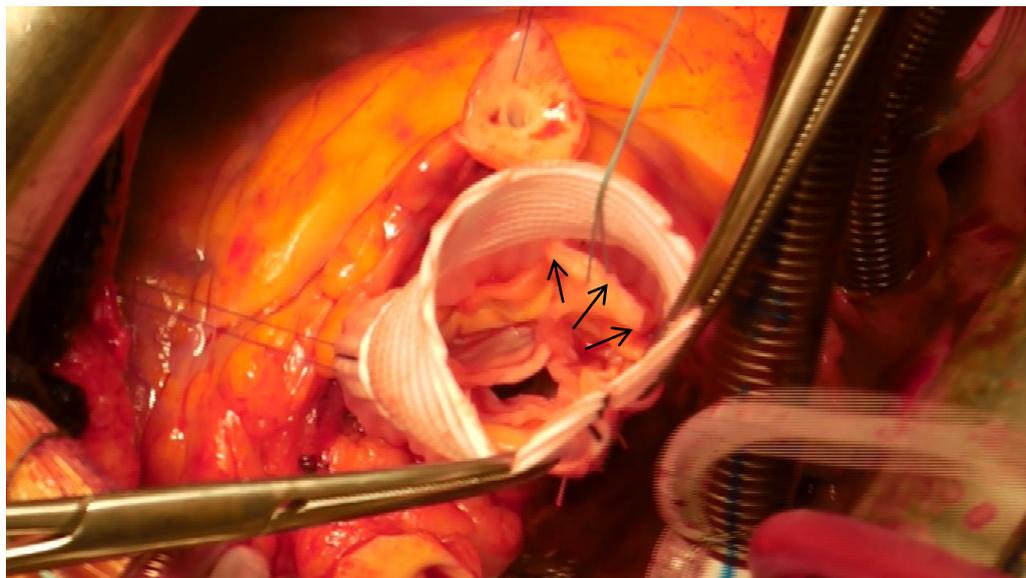


*(Gelweave Valsalva, Vascutek Ltd., Inchinnan, United Kingdom)*

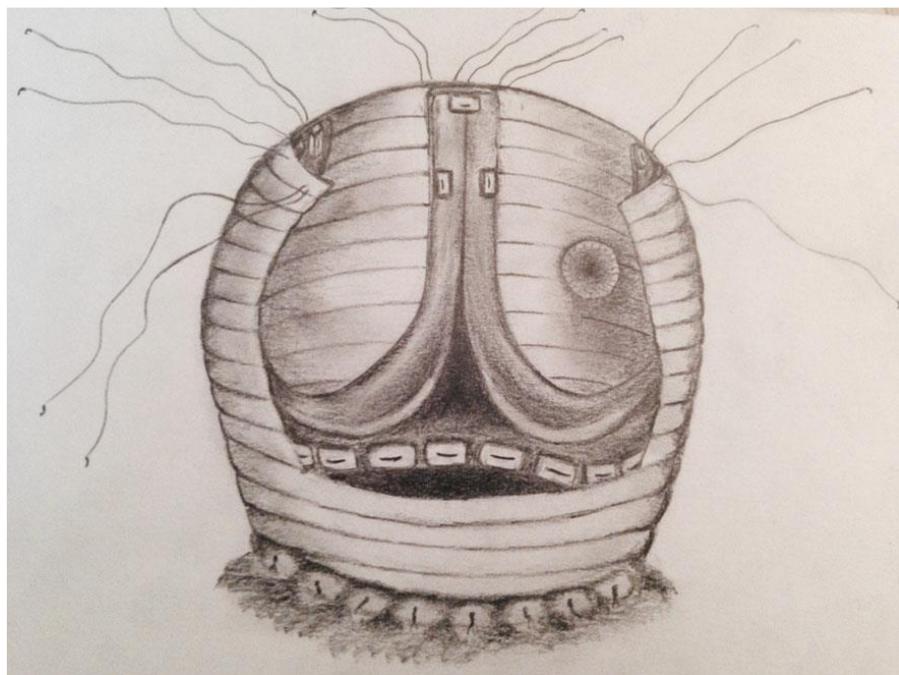
Annexe 4 : Vue opératoire de la technique classique de Tirone David (33)



*Les 3 flèches montrent le surjet permettant de fixer le squelette de la paroi aortique à la prothèse en Dacron.*

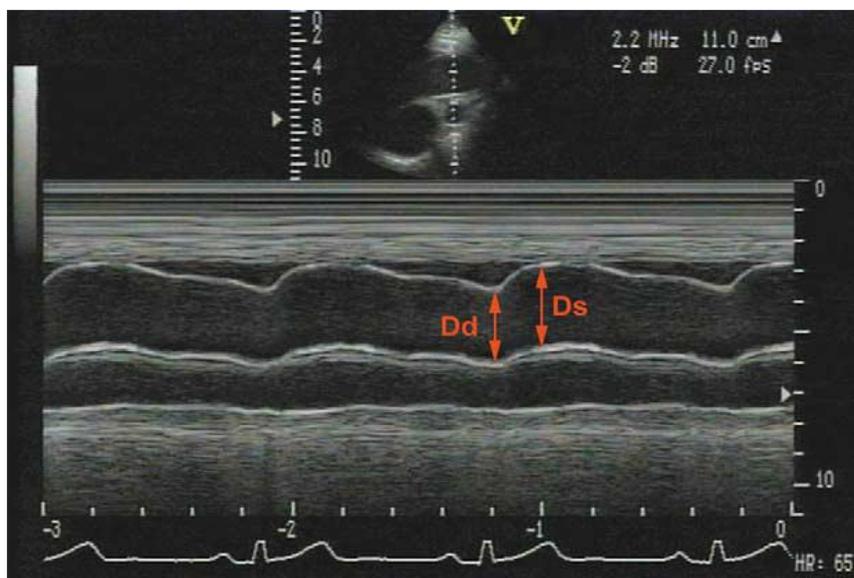
Annexe 5 : Vue opératoire de la nouvelle technique (17)

*Les flèches indiquent l'emplacement des 3 points de suspension commissuraux.*

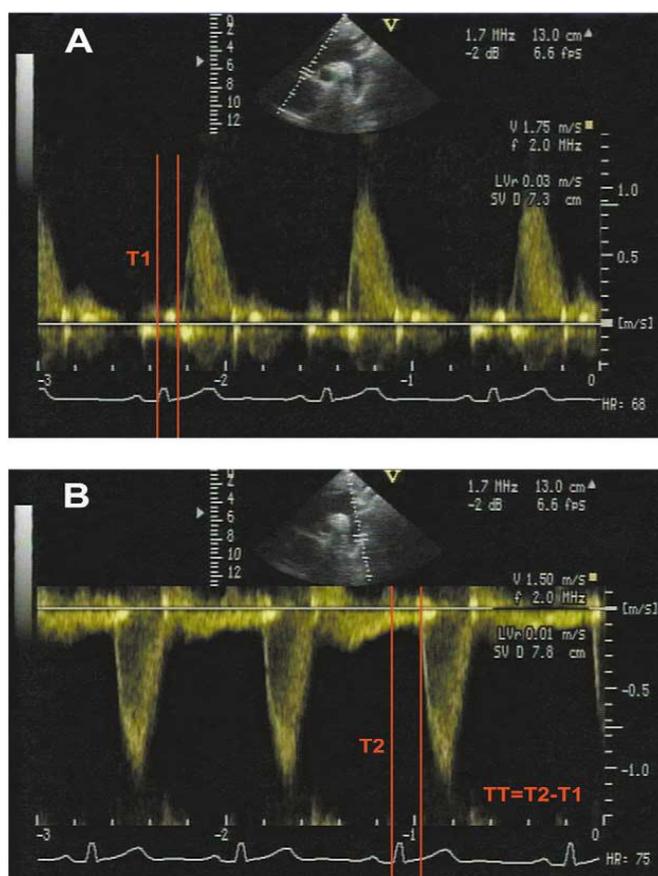


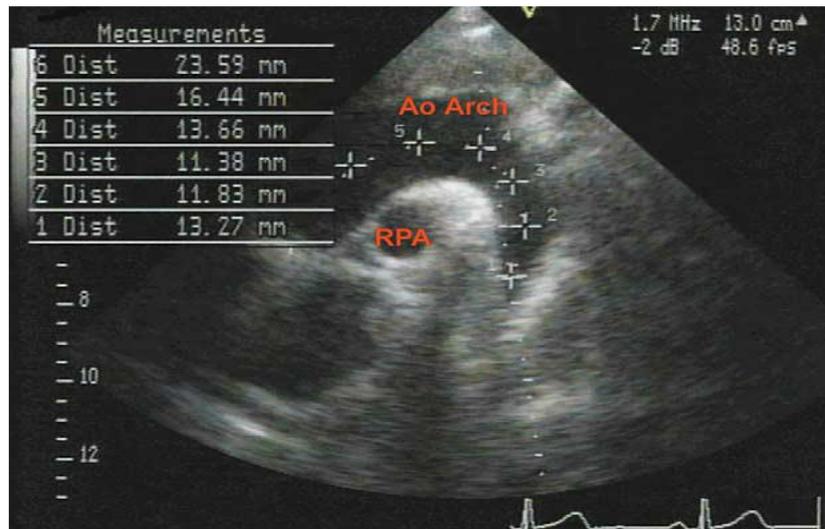
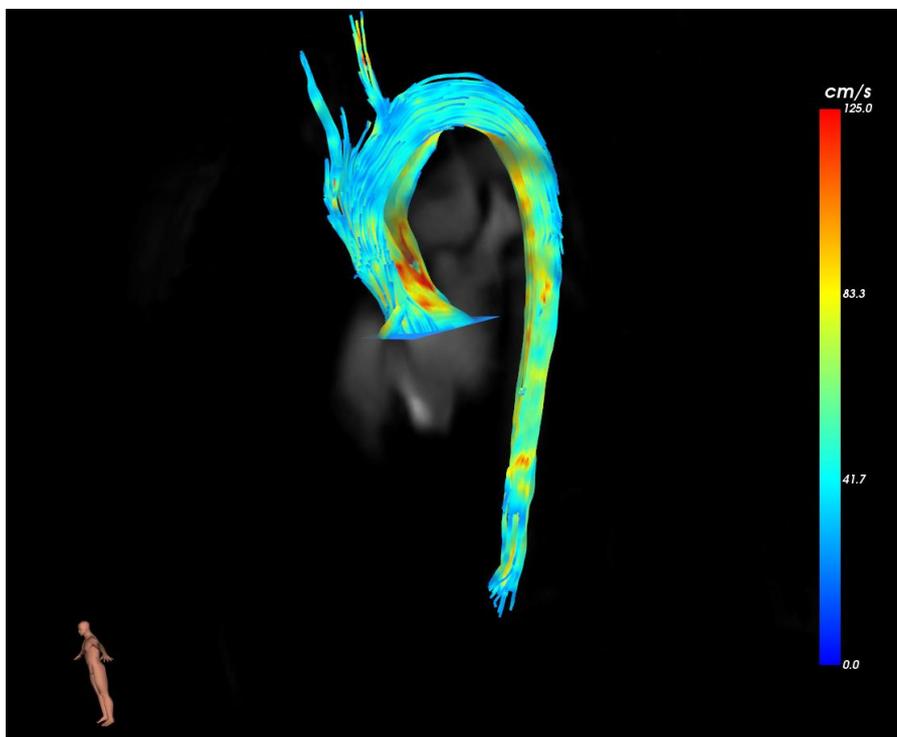
*Aspect final après réimplantation. Chaque commissure est attachée à la jonction sino-tubulaire prothétique avec trois points plédgetés en « U » de type 5-0 polypropylène. Une vue interne de la commissure entre la sigmoïde non coronaire et la sigmoïde coronaire gauche.*

Annexe 6 : Mesure des diamètres télédiastolique et télésystolique de l'aorte ascendante en mode TM (24)

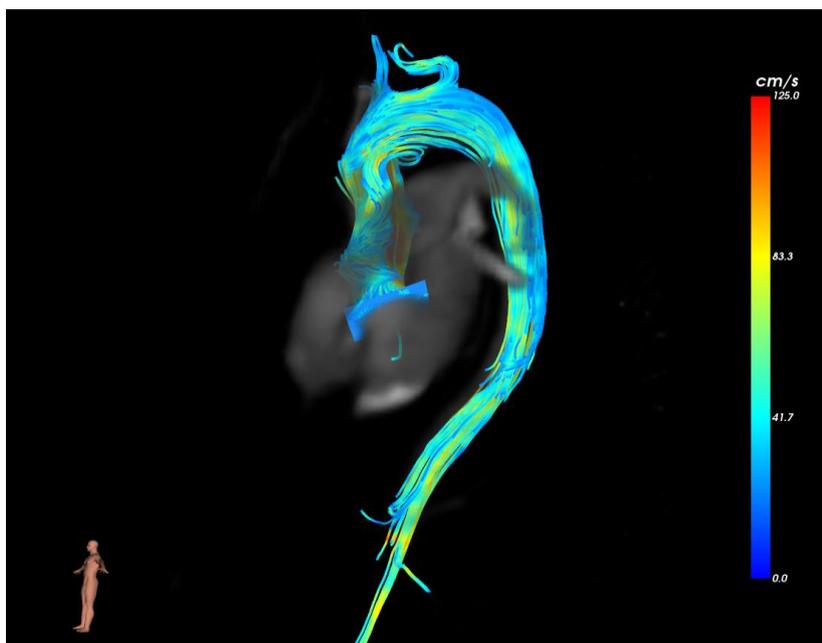


Annexe 7 : Mesures des temps T1 (A) et T2 (B) à l'aide du Doppler pulsé (24)

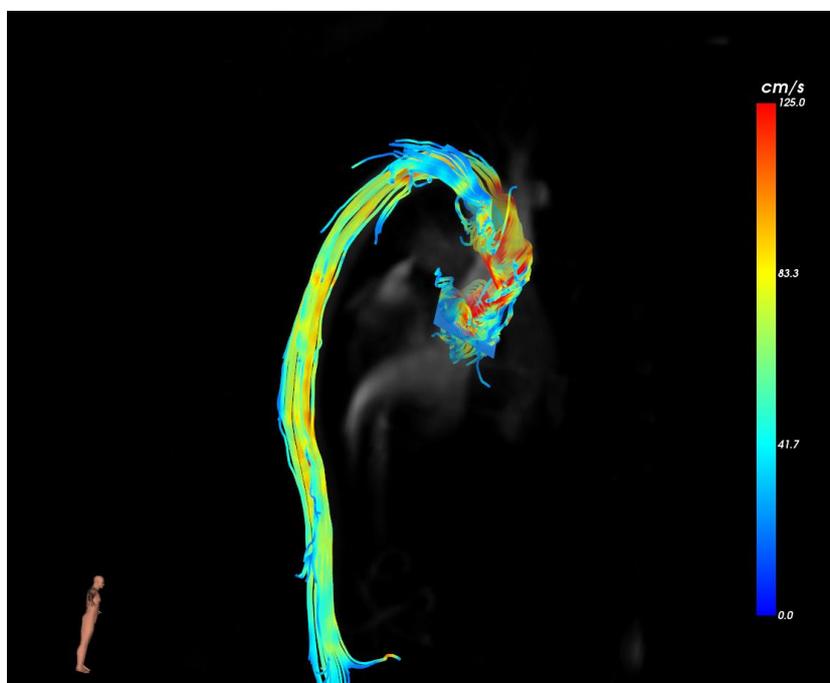


Annexe 8 : Mesure de la longueur de la crosse aortique en mode 2D à l'aide du caliper (24)Annexe 9 A: Exemples montrant la dynamique des flux aortiques en IRM 4DFlux laminaire :

*Patient opéré par la technique classique, flux laminaire dans toutes les portions de l'aorte thoracique.*

Flux hélicoïdal :

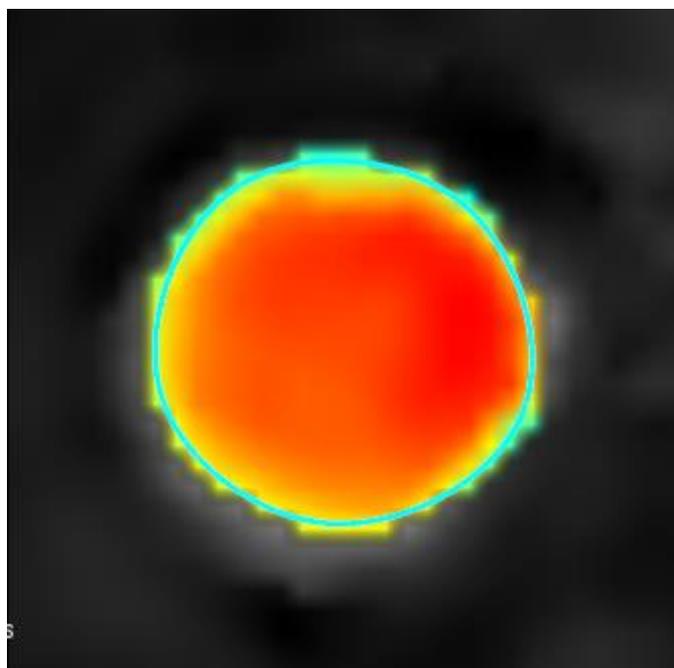
*Patient opéré par la nouvelle technique, flux hélicoïdal dans l'aorte ascendante.*

Flux turbulent :

*Patient opéré par la technique classique, flux turbulent dans l'aorte ascendante et la crosse.*

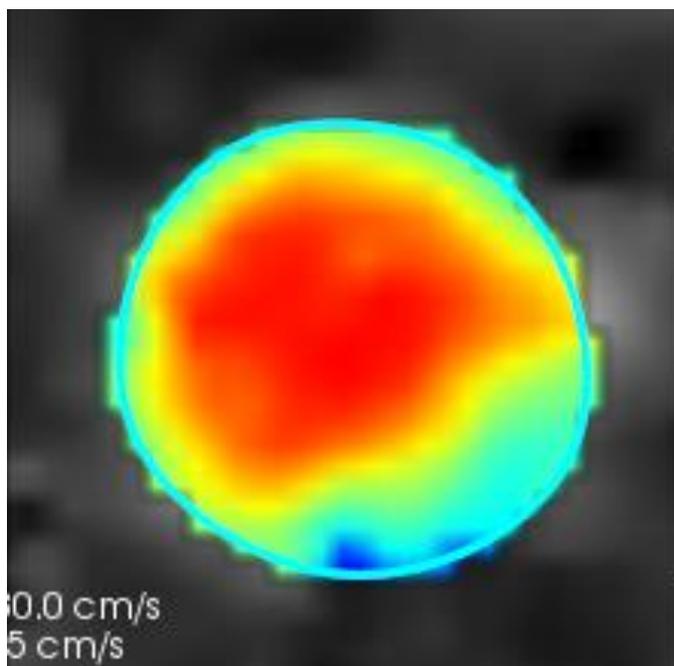
Annexe 9 B : Exemples montrant l'excentricité du flux aortique en IRM 4D

Flux central :



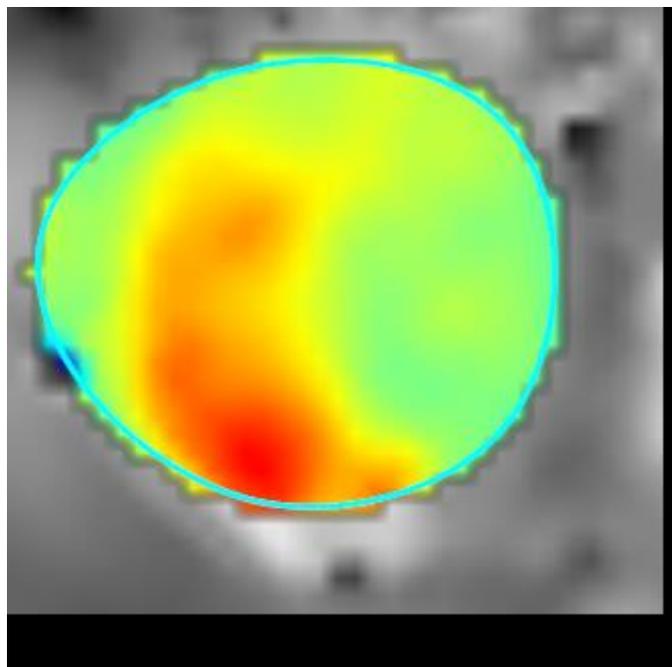
*Coupe transversale au niveau de la JST  
Patient opéré par la nouvelle technique*

Flux modérément excentré :



*Coupe transversale au niveau de la JST  
Patient opéré par la technique classique*

Flux excentré :



*Coupe transversale au niveau de la crosse  
Patient opéré par la technique classique*



**AUTEUR : CLASSEAU Alexis**

**Date de Soutenance : 02 octobre 2017**

**Titre de la Thèse :** Technique simplifiée de la procédure de Tirone David : impact clinique et hémodynamique en imagerie multimodale

**Thèse - Médecine - Lille 2017**

**Cadre de classement :** Médecine

**DES + spécialité :** Cardiologie et maladies vasculaires

**Mots-clés :** Anévrisme, Racine aortique, Tirone David, Suivi clinique, Echocardiographie, IRM

**Résumé :**

**Contexte :** L'intervention de Tirone David est une bonne option dans le traitement des anévrismes de la racine aortique. De multiples évolutions ont été apportées à cette chirurgie ces deux dernières décennies. Modifiant la ligne de suture aortique proximale et simplifiant le geste opératoire, une nouvelle technique a été décrite par le Dr Modine. En la comparant à la technique classique, nous avons voulu montrer sa sûreté, et évaluer son impact hémodynamique.

**Matériel et méthodes :** De 2006 à 2015, 41 patients opérés par la nouvelle technique pour un anévrisme de la racine aortique au CHRU de Lille ont été appariés à 41 patients opérés par la technique classique. Le suivi clinique a été réalisé entre octobre 2016 et juin 2017. L'étude hémodynamique du flux systolique aortique a été réalisée à l'aide de 2 outils. L'échocardiographie a permis l'étude de 3 paramètres : la vitesse de l'onde de pouls (VOP), le module d'élasticité et l'index de rigidité. L'IRM 4D a permis une analyse dynamique du flux sanguin systolique, de son excentricité, ainsi que du stress pariétal aortique (WSS).

**Résultats :** Le suivi moyen était de  $4,79 \pm 2$  années, aucune différence n'a été montrée sur le taux de mortalité toutes causes confondues (0,62), ainsi que sur le critère composite d'évènements ( $p=0,39$ ) et la nécessité d'une ré-intervention tardive ( $p=0,54$ ). Le taux d'insuffisance aortique précoce et tardive était comparable entre les deux techniques ( $p=0,12$  et  $p=0,052$ , respectivement). Les trois paramètres hémodynamiques échographiques n'ont pas montré de différence entre les techniques ( $p=0,32$  pour la VOP,  $p=0,14$  pour l'index de rigidité, et  $p=0,58$  pour le module d'élasticité). En IRM 4D, le stress pariétal global était comparable ( $p=0,27$ ), ainsi que le type de flux ( $p=0,12$ ) et son excentricité ( $p=0,34$ ).

**Conclusion :** La nouvelle technique du Dr Modine semble montrer sa sûreté en terme d'évènements à court et moyen terme. L'hémodynamique en analyse multimodale au sein de l'aorte thoracique est comparable avec la technique classique. Des études complémentaires sont nécessaires pour évaluer son impact à long terme sur une population plus importante.

**Composition du Jury :**

**Président :** Pr André VINCENELLI

**Asseseurs :** Pr David MONTAIGNE, Dr Thomas MODINE, Dr François PONTANA

**Directeur de thèse :** Dr Augustin COISNE