



UNIVERSITÉ DE LILLE  
**FACULTÉ DE MÉDECINE HENRI WAREMBOURG**

Année : 2021

THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT  
DE DOCTEUR EN MÉDECINE

**Comparaison des critères d'efficacité, de sécurité et  
d'hémodynamique du wrapping et du tube sus coronaire dans la  
chirurgie de l'anévrisme isolé de l'aorte ascendante.**

Présentée et soutenue publiquement le Vendredi 09 Avril 2021 à 18h00

au Pôle Formation

**par Henri DUBRULLE**

---

**JURY**

**Président :**

**Monsieur le Professeur André VINCENELLI**

**Assesseurs :**

**Monsieur le Professeur David MONTAIGNE**

**Monsieur le Professeur François PONTANA**

**Monsieur le Docteur Mohammad KOUSSA**

**Directeur de thèse :**

**Monsieur le Docteur Thomas MODINE**

---

## **Avertissement**

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



# TABLE DES MATIÈRES

<b>ABRÉVIATIONS</b> .....	p 6
<b>RÉSUMÉ</b> .....	p 8
<b>INTRODUCTION</b> .....	p 10
<b>I) L'anévrisme de l'aorte thoracique ascendante</b> .....	p 10
a. Généralités .....	p 10
b. Prise en charge.....	p 12
1. Généralités.....	p 12
2. Thérapeutique.....	p 13
<b>II) Chirurgie de l'aorte ascendante</b> .....	p 13
a. Généralités .....	p 13
b. Chirurgie non conservatrice.....	p 15
c. Chirurgie conservatrice.....	p 17
<b>III) Le couplage ventriculo-artériel et l'hémodynamique aortique</b> .....	p 20
<b>IV) IRM 4D</b> .....	p 21
<b>V) Hypothèses</b> .....	p 24
<b>VI) Objectifs</b> .....	p 25
<b>MATÉRIELS ET MÉTHODE</b> .....	p 26
<b>I) Populations étudiées</b> .....	p 26
<b>II) Recueil de données et suivi des patients</b> .....	p 27
<b>III) Critères de jugement</b> .....	p 28
<b>IV) Sphygmocor®, couplage ventriculo-artériel</b> .....	p 29
a. Paramètres de rigidité.....	p 30
b. Fonction aortique.....	p 32
<b>IV) IRM 4D</b> .....	p 34
a. Paramètres qualitatifs.....	p 35
b. Paramètres quantitatifs.....	p 38
<b>VI) Analyses statistiques</b> .....	p 40
<b>RÉSULTATS - ÉTUDE 1</b> .....	p 41
<b>I) Caractéristiques des cohortes</b> .....	p 41

<b>II) Critères de sécurité</b> .....	p 42
<b>III) Critères d'efficacité</b> .....	p 45
<b>RÉSULTATS - ÉTUDE 2</b> .....	p 47
<b>I) Sphygmocor®, couplage ventriculo-artériel</b> .....	p 49
a. Paramètres de rigidité.....	p 49
b. Fonction aortique.....	p 51
<b>II) IRM 4D</b> .....	p 52
a. Paramètres qualitatifs.....	p 52
b. Paramètre quantitatif.....	p 53
<b>DISCUSSION</b> .....	p 56
<b>CONCLUSION</b> .....	p 65
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	p 66

## ABRÉVIATIONS

AA :	Anévrisme de l'aorte
AIx :	Index d'augmentation aortique
AP :	Augmentation Pressure (Pression ajoutée)
AVC :	Accident vasculaire cérébral
BPCO :	Broncho pneumopathie chronique obstructive
CEC :	Circulation extra-corporelle
CHU :	Centre Hospitalier Universitaire
CS :	Compressed Sensing
DFG :	Débit de filtration glomérulaire
ECG :	Electrocardiogramme
ECLS:	ExtraCorporeal Life Support
ETT :	Echographie trans-thoracique
FEVG :	Fraction d'éjection du ventricule gauche
HTA :	Hypertension artérielle
IMC :	Indice de masse corporelle
IRM :	Imagerie par résonance magnétique
MDRD :	Modification of Diet in Renal Disease
MMP :	Métalloprotéases matricielles
OR :	Odds Ratio

PP : Pulse Pressure (Pression pulsée)

PTID : Pression Temps Intégré de la Diastole

PTIS : Pression Temps Intégré de la Systole

RM : Reflection Magnitude (Amplitude de réflexion)

TGF : Transforming Growth Factor

VES : Volume d'éjection systolique

VG : Ventricule Gauche

VOP : Vitesse de l'onde de pouls

Vs : versus

WSS : Wall shear stress (stress de la paroi)

# RÉSUMÉ

## Objectifs

Comparer une population de patients opérés par tube sus-coronaire et wrapping pour anévrisme isolé de l'aorte ascendante sans geste associé sur le cœur (objectif1). Réaliser des explorations hémodynamiques par Sphygmocor® et par IRM 4D sur 20 patients de chaque groupe afin de comparer les deux techniques chirurgicales sur des paramètres physiques reproductibles au niveau de l'aorte ascendante opérée (objectif2).

## Matériels et méthodes

205 patients, 114 dans le groupe tube sus-coronaire et 91 dans le groupe wrapping ont été suivis à court, moyen et long terme (cinq ans) sur des critères de sécurité et d'efficacité. Les 20 derniers patients volontaires de chaque groupe ont bénéficié d'explorations hémodynamiques et d'analyse de la rigidité artérielle.

## Résultats

Le temps de clampage et CEC apparaît significativement moins long dans le groupe wrapping  $p < 0.0001$ . Aucun critère de sécurité ne présentait de différence significative même si le nombre de décès en périopératoire était plus important dans le groupe tube sus-coronaire (5 décès versus 0)  $p = 0,06$ .

La survie globale à cinq ans ne présentait pas de différence significative. Le taux d'infection de prothèse et d'endocardite à 5 ans était significativement plus élevé dans le groupe tube sus-coronaire  $p = 0,04$ . Pas de différence significative sur le nombre de dilatations secondaires et de dissections aortiques post opératoires.

L'index d'augmentation aortique et la vitesse de l'onde de pouls sont significativement moins élevés dans le groupe wrapping témoignant d'une rigidité artérielle moindre.

Les études en IRM 4D sur le centrage, le type de flux et le Wall Shear Stress ne montrent pas de différence entre les groupes.



## Conclusion

Le wrapping n'est pas associé à plus de complications que le tube sus coronaire à court et à long terme sur des critères d'efficacité et de sécurité et semble même présenter des paramètres de rigidité artérielle et de flux hémodynamique plus favorables.

# INTRODUCTION

## I) L'anévrisme de l'aorte thoracique ascendante.

### a. Généralités

L'anévrisme de l'aorte thoracique ascendante a une incidence dans la population générale européenne d'environ 6 cas pour 100.000 habitants (1). Cette incidence est en augmentation ces dernières décennies comme le montre une étude suédoise regroupant des registres de santé nationaux et des registres autopsiques, avec une incidence de 9.1 femmes pour 100.000 et 16.3 hommes pour 100.000 (2). Ceci est à mettre en parallèle avec le vieillissement général de la population et les phénomènes dégénératifs rencontrés dans la genèse des anévrismes aortiques.

Un anévrisme est une perte du parallélisme des parois d'un vaisseau entraînant une dilatation de ce dernier et une faiblesse de la paroi. Cette dilatation va être à l'origine d'une modification du flux sanguin par la création de turbulences hémodynamiques. Ces turbulences entretiennent le phénomène de dilatation jusqu'à la dissection aortique voire jusqu'à la rupture aortique dont le risque de mortalité est de 94% à 100% en absence de prise en charge chirurgicale (3) et de 25 à 50% en fonction des comorbidités si la prise en charge chirurgicale est précoce (4). Ces mêmes turbulences retrouvées au sein de l'anévrisme peuvent être à l'origine de complications thrombo-emboliques ou d'hémorragies intracrâniennes (5).

La physiopathologie de la genèse des anévrismes implique 3 mécanismes souvent associés (6) :

- Un mécanisme de remodelage.

Un remodelage destructif de la paroi par dégénérescence d'une des couches composant la paroi artérielle, la média. Cette dégénérescence se caractérise par des anomalies des fibres élastiques, une perte de cellules musculaires lisses et des dépôts de protéoglycanes.

Une mutation des micro-ARN de certaines métalloprotéases est impliquée dans ce phénomène, cette mutation crée une suractivation des métalloprotéases matricielles (MMP-2 et/ou MMP-9) qui lysent les fibres élastiques dans la matrice extracellulaire de la média (7-8) entraînant une désorganisation des cellules musculaires lisses qui s'orientent au hasard et non plus de façon parallèle à la lumière aortique.

Le TGF- $\beta$  est une cytokine exprimée par la paroi artérielle vasculaire qui régule les cellules musculaires lisses en modulant l'activité des métalloprotéases. Dans un modèle d'anévrisme de souris, l'activation du TGF- $\beta$  entraîne le développement d'un anévrisme de l'aorte dans 100% des cas (9-10).

- Un mécanisme biomécanique.

La dégénérescence de la média peut également être une conséquence de la réponse adaptative à la tension exercée sur la paroi de l'aorte. En effet, selon la loi de Laplace, la tension qui s'exerce sur la paroi d'un cylindre rempli de liquide est proportionnelle à la pression du liquide et au rayon du cylindre et inversement proportionnelle à l'épaisseur de la paroi.

$$\text{Tension pariétale} = \frac{\text{pression aortique} \times \text{rayon de l'aorte}}{\text{épaisseur de la paroi}}$$

La formation de l'anévrisme augmente la tension pariétale provoquant une nouvelle expansion du sac anévrysmal. Lorsque la limite de résistance est atteinte, la dissection peut se produire.

- Mécanismes génétique et inflammatoire.

5 à 10% des anévrismes sont associés à des maladies génétiques du tissu élastique (Maladie de Marfan, Maladie d'Ehlers Danlos, Syndrome de Loeys-Dietz) ou à des maladies inflammatoires (Maladie de Takayasu ou de Behcet) ou infectieuses (syphilis) (11).

Les facteurs de risque principaux de développement des anévrismes sont l'hypertension artérielle, le tabagisme, l'âge et l'hérédité. Dans plus de 90% des cas, les anévrismes sont associés à de l'athérosclérose. L'athérosclérose se caractérise par l'association variable de remaniements de l'intima des artères de gros et moyen calibre, par une accumulation focale de lipides, de glucides complexes, de sang, de produits sanguins, de tissu fibreux et de dépôts calcaires, le tout s'accompagnant de modifications de la média (11)

## **b. Prise en charge**

### 1. Généralités

Du fait de son caractère asymptomatique, l'anévrisme est, dans 95% des cas, découvert de manière fortuite lors d'une imagerie thoracique (radiographie, scanner,

IRM, échographie). Les autres cas correspondent aux anévrysmes symptomatiques qui nécessitent une prise en charge chirurgicale urgente (11).

## 2. Thérapeutique

A ce jour, il n'existe aucun traitement médicamenteux permettant d'empêcher la survenue d'un anévrysme de l'aorte, d'en ralentir ou d'en inverser l'évolution. Selon la loi de Laplace, les antihypertenseurs peuvent diminuer la vitesse d'évolution par diminution de la pression pariétale, sans toutefois l'arrêter. Le traitement curatif d'un anévrysme de l'aorte thoracique ascendante repose donc sur la chirurgie. Il s'agit d'une chirurgie prophylactique, puisque l'évolution naturelle des anévrysmes conduit souvent à la dissection. Ceci permet d'éviter la morbi-mortalité importante de cette pathologie.

### II) Chirurgie de l'aorte ascendante

#### a. Généralités

D'après les guidelines européens ou américains (11-12),

- la chirurgie est indiquée chez les patients qui présentent une racine de l'aorte  $\geq$  50 mm et un syndrome de Marfan.
- la chirurgie peut être proposée chez les patients avec une racine aortique  $\geq$  50 mm associée à une bicuspidie aortique et des facteurs de risque cardiovasculaires.
- la chirurgie doit également être proposée en cas de racine aortique  $\geq$  55mm associée aux facteurs de risques cardio-vasculaires.

- la chirurgie peut enfin être proposée pour des seuils de diamètre inférieurs à 50 mm chez des patients de petite taille, avec une faible surface corporelle ou pour des anévrysmes à évolution rapide (> 5 mm par an).

Dans tous les cas, il s'agit de recommandations avec un niveau de preuve C (faible niveau de preuves scientifiques), soit par manque d'études sur le sujet, soit par présence d'études critiquables sur le plan méthodologique, soit par manque de cohérence entre les études.

Toute la communauté scientifique ne s'accorde pas sur la prise en charge des anévrysmes de l'aorte thoracique ascendante : plusieurs équipes remettent en cause les seuils de prise en charge établis par les consensus et préconisent une prise en charge chirurgicale plus rapide (puisque 60 % des patients présentant une dissection aortique aiguë ont un diamètre de l'aorte < 55mm) ou l'utilisation d'autres paramètres comme la longueur de l'aorte ascendante (avec un critère opératoire formel vers 11 cm de longueur) (13-14) ; d'autres équipes préconisent une approche plus radicale de tous les anévrysmes par remplacement de tout ou partie de l'aorte ascendante (15-16) ; certaines équipes enfin estiment qu'une prise en charge plus conservatrice peut être proposée (17-18). Nous allons reprendre les principes des différentes chirurgies ainsi que de leurs complications afin d'exposer les objectifs de notre travail.

Dans tous les cas, ces chirurgies nécessitent une sternotomie avec mise en place d'une circulation extra corporelle qui va permettre de dériver la circulation sanguine du cœur tout en permettant une irrigation de la totalité des organes pendant l'arrêt cardiaque.

## b. Chirurgie non conservatrice

Les chirurgies non conservatrices, comme leurs noms l'indiquent, consistent à retirer l'anévrisme en réséquant la partie de l'aorte atteinte et en la remplaçant par une prothèse vasculaire. Différentes techniques sont indiquées en fonction de l'emplacement de l'anévrisme au niveau de l'aorte ascendante et en fonction de l'atteinte de la valve aortique.

- Procédure de Bentall avec remplacement de la valve aortique et remplacement de toute l'aorte ascendante avec réimplantation des artères coronaires sur la prothèse vasculaire.
- Technique de Tirone-David et Yacoub sans remplacement de la valve aortique, mais avec remplacement de toute l'aorte ascendante et réimplantation des artères coronaires.
- Tube sus-coronaire, sans remplacement de la valve aortique, mais avec remplacement de l'aorte au-dessus des ostias coronaires sans réimplantation des artères coronaires sur la prothèse.

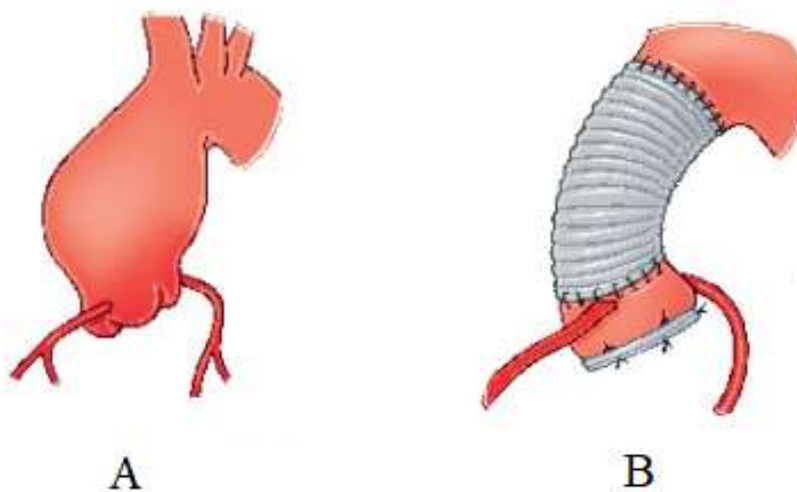


Figure 1: Schéma de la procédure de tube sus coronaire, A aorte avant résection de l'anévrisme, B résultat postprocédure après résection de l'anévrisme et suture de la prothèse.

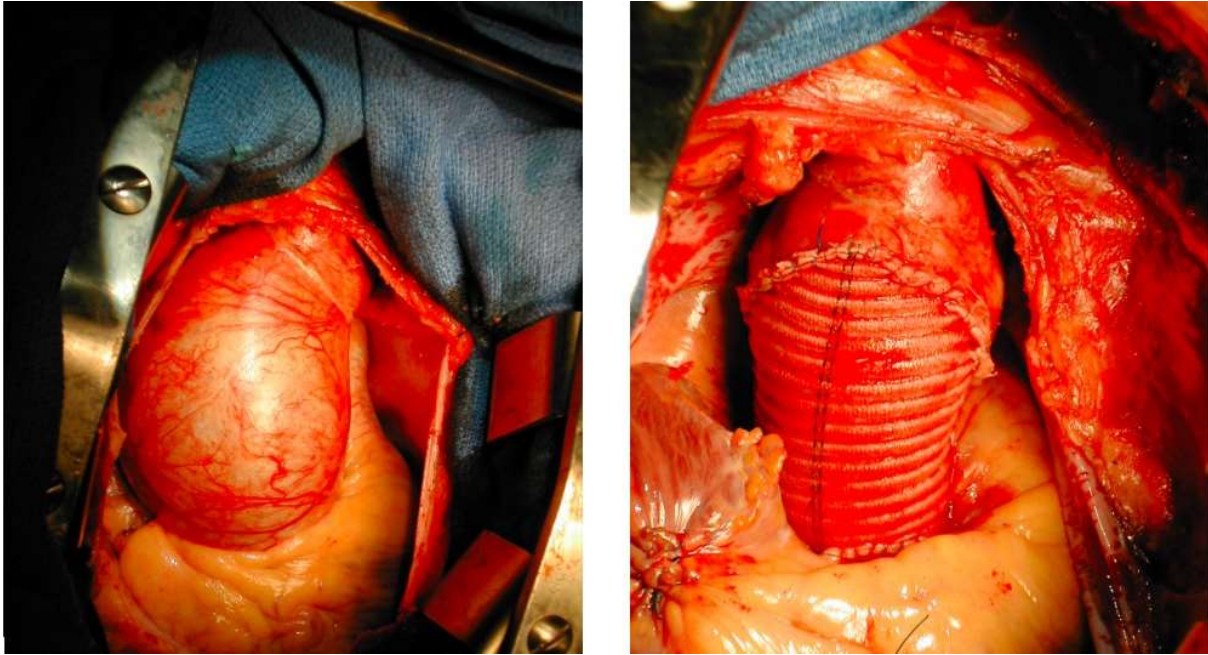


Figure 2: Vue opératoire avant et après tube sus coronaire

La circulation extra corporelle avec clampage aortique est plus ou moins longue en fonction de la stratégie opératoire choisie.

Ces techniques sont considérées comme des procédures radicales qui ont démontré des résultats à long terme satisfaisants, avec un faible taux de récurrence ou de dissection secondaires, 90% +/- 0.2% des patients à 9 ans en post opératoire n'ont pas été réopérés (19,20)

Néanmoins, elles présentent une morbi-mortalité élevée dans la période postopératoire précoce, 7.6% à 9.6% de mortalité hospitalière (19-21).

Dans le tube sus coronaire, la prothèse ne possède pas les propriétés de distensibilité de l'aorte native, une élévation de la tension pariétale peut se créer dans la racine aortique qui est laissée en place, pouvant engendrer des dilatations secondaires (22,23). Une étude a d'ailleurs rapporté des altérations au niveau des paramètres hémodynamiques et des rigidités artérielles dans cette technique (24).



Ces techniques dites « ouvertes » restent cependant les stratégies les plus utilisées pour le traitement des anévrismes de l'aorte ascendante et ce, même à l'ère des interventions endovasculaires (25).

### **c. Chirurgie conservatrice**

Les chirurgies conservatrices, sans remplacement de l'aorte qui proposent une plastie de réduction du diamètre de l'aorte, peuvent apparaître comme une alternative intéressante notamment au vu de la morbi-mortalité précoce des techniques invasives.

La technique conservatrice la plus commune est celle du wrapping décrite pour la première fois par Robicsek en 1982 (26). Elle a ensuite été adaptée et perfectionnée ; de nombreuses équipes l'utilisent actuellement avec de bons résultats sur la morbi-mortalité précoce et à moyen terme (18,27-31) avec respectivement entre 0 et 1.5% de mortalité hospitalière et entre 8.2% et 9.3% de mortalité à 5ans.

Le wrapping nécessite également une circulation extra corporelle avec clampage aortique. Une petite aortotomie est réalisée afin de s'assurer de l'intégrité de la valve aortique et du sinus de Valsalva (en cas de valvulopathie, un remplacement de la valve sera nécessaire) ; l'aortotomie permet en outre la mise en place de plusieurs points en U à travers l'aorte au-dessus des commissures aortiques afin d'assurer une fixation de la partie proximale de la prothèse. Cette prothèse est coupée dans le sens de la longueur puis passée derrière l'aorte (on s'assure de l'absence de pli derrière l'aorte), les deux bords de la prothèse sont ensuite suturés, les points en U préalablement mis en place sont fixés à la prothèse afin d'empêcher toute mobilisation.

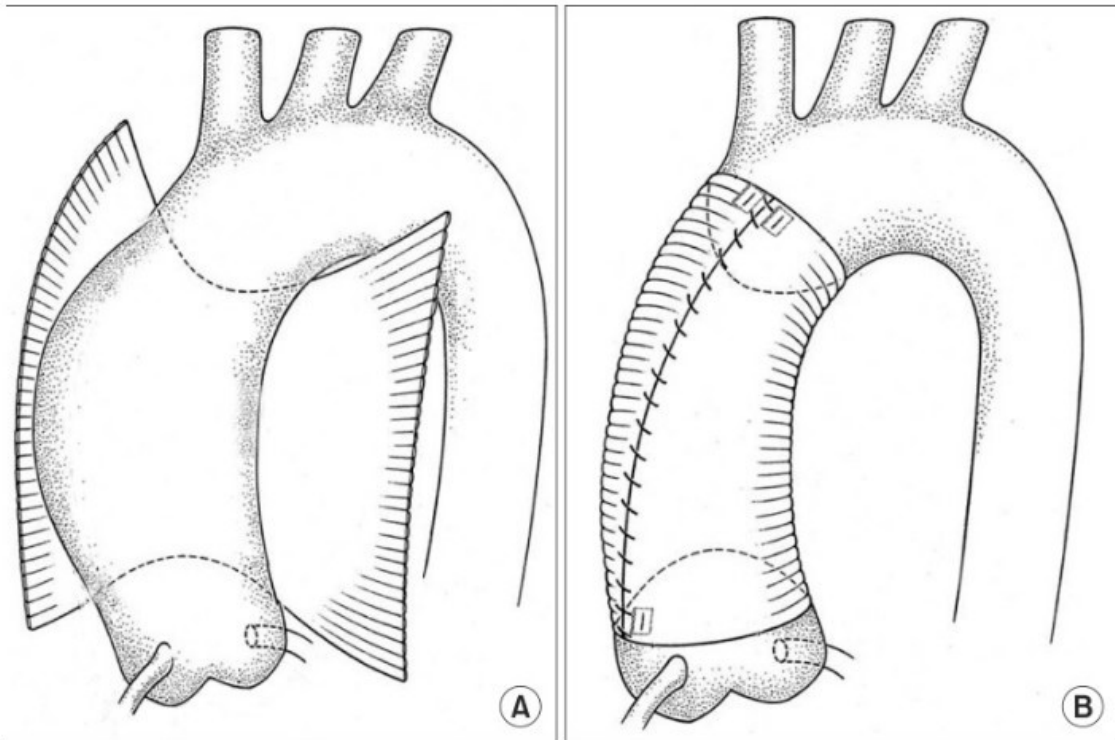


Figure 3: Schéma de la technique de wrapping, A positionnement et fixation prothèse, B résultat post procédure.

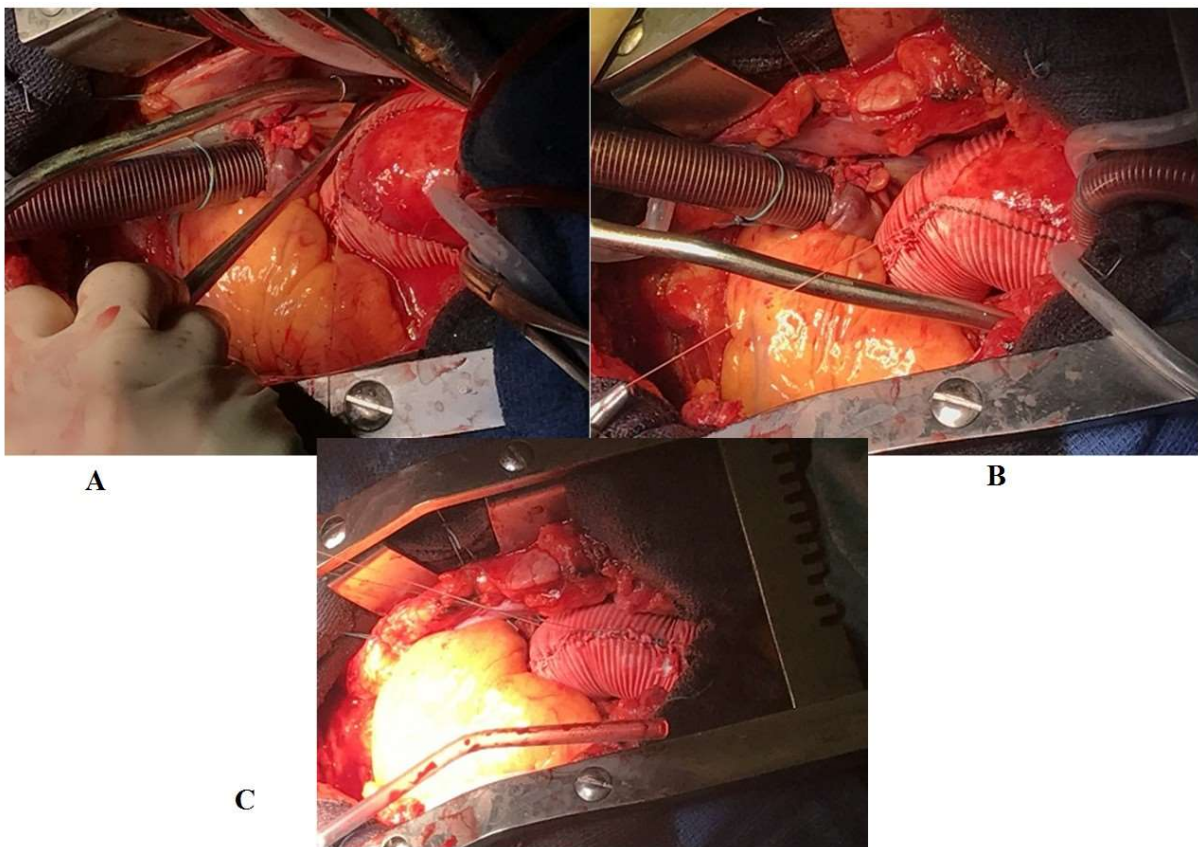


Figure 4: Evolution opératoire de la correction de l'anévrysme dans la procédure du wrapping.

Plusieurs facteurs expliqueraient la morbi-mortalité moindre de cette technique :

- un geste opératoire plus rapide que le remplacement. En effet le temps d'ischémie lié à la circulation extra corporelle et le temps de clampage aortique augmentent la morbi-mortalité périopératoire. Chaque minute de clampage aortique, augmente l'odds ratio de mortalité de 2% (OR = 1.02) [indice de confiance à 95% 1.01-1.03 p= < 0.001] (32). Plusieurs équipes ont confirmé la rapidité de la technique de wrapping par rapport aux techniques de remplacement entre 30% et 50% de réduction de temps opératoire (33,34).
- le wrapping va également corriger les turbulences hémodynamiques créées par l'anévrisme et par conséquent diminuer le risque de dissection. Cette correction des turbulences hémodynamiques a été décrite par une étude utilisant un modèle prédictif en fonction des données scannographiques (35).

Certains auteurs ont cependant critiqué la technique de wrapping, puisque la prothèse pourrait éroder la paroi aortique et donc la fragiliser (36), cependant des études dont une autopsique ont montré que la prothèse s'endothélialisait et qu'il semblait au contraire exister un renforcement de la paroi (29,37). D'autres ont évoqué une migration possible de la prothèse pouvant être à l'origine de dilatation de la racine aortique (38). Cette critique est justifiée lorsqu'il n'existe pas de fixation de la prothèse. Dans la méthode utilisée dans notre étude, la prothèse de wrapping est fixée à la racine par des points en U ce qui empêche sa migration en distalité.

Des zones de plicatures au niveau de la prothèse ont été décrites, notamment dans sa partie postérieure, pouvant créer des érosions de la paroi aortique augmentant ainsi le risque de dissection aortique ultérieur (39,40).

Le matériel prothétique utilisé pour la réalisation d'un wrapping est le même que celui utilisé pour le tube sus coronaire. Dans le wrapping il enveloppe et renforce l'aorte native, dans le tube sus coronaire il la remplace.

### III) Le couplage ventriculo-artériel et l'hémodynamique aortique

Le couplage ventriculo-artériel correspond aux interactions du ventricule gauche (VG) avec l'aorte ascendante et inversement. L'altération d'un des deux facteurs impacte inévitablement le second. La fonction du VG est appréciée de manière efficace par échographie trans-thoracique et la fonction de l'aorte est appréhendée par étude de la rigidité vasculaire. A chaque systole des ondes de compression antérogrades se créent et permettent la propagation du flux sanguin. Des ondes rétrogrades se forment à chaque bifurcation artérielle reviennent au niveau du VG entraînant un travail supplémentaire pour le VG qui doit lutter contre une pression supplémentaire pour générer une nouvelle onde de pouls.

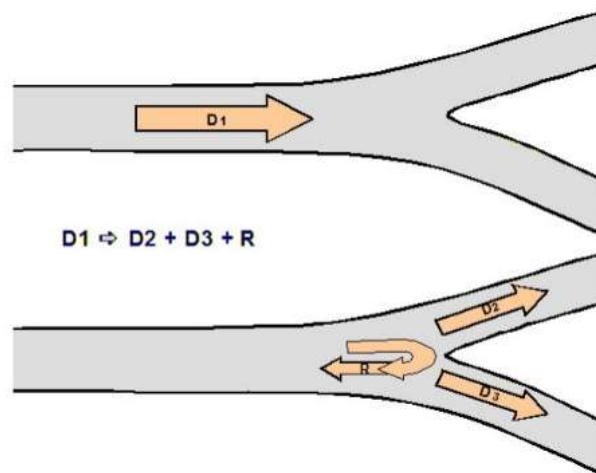


Figure 5 : onde de pouls antérograde et rétrograde.

L'aorte ascendante ainsi que les autres grandes artères élastiques jouent un rôle important dans la régulation de la pression artérielle et du débit sanguin périphérique. En amortissant, la sortie pulsatile du ventricule gauche, l'élasticité de ces artères

transforme une activité rythmique, intermittente et discontinue de la pompe cardiaque en un flux sanguin continu. Ce mécanisme s'appelle l'effet de Wind-Kessel : en systole une grande quantité de sang reste « emmagasinée » dans l'aorte et dans les grandes artères élastiques pour être libérée pendant la diastole ; le sang stocké étire les parois des vaisseaux générant de l'énergie qui, lors du retour élastique des mêmes parois, se transforme en énergie cinétique propulsive afin de renvoyer le sang également lors de la diastole.

Une altération des propriétés viscoélastiques de l'aorte provoque de ce fait une augmentation de la pression artérielle systolique. L'augmentation du travail cardiaque qui en résulte conduit à une perfusion sous-endocardique réduite à l'origine d'une ischémie cardiaque.

La rigidité artérielle est associée à l'apparition d'événements cardiaques majeurs (mort subite, décès de cause cardiaque, infarctus du myocarde, insuffisance cardiaque, AVC) (41, 42,43).

Cette rigidité artérielle altérée est souvent présente chez les patients atteints d'un anévrisme de l'aorte ascendante (44). En remplaçant la première portion de l'aorte native qui présente une grande viscoélasticité, on peut supposer qu'il y aura des répercussions sur la circulation systémique qui aggraveront le phénomène naturel déjà présent de rigidité artérielle.

#### **IV) IRM 4D**

L'IRM 4D ou IRM 4D flow est une évolution récente en IRM cardiaque. Appliquée à l'étude de l'aorte, elle permet une évaluation hémodynamique approfondie par l'analyse dynamique du flux et du stress appliqués à la paroi aortique (45).

Cette technique d'IRM 4D est une évolution de la technique 2D ciné en IRM cardiaque qui effectue une analyse sur un seul plan de coupe répété dans le temps. La séquence 4D est fondée sur l'acquisition de la totalité du volume cardiaque et non plus sur une simple coupe. Il s'agit d'une séquence « 3D ciné » permettant d'acquérir un bloc 3D de la totalité du cœur et de l'aorte ascendante répétée dans le temps sur plusieurs cycles cardiaques. Ainsi, une reconstruction dans n'importe quel plan, du cœur ou l'aorte est possible et ce, à n'importe quel moment du cycle cardiaque (45).

La séquence 4D possède un avantage non négligeable en IRM cardiaque et vasculaire puisqu'il est possible de repositionner les coupes en post-acquisition, sans perte de résolution spatiale.

Cette technique nécessite de mettre en place un gating cardiaque, qui consiste en la surveillance du cycle cardiaque à l'aide d'un ECG permettant de coupler l'imagerie à l'activité cardiaque. La compensation des mouvements est réalisée soit par navigateur logiciel positionné à l'interface poumon-diaphragme-foie, soit à l'aide de capteur (ceinture) sur le patient. Cette technique permet d'obtenir 4 ensembles de données, un de magnitude et 3 de vitesses dans les trois directions X, Y, Z (46 et 47).

L'IRM 4D grâce à sa large couverture d'acquisition volumique, donne des informations sur le flux sanguin dans les 3 plans de l'espace, au cours du cycle cardiaque, permettant de s'intéresser à la dynamique du flux sanguin à travers les vaisseaux (45). Un flux altéré, à savoir hélicoïdal ou turbulent, a été décrit comme entraînant une perte de puissance du flux, avec en cause une augmentation des contraintes de cisaillement, ainsi qu'une friction et une perte de viscosité (48). La perturbation de ces flux est associée à une altération de la géométrie artérielle (49). La présence d'un flux hélicoïdal localement pathologique est associée à un plus grand risque de dilatation de la paroi aortique (50). Une étude a montré en post-opératoire de remplacement de

la racine aortique par un tube aortique prothétique, un taux plus important de flux hélicoïdaux et turbulents (49). Un stress pariétal localisé et intense (WSS), correspondant à la force de friction du sang parallèlement à son écoulement, conduit à une altération structurelle de la paroi aortique du fait des contraintes de cisaillement hémodynamiques créant une fragilisation des cellules endothéliales (51).

La réalisation d'une IRM 4D dans cette étude va nous permettre de décrire le comportement dynamique du flux aortique, ainsi qu'étudier le WSS appliqué sur les différents segments aortiques et de comparer ces paramètres dans nos deux groupes de patients (tube sus-coronaire et wrapping).

Cependant la réalisation des séquences de l'IRM 4D sont longues et difficilement interprétables chez les personnes âgées, en arythmie, ou avec des difficultés respiratoires (population classique de chirurgie cardiaque). Pour cela une méthode d'IRM plus rapide basée sur le Compressed Sensing peut être utilisée.

Le principe du Compressed Sensing est d'acquérir uniquement les données nécessaires pour obtenir des images d'organes en mouvement de bonne qualité. Il s'appuie sur les principes de l'imagerie parallèle, les méthodes d'acquisition aléatoire et de reconstruction itérative.

Cette application permet d'accélérer jusqu'à 10 fois le processus d'acquisition, elle consiste à acquérir uniquement le signal utile à la restitution de l'image afin de réduire le temps d'acquisition (52).

Cette technique est désignée par le terme anglophone de «Compressed Sensing (CS)» ou « acquisition comprimée » puisque seule l'information supposée utile est conservée après compression.

De manière schématique, le CS réalise un sous-échantillonnage de l'espace  $k$  de Fourier de manière aléatoire, permettant de limiter la quantité d'informations mesurées; la durée d'acquisition est ainsi nettement réduite.

Le caractère aléatoire du sous-échantillonnage est essentiel afin que les artefacts de repliement soient incohérents, c'est-à-dire qu'ils ressemblent à un bruit.

L'information réelle sera progressivement extraite du pseudo bruit de fond par des méthodes de seuillages successifs (53). Ce processus de reconstruction itérative et non linéaire sera répété jusqu'à ce que l'image obtenue soit de qualité suffisante.

Les avantages du CS sont :

- L'acquisition d'images cardiaques haute résolution en mode ciné, sans apnée
- La capture du cycle cardiaque complet pour une quantification précise
- La possibilité d'accéder à l'IRM cardiaque pour davantage de patients en particulier ceux qui maintiennent mal l'apnée ou ceux présentant des troubles du rythme.

## V) Hypothèses

Bien que considéré comme le gold standard, le remplacement de l'aorte ascendante dans le cadre d'anévrisme de l'aorte, n'a fait l'objet d'études que d'un niveau de grade C. Aucune étude n'a démontré la supériorité du remplacement de l'aorte ascendante par rapport aux techniques moins invasives et une seule étude a comparé le remplacement de l'aorte ascendante et le wrapping sur des critères de sécurité et d'efficacité mais sur de très petits effectifs et n'a pas de montré de différence entre les deux (27). Notre première hypothèse est donc que le wrapping n'est pas associé à



plus de complications à court et long terme que le tube sus coronaire sur des critères d'efficacité et de sécurité.

Aucune étude ne s'est encore intéressée aux paramètres de rigidité artérielle et hémodynamique après chirurgie de l'aorte ascendante isolée.

Ainsi, en tenant compte des mécanismes hémodynamiques précédemment décrits, notre deuxième hypothèse est que les paramètres de rigidité artérielle et de flux hémodynamique de la technique du wrapping pourraient être meilleurs que ceux constatés après remplacement par un tube sus coronaire.

## **VI) Objectifs**

Le premier objectif de ce travail est de comparer à court, moyen et long terme, la technique de wrapping de l'aorte ascendante par rapport à la technique du tube sus coronaire sur des critères d'efficacité post-opératoire (réopération, dilatation secondaire, dissection aigue, infection de prothèse et endocardite) et sur des critères de sécurité (complication péri-opératoire, survie à court moyen et long terme).

Le second objectif de ce travail est de comparer le wrapping de l'aorte ascendante et le tube sus coronaire sur des paramètres physiques mesurables et reproductibles analysant la rigidité artérielle mesurée grâce au Sphygmocor® et les mécanismes de flux obtenus grâce à l'IRM 4D.

# MATÉRIELS ET MÉTHODES

## I) Populations étudiées

### **Etude 1 :**

Pour répondre au premier objectif, nous avons effectué une étude rétrospective monocentrique au CHU de Lille. Pour ce faire nous avons collecté les données de tous les patients ayant bénéficié d'un wrapping de l'aorte ascendante et d'un remplacement de l'aorte ascendante par tube sus coronaire dans le service de Chirurgie Cardio-vasculaire de l'institut Cœur Poumon entre Janvier 2006 et Décembre 2019.

Nous avons exclu tous les patients opérés en urgence et tous les patients étant suspect d'une maladie génétique du tissu élastique ainsi que ceux nécessitant un autre geste opératoire sur le cœur de manière concomitante afin d'obtenir des cohortes les plus équivalentes possibles.

### **Etude 2 :**

Pour répondre au second objectif, nous avons mené une étude prospective monocentrique au CHU de Lille en incluant 40 patients, 20 dans chaque groupe opérés dans les 2 dernières années afin qu'ils bénéficient d'une exploration de la rigidité artérielle par Sphygmocor® et d'une exploration du flux sanguin de l'aorte ascendante par IRM 4D entre 6 mois à 12 mois après leur intervention. Les explorations par Sphygmocor® et échographie cardiaque ont toutes été réalisées dans le service d'explorations fonctionnelles cardio-vasculaire du Professeur Montaigne à l'Institut Cœur-Poumon au CHU de Lille. Les IRM 4D ont toutes été réalisées dans le service

d'imagerie cardio-vasculaire du Professeur Pontana à l'Institut Cœur-Poumon du CHU de Lille.

Pour ce faire, nous avons sélectionné 20 patients opérés consécutivement dans chaque groupe et ayant accepté de participer à cette étude.

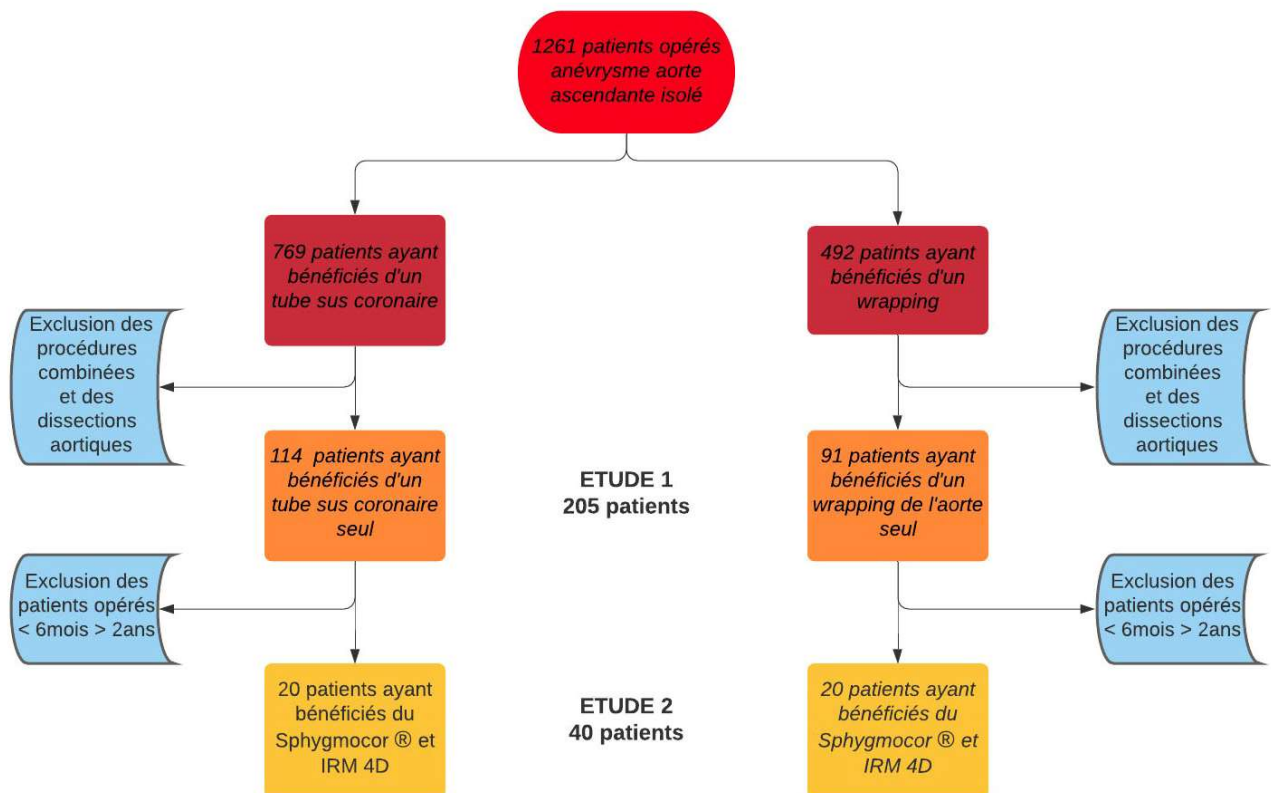


Figure 6: Diagramme de flux des études 1 et 2.

## II) Recueil de données et suivi des patients

### Etude 1 :

Les caractéristiques cliniques, biologiques, échographiques, scanographiques, opératoires, réanimatoires, et post opératoires étaient recueillies rétrospectivement à partir des dossiers médicaux des patients.

Les données à long terme ainsi que le statut vital avec les causes du décès étaient recueillies rétrospectivement à partir du dossier médical mais également par appel téléphonique au patient, au médecin traitant, au cardiologue référent, à la famille ou aux services d'état civil de la mairie de la ville de naissance du patient.

## **Etude 2 :**

Les patients inclus bénéficiaient le même jour d'une exploration fonctionnelle cardio-vasculaire par une échographie cardiaque et d'une évaluation non invasive des paramètres de rigidité artérielle et de la fonction aortique par Sphygmocor®.

Ils bénéficiaient ce même jour d'une IRM 4D pour évaluation du flux sanguin.

Tous les patients ont donné leur accord et consentement écrit pour ces explorations supplémentaires. Ces examens ont été réalisés dans le cadre de l'étude POMI-AF (Clinical trials: NCT03376165, Num ID-RCB: 2017- A00852-51) (POstoperative Myocardial Infarction and Atrial Fibrillation), pour laquelle un avis favorable du Comité de Protection des Personnes a été obtenu au sein du service des explorations fonctionnelles cardio-vasculaire du Professeur MONTAIGNE.

### **III) Critère de jugement**

#### **Etude 1 :**

Nous avons pris comme critères de jugement des critères de sécurité et d'efficacité. Les critères de sécurité comprennent la survie à court, moyen et à long terme ainsi que les événements post opératoires immédiats comme les reprises au bloc opératoire pour saignement, les complications réanimatoires et hospitalières (tableau 2).

Les critères d'efficacité ont évalué les dissections aiguës post-opératoires, les dilatations secondaires, les endocardites et infections de prothèses, nécessitant une réintervention ainsi que la variation médiane du diamètre de l'aorte (diamètre du dernier contrôle post opératoire moins le diamètre pré opératoire) (tableau 4).

## **Etude 2 :**

Pour les paramètres du Sphygmocor®, nous avons séparé les paramètres de rigidité artérielle et les paramètres de fonction aortique.

- Pour l'analyse des paramètres de rigidité artérielle, nous avons étudié la vitesse de l'onde de pouls (VOP), l'index d'augmentation aortique (AIx) et l'amplitude de réflexion (RM).
- Pour l'étude de la fonction aortique nous avons analysé la compliance aortique et l'indice de Buckberg.

Pour les paramètres du flux sanguins en IRM 4D, nous avons analysé :

- Les caractéristiques qualitatives telles que le type d'écoulement (laminaire, hélicoïdal ou turbulent) et le centrage du flux
- Un seul paramètre quantitatif : le stress à la paroi (WSS)

## **IV) Sphygmocor®, couplage ventriculo-artériel.**

Les paramètres de physiologie aortique étaient explorés à l'aide d'un tonomètre à aplation, le Sphygmocor®. Un brassard à tension positionné au niveau du bras

effectue 4 mesures qui sont moyennées pour obtenir les paramètres de rigidité aortique (paramètres que nous détaillerons ultérieurement).

La vitesse de l'onde de pouls, paramètre utilisé dans de nombreux articles étudiant la rigidité artérielle (54-57) est un paramètre facile à obtenir et reproductible. Pour la mesurer, il est nécessaire de positionner un brassard à tension au niveau de la jambe et de poser un piézoélectrique au niveau carotidien.

#### **a. Paramètres de rigidité**

Les paramètres de rigidité mesurés sont :

##### **- La vitesse onde de pouls (VOP) :**

Elle est d'autant plus élevée que la rigidité des parois artérielles est élevée. Il n'est pas possible de mesurer directement la VOP de l'aorte ascendante de manière non-invasive. Nous utilisons donc une approximation de cette vitesse obtenue par l'étude de la vitesse de propagation carotido-fémorale mesurée par la distance entre le pouls carotidien gauche et le pouls fémoral gauche grâce à une mesure métrique, on mesure également le delta de temps d'apparition de l'onde de pouls entre carotide et fémoral grâce au piézoélectrique au niveau carotidien et au brassard à tension positionné en fémoral. La formule vitesse = distance / temps est utilisée pour obtenir la vitesse de propagation de l'onde de pouls carotido-fémoral.

# PWV

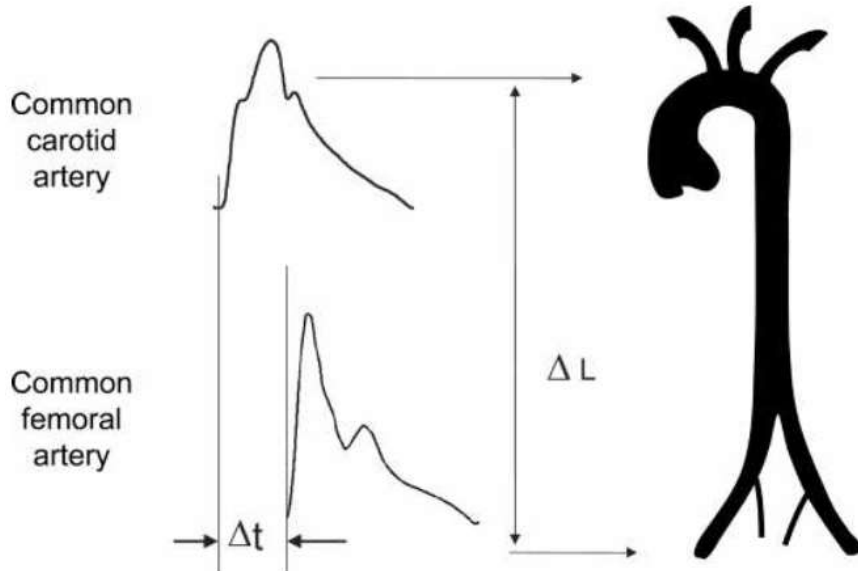


Figure 7: obtention de la vitesse de l'onde de pouls de manière non-invasive, image extraite des feuillets d'apprentissage du Sphygmocor®. Image extraite de Laurent et al Eur heart J 2006 (58).

## - L'index d'augmentation aortique (Alx) (54-57) :

Il correspond au pourcentage de surplus de tension apporté par l'onde rétrograde. S'il n'y avait pas d'onde rétrograde, la pression artérielle systolique serait égale au pic de l'onde antérograde, la courbe de pression de l'onde de pouls correspond à l'addition de la courbe de pression de l'onde antérograde et de l'onde rétrograde. Il existe donc une pression ajoutée (AP) par l'onde rétrograde (figure 8).

L'Alx correspond au ratio de l'AP sur la pression pulsée (PP) multiplié par 100.

$$\text{Alx} = \text{AP} / \text{PP} \times 100.$$

## - L'amplitude de réflexion (RM) (54) :

Elle correspond à la proportion de l'onde de compression antérograde qui est réfléchiée ; plus le système artériel est rigide, plus la RM augmente.

Le Sphygmocor® permet de reconstruire la courbe de l'onde de pouls en additionnant celle de l'onde antérograde et celle de l'onde rétrograde. On connaît ainsi le pic de pression de l'onde antérograde et le pic de pression de l'onde rétrograde, l'amplitude de réflexion est le pourcentage d'onde antérograde réfléchiée soit :

$RM = \text{pic onde rétro} / \text{pic onde ante} \times 100.$

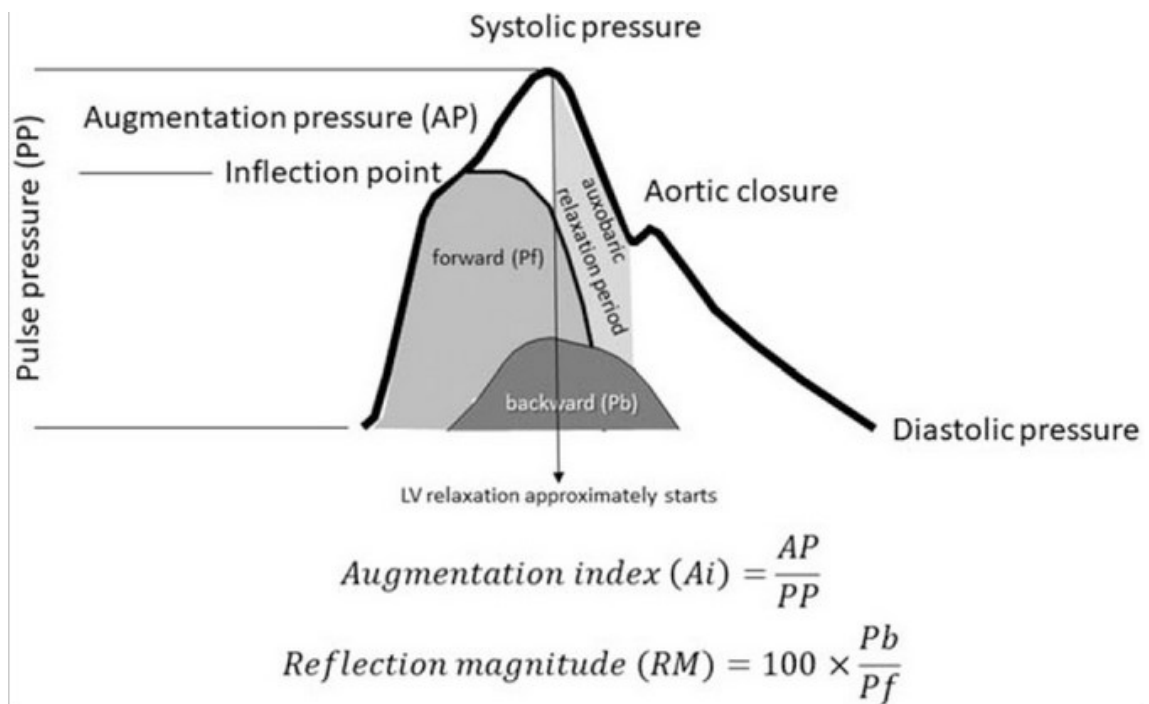


Figure 8: Obtention de l'index d'augmentation aortique et de l'amplitude de réflexion par la reconstruction de l'onde de pouls, image extraite des feuillets d'apprentissage du sphygmocor®. Image extraite des feuillets d'apprentissage du Sphygmocor®.

## b. Fonction aortique

### - Compliance :

Elle correspond à la distensibilité de l'aorte. A chaque systole l'aorte se dilate afin d'emmagasiner une partie de l'énergie générée par l'onde de pouls puis se contracte



pour la restituer permettant ainsi d'obtenir un flux sanguin continu à partir d'un flux sanguin pulsatile.

Elle se calcule par le rapport entre la PP et le volume d'éjection systolique (VES)

Compliance =  $PP/VES$  (mmHg/mL).

Plus la rigidité augmente, moins l'aorte se distend et plus la compliance diminue.

#### - **Rapport DPTI/SPTI (index de Buckberg)**

L'ischémie myocardique est traditionnellement considérée comme un déséquilibre de l'offre d'oxygène myocardique par rapport la demande. Un tel rapport offre-demande peut être estimé à partir du rapport de la diastolique sur l'intégrale de temps de pression systolique (DPTI/SPTI), qui reflète de manière sensible la propension à l'ischémie myocardique, notamment de l'ischémie sous-endocardique.

SPTI est l'aire sous la courbe du graphique temps-pression pendant la systole du ventricule gauche. Il définit la postcharge du ventricule gauche. Si la pression artérielle moyenne est élevée dans l'aorte ascendante en systole, le ventricule gauche doit se contracter avec une force plus importante pour maintenir le volume systolique (59). Par conséquent, le SPTI est directement lié à la demande myocardique en oxygène. Cela dépend du temps d'éjection, de la pression d'éjection et de la contractilité myocardique (60).

DPTI est l'aire sous la courbe dans le graphique temps-pression du ventricule gauche pendant le temps de diastole (61). Il représente le flux sanguin coronaire et la perfusion du sang sous-endocardique pendant la diastole (60). Le DPTI est directement lié à l'offre en oxygène pour le myocardique. Il est nécessaire de retrancher à la DPTI la

pression en fin de diastole du ventricule gauche (LVEDP) qui exerce une pression sur les coronaires et empêche donc leur bonne perfusion.

$$\text{Indice de Buckberg} = \frac{\text{DPTI} - \text{LVEDP}}{\text{SPTI}}$$

Au mieux ce ratio doit être supérieur ou égal à 1, cela sous-entend que l'offre en oxygène est plus importante à la demande. Entre 1 et 0.8 une ischémie sous endocardique commence. En dessous de 0.8 des événements ischémiques graves peuvent apparaître.

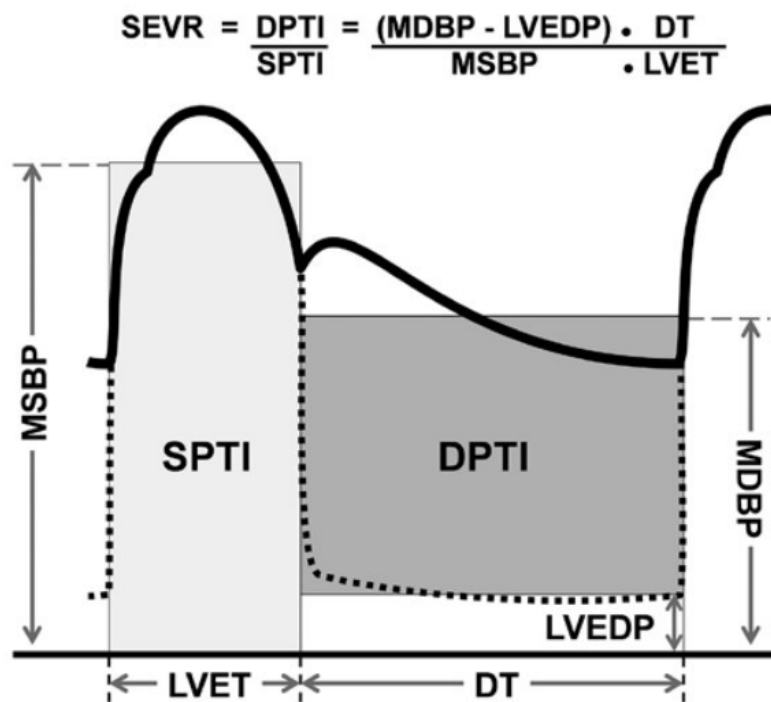


Figure 9: Obtention de l'indice de Buckberg (PTID/SPTI). Image extraite de Salvi Hypertension 2013 (62)

## V) IRM 4D

Les patients ont tous bénéficié d'une IRM sur la même machine, IRM 1.5 Tesla (MAGNETOM Aera, Siemens Healthcare, Erlangen, Germany). Les informations

recueillies lors de l'IRM 4D de flux permettent une analyse qualitative et quantitative du flux sanguin. Plusieurs modes de visualisations sont disponibles afin d'apprécier des caractéristiques qualitatives telles que le type d'écoulement ou son excentricité. Le post-traitement est l'étape incontournable dans une étude en flux 4D et nécessite un logiciel dédié pour exploiter le volume de données qualitatives et quantitatives recueilli.

#### **a) Paramètres qualitatifs**

##### **- Types de flux**

Plusieurs types de flux ont été décrits au niveau de l'aorte (63, 64) :

- . Flux laminaire : écoulement normal, les fluides s'écoulent dans la même direction, avec une faible résistance.
- . Flux hélicoïdal : les particules tournent autour d'un axe et reproduisent un mouvement de spirale tout en avançant.
- . Flux turbulent (Vortex): mouvement rotatif avec des lignes de courant ayant tendance à se recourber sur elles-mêmes, comme dans un tourbillon.

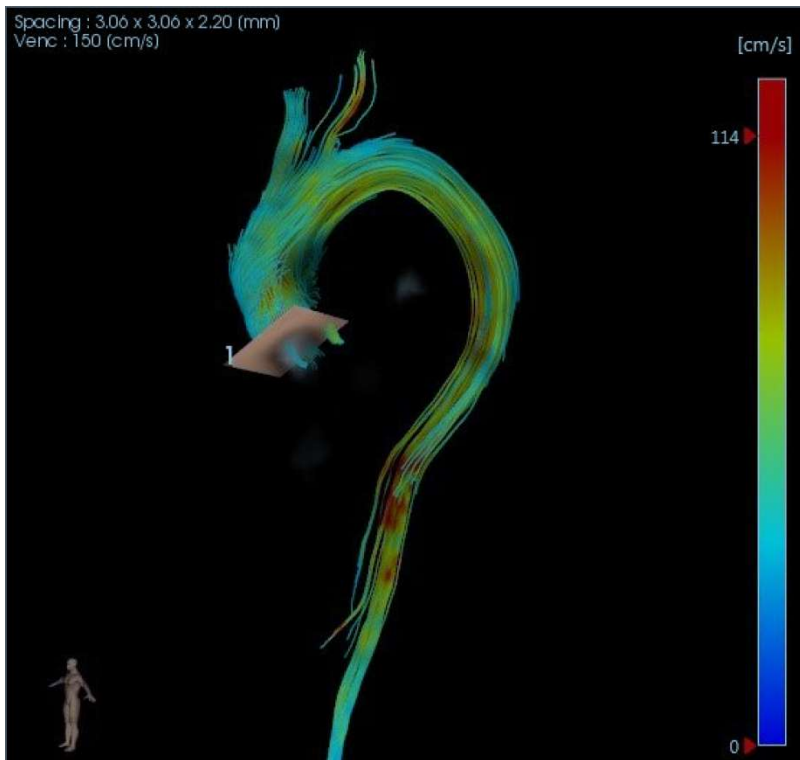


Figure 10 : Flux laminaire



Figure 11 : Flux hélicoïdal

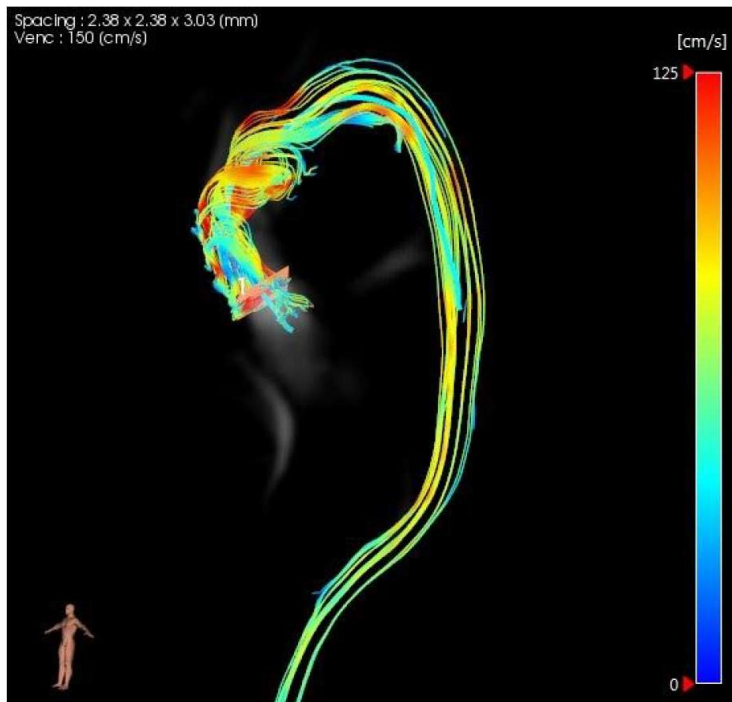


Figure 12 : Flux turbulent

### - Centrage du flux

Le centrage du flux peut-être caractérisé: (64)

- . Flux centré, occupant toute la surface.
- . Flux modérément excentré, occupant les  $\frac{2}{3}$  de la surface.
- . Flux excentré, occupant  $\frac{1}{3}$  de la surface.

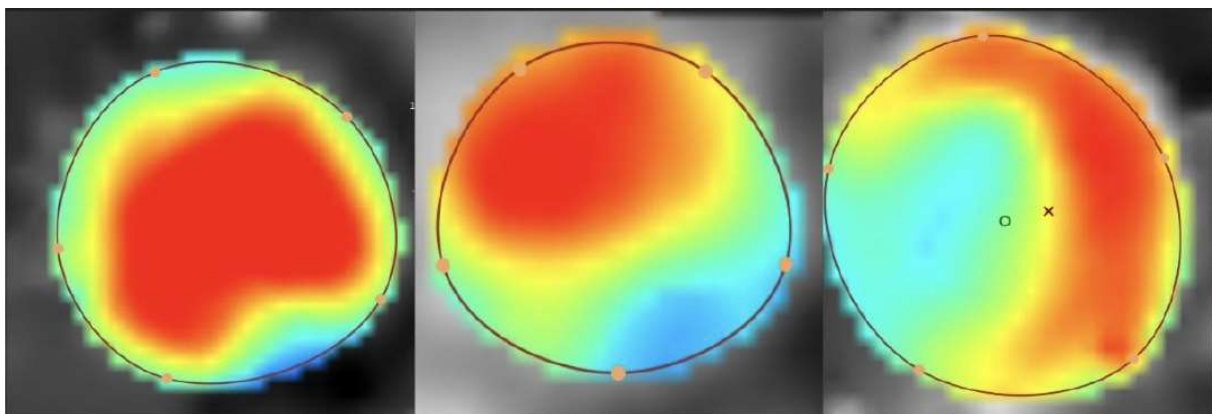


Figure 13 : Centrage du flux : A : centré ; B : modérément excentré ; C : excentré

## **b) Paramètre quantitatif**

### **- Le Wall Shear Stress (WSS)**

L'équipe d'imagerie cardio-vasculaire a choisi de s'intéresser dans ce travail à un seul paramètre quantitatif, le stress à la paroi (WSS) estimé à partir des gradients de vitesse le long des parois vasculaires. La force de cisaillement représente la force de friction subie par l'endothélium vasculaire liée à la viscosité d'un fluide. Cette force dépendante du flux dans les 3 plans de l'espace est représentée par un vecteur et exprimée en N/m<sup>2</sup>. Basée le plus souvent sur une estimation 2D, plusieurs facteurs peuvent cependant altérer la précision de mesure :

- Le volume partiel ainsi que les résolutions spatiale et temporelle limitées du flux 4D induisent une sous-estimation des valeurs de WSS notamment pour les valeurs limites (65, 66, 67).
- Son estimation présente une variabilité intra mais surtout inter-observateur plus marquée que les autres paramètres quantitatifs (vitesse maximale, débit, ..) (68). Cette variabilité est liée d'une part au contourage manuel ou semi-automatique de la paroi aortique et d'autre part au choix du plan d'analyse, elle reste acceptable si elle est inférieure à 10% (68).
- Par ailleurs, la valeur absolue du WSS, représentant la projection du vecteur force à la paroi, peut manquer de pertinence, avec des valeurs similaires chez des sujets sains ou suivis pour une bicuspidie (69).

Afin d'affiner l'analyse et comprendre les perturbations du WSS plusieurs méthodes ont été développées. Rodriguez-Palomarales et al ont étudié les deux composantes orthogonales du vecteur (axiale et circonférentielle) et ont démontré que les témoins présentaient une augmentation du WSS axial en raison du flux laminaire prédominant,

tandis que les patients avec une bicuspidie présentaient un flux hélicoïdal responsable d'une augmentation du WSS circonférentiel (69).

De nouvelles méthodes d'estimation 3D sont désormais disponibles et offrent une cartographie des valeurs de WSS (70, 71).

Que l'estimation soit basée sur des méthodes 2D ou 3D, l'utilisation reste envisageable et a permis de comprendre des variations physiologiques ou pathologiques (46, 72).

Plusieurs auteurs ont ainsi montré que le WSS est un marqueur significatif du remodelage pathologique de l'endothélium vasculaire (72) ; Guzzardi et al ont montré par exemple que les patients atteints de bicuspidie aortique avec une élévation des valeurs de WSS présentaient des modifications de la matrice extra-cellulaire avec une dégénérescence des fibres élastiques (70).

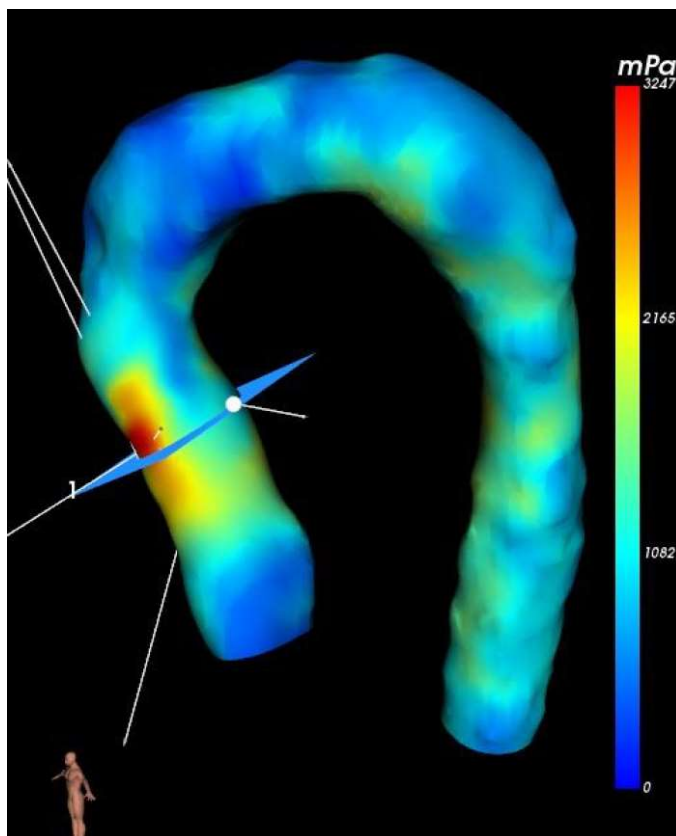


Figure 14 :

Représentation en rendu de volume des valeurs de Wall Shear stress.

Notez l'asymétrie de répartition axiale du WSS chez ce patient ayant bénéficié d'une chirurgie de l'aorte ascendante

Pour tous les paramètres que nous analyserons pour l'IRM 4D, nous nous sommes concentrés au niveau de l'aorte ascendante au niveau de sa portion tubulaire.

## **VI) Analyses statistiques**

Les analyses statistiques étaient réalisées à l'aide du logiciel GraphPad Prism v6.0.1.

Les variables quantitatives étaient décrites par leur moyenne et leur déviation standard en cas de distribution normale ; par leur médiane et intervalle interquartile dans le cas contraire.

La normalité des variables était évaluée par un test de Kolmogorov-Smirnov.

Les variables qualitatives étaient décrites par leur effectif et leur fréquence associés exprimés en pourcentage.

Une analyse bivariée était réalisée pour comparer les caractéristiques des patients bénéficiant d'un wrapping ou d'un remplacement de l'aorte ascendante.

Pour les variables quantitatives, un test t de Student non apparié était réalisé en cas de distribution normale ou un test non paramétrique de Mann-Whitney dans le cas contraire.

Pour les variables qualitatives, un test du Khi-2 était réalisé si les conditions d'application étaient réunies. Dans le cas contraire, un test exact de Fisher était effectué.

Tous les résultats graphiques représentent les valeurs de chaque patient dans les groupes wrapping et tube sus coronaire avec la médiane pour chaque groupe.



# RÉSULTATS - ÉTUDE 1

## I) Caractéristiques des cohortes

Notre cohorte comprend 205 patients, 114 patients ayant bénéficié d'un tube sus coronaire et 91 patients d'un wrapping de l'aorte ascendante.

Les deux populations étaient représentatives d'une population classique de chirurgie cardio-vasculaire avec un Euroscore II moyen de 1.59 +/- 0.07 pour le groupe wrapping vs 1.7 +/- 0.07 dans le groupe tube sus coronaire p = 0.29.

La population était âgée en moyenne de 62.9 +/- 1.5 années pour le wrapping et 63.7 +/- 1.3 pour le tube sus coronaire p = 0.7, avec une prédominance masculine : 70.3 % dans le groupe wrapping et 59% dans le groupe tube sus coronaire p = 0.10.

La taille de l'anévrisme est légèrement différente entre les deux groupes avec respectivement 50.8 +/- 0.47 mm pour le wrapping et 52.9 +/- 0.61 pour le tube sus coronaire p = 0.01. 9 patients du groupe tube sus coronaire présentaient un anévrisme de taille comprise entre 60 mm et 74 mm contre 0 dans le groupe wrapping.

L'ensemble des caractéristiques pré-procédurales et procédurales de nos patients est représenté dans le Tableau 1.

Concernant les données procédurales, on remarque une différence significative entre les temps de clampage et de CEC des deux groupes avec respectivement 28.2 +/- 2 min et 50.1 +/- 3 min pour le wrapping, contre 58 +/- 3 min et 85.7 +/- 3.7 min pour le tube sus coronaire p <0.0001 pour les deux.

	Wrapping (N = 91)	Tube sus coronaire (N = 114)	p-value
<b>DEMOGRAPHIE</b>			
Age (années) T	62.9 ± 1.5	63.7 ± 1.3	0.70
Sexe (homme) n (%) <sup>⊠</sup>	64 (70.3)	67 (58.7)	0.10
IMC (kg/m <sup>2</sup> ) T	29.2 ± 0.7	28.2 ± 0.67	0.30
<b>FACTEURS DE RISQUE ET COMORBIDITES</b>			
Tabagisme n (%) <sup>⊠</sup>	27 (29.7)	29 (25.4)	0.75
Diabète n (%) <sup>⊠</sup>	16 (17.6)	12 (10.5)	0.23
HTA n (%) <sup>⊠</sup>	57 (62.6)	63 (55.2)	0.32
Dyslipidémie n (%) <sup>⊠</sup>	28 (30.8)	27 (23.6)	0.52
Coronaropathie n (%) <sup>⊠</sup>	11 (12.2)	16 (14.0)	0.68
BPCO n (%) <sup>⊠</sup>	11 (12.2)	8 (7.0)	0.33
<b>STATUT CARDIAQUE</b>			
FEVG (%)T	60 ± 0.7	60 ± 0.8	0.73
Diamètre anévrysme (mm) T	50.8 ± 0.47	52.9 ± 0.61	0.01*
<b>SCORE PREOPERATOIRE</b>			
Euroscore II (%) T	1.59 ± 0.07	1.7 ± 0.07	0.29
<b>BILAN PREOPERATOIRE</b>			
DFG par MDRD (mL/min) T	83 ± 2.85	91.1 ± 2.9	0.05*
Insuffisance rénale stade > 1 n(%) <sup>⊠</sup>	9 (10)	12 (10.5)	0.98
<b>DONNE OPERATOIRE</b>			
Bicuspidie (%) <sup>⊠</sup>	16 (17.6)	20 (17.5)	0.98
Temps de CEC (min) T	50.1 ± 3	85.7 ± 3.7	< 0.0001*
Temps de clampage (min) T	28.2 ± 2	58 ± 3	< 0.0001*

Tableau 1 : données pré et per procédurales de la cohorte.

⊠ Test du Khi-2

T Moyenne ± déviation standard avec test de Student

\* p value < 0,05.

## II) Critères de sécurité

### a. Périopératoire (0 à 30 jours postopératoire)

Dans notre cohorte, aucun patient n'est décédé en périopératoire dans le groupe wrapping contre 5 (4.4%) dans le groupe tube sus coronaire  $p = 0.06$ . 1 patient appartenant aux 9 patients du groupe tube sus coronaire avec anévrisme entre 60 et 74 mm est décédé à 30 jours. En excluant ces 9 patients de l'analyse statistique pour obtenir deux groupes plus comparables (anévrisme < 60 mm) nous avons 0 % (0/91) de décès dans le groupe wrapping contre 3.8 % (4/105) dans le groupe tube sus coronaire  $p = 0.12$  en utilisant un test de Fisher.

3 patients (3.3%) dans le groupe wrapping et 10 patients (8.8%) dans le groupe tube sus coronaire ont été repris au bloc opératoire  $p = 0.15$ .

Les patients opérés d'un wrapping restent moins longtemps hospitalisés 10.5 +/- 0.3 jours contre 13.5 +/- 0.8 jours  $p = 0.001$ .

Aucun autre critère de sécurité ne présente de différence statistiquement significative cependant il semble y avoir une tendance à la significativité pour plusieurs d'entre eux, ainsi les patients opérés d'un wrapping semblent être extubés plus précocement 2.2% contre 7%  $p = 0.19$ , semblent être hospitalisés moins longtemps en réanimation 1.71 +/- 0.28 jours contre 2.54 +/- 0.54 jours  $p = 0.19$  et semblent ne pas avoir besoin d'ECLS (assistance cardiaque) 0% contre 3.5%  $p = 0.13$ . On constate également que les patients ayant bénéficié d'un wrapping ont des troponines à H24 moins élevées que les patients tube sus coronaire  $p = 0.11$ .

	<b>Wrapping (N = 91)</b>	<b>Tube sus coronaire (N = 114)</b>	<b>p-value</b>
Reprise au bloc opératoire pour saignement n (%)	3 (3.3)	10 (8.8)	0.15
Troponine à H24 T	185.7 ± 13.8	223.5 ± 18.4	0.11
Intubation prolongée (>24h) □	2 (2.2)	8 (7.0)	0.19
Support inotrope prolongé (> 24h) □	0 (0)	4 (3.5)	0.16

Temps en réanimation (jours) T	1.71 ± 0.28	2.54 ± 0.54	0.19
Pose ECLS n (%)▣	0 (0)	4 (3.5)	0.13
Infection (à def) n (%)T	13 (14.5)	20 (17.5)	0.57
AVC post opératoire n (%)T	2 (2.2)	7 (6.1)	0.3
Temps hospitalisation (jours) T	10.5 ± 0.3	13.5 ± 0.8	0.001*
Décès à 30 jours ▣	0 (0)	5 (4.4)	0.06

Tableau 2 : critère d'efficacité entre 0 et 30 jours postopératoires

▣ Test du Khi-2

T Moyenne ± déviation standard avec test de Student

\* p value < 0,05.

## b. Survie

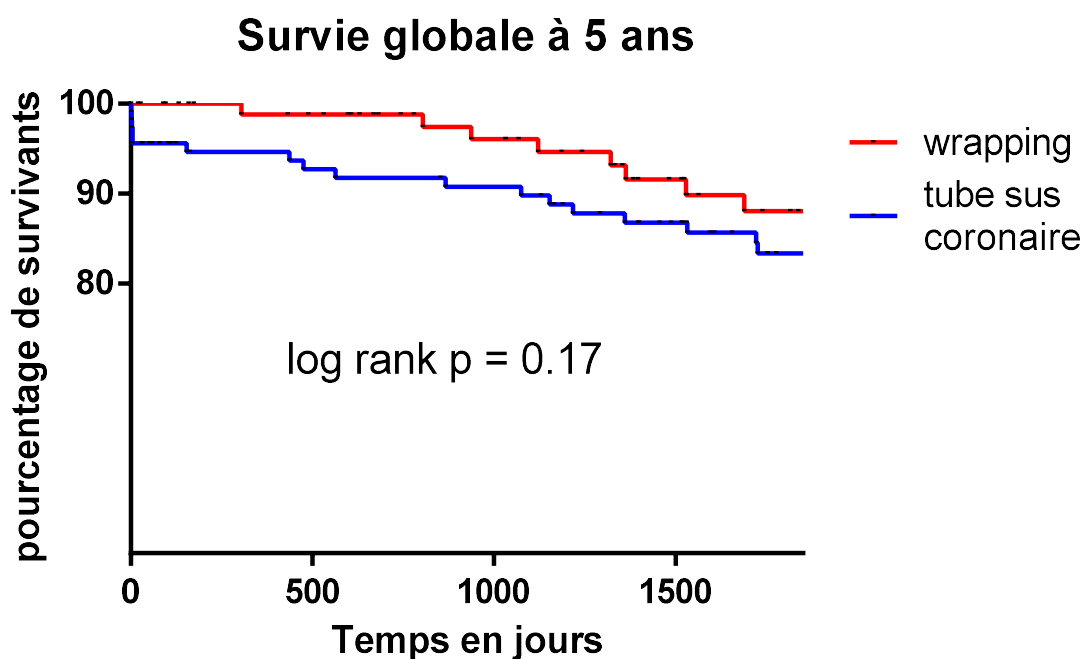


Figure 15: Courbe de survie à 5 ans.

	0 j	30 j	500 j	1000 j	1500 j	1825 j
<b>Wrapping</b>	91 (100%)	91 (100%)	82 (98.8%)	72 (96.0%)	57 (91.6%)	49 (88.1%)
<b>Tube sus coronaire</b>	114 (100%)	109(95.6%)	97 (92.7%)	94 (90.8%)	82 (86.8%)	71 (83.4%)

Tableau 3 : nombre de sujets à risque entre 0j et 1825j (5ans)

La survie à 5 ans est de 88.1% dans le groupe wrapping et de 83.4% dans le groupe tube sus coronaire sans différence significative log-rank = 0.17.

Au total il n'existe pas différence sur les critères de sécurité entre les deux groupes.

### III) Critères d'efficacité

Dans notre étude, un seul critère d'efficacité à moyen et long terme présente une différence statistiquement significative à long terme entre le groupe wrapping et le groupe tube sus-coronaire, ce sont les infections de prothèse et les endocardites aortiques post opératoire qui ont été regroupées en un même critère. En effet 1 patient (1.1%) a fait une endocardite aortique et a été réopéré dans le groupe wrapping contre 8 patients (7%) dans le groupe tube sus coronaire dont 4 ont été réopérés, parmi eux 2 sont décédés dans les suites de l'intervention p= 0.04.

	<b>Wrapping (N = 91)</b>	<b>Tube sus coronaire (N = 114)</b>	<b>p-value</b>
Dissection aortique aigue n (%) $\boxtimes$	1 (1.1)	3 (2.6)	0.63
Réopération pour redilatation secondaire n (%) $\boxtimes$	0 (0)	4 (3.5)	0.13
Endocardite ou infection de prothèse n (%) $\boxtimes$	1 (1.1)	8 (7.0)	0.04*
Variation médiane du diamètre de AA (en mm) $\text{T}$	-19.4 $\pm$ -0.92	-18.35 $\pm$ -0.9	0.55

Tableau 4 : Représentation des critères d'efficacité à moyen et long terme

$\boxtimes$  Test du Khi-2

$\text{T}$  Moyenne  $\pm$  déviation standard avec test de Student

\* p value < 0,05.

Au total nous retrouvons uniquement une différence significative sur le nombre de reprise pour infection de prothèse et endocardite.

## RÉSULTATS - ÉTUDE 2

Les caractéristiques des patients de cette deuxième étude sont globalement les mêmes que ceux de la cohorte principale. A noter que dans le groupe tube sus coronaire, la proportion d'homme est plus importante que dans la première étude respectivement 70% contre 58.7%. On retrouve également une différence à la limite de la significativité concernant le diamètre de l'aorte en pré opératoire  $51.1 \pm 4.4$  mm pour le groupe wrapping contre  $52.6 \pm 2.9$  mm pour le groupe tube sus coronaire  $p = 0.08$ .

Les mêmes différences significatives sont notées sur les temps de CEC et de clampage aortique entre les deux groupes avec respectivement  $42.3 \pm 6.3$  minutes pour le groupe wrapping contre  $82.7 \pm 29.2$  minutes pour le groupe tube sus coronaire et  $20.9 \pm 3.5$  minutes contre  $58.7 \pm 22.5$  minutes  $p < 0.0001$ .

Un résultat important dans ce tableau démographique est celui de la FEVG pré opératoire des deux groupes. Celle-ci est normale et comparable entre les deux groupes avec  $61.5 \pm 4.6$  % pour le wrapping et  $61.9 \pm 4.5$  pour le tube sus coronaire  $p = 0.75$ . Ce résultat est important pour l'interprétation des résultats sur la rigidité artérielle et sur le couplage ventriculo-artériel.

	Wrapping (N = 20)	Tube sus coronaire (N = 20)	p-value
<b>DEMOGRAPHIE</b>			
Age (années) T	64.7 ± 13.5	65.6 ± 12.7	0.73
Sexe (homme) n (%) <sup>⊠</sup>	13 (65)	14 (70)	0.99
IMC (kg/m <sup>2</sup> ) T	28.4 ± 6.2	29.7 ± 6.5	0.63
<b>FACTEURS DE RISQUE ET COMORBIDITES</b>			
Tabagisme n (%) <sup>⊠</sup>	3 (15)	5 (25)	0.69
Diabète n (%) <sup>⊠</sup>	2 (10)	5 (25)	0.41
HTA n (%) <sup>⊠</sup>	14 (70)	14 (70)	1.0
Dyslipidémie n (%) <sup>⊠</sup>	5 (25)	10 (50)	0.20
Coronaropathie n (%) <sup>⊠</sup>	3 (15)	2 (10)	1.0
BPCO n (%) <sup>⊠</sup>	1 (5)	2 (10)	1.0
<b>STATUT CARDIAQUE</b>			
FEVG (%) T	61.5 ± 4.6	61.9 ± 4.5	0.75
Diamètre anévrisme (mm) T	51.1 ± 4.4	52.6 ± 2.9	0.08
<b>SCORE PREOPERATOIRE</b>			
Euroscore II (%) T	1.55 ± 0.7	1.9 ± 1.0	0.2
<b>BILAN PREOPERATOIRE</b>			
Insuffisance rénale stade > 1 n (%) <sup>⊠</sup>	2 (10)	1 (5)	1.0
DFG par MDRD (mL/min) T	87.3 ± 19.4	88.3 ± 32.2	0.64
<b>DONNE OPERATOIRE</b>			
Bicuspidie (%) <sup>⊠</sup>	4 (20)	2 (10)	0.66
Temps de CEC (min) T	42.3 ± 6.3	82.7 ± 29.2	< 0.0001*
Temps de clampage (min) T	20.9 ± 3.5	58.7 ± 22.5	< 0.0001*

Tableau 5 : données pré et per procédurales de l'étude 2.

⊠ Test du Khi-2

T Moyenne ± déviation standard avec test de Student

\* p value < 0,05.



## I) Sphygmocor®, couplage ventriculo-artériel.

### a) Paramètres de rigidité

La VOP était significativement plus élevée dans le groupe tube sus coronaire par rapport au groupe wrapping  $14.1 \pm 3.0$  m/s vs  $11.5 \pm 2.7$  m/s  $p=0.004$ , correspondant à une rigidité artérielle accrue dans le tube sus coronaire

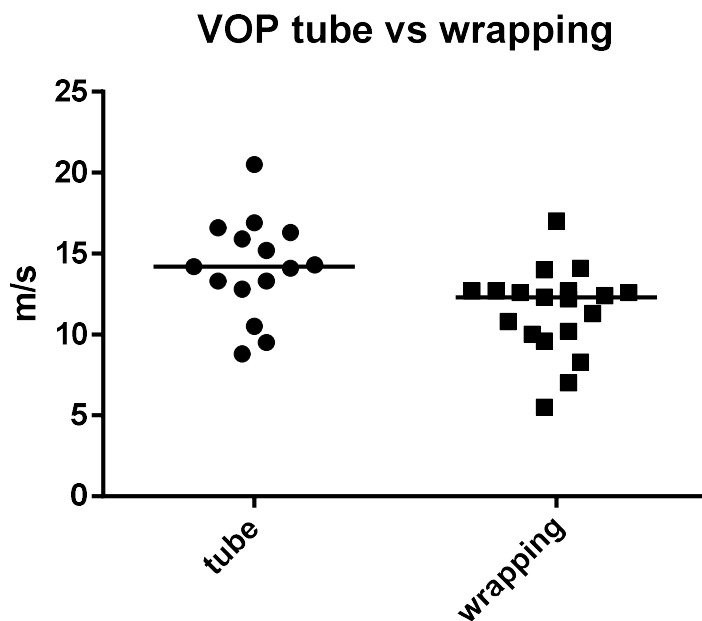


Figure 16: vitesse de l'onde de pouls évaluée en postopératoire chez les patients ayant bénéficié d'un tube sus coronaire ou d'un wrapping. Test utilisé Mann-Whitney test.

L'index d'augmentation aortique (Aix) était significativement plus élevé dans le groupe tube sus coronaire par rapport au groupe wrapping, respectivement  $43.4 \pm 20.4$  % vs  $30.3 \pm 11.7$   $p = 0.002$ , témoignant d'une rigidité artérielle accrue dans le groupe tube sus coronaire.

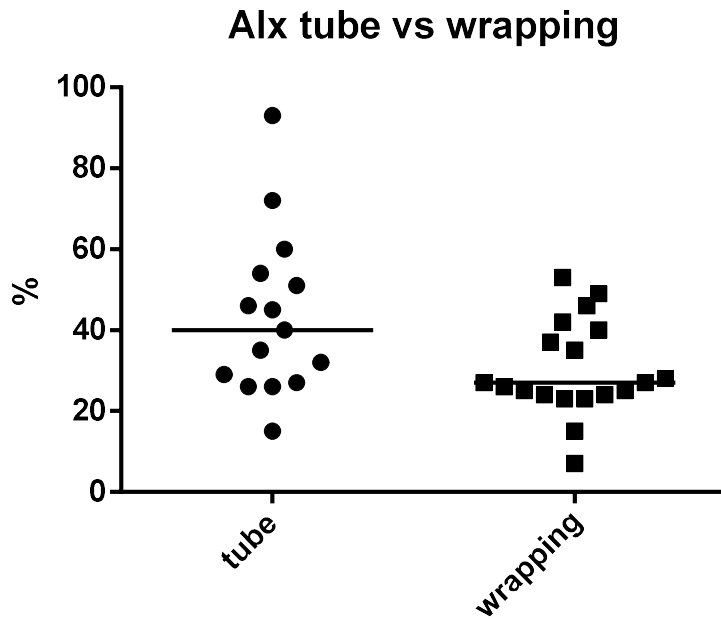


Figure 17: Index d'augmentation aortique évaluée en postopératoire chez des patients ayant bénéficié d'un tube sus coronaire ou d'un wrapping de l'aorte. Test utilisé Mann-Whitney test.

L'amplitude de réflexion (RM) était similaire dans les groupes tube sus coronaire et wrapping, respectivement  $71.0 \pm 14.2$  vs  $69.7 \pm 14.1$   $p = 0.81$ .

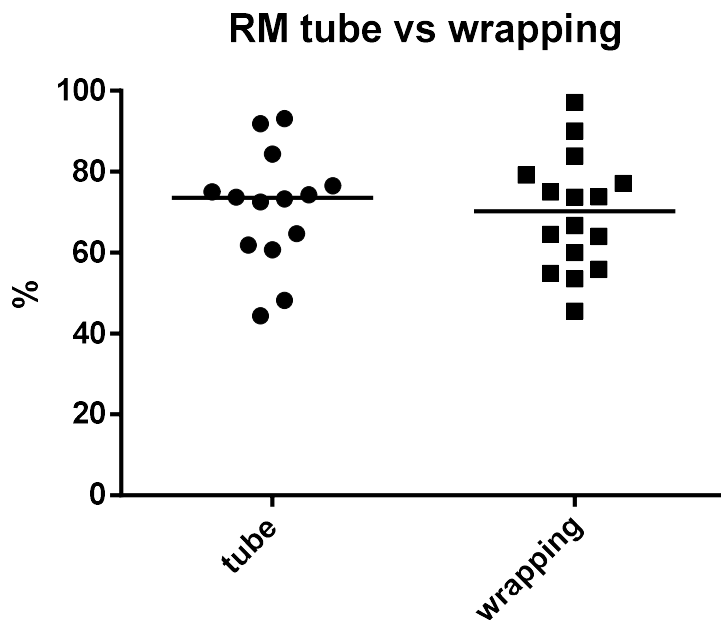


Figure 18: Amplitude de réflexion évaluée en postopératoire chez des patients ayant bénéficié d'un tube sus coronaire ou d'un wrapping de l'aorte. Le test utilisé Mann-Whitney test.

## b) Fonction aortique

La compliance aortique était similaire entre les groupes tube sus coronaire et wrapping, respectivement  $1.47 \pm 0.52$  mL/mmHg vs  $1.29 \pm 0.32$  mL/mmHg  $p= 0.42$ .

La représentation de la médiane des groupes montre en revanche que la médiane du groupe tube sus coronaire est inférieure à celle du groupe wrapping, témoignant d'une rigidité accrue dans le tube sus coronaire.

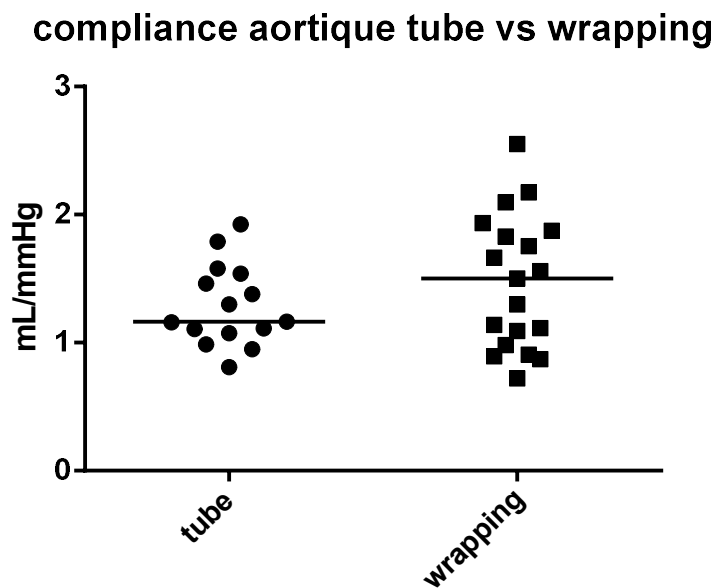


Figure 19: Compliance aortique mesurée en postopératoire chez des patients opérés d'un tube sus coronaire ou d'un wrapping de l'aorte ascendante. Le test utilisé Mann-Whitney test.

L'indice de Buckberg était similaire entre les groupes tube sus coronaire et wrapping avec respectivement  $0.93 \pm 0.13$  contre  $1.00 \pm 0.09$   $p = 0.19$ . La représentation de la médiane des groupes montre en revanche que la médiane du groupe tube sus coronaire est inférieure à celle du groupe wrapping, témoignant d'une rigidité accrue

dans le tube sus coronaire avec une oxygénation moindre des tissus.

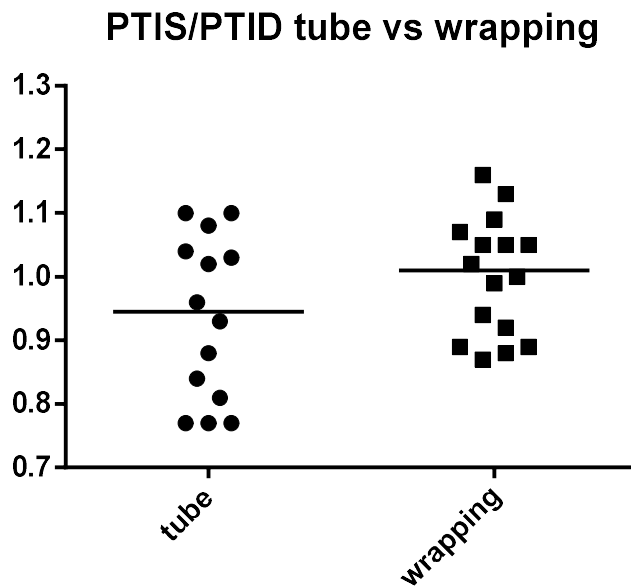


Figure 20: indice de Buckberg mesuré en postopératoire chez des patients opérés d'un tube sus coronaire ou d'un wrapping de l'aorte ascendante. Le test utilisé Mann-Whitney test.

## II) IRM 4D

### a) Paramètres qualitatifs

Il n'a pas été retrouvé de différence significative concernant le centrage du flux dans l'aorte ascendante entre le wrapping et le tube sus coronaire.

	<b>Wrapping (N = 10)</b>	<b>Tube sus coronaire (N = 15)</b>	<b>p-value</b>
<b>Centrage</b>			
Centré ☐	7 (70 %)	14 (93.3 %)	
Modérément excentré ☐	3 (30 %)	1 (6.7 %)	
Excentré ☐	0 (0 %)	0 (0 %)	0.12

Tableau 6 : représentation du centrage du flux dans l'aorte ascendante

▣ Test du Khi-2

† Moyenne ± déviation standard avec test de Student

\* p value < 0,05.

Il n'est pas retrouvé de différence significative sur le type de flux dans l'aorte ascendante entre le groupe wrapping et le groupe tube sus coronaire.

	<b>Wrapping (N = 11)</b>	<b>Tube sus coronaire (N = 15)</b>	<b>p-value</b>
<b>Type de Flux</b>			
Laminaire ▣	6 (54.5 %)	8 (53.3 %)	
Hélicoïdal ▣	5 (45.5 %)	7 (46.7 %)	
Turbulent ▣	0 (0 %)	0 (0 %)	0.95

Tableau 7 : représentation du type de flux dans l'aorte ascendante  
Test réalisé Mann et Whitney.

### **b) Paramètre quantitatif**

Concernant le Wall Shear Stress minimal, pas de différence significative entre le wrapping et le tube sus coronaire avec respectivement  $524.9 \pm 378.4 \text{ N/m}^2$  vs  $722.2 \pm 399.6 \text{ N/m}^2$  p = 0.22 avec une grande hétérogénéité des résultats.

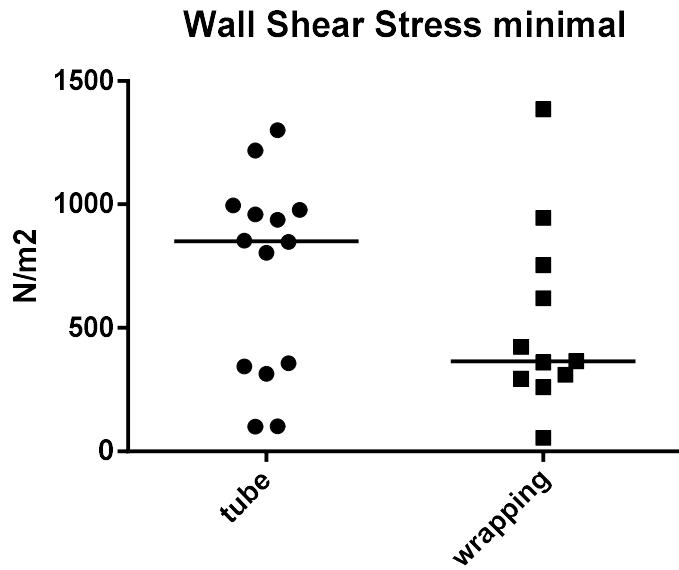


Figure 21 : Wall Shear Stress minimal au niveau de l'aorte ascendante en post opératoire à moyen terme. Test réalisé Mann-Whitney test.

Concernant le wall shear stress moyen, pas de différence significative entre le wrapping et le tube sus coronaire, respectivement  $1146 \pm 388.3 \text{ N/m}^2$  vs  $1254 \pm 397.2 \text{ N/m}^2$   $p = 0.34$ .

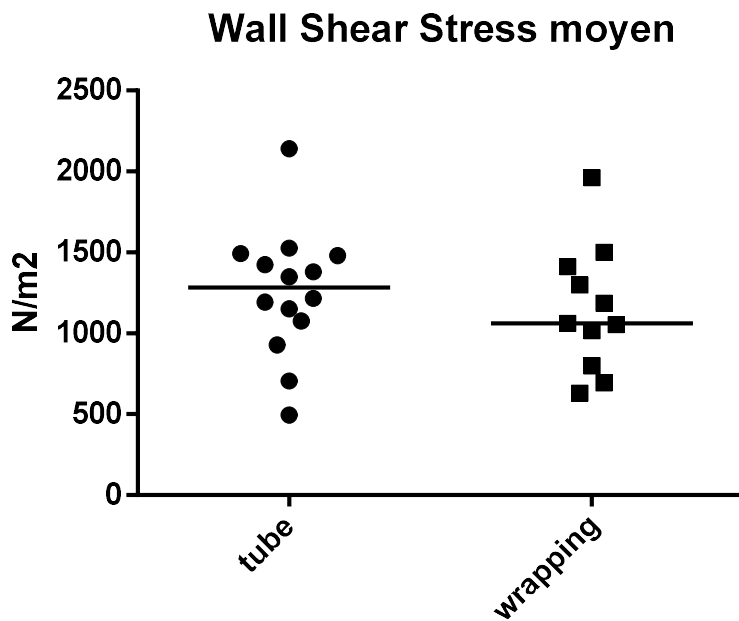


Figure 22 : Wall Shear Stress moyen au niveau de l'aorte ascendante en post opératoire à moyen terme. Test réalisé Mann-Whitney test.

Concernant le wall shear stress maximal pas de différence significative entre wrapping et tube sus coronaire avec respectivement  $1845 \pm 560.4 \text{ N/m}^2$  vs  $1891 \pm 484.5 \text{ N/m}^2$   $p = 0.71$ .

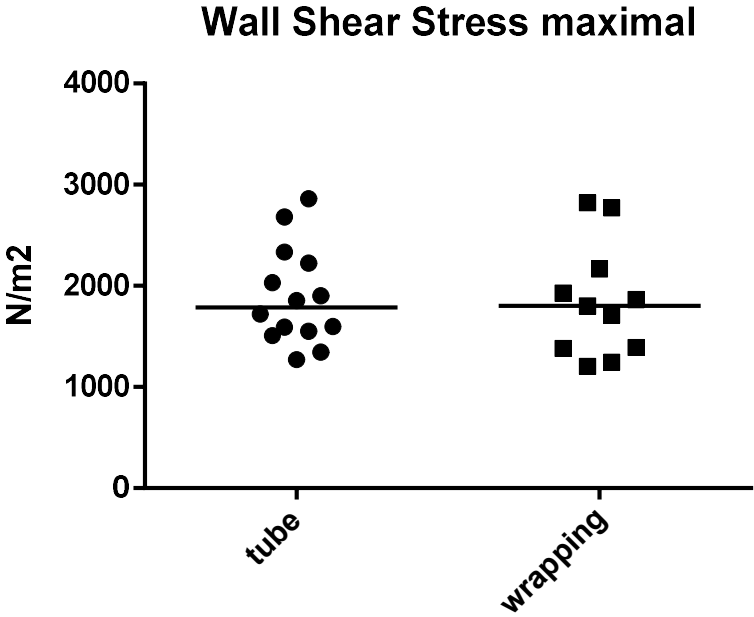


Figure 23 : Wall Shear Stress maximal au niveau de l'aorte ascendante en post opératoire à moyen terme. Test réalisé Mann-Whitney test

## DISCUSSION

### Sur le premier objectif :

#### Concernant la population globale de l'étude :

Dans cette étude nous avons décidé d'inclure uniquement les patients ayant subi une chirurgie de l'aorte ascendante isolée sans remplacement associé de la valve aortique et ce, bien que la chirurgie de l'anévrisme aortique soit le plus souvent associée à une chirurgie valvulaire aortique. En effet, le stress de la paroi aortique dépend à la fois de la chirurgie de l'aorte et du remplacement valvulaire aortique, Bollache et al en 2018 (73) montre que le flux sanguin et le stress de la paroi aortique sont améliorés après remplacement valvulaire aortique mais se détériorent après remplacement de l'aorte ascendante. De même la rigidité artérielle est impactée par le remplacement valvulaire aortique qui améliore la rigidité artérielle en postopératoire (74,75). Ainsi pour s'assurer que les paramètres sur la rigidité artérielle et que les paramètres de l'IRM 4D soient bien uniquement dus à la chirurgie de l'aorte et non à un effet potentiel du remplacement valvulaire aortique, nous n'avons comparé que les tubes sus coronaires par rapport aux wrappings en excluant toute chirurgie concomitante de la valve aortique pouvant créer un facteur de confusion.

De même, les chirurgies de l'aorte qui remplacent la racine aortique ont été exclues telle la chirurgie de Bentall qui impose un remplacement de la valve aortique ainsi que la procédure de Tirone-David qui, grâce à la resuspension des cusps aortiques, corrige les fuites aortiques et entraîne des modifications de l'hémodynamique.

Les techniques que nous voulions analyser devaient être le plus comparables possible n'impliquant pas de remplacement ou de valvuloplastie de la valve aortique ni de remplacement de la racine aortique.



Le matériel prothétique utilisé dans les deux techniques (wrapping et tube sus coronaire) étant identique, nous nous affranchissons également d'un autre facteur de confusion possible.

Concernant les caractéristiques de la cohorte, nous n'avons pas observé de différence pré opératoire entre les deux groupes hormis pour le débit de filtration glomérulaire (DFG), les patients du groupe wrapping ont une clairance de la créatinine plus basse que les patients ayant bénéficié d'un tube sus coronaire avec respectivement  $83 \pm 2.85$  vs  $91.1 \pm 2.9$   $p=0.05$ . Cependant, il n'y a pas de différence statistique entre les deux groupes sur les stades de l'insuffisance rénale.

Il existe également une différence significative sur le diamètre de l'aorte ascendante en pré opératoire. Ce diamètre est plus petit chez les patients ayant bénéficié d'un wrapping, respectivement  $50.8 \pm 0.47$  vs  $52.9 \pm 0.61$   $p= 0.01$ . Cette différence de 2.1 mm peut s'expliquer par l'indication même de la technique de wrapping qui est proposée pour des anévrysmes de moins de 60 mm. En effet plusieurs auteurs, dont Plonek et Ang (35, 76, 77) expliquent qu'il est important de proposer la technique de wrapping à des anévrysmes de taille  $< 60$  mm pour éviter une possible plicature postérieure de la prothèse et une érosion précoce du mur postérieur de la paroi de l'aorte et permettre également une meilleure endothélialisation de la prothèse afin d'améliorer l'hémodynamique.

Dans notre étude tous les patients ayant bénéficié d'un wrapping avaient un diamètre de l'aorte ascendante  $< 60$  mm alors que certains patients ayant bénéficié d'un tube sus coronaire avaient des diamètres  $> 60$  mm avec un maximum à 74mm. Si nous excluons les 9 patients du groupe tube sus coronaire présentant un anévrysme  $> 60$  mm, le taux de décès à 30 jours ne varie pas de manière significative avec 0% dans le groupe wrapping et 3.8 % dans le groupe tube sus coronaire  $p = 0.12$ .

On remarque que la moyenne concernant le diamètre de l'anévrisme dans nos deux groupes est inférieure aux recommandations européennes qui préconisent une chirurgie à partir d'un diamètre de 55mm. Cependant plusieurs études récentes recommandent une prise en charge plus précoce des anévrismes afin d'éviter les événements aortiques aigus (13,14).

### **Concernant les critères de sécurité :**

Seul le temps d'hospitalisation global est différent entre les deux groupes avec respectivement  $10.5 \pm 0.3$  jours pour le wrapping et  $13.5 \pm 0.8$  jours pour le groupe tube sus coronaire  $p = 0.001$ . Ceci est en accord avec les données de la littérature qui retrouvent environ  $14.4 \pm 3.8$  jours pour le wrapping et  $17.2 \pm 4.4$  jours pour le tube sus coronaire (33). Nous n'observons pas d'autres différences entre les groupes mais il existe de nombreuses tendances à la significativité, notamment concernant les reprises au bloc opératoire pour saignement, la pose d'assistance cardiaque type ECLS et le nombre de décès à 30 jours. Pour les reprises au bloc opératoire, notamment pour saignement nous avons 3 reprises soit 3.3% dans le groupe wrapping et 10 reprises soit 8.8 % dans le groupe tube sus coronaire  $p = 0.15$ . Ces données sont en accord avec les données de la littérature qui retrouvent entre 1.5% et 6.2% de reprise dans les études sur le wrapping (27, 31, 33) et entre 5.7% et 16.4% de reprise dans le cadre d'un tube sus coronaire (21, 27, 33, 78). Ce faible taux de reprise dans le groupe wrapping peut s'expliquer car aucune des sutures (aortotomie, canulation aortique) ne sont exposées. Elles sont toutes recouvertes par la prothèse, ce qui entraîne un effet hémostatique qui n'est pas retrouvé dans le tube sus coronaire.

En ce qui concerne les décès à 30 jours, nous retrouvons 0% de mortalité dans le groupe wrapping et 4.4% dans le groupe tube sus coronaire  $p = 0.06$ . Un taux faible

de mortalité à 30 jours pour le wrapping est retrouvé dans les séries de Carrel 1.8% (78), de Lee 0.3% (27) et dans la méta-analyse de Plonek 1.5% (18), aucun n'a été recensé dans notre étude. En comparaison, les procédures de remplacement aortique présentent une mortalité minimale de 3.4 % (79) avec un maximum de 7.6% (19), ce qui positionne nos résultats dans le tiers moyen des différents résultats de la littérature.

Nous avons également remarqué que les troponines, qui sont le marqueur de souffrance myocardique, sont moins élevées dans le groupe wrapping confirmant bien l'intérêt d'un temps ischémie plus court. Néanmoins le pic de troponine intervient généralement vers H48 post opératoire, une étude de ce paramètre à H48, nous aurait permis une meilleure appréciation de la souffrance myocardique. Mais les protocoles post opératoires, notamment en réanimation, ne demandaient pas de dosage des troponines à H48 jusqu'en 2012, nous avons donc décidé de ne pas inclure ce paramètre dans notre analyse, ce qui nous aurait amenés à n'étudier que la moitié de la population.

La survie à 5 ans ne montre pas de différence significative. Il existe une tendance à ce que les patients opérés de wrapping survivent plus longtemps que ceux opérés d'un tube sus coronaire avec respectivement 88.1% vs 83.1% log-rank à 0.17. La différence se fait dans les 30 premiers jours post opératoires, les courbes étant parallèles par la suite. Nos résultats sont comparables avec les études de Lee (27) avec respectivement  $91.8\% \pm 3.5\%$  vs  $82.2\% \pm 7.5\%$   $p = 0.64$ , et de Zhang (34) avec respectivement  $90.7\% \pm 6.4\%$  vs  $87.0\% \pm 6.3\%$   $p = 0.59$  sur la survie à 5 ans. La significativité des résultats ne pourra être démontrée qu'avec des effectifs plus importants.

**Concernant les critères d'efficacité :**

Seules les endocardites ou infections de prothèses, nécessitant une réintervention, sont significativement différentes avec 1.1% pour le groupe wrapping et 7.0% pour le groupe tube sus coronaire  $p = 0.04$ . Dans la littérature seules les endocardites post-opératoires ont été analysées rendant difficile l'extrapolation de nos résultats. Cependant, on observe une concordance avec ceux de la littérature concernant les endocardites avec, entre 3.8% et 5% d'endocardite après remplacement de l'aorte ascendante (78-81) et entre 0 et 2% dans le groupe wrapping (18, 27, 81). Nous pouvons expliquer cette différence par le fait que la prothèse du wrapping n'est pas en contact avec le sang du patient puisqu'elle est positionnée en extravasculaire.

Il existe également une tendance à ce que les patients ayant bénéficié d'un tube sus coronaire soient réopérés plus souvent pour dilatations secondaires au niveau de la racine aortique avec 3.3% de reprise pour le groupe wrapping et 8.8% de reprise dans le groupe tube sus coronaire  $p = 0.15$ . L'explication pourrait être que l'aorte ne joue plus son rôle naturel lors de la mise en place d'une prothèse en provoquant une perte du couplage ventriculo-artériel. Cette augmentation serait la conséquence d'une augmentation de la tension sur la paroi aortique et d'une augmentation des turbulences hémodynamiques. Ce paramètre peut être pondéré car des prothèses de plus en plus compliantes sont actuellement disponibles (22, 23).

Certains auteurs critiquent la technique de wrapping en décrivant des migrations de prothèse en distalité (38) et des plicatures (39, 40). Nous n'avons observé aucun de ces deux phénomènes à court ou long terme. Nous pouvons expliquer l'absence de migration par la fixation proximale du wrapping à l'aorte et l'absence de plicature par la mise en tension lors de son passage en rétro-aortique avec vérification de l'absence de plicature après son positionnement en per opératoire.

En conclusion de la première étude, le wrapping est une alternative au remplacement de l'aorte ascendante avec une morbi-mortalité faible, et un taux de mortalité très faible (0% à 30 jours et 12% à 5 ans). Nos résultats sont concordants avec les autres études retrouvées dans la littérature qui retrouvent une morbi-mortalité à court, moyen et long terme moindre que celle des remplacements de l'aorte ascendante. Cette technique normalise le diamètre de l'aorte à très long terme et s'accompagne d'un très faible risque de redilatation. Le wrapping dont la morbi-mortalité post opératoire est équivalente au tube sus coronaire est néanmoins à préconiser pour des anévrysmes de diamètre < 60 mm (76).

Les résultats concernant notre premier objectif montrent une absence d'infériorité du wrapping par rapport au tube sus coronaire y compris à long terme sur une large cohorte. Certains paramètres sont même en faveur du wrapping : temps de clampage et de CEC, temps d'hospitalisation, taux d'infection à moyen et long terme, nombre de décès à 30 jours.

## **Sur le second objectif :**

### **Concernant les résultats du couplage ventriculo-artériel**

Les paramètres du couplage ventriculo-artériel sont favorables au groupe wrapping. La vitesse de l'onde de pouls, l'index d'augmentation aortique sont plus élevés dans le groupe tube sus coronaire avec respectivement  $p = 0.004$  et  $p = 0.002$ . Or plus ces deux paramètres sont élevés, plus l'arbre artériel est rigide et plus le ventricule gauche souffre. La représentation par la médiane de la compliance aortique montre qu'elle est plus faible dans le groupe tube sus coronaire, l'arbre artériel de celui-ci serait plus rigide, sans que cette différence soit significative  $p = 0.42$ . Le petit échantillon de

patients pour cette seconde étude est peut-être la raison de la non significativité des résultats.

Les tendances dégagées par cette étude peuvent s'expliquer par l'utilisation d'une prothèse rigide qui remplace l'aorte et qui ne présente aucune propriété viscoélastique. Le wrapping, en ne remplaçant pas l'aorte, n'altérerait par contre pas les propriétés viscoélastiques de l'aorte. L'étude récente de Salvi et al (82), réfute notre hypothèse selon laquelle remplacer une aorte dilatée amplifierait les altérations de la rigidité artérielle. En effet, d'après leur étude, il n'y a pas de différence entre la rigidité artérielle pré opératoire et post opératoire de remplacement de l'aorte ascendante. Comme nous retrouvons en revanche des différences entre groupe wrapping et tube sus coronaire dans notre étude, cela impliquerait que ce n'est pas le remplacement de l'aorte qui altérerait la rigidité artérielle mais que c'est le wrapping qui l'améliorerait. De plus les résultats des deux études ne sont pas extrapolables puisque que l'étude de Salvi (82) se base sur un échantillon réduit de 30 patients avec une moyenne d'âge inférieure à celle de notre étude  $55.7 \pm 13.7$  ans. Or plus l'âge est avancé, plus l'arbre artériel est rigide augmentant ainsi le risque de complications cardiaques mais aussi le risque de complications au niveau des organes nobles (cerveau, rein, foie, ...) (83). En effet rien que sur la VOP on retrouve  $9.3 \pm 2.8$  m/s en post opératoire dans leur étude contre  $11.5 \pm 2.7$  m/s dans le groupe wrapping et  $14.1 \pm 3.0$  m/s dans le groupe tube sus coronaire.

### **Concernant les résultats de l'IRM 4D**

Il n'est pas retrouvé de différence significative entre le wrapping et le tube sus coronaire concernant les différents paramètres d'analyse de l'IRM 4D. Il semble néanmoins que le centrage du flux soit meilleur dans le groupe tube sus coronaire,

mais il s'agit d'un critère subjectif avec une forte variabilité inter mais aussi intra manipulateur. A l'inverse, le wall shear stress minimum représentant la tension minimale que le flux exerce sur l'aorte semble meilleur dans le groupe wrapping mais nous pouvons remarquer que les résultats sont extrêmement variables dans un même groupe rendant difficile l'interprétation.

## Limites et perspectives :

Il s'agit d'une étude monocentrique et observationnelle, son caractère rétrospectif est également un biais inéluctable à ce type de travail. Même si le nombre de patients apparaît suffisant dans chaque groupe de l'étude, le faible nombre d'événements indésirables graves ne permet pas d'obtenir des différences significatives bien que certaines tendances se dégagent. Au vu de nos résultats, en particulier concernant la mortalité, en considérant une différence sur la moyenne de 5% avec un écart type classique de 20%, dans une étude randomisée avec un risque de première espèce ( $\alpha$ ) de 5% et une puissance de 80% il faudrait inclure environ 400 patients par groupe pour obtenir des résultats significatifs.

La limite de notre seconde étude porte sur le faible nombre de patients inclus, puisqu'il s'agissait des derniers patients consentants et opérés depuis plus de six mois et moins de deux ans au départ de ce travail, ayant pu bénéficier des dernières technologies.

Sphygmocor® et IRM 4D pourraient être inclus de manière plus systématique dans les études pré et post opératoires de chirurgie de l'aorte ascendante pour, à terme, faire partie du bilan lésionnel de chaque patient en routine clinique.

En monocentrique, il faudrait poursuivre cette étude sur 15 à 20 ans pour obtenir le nombre de sujets nécessaires par groupe. Une étude pluricentrique et randomisée permettrait de répondre de manière plus rapide à nos objectifs.

En IRM 4D, nos résultats se limitent à l'aorte ascendante tubulaire puisqu'il s'agit de la zone de l'aorte ascendante opérée. Or il se peut que l'une des techniques puisse améliorer les paramètres au niveau de la racine de l'aorte où de la crosse (en amont ou en aval de la zone opérée). Il faudrait donc analyser les paramètres de l'aorte ascendante sur toute sa longueur afin de statuer de manière définitive sur l'impact des techniques sur le flux en IRM 4D.

Enfin les IRM 4D n'ont pas pu être réalisées sur la totalité des patients, en effet lorsque ceux-ci ont été convoqués, l'IRM a subi une avarie nécessitant un report à plusieurs mois. Il sera intéressant de comparer les résultats avec l'intégralité des analyses. Il nous faudrait également inclure un plus grand nombre de patients pour pouvoir conclure.

Aucune étude concernant l'IRM 4D et la chirurgie de l'aorte ascendante sans remplacement de la racine n'a été retrouvée dans la littérature, ceci ne permettant pas de comparer nos résultats.

La quête de perfectionnement des pratiques est permanente en médecine comme en chirurgie afin d'améliorer le résultat clinique pour les patients ; ainsi le wrapping semble être un outil supplémentaire pour optimiser ces résultats. Notre travail et celui d'autres équipes confirment la sécurité et l'efficacité d'utilisation de cette technique, le chirurgien peut ainsi l'intégrer dans ses choix thérapeutiques, notamment chez les sujets les plus à risque (comorbidités, âge) pour des anévrysmes inférieurs à 60 mm, afin de proposer une procédure à efficacité et sécurité comparables par rapport à la technique de référence, le tube sus coronaire.



## CONCLUSION

La technique de wrapping dans la chirurgie des anévrysmes de l'aorte ascendante sans geste supplémentaire sur le cœur, n'est pas associée à plus de complications que le tube sus coronaire à court et à long terme sur des critères d'efficacité et de sécurité avec même moins de reprises chirurgicales pour infections de prothèses et endocardites. Le wrapping semble également présenter des paramètres de rigidité artérielle plus favorables.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Howard DPJ, Banerjee A, Fairhead JF, Perkins J, Silver LE, Rothwell PM, et al. Population-based study of incidence and outcome of acute aortic dissection and premorbid risk factor control: 10-year results from the Oxford Vascular Study. *Circulation*. 21 mai 2013;127(20):2031-7.
2. Olsson C, Thelin S, Ståhle E, Ekblom A, Granath F. Thoracic aortic aneurysm and dissection: increasing prevalence and improved outcomes reported in a nationwide population-based study of more than 14,000 cases from 1987 to 2002. *Circulation*. 12 déc 2006;114(24):2611-8.
3. Johansson G, Markström U, Swedenborg J. Ruptured thoracic aortic aneurysms: a study of incidence and mortality rates. *J Vasc Surg*. juin 1995;21(6):985-8.
4. Trimarchi S, Nienaber CA, Rampoldi V, Myrmet T, Suzuki T, Mehta RH, et al. Contemporary results of surgery in acute type A aortic dissection: The International Registry of Acute Aortic Dissection experience. *J Thorac Cardiovasc Surg*. janv 2005;129(1):112-22.
5. Hsu J-Y, Su Y-C, Wang J-H, Tee BL. Long-term stroke incidence in proximal thoracic aorta aneurysm survivors. *Int J Stroke Off J Int Stroke Soc*. juin 2020;15(4):421-8.
6. Radu NC, Gervais M, Allaire E, Loisançe DY, Kirsch ME. [Pathobiology of idiopathic ascending aortic aneurysms]. *Presse Medicale Paris Fr* 1983. août 2009;38(7-8):1076-88.
7. Jones JA, Stroud RE, O'Quinn EC, Black LE, Barth JL, Elefteriades JA, et al. Selective microRNA suppression in human thoracic aneurysms: relationship of miR-29a to aortic size and proteolytic induction. *Circ Cardiovasc Genet*. déc 2011;4(6):605-13.
8. Ikonomidis JS, Ivey CR, Wheeler JB, Akerman AW, Rice A, Patel RK, et al. Plasma biomarkers for distinguishing etiologic subtypes of thoracic aortic aneurysm disease. *J Thorac Cardiovasc Surg*. mai 2013;145(5):1326-33.
9. Habashi JP, Judge DP, Holm TM, Cohn RD, Loeys BL, Cooper TK, et al. Losartan, an AT1 antagonist, prevents aortic aneurysm in a mouse model of Marfan syndrome. *Science*. 7 avr 2006;312(5770):117-21.
10. Habashi JP, Doyle JJ, Holm TM, Aziz H, Schoenhoff F, Bedja D, et al. Angiotensin II type 2 receptor signaling attenuates aortic aneurysm in mice through ERK antagonism. *Science*. 15 avr 2011;332(6027):361-5.
11. Erbel R, Aboyans V, Boileau C, Bossone E, Bartolomeo RD, Eggebrecht H, et al. 2014 ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases: Document covering acute and chronic aortic diseases of the thoracic and abdominal aorta of the adult. The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Aortic Diseases of

- the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J*. 1 nov 2014;35(41):2873-926.
12. Hiratzka LF, Bakris GL, Beckman JA, Bersin RM, Carr VF, Casey DE, et al. 2010 ACCF/AHA/AATS/ACR/ASA/SCA/SCAI/SIR/STS/SVM Guidelines for the diagnosis and management of patients with thoracic aortic disease. A Report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines, American Association for Thoracic Surgery, American College of Radiology, American Stroke Association, Society of Cardiovascular Anesthesiologists, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Interventional Radiology, Society of Thoracic Surgeons, and Society for Vascular Medicine. *J Am Coll Cardiol*. 6 avr 2010;55(14):e27-129.
  13. Pape LA, Tsai TT, Isselbacher EM, Oh JK, O'gara PT, Evangelista A, et al. Aortic diameter  $\geq$  5.5 cm is not a good predictor of type A aortic dissection: observations from the International Registry of Acute Aortic Dissection (IRAD). *Circulation*. 4 sept 2007;116(10):1120-7.
  14. Wu J, Zafar MA, Li Y, Saeyeldin A, Huang Y, Zhao R, et al. Ascending Aortic Length and Risk of Aortic Adverse Events: The Neglected Dimension. *J Am Coll Cardiol*. 15 oct 2019;74(15):1883-94.
  15. Nazer RI, Elhenawy AM, Fazel SS, Garrido-Olivares LE, Armstrong S, David TE. The influence of operative techniques on the outcomes of bicuspid aortic valve disease and aortic dilatation. *Ann Thorac Surg*. juin 2010;89(6):1918-24.
  16. Svensson LG, Kim K-H, Blackstone EH, Rajeswaran J, Gillinov AM, Mihaljevic T, et al. Bicuspid aortic valve surgery with proactive ascending aorta repair. *J Thorac Cardiovasc Surg*. sept 2011;142(3):622-9, 629.e1-3.
  17. Roberts WC, Ko JM. Frequency by decades of unicuspid, bicuspid, and tricuspid aortic valves in adults having isolated aortic valve replacement for aortic stenosis, with or without associated aortic regurgitation. *Circulation*. 22 févr 2005;111(7):920-5.
  18. Plonek T. A meta analysis and systematic review of wrapping of the ascending aorta. *J Card Surg*. nov 2014;29(6):809-15.
  19. Jault F, Nataf P, Rama A, Fontanel M, Vaissier E, Pavie A, et al. Chronic disease of the ascending aorta. Surgical treatment and long-term results. *J Thorac Cardiovasc Surg*. oct 1994;108(4):747-54.
  20. Sundt TM, Mora BN, Moon MR, Bailey MS, Pasque MK, Gay WA. Options for repair of a bicuspid aortic valve and ascending aortic aneurysm. *Ann Thorac Surg*. mai 2000;69(5):1333-7.
  21. Immer FF, Barmettler H, Berdat PA, Immer-Bansi AS, Englberger L, Krähenbühl ES, et al. Effects of deep hypothermic circulatory arrest on outcome after resection of ascending aortic aneurysm. *Ann Thorac Surg*. août 2002;74(2):422-5.

22. Simon-Kupilik N, Schima H, Huber L, Moidl R, Wipplinger G, Losert U, et al. Prosthetic replacement of the aorta is a risk factor for aortic root aneurysm development. *Ann Thorac Surg.* févr 2002;73(2):455-9.
23. Scharfschwerdt M, Sievers H-H, Greggerson J, Hanke T, Misfeld M. Prosthetic replacement of the ascending aorta increases wall tension in the residual aorta. *Ann Thorac Surg.* mars 2007;83(3):954-7.
24. Condemi F, Campisi S, Viallon M, Croisille P, Fuzelier J-F, Avril S. Ascending thoracic aorta aneurysm repair induces positive hemodynamic outcomes in a patient with unchanged bicuspid aortic valve. *J Biomech.* 16 nov 2018;81:145-8.
25. Moon MC, Morales JP, Greenberg RK. The aortic arch and ascending aorta: are they within the endovascular realm? *Semin Vasc Surg.* juin 2007;20(2):97-107.
26. Robicsek F. A new method to treat fusiform aneurysms of the ascending aorta associated with aortic valve disease: an alternative to radical resection. *Ann Thorac Surg.* juill 1982;34(1):92-4.
27. Lee SH, Kim JB, Kim DH, Jung S-H, Choo SJ, Chung CH, et al. Management of dilated ascending aorta during aortic valve replacement: valve replacement alone versus aorta wrapping versus aorta replacement. *J Thorac Cardiovasc Surg.* oct 2013;146(4):802-9.
28. Milgalter E, Laks H. Dacron mesh wrapping to support the aneurysmally dilated or friable ascending aorta. *Ann Thorac Surg.* oct 1991;52(4):874-6.
29. Cohen O, Odim J, De la Zerda D, Ukatu C, Vyas R, Vyas N, et al. Long-term experience of girdling the ascending aorta with Dacron mesh as definitive treatment for aneurysmal dilation. *Ann Thorac Surg.* févr 2007;83(2):S780-784; discussion S785-790.
30. Park JY, Shin J-K, Chung JW, Kim JS, Chee HK, Song M-G. Short-term Outcomes of Aortic Wrapping for Mild to Moderate Ascending Aorta Dilatation in Patients Undergoing Cardiac Surgery. *Korean J Thorac Cardiovasc Surg.* juin 2012;45(3):148-54.
31. Plonek T, Dumanski A, Nowicki R, Kustrzycki W. Single center experience with wrapping of the dilated ascending aorta. *J Cardiothorac Surg.* 20 nov 2015;10:168.
32. Al-Sarraf N, Thalib L, Hughes A, Houlihan M, Tolan M, Young V, et al. Cross-clamp time is an independent predictor of mortality and morbidity in low- and high-risk cardiac patients. *Int J Surg Lond Engl.* 2011;9(1):104-9.
33. Abe T, Terazawa S, Ito H, Tokuda Y, Fujimoto K, Mutsuga M, et al. Clinical outcomes and quality of life after surgery for dilated ascending aorta at the time of aortic valve replacement; wrapping versus graft replacement. *Nagoya J Med Sci.* nov 2017;79(4):443-51.

34. Zhang H, Lu F, Qu D, Han L, Xu J, Ji G, et al. Treatment of fusiform ascending aortic aneurysms: a comparative study with 2 options. *J Thorac Cardiovasc Surg.* mars 2011;141(3):738-43.
35. Plonek T, Rylski B, Dumanski A, Siedlaczek P, Kustrzycki W. Biomechanical analysis of wrapping of the moderately dilated ascending aorta. *J Cardiothorac Surg.* 1 août 2015;10:106.
36. Neri E, Massetti M, Tanganelli P, Capannini G, Carone E, Tripodi A, et al. Is it only a mechanical matter? Histologic modifications of the aorta underlying external banding. *J Thorac Cardiovasc Surg.* déc 1999;118(6):1116-8.
37. González-Santos JM, Arnáiz-García ME. Wrapping of the ascending aorta revisited-is there any role left for conservative treatment of ascending aortic aneurysm? *J Thorac Dis.* mai 2017;9(Suppl 6):S488-97.
38. Akgun S, Atalan N, Fazlioğullari O, Kunt AT, Basaran C, Arsan S. Aortic root aneurysm after off-pump reduction aortoplasty. *Ann Thorac Surg.* nov 2010;90(5):e69-70.
39. Bauer M, Grauhan O, Hetzer R. Dislocated wrap after previous reduction aortoplasty causes erosion of the ascending aorta. *Ann Thorac Surg.* févr 2003;75(2):583-4.
40. Verbrugge P, Verbeken E, Pepper J, Treasure T, Meyns B, Meuris B, et al. External aortic root support: a histological and mechanical study in sheep. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* août 2013;17(2):334-9.
41. Vasan RS, Short MI, Niiranen TJ, Xanthakis V, DeCarli C, Cheng S, et al. Interrelations Between Arterial Stiffness, Target Organ Damage, and Cardiovascular Disease Outcomes. *J Am Heart Assoc.* 16 juill 2019;8(14):e012141.
42. Mitchell GF, Hwang S-J, Vasan RS, Larson MG, Pencina MJ, Hamburg NM, et al. Arterial stiffness and cardiovascular events: the Framingham Heart Study. *Circulation.* 2 févr 2010;121(4):505-11.
43. 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.* 25 févr 2014;63(7):636-46.
44. Milan A, Tosello F, Naso D, Avenatti E, Leone D, Magnino C, et al. Ascending aortic dilatation, arterial stiffness and cardiac organ damage in essential hypertension. *J Hypertens.* janv 2013;31(1):109-16.
45. Stankovic Z, Allen BD, Garcia J, Jarvis KB, Markl M. 4D flow imaging with MRI. *Cardiovasc Diagn Ther.* avr 2014;4(2):173-92.
46. Dyverfeldt P, Bissell M, Barker AJ, Bolger AF, Carlhäll C-J, Ebbers T, et al. 4D flow cardiovascular magnetic resonance consensus statement. *J Cardiovasc Magn Reson.* déc 2015;17(1):72.

47. Le Ven F, Willoteaux S. Imagerie cardiaque, chap 3 Données techniques en IRM. Evaluations des flux sanguins par cartographie de phase. Ed Elsevier. SFR et SFC, Janv 2021.
48. 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.* sept 2014;72(3):620-8.
49. 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.* sept 1995;110(3):704-14.
50. 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.* mars 2012;35(3):594-600.
51. 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.* sept 2013;6(9):1017-9.
52. Donoho DL. Compressed sensing. *IEEE Trans Inf Theory.* 2006;52:1289-306.
53. Lustig M, Donoho D, Pauly JM. Sparse MRI: The application of compressed sensing for rapid MR imaging. *Magn Reson Med.* 2007;58:1182-95.
54. Chirinos JA, Akers SR, Schelbert E, Snyder BS, Witschey WR, Jacob RM, et al. Arterial Properties as Determinants of Left Ventricular Mass and Fibrosis in Severe Aortic Stenosis: Findings From ACRIN PA 4008. *J Am Heart Assoc.* 8 janv 2019;8(1):e03742.
55. Ling L-H, Kistler PM, Ellims AH, Iles LM, Lee G, Hughes GL, et al. Diffuse ventricular fibrosis in atrial fibrillation: noninvasive evaluation and relationships with aging and systolic dysfunction. *J Am Coll Cardiol.* 11 déc 2012;60(23):2402-8.
56. Shaikh AY, Wang N, Yin X, Larson MG, Vasan RS, Hamburg NM, et al. Relations of Arterial Stiffness and Brachial Flow-Mediated Dilation With New-Onset Atrial Fibrillation: The Framingham Heart Study. *Hypertens Dallas Tex* 1979. sept 2016;68(3):590-6.
57. Chen LY, Leening MJG, Norby FL, Roetker NS, Hofman A, Franco OH, et al. Carotid Intima-Media Thickness and Arterial Stiffness and the Risk of Atrial Fibrillation: The Atherosclerosis Risk in Communities (ARIC) Study, Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA), and the Rotterdam Study. *J Am Heart Assoc.* 20 mai 2016;5(5).
58. Laurent S, Cockcroft J, Van Bortel L, Boutouyrie P, Giannattasio C, Hayoz D, Pannier B, Vlachopoulos C, Wilkinson I, Struijker-Boudier H; European Network for Non-invasive Investigation of Large Arteries. Expert consensus document on

- arterial stiffness: methodological issues and clinical applications. *Eur Heart J*. 2006 Nov;27(21):2588-605
59. Woodman RJ, Kingwell BA, Beilin LJ, Hamilton SE, Dart AM, Watts GF. Assessment of central and peripheral arterial stiffness: studies indicating the need to use a combination of techniques. *Am J Hypertens*. 2005;18(2 Pt 1):249–260.
  60. Kaess BM, Rong J, Larson MG, Hamburg NM, Vita JA, Cheng S, Aragam J. et al. Relations of central hemodynamics and aortic stiffness with left ventricular structure and function: the Framingham heart study. *J Am Heart Assoc*. 2016;5(3):e002693.
  61. Mitchell GF. Aortic stiffness, pressure and flow pulsatility, and target organ damage. *J Appl Physiol (1985)* 2018;125(6):1871–1880
  62. Salvi P, Revera M, Faini A, Giuliano A, Gregorini F, Agostoni P, Becerra CG, Bilo G, Lombardi C, O'Rourke MF, Mancia G, Parati G. Changes in subendocardial viability ratio with acute high-altitude exposure and protective role of acetazolamide. *Hypertension*. 2013 Apr;61(4):793-9.
  63. Azarine A, Garçon P, Stansal A, Canepa N, Angelopoulos G, Silvera S, et al. Four-dimensional Flow MRI: Principles and Cardiovascular Applications. *RadioGraphics*. mai 2019;39(3):632-48.
  64. von Knobelsdorff-Brenkenhoff F, Karunaharamoorthy A, Trauzeddel RF, Barker AJ, Blaszczyk E, Markl M, Schulz-Menger J. 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.
  65. Strecker C, Harloff A, Wallis W, Markl M. Flow-sensitive 4D MRI of the thoracic aorta: Comparison of image quality, quantitative flow, and wall parameters at 1.5 T and 3 T. *J Magn Reson Imaging*. nov 2012;36(5):1097-103.
  66. Sigovan M, Hope MD, Dyverfeldt P, Saloner D. Comparison of four-dimensional flow parameters for quantification of flow eccentricity in the ascending aorta. *J Magn Reson Imaging*. nov 2011;34(5):1226-30.
  67. von Knobelsdorff-Brenkenhoff F, Trauzeddel RF, Barker AJ, Gruettner H, Markl M, Schulz-Menger J. Blood flow characteristics in the ascending aorta after aortic valve replacement—a pilot study using 4D-flow MRI. *Int J Cardiol*. janv 2014;170(3):426-33.
  68. Markl M, Wallis W, Harloff A. Reproducibility of flow and wall shear stress analysis using flow-sensitive four-dimensional MRI. *J Magn Reson Imaging*. avr 2011;33(4):988-94.
  69. Rodríguez-Palomares JF, Dux-Santoy L, Guala A, Kale R, Maldonado G, Teixidó-Turà G, et al. Aortic flow patterns and wall shear stress maps by 4D-flow cardiovascular magnetic resonance in the assessment of aortic dilatation in bicuspid aortic valve disease. *J Cardiovasc Magn Reson*. déc 2018;20(1):28.

70. Guzzardi DG, Barker AJ, van Ooij P, Malaisrie SC, Puthumana JJ, Belke DD, et al. Valve-Related Hemodynamics Mediate Human Bicuspid Aortopathy. *J Am Coll Cardiol.* août 2015;66(8):892-900.
71. van Ooij P, Garcia J, Potters WV, Malaisrie SC, Collins JD, Carr JC, et al. Age-related changes in aortic 3D blood flow velocities and wall shear stress: Implications for the identification of altered hemodynamics in patients with aortic valve disease: Age-Related Changes in 3D Velocity and WSS. *J Magn Reson Imaging.* mai 2016;43(5):1239-49.
72. Stalder AF, Russe MF, Frydrychowicz A, Bock J, Hennig J, Markl M. Quantitative 2D and 3D phase contrast MRI: Optimized analysis of blood flow and vessel wall parameters. *Magn Reson Med.* nov 2008;60(5):1218-31.
73. Bollache E, Fedak PWM, van Ooij P, Rahman O, Malaisrie SC, McCarthy PM, et al. Perioperative evaluation of regional aortic wall shear stress patterns in patients undergoing aortic valve and/or proximal thoracic aortic replacement. *J Thorac Cardiovasc Surg.* juin 2018;155(6):2277-2286.e2.
74. Nemes A, Galema TW, Geleijnse ML, Soliman OII, Yap S-C, Anwar AM, et al. Aortic valve replacement for aortic stenosis is associated with improved aortic distensibility at long-term follow-up. *Am Heart J.* janv 2007;153(1):147-51.
75. Cantürk E, Çakal B, Karaca O, Omaygenç O, Salihi S, Özyüksel A, et al. Changes in Aortic Pulse Wave Velocity and the Predictors of Improvement in Arterial Stiffness Following Aortic Valve Replacement. *Ann Thorac Cardiovasc Surg Off J Assoc Thorac Cardiovasc Surg Asia.* 20 oct 2017;23(5):248-55.
76. Płonek T, Dumanski A, Nowicki R, Kustrzycki W. Computed tomography angiography of aorta subjected to external wrapping. *J Cardiothorac Surg.* 1 juin 2016;11(1):89.
77. Ang K-L, Raheel F, Bajaj A, Sosnowski A, Galiñanes M. Early impact of aortic wrapping on patients undergoing aortic valve replacement with mild to moderate ascending aorta dilatation. *J Cardiothorac Surg.* 6 août 2010;5:58.
78. Carrel T, von Segesser L, Jenni R, Gallino A, Egloff L, Bauer E, et al. Dealing with dilated ascending aorta during aortic valve replacement: advantages of conservative surgical approach. *Eur J Cardio-Thorac Surg Off J Eur Assoc Cardio-Thorac Surg.* 1991;5(3):137-43.
79. Williams JB, Peterson ED, Zhao Y, O'Brien SM, Andersen ND, Miller DC, et al. Contemporary results for proximal aortic replacement in North America. *J Am Coll Cardiol.* 25 sept 2012;60(13):1156-62.
80. Zierer A, Melby SJ, Lubahn JG, Sicard GA, Damiano RJ, Moon MR. Elective surgery for thoracic aortic aneurysms: late functional status and quality of life. *Ann Thorac Surg.* août 2006;82(2):573-8.
81. Nardi P, Pellegrino A, Russo M, Saitto G, Bertoldo F, Chiariello L. Midterm results of different surgical techniques to replace dilated ascending aorta



associated with bicuspid aortic valve disease. *Ann Thorac Surg.* nov 2013;96(5):1648-54.

82. Salvi L, Alfonsi J, Grillo A, Pini A, Soranna D, Zambon A, et al. Postoperative and mid-term hemodynamic changes after replacement of the ascending aorta. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 27 mai 2020;
83. Chirinos JA, Segers P, Hughes T, Townsend R. Large-Artery Stiffness in Health and Disease: JACC State-of-the-Art Review. *J Am Coll Cardiol.* 3 sept 2019;74(9):1237-63.

**AUTEUR : Nom : DUBRULLE**

**Prénom : HENRI**

**Date de soutenance : 09 Avril 2021**

**Titre de la thèse :**

Comparaison des critères d'efficacité, de sécurité et d'hémodynamique du wrapping et du tube sus coronaire dans la chirurgie de l'anévrisme isolé de l'aorte ascendante.

**Thèse - Médecine - Lille « 2021 »**

**Cadre de classement :** *Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire*

**DES:** *DES chirurgie générale - DESC chirurgie thoracique et cardio-vasculaire*

**Mots-clés :** *anévrisme, aorte ascendante, chirurgie, wrapping, tube sus coronaire, suivi clinique, IRM 4D, rigidité artérielle, survie.*

**Résumé :**

**Objectifs**

Comparer une population de patients opérés par tube sus-coronaire et wrapping pour anévrisme isolé de l'aorte ascendante sans geste associé sur le cœur.

Réaliser des explorations hémodynamiques par Sphygmocor® et par IRM 4D sur 20 patients de chaque groupe afin de comparer les deux techniques chirurgicales sur des paramètres physiques reproductibles au niveau de l'aorte ascendante opérée.

**Matériels et méthodes**

205 patients, 114 dans le groupe tube sus-coronaire et 91 dans le groupe wrapping ont été suivis à court, moyen et long terme (cinq ans) sur des critères de sécurité et d'efficacité. Les 20 derniers patients volontaires de chaque groupe ont bénéficié d'explorations hémodynamiques et d'analyse de la rigidité artérielle.

**Résultats**

Le temps de clampage et CEC apparaît significativement moins long dans le groupe wrapping  $p < 0.0001$ . Aucun critère de sécurité ne présentait de différence significative même si le nombre de décès en périopératoire était plus important dans le groupe tube sus-coronaire (5 décès versus 0)  $p = 0,06$ .

La survie globale à cinq ans ne présentait pas de différence significative.

Le taux d'infection de prothèse et d'endocardite à 5 ans était significativement plus élevé dans le groupe tube sus-coronaire  $p = 0,04$ . Pas de différence significative sur le nombre de dilatations secondaires et de dissections aortiques post opératoire.

L'index d'augmentation aortique et la vitesse de l'onde de pouls sont significativement moins élevés dans le groupe wrapping témoignant d'une rigidité artérielle moindre.

Les études en IRM 4D sur le centrage, le type de flux et le Wall Shear Stress ne montrent pas de différence entre les groupes.

**Conclusion**

Le wrapping n'est pas associé à plus de complications que le tube sus coronaire à court et à long terme sur des critères d'efficacité et de sécurité et semble même présenter des paramètres de rigidité artérielle et de flux hémodynamique plus favorables.

**Composition du Jury :**

**Président : Professeur André VINCENTELLI**

**Assesseurs : Professeur David MONTAIGNE, Professeur François PONTANA,  
Docteur Mohammad KOUSSA**

**Directeur de thèse : Docteur Thomas MODINE**