



HAL
open science

Valeur pronostique du couplage ventriculo-artériel droit évalué en échocardiographie bi-dimensionnelle chez les patients bénéficiant d'un remplacement valvulaire aortique par voie percutanée au CHU d'Amiens

Mathilde Yakoub-Agha

► To cite this version:

Mathilde Yakoub-Agha. Valeur pronostique du couplage ventriculo-artériel droit évalué en échocardiographie bi-dimensionnelle chez les patients bénéficiant d'un remplacement valvulaire aortique par voie percutanée au CHU d'Amiens. Médecine humaine et pathologie. 2023. dumas-04222929

HAL Id: dumas-04222929

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04222929>

Submitted on 29 Sep 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

UNIVERSITÉ DE PICARDIE JULES VERNE
FACULTE DE MÉDECINE D'AMIENS

Année 2023

N° 2023 - 77

THESE POUR LE DIPLOME D'ÉTAT DE
DOCTEUR EN MÉDECINE
ANESTHÉSIE ET RÉANIMATION

**VALEUR PRONOSTIQUE DU COUPLAGE VENTRICULO-
ARTERIEL DROIT ÉVALUÉ EN ÉCHOCARDIOGRAPHIE
BI-DIMENSIONNELLE CHEZ LES PATIENTS BÉNÉFICIAIRES
D'UN REMPLACEMENT VALVULAIRE AORTIQUE PAR
VOIE PERCUTANÉE AU CHU D'AMIENS**

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT
LE VENDREDI 07 JUILLET 2023
PAR

Mathilde Yakoub-Agha

Née le 17/04/1995 à Saint-Brieuc

JURY

PRESIDENT DU JURY :

Monsieur le Professeur Herve DUPONT

MEMBRES DU JURY :

Monsieur le Professeur Laurent LEBORGNE

Monsieur le Professeur Yazine MAHJOUB

DIRECTEUR DE THESE :

Monsieur le Docteur Christophe BEYLS



A mon Maître et Président du jury,

Monsieur le Professeur Hervé DUPONT

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

(Anesthésie-Réanimation)

Chef de service d'Anesthésie

Chef de service de Réanimation Polyvalente

Chef du Pôle Anesthésie-Réanimations

Assesseur du Troisième Cycle des Etudes Médicales UFR de Médecine

Chevalier de l'Ordre des Palmes Académiques

Vous me faites l'honneur de présider ma thèse. Veuillez y trouver une marque de ma reconnaissance et de mon profond respect. Je vous remercie pour votre accompagnement et votre supervision, que ce soit durant nos quelques gardes ou nos journées d'anesthésie.

A mon Maître et Juge,

Monsieur le Professeur Laurant LEBORGNE

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

(Cardiologie)

Responsable du service Unité de Soins Intensifs de Cardiologie et Unité de Douleur

Thoracique

Pôle « Cœur – Thorax- Vaisseaux »

Vous me faites l'honneur de juger mon travail. Veuillez y trouver une marque de ma reconnaissance et de mon profond respect.

A mon Maître et Juge,

Monsieur le Professeur Yazine MAHJOUR

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

Anesthésiologie, réanimation, médecine d'urgence

Responsable de l'Unité de Réanimation Cardiaque Thoracique Vasculaire et Respiratoire

Merci de me faire l'honneur de juger mon travail, ton calme et ta sagesse m'ont beaucoup marqué durant mon internat. Trouve dans ses quelques mots la marque de mon plus profond respect.

A mon Maître et Directeur de thèse,

Monsieur le Docteur Christophe BEYLS

Praticien Hospitalier

(Cardiologie)

Unité de Réanimation Cardiaque, Thoracique, Vasculaire et Respiratoire

Entre rires et larmes, tu m'as fait grandir durant mon internat. Ne jamais se contenter du minimum, aller plus loin, que ce soit dans la réflexion médicale ou la pratique sportive, voilà l'enseignement que je tire. Tu es un modèle de persévérance et de rigueur. Merci d'avoir été présent pour écouter mes aléas de vie de propriétaire d'appartement perdue.

REMERCIEMENTS

À ma famille, amis, et à tous les patients, sans qui cette thèse n'aurait jamais pu voir le jour. Merci.

ABBREVIATIONS UTILISEES

AOMI	Artériopathie oblitérante des membres inférieurs
AVC	Accident vasculaire cérébral
BNP	Brain Natriuretic Peptide
BPCO	Bronchopneumopathie chronique obstructive
CPI	Cardiopathie ischémique
Ea	Elastance artérielle
EACTS	European Association of Cardio-Thoracic Surgery
Ees	End systolic elastance
EFT	Essential Frailty Toolset
ESC	European Society of Cardiology
FA	Fibrillation atriale
FEVG	Fraction d'éjection du ventricule gauche
GM	Gradient moyen
HAS	Haute autorité de santé
HTA	Hypertension artérielle
HTP	Hypertension artérielle pulmonaire
IDM	Infarctus du myocarde
IMC	Indice de masse corporel
IRA	Insuffisance rénale aiguë
IRC	Insuffisance rénale chronique
IRM	Imagerie à résonance magnétique
MACE	Major adverse cardiovascular event
NYHA	New York Heart Association
PAPS	Pression artérielle pulmonaire systolique
RAo	Rétrécissement aortique
RCP	Réunion de concertation pluridisciplinaire
ROI	Region of interest
RVAo	Remplacement de valve aortique

RVFWS	Right ventricle free wall strain
RV-LSF	Right ventricle longitudinal shortening fraction
SAOS	Syndrome d'apnée obstructive du sommeil
STS	Society of Thoracic Surgeons
TAD	Tissue annular displacement
TAPSE	Tricuspid annular plane systolic excursion
TAVI	Transcatheter Aortique Valve Implantation
TMAD	Tissue motion annular displacement
VD	Ventricule droit
VG	Ventricule gauche

<u>I. INTRODUCTION</u>	17
1) LE RETRECISSEMENT AORTIQUE	17
A. ÉPIDEMIOLOGIE ET PRISE EN CHARGE ACTUELLE	17
B. INDICATIONS	20
C. COMPLICATIONS DE LA PROCEDURE	22
D. ÉVOLUTION DES INDICATIONS	23
E. FACTEURS PRONOSTIQUES	25
2) LE VENTRICULE DROIT : PHYSIOPATHOLOGIE ET EVALUATION ECHOCARDIOGRAPHIQUE	27
A. QUELQUES MOTS DE PHYSIOPATHOLOGIE	27
B. LES MARQUEURS CONVENTIONNELS D'ÉVALUATION DE LA FONCTION VENTRICULAIRE DROITE	29
C. NOUVEAUTE : STRAIN ET SPECKLE TRACKING	30
D. NOTION DE COUPLAGE VENTRICULO-ARTERIEL	33
3) OBJECTIFS DE L'ETUDE	36
<u>II. PATIENTS ET METHODE</u>	37
1) POPULATION DE L'ETUDE	37
2) DESCRIPTION DE L'ETUDE	37
3) LE CRITERE DE JUGEMENT PRINCIPAL	37
4) PROCEDURE DE TAVI AU CHU D'AMIENS	38
5) RECUEIL DES DONNEES	38
6) RECUEIL DES DONNEES ECHOCARDIOGRAPHIQUES	39
7) ANALYSES STATISTIQUES	40
<u>III. RESULTATS</u>	41
1) DIAGRAMME DE FLUX DE L'ETUDE	41
2) CARACTERISTIQUES DEMOGRAPHIQUES DE LA POPULATION	42
3) CARACTERISTIQUES CLINIQUES ET PARACLIQUES ET DONNEES PER PROCEDURE	44
4) DESCRIPTION DES COURBES ROC	46
5) RESULTATS EN ANALYSE UNIVARIEE	47
6) ASSOCIATION ENTRE LE COUPLAGE VENTRICULO-ARTERIEL DU VD ET MACE A 6 MOIS POST TAVI EN ANALYSE MULTIVARIEE	48
<u>IV. DISCUSSION</u>	51
<u>V. CONCLUSION</u>	57
<u>VI. BIBLIOGRAPHIE</u>	61

I. Introduction

1) Le rétrécissement aortique

a. Épidémiologie et prise en charge actuelle

Le rétrécissement aortique (RAo) est la valvulopathie la plus fréquente dans les pays développés avec une prévalence augmentant avec l'âge. En effet, elle représente 2 à 7% de la population âgée de plus de 65 ans. (1, 2) Les trois principales étiologies retrouvées sont le RAo dégénératif (Maladie de Monckeberg), le RAo sur bicuspidie aortique et enfin plus rarement le RAo rhumatismal.

Son diagnostic est échocardiographique et repose sur l'augmentation du gradient VG-Aorte, l'augmentation de la vitesse maximale (Vmax) du flux traversant la valve aortique et la diminution de la surface aortique calculée. (Figure 1)(3)

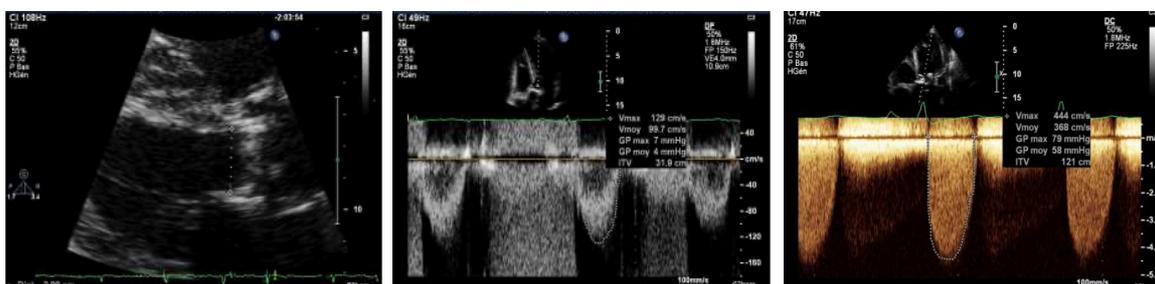


Figure 1 : Évaluation du RAo serré en échocardiographie. De gauche à droite : mesure de la chambre de chasse de la valve aortique, mesure de l'ITV sous aortique en doppler pulsé, mesure de la Vmax et du gradient transvalvulaire aortique moyen en doppler continu. (A Aouad, AMCAR 2017)

L'échocardiographie permet de déterminer 4 groupes de RAo serré selon le débit cardiaque ($VESi < \text{ou} > 35 \text{ mL/m}^2$, gradient moyen $> \text{ou} < 40 \text{ mmHg}$) :

- RAo « paradoxal » à bas débit et bas gradient
- RAo à bas débit et haut gradient
- RAo à débit normal et bas gradient
- RAo « classique » à débit normal et haut gradient

Cette pathologie, grevée d'une morbi-mortalité liée à son évolution naturelle, possède comme seul traitement efficace le remplacement valvulaire aortique. Historiquement, ce geste était purement chirurgical, avec une limite liée aux comorbidités des patients pouvant aboutir jusqu'à une contre-indication du geste. Les complications sont marquées par un risque hémorragique lié à la chirurgie, un risque d'accident vasculaire cérébral, un risque d'infarctus du myocarde, un risque d'insuffisance rénale, un risque infectieux par les endocardites et enfin la dégénérescence de prothèse. (4)

Un traitement alternatif à la prise en charge chirurgicale a été créé et développé par le Professeur Alain Cribier au CHU de Rouen en 2002 : le TAVI (Transcatheter Aortic Valve Implantation). (5)

Cette technique moins invasive a révolutionné la prise en charge du rétrécissement aortique en proposant une alternative au traitement médical chez les patients récusés de la chirurgie mais également chez ceux à très haut risque chirurgical. La procédure consiste en une implantation de bioprothèse par voie percutanée en salle de radiologie interventionnelle sous anesthésie locale associée ou non à une sédation selon les centres. La voie d'abord préférentielle reste l'abord par l'artère fémorale mais le site peut varier selon la morphologie et l'état vasculaire des patients. Ainsi, d'autres abords tels que l'abord sous-clavier, trans-carotidien ou encore trans-apical sont possibles. (Figure 2) (4)

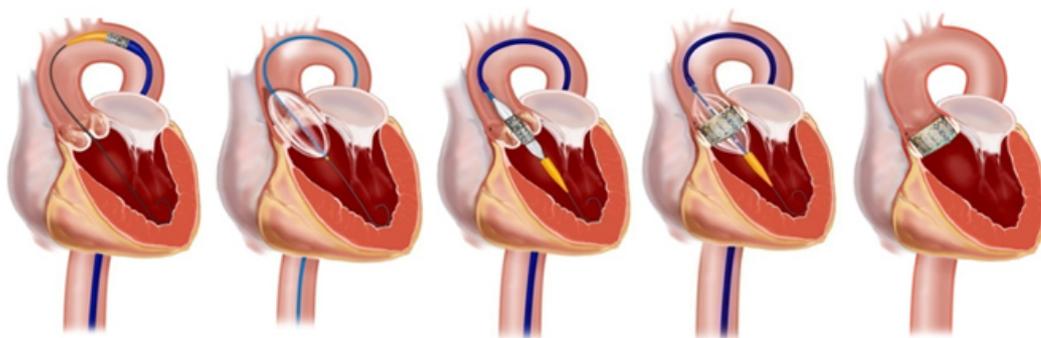


Figure 2 : Déroulement d'une procédure TAVI par voie percutanée transfémorales avec montée du cathéter en trans-valvulaire et déploiement de la prothèse, Raney Zusman Medical Group.

Les valves utilisées reposent sur des bioprothèses issues de péricarde bovin ou porcin. Deux grandes familles historiques de prothèses sont disponibles sur le marché : les valves Medtronic Corevalve auto-expansibles et les valves Edwards Sapiens expansibles sur ballonnet. De nouvelles prothèses de deuxième génération continuent de voir le jour dont certains modèles avec possibilité de pouvoir repositionner la prothèse post expansion comme la prothèse Lotus chez Boston Scientific. (Figure 3) (6)



Figure 3 : Différents modèles de bioprothèses de valve aortique.

b. Indications

Les indications actuelles retenues pour la réalisation d'une procédure de TAVI sont celles recommandées par l'ESC (European Society of Cardiology) / EACTS (European Association for Cardio – Thoracic Surgery) de 2021 avec discussion collégiale au sein d'une Heart Team. (Figure 4) (7)

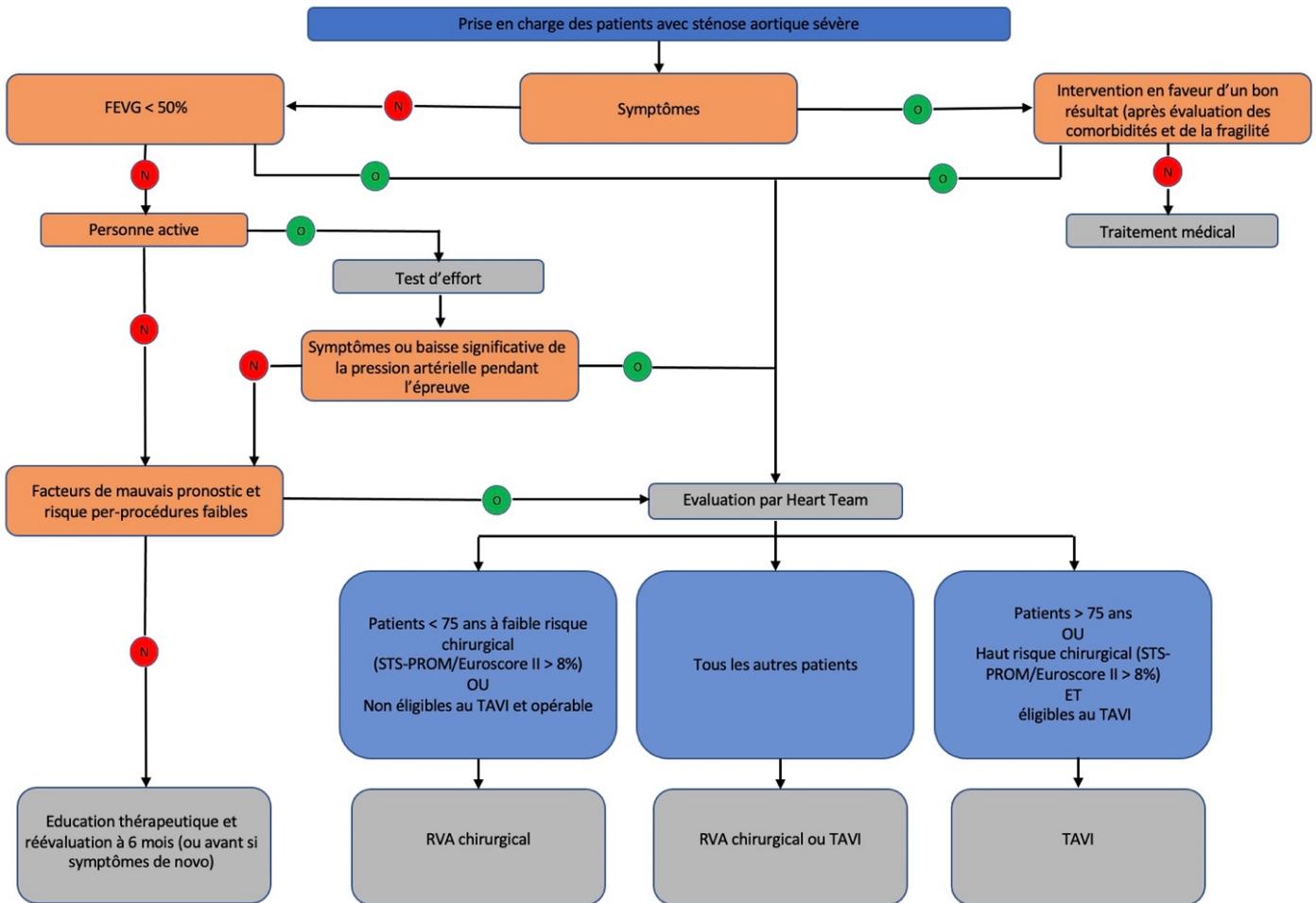


Figure 4 : Recommandations 2021 de la Société Européenne de Cardiologie pour les différentes options thérapeutiques dans le traitement du rétrécissement aortique serré. (Traduit par M Crombet)

Ces indications tiennent compte de :

- La symptomatologie présentée par le patient : la dyspnée d'effort, dont la sévérité est évaluée par le score NYHA, la présence d'un angor d'effort ou encore d'une syncope ou lipothymie d'effort.
- L'évaluation en échocardiographie transthoracique :
 - Du degré de sévérité du RAO défini par 3 critères, imposant une discussion au sein d'une Heart Team de stratégie de remplacement valvulaire dès que celui-ci devient sévère/serré avec :
 - Une $V_{max} > 4$ m/sec
 - Un gradient moyen (GM) VG-Aorte > 40 mmHg
 - Une surface valvulaire aortique < 1 cm ou $< 0,6$ cm/m² de surface corporelle
 - Du retentissement fonctionnel du RAO au niveau cardiaque avec évaluation de la FEVG, la présence ou non d'une hypertrophie concentrique des parois du VG, d'une dilatation du VG, d'une dilatation des oreillettes, d'autres valvulopathies associées (surtout mitrale) ou encore une dysfonction cardiaque droite.
- Le niveau de risque chirurgical évalué par les scores STS (Society of Thoracic Surgeons) et l'Euroscore II prenant tous deux en compte les données liées aux patients dont leurs comorbidités. Les indications de changement de valve par TAVI sont :
 - La contre-indication chirurgicale avec un Euroscore II $> 10\%$
 - Le haut risque chirurgical avec un Euroscore II $> 8\%$
 - Le risque chirurgical intermédiaire pour les patients de moins de 75 ans avec un Euroscore II compris entre 4 et 8% ou morbidimortalité estimée à $> 15\%$ à 30 jours.

c. Complications de la procédure

Troubles de la conduction

La complication la plus fréquente après procédure de TAVI est l'apparition de trouble de la conduction avec nécessité d'implantation de pacemaker due à la proximité anatomique du nœud atrioventriculaire. Selon les études, ce taux se situe entre 2,3% à 36,1%. (8) Ce risque semble plus élevé avec l'implantation de valves auto-expansibles. (9)

Les accidents vasculaires cérébraux

La survenue d'un AVC per et post procédure est rare mais grave. Les dernières études notent une fréquence < à 4%, avec incidence en baisse devant l'avancée des technologies. (10) Les facteurs de risques restent mal définis mais on compte parmi eux l'antécédent d'AVC et les particularités anatomiques vasculaires. (11)

Les fuites paravalvulaires

Trois causes prédominantes sont à l'origine de l'apparition de fuites paravalvulaires. Elles sont la calcification excessive de l'anneau, la malposition de la prothèse ou la mauvaise taille de prothèse. (12) Le développement des valves de secondes générations ont permis une réduction de l'incidence des fuites paravalvulaires avec un taux à 29,2% dans l'étude PARTNER 2 SapienXT à 6,8% dans l'étude PARTNER A Sapien. (13, 14)

Complications vasculaires

Les complications vasculaires sont d'ordre ischémique ou hémorragique. Elles regroupent plusieurs entités dont la dissection aortique ou d'autres artères, la rupture artérielle, l'anévrisme, embolies de plaques et ischémie, perforation de paroi, ou la nécessité de réparation chirurgicale du site d'implantation. Elles dépendent de la voie d'abord artérielle et de l'anatomie des patients. Selon le type de complications vasculaire, le taux d'incidence varie de 2% à 30%. (15)

d. Évolution des indications

En une décennie, le TAVI a vu son indication s'élargir des patients à haut risque chirurgical aux patients à faible risque chirurgical. Ceci a été permis grâce à la réalisation de nombreuses études contrôlées randomisées ayant comparé le pronostic à 1 ou 2 ans des patients ayant bénéficié d'un TAVI versus les patients opérés chirurgicalement. (Figure 5)

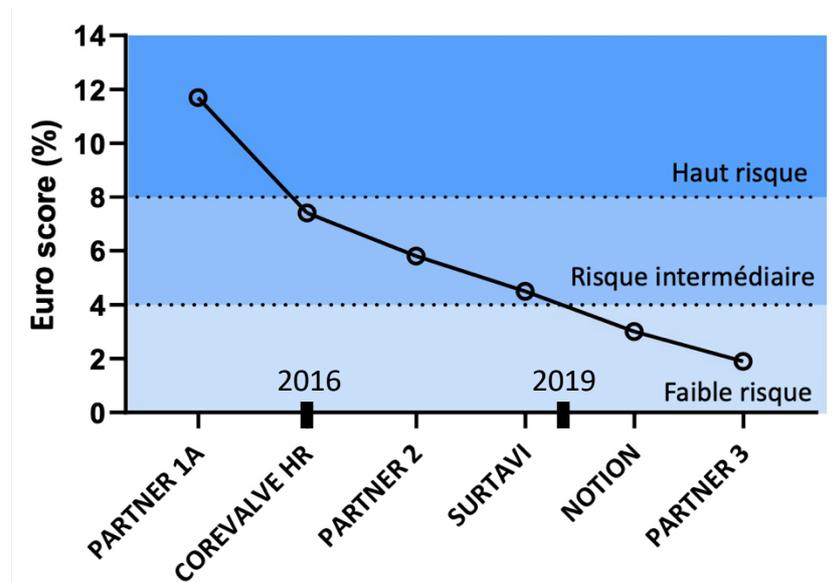


Figure 5 : Évolution des indications au TAVI au fil des études et des années. (Image tirée et modifiée du Dr Thomas Bochaton, Lyon)

Cet élargissement des indications est justifié par la remarquable avancée en termes d'amélioration des techniques avec de plus en plus d'opérateurs entraînés, des valves de seconde génération offrant la possibilité d'un meilleur positionnement, un abord vasculaire minimalement invasif permettant la réalisation de la procédure sous anesthésie locale seule, ainsi qu'avec l'apport de l'angioscanner aortique et cardiaque pour une meilleure définition de la taille de la valve visant une meilleure mesure de l'anneau aortique et discernement de l'anatomie vasculaire des patients.

Ces améliorations ont permis une diminution conséquente de l'apparition de certaines complications inhérentes à la technique percutanée. Tout d'abord, on observe moins de fuites paravalvulaires, ce qui reste un facteur de mauvais pronostic à long terme. Dans l'étude PARTNER 3, comparant les patients à faible risque chirurgical avec TAVI versus les patients chirurgicaux, il n'y a pas de différence significative sur l'apparition de fuite modérées à sévère entre les deux groupes à 1 an. (16) Avec l'amélioration de la connaissance anatomique vasculaire du patient avant procédure et le développement des techniques, on retrouve moins

de complications vasculaires majeures, démontré aussi dans l'étude PARTNER 3 et EVOLUT.(17)

Enfin, dans l'étude PARTNER 3 pour les valves expansibles sur ballonnet et l'étude EVOLUT pour les valves auto expansibles, il a été démontré une non-infériorité du TAVI par rapport à la chirurgie concernant la survenue d'AVC, la mortalité toute cause, la survenue d'infarctus du myocarde ou la ré hospitalisation pour cause cardiovasculaire. (16, 17)

Bien que ces scores d'évaluation du risque chirurgical des patients soient assez exhaustifs, ils ne tiennent pas compte de tous les facteurs liés au patient tels que l'antécédent d'irradiation thoracique, le pronostic de l'intervention en termes d'amélioration de qualité de vie, la fragilité des patients. De ce fait, la HAS recommande de discuter de manière collégiale de la meilleure procédure de remplacement valvulaire dans le cadre de RCP (Réunion de Concertation Pluridisciplinaire) faisant intervenir toute l'équipe de la Heart Team composée d'un cardiologue interventionnel, d'un anesthésiste réanimateur, d'un chirurgien cardiaque et dans la mesure du possible d'un gériatre.

On estime aujourd'hui à plus d'un million les patients à avoir bénéficié de cette procédure à travers le monde, avec une redéfinition de la réflexion sur le choix du traitement du rétrécissement aortique devant des patients de plus en plus jeunes et de moins en moins comorbides.

e. Facteurs pronostiques

Il existe plusieurs facteurs prédictifs de mauvais pronostic en post-procédure de TAVI en termes de surrisque d'apparition de décompensation cardiaque et d'altération de la qualité de vie.

La notion de fragilité et autres comorbidités

L'un des facteurs à prendre en compte avant toute décision de remplacement de valve aortique qu'il soit chirurgical ou percutané, est la notion de fragilité. En effet, la fragilité est définie comme étant une diminution de la capacité de récupération après une pathologie ou un stress iatrogène à cause de l'avancée de l'âge. Il a été démontré par Perrault et al. que la fragilité, évaluée par le score EFT (Essential Frailty Toolset) prenant en compte le taux d'hémoglobine, l'albumine, le déficit musculaire des extrémités et l'existence de troubles cognitifs ; était associée à une augmentation du taux de décès et de handicap après TAVI ou RVAo chirurgical. (18)

D'autres facteurs de mauvais pronostic post-TAVI ont bien été démontrés comme étant l'apparition d'une fibrillation atriale, la présence d'une BPCO avant l'intervention, l'insuffisance rénale, avec d'une part un surrisque de mortalité mais également une non-amélioration sur le plan clinique en termes de score NYHA en post procédure. (19, 20)

La dysfonction cardiaque droite

L'un des facteurs de mauvais pronostic le plus important à rechercher est la présence d'une dysfonction cardiaque droite avant l'intervention. Il rentre en compte dans la classification du « cardiac damage » comme étant le dernier stade d'atteinte extra-valvulaire dans la pathologie du rétrécissement aortique qui est associé à une augmentation du risque de décompensation cardiaque et de ré-hospitalisation, soit, une altération de la qualité de vie des patients si présents en pré-TAVI. (21) (Figure 6)

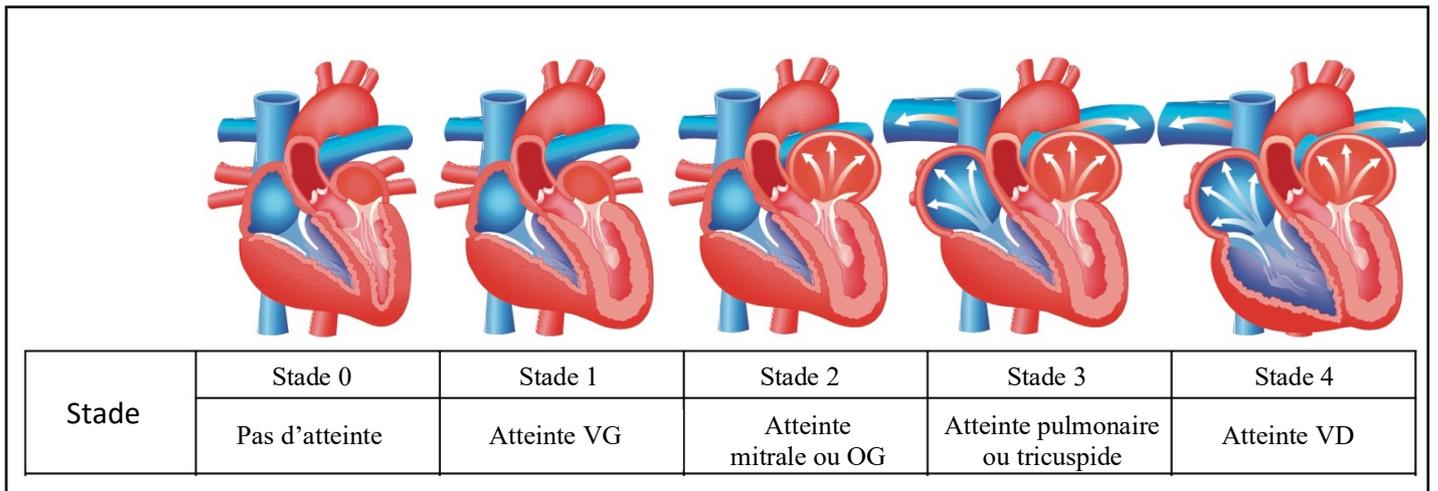


Figure 6: Classification de l'extension de l'atteinte cardiaque extra valvulaire aortique selon le stade de la maladie du RAO. D'après Généreux et al.

La sévérité du rétrécissement aortique est associée au développement de la dysfonction droite du fait de l'augmentation chronique des pressions télédiastoliques du ventricule gauche avec à terme un retentissement en amont de celui-ci menant au développement d'une hypertension pulmonaire. Bohbot et al. ont démontré dans leur étude que la dysfonction cardiaque droite est un marqueur prédictif indépendant de mortalité dans le rétrécissement aortique serré. (22)

De ce fait, on peut aisément comprendre pourquoi la fonction ventriculaire droite est un paramètre important à évaluer lors du bilan préopératoire du rétrécissement aortique serré car sa dysfonction est un facteur pronostic majeur sur la morbi-mortalité post-opératoire et ainsi la discussion pourrait amener à une réalisation plus précoce du TAVI en amont de l'installation d'une défaillance cardiaque droite.

2) Le ventricule droit : physiopathologie et évaluation échocardiographique

a. Quelques mots de physiopathologie

Le ventricule droit est une cavité triangulaire, enroulé autour du ventricule gauche, dont la paroi est composée de deux couches de fibres myocardiques : des fibres longitudinales sous endocardiques et des fibres circulaires sous-épicaudiques. Cette paroi est plus fine que celle du ventricule gauche résultant en une masse musculaire moins importante estimée à 1/6^{ème} de celle du VG. Sa vascularisation est systolo-diastolique majoritairement assurée par l'artère coronaire droite.

La contraction du VD est multimodale (figure 7):

- Contraction longitudinale de la base vers l'apex, qui contribue à 80% de la fonction systolique du VD (1)
- Contraction longitudinale du septum interventriculaire, d'où l'interdépendance VD-VG (4)
- Contraction radiaire de la paroi libre (3)
- Un phénomène de torsion/rotation sur 20-25° du au raccourcissement des fibres longitudinales (2)
- Contraction de l'apex

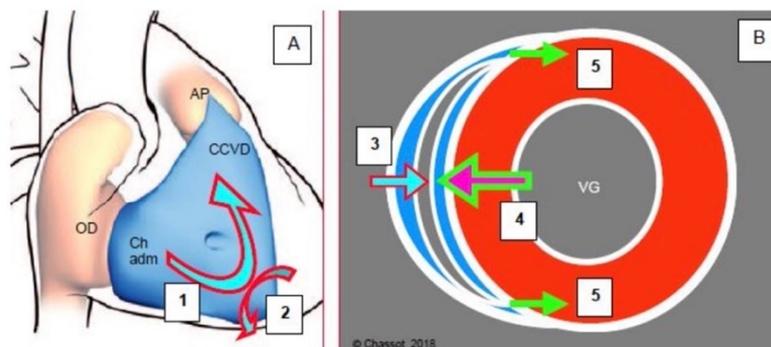


Figure 7 : Contraction multimodale du VD.

Le rôle du VD, de par son rôle de chambre de capacitance et de sa grande complianc, est d'assurer mécaniquement la protection du capillaire pulmonaire en absorbant les grands à-coups de pression. Il va permettre le maintien d'une pression faible dans l'oreillette droite afin d'optimiser le retour veineux systémique, tout en maintenant un certain volume d'éjection systolique vers la circulation pulmonaire à basse pression.

La performance systolique du ventricule droit va alors dépendre de plusieurs paramètres qui sont sa post-charge, sa précharge, sa contractilité et la fréquence cardiaque.

L'hypertension pulmonaire (HTP) est la principale cause de dysfonction cardiaque droite, elle est définie par une pression artérielle pulmonaire moyenne > 20 mmHg (PAPm). Son étiologie peut être pré ou post capillaire, voire une combinaison des deux.

En effet, l'augmentation chronique des pressions pulmonaires induit des modifications sur le plan structurel avec un épaissement de sa paroi puis une dilatation du ventricule conduisant à long terme à une baisse de la fraction d'éjection du ventricule droit. On comprend que le RAo serré implique une augmentation des pressions télédiastoliques aboutissant à terme à une dilatation atriale gauche avec une augmentation de la pression artérielle post-capillaire et donc un retentissement sur le VD causant sa dysfonction.

b. Les marqueurs conventionnels d'évaluation de la fonction ventriculaire droite

L'imagerie par résonance magnétique est la technique de référence pour étudier le ventricule droit surtout en termes d'évaluation des volumes et de sa fonction. Ses conditions d'accès difficiles ne permettent pas de le compter comme examen de première intention. (23) L'échocardiographie 2D reste alors la technique de choix d'évaluation du ventricule droit au lit du malade.

Trois marqueurs sont classiquement utilisés en pratique clinique (Figure 8). Ils reposent sur :

- L'excursion systolique du plan de l'anneau tricuspide (TAPSE). La dysfonction systolique du ventricule droit est définie par un TAPSE < 17 mm.
- La vélocité de l'onde S' à l'anneau tricuspide (RV-S'). La dysfonction systolique du ventricule droit est définie par une RV-S' < 10 cm/sec.
- La fraction de raccourcissement de surface du ventricule droit (RV-FAC), dont les valeurs normales se situent autour de $46\% \pm 7\%$. La dysfonction systolique du ventricule droit est définie par une RV-FAC $< 35\%$.

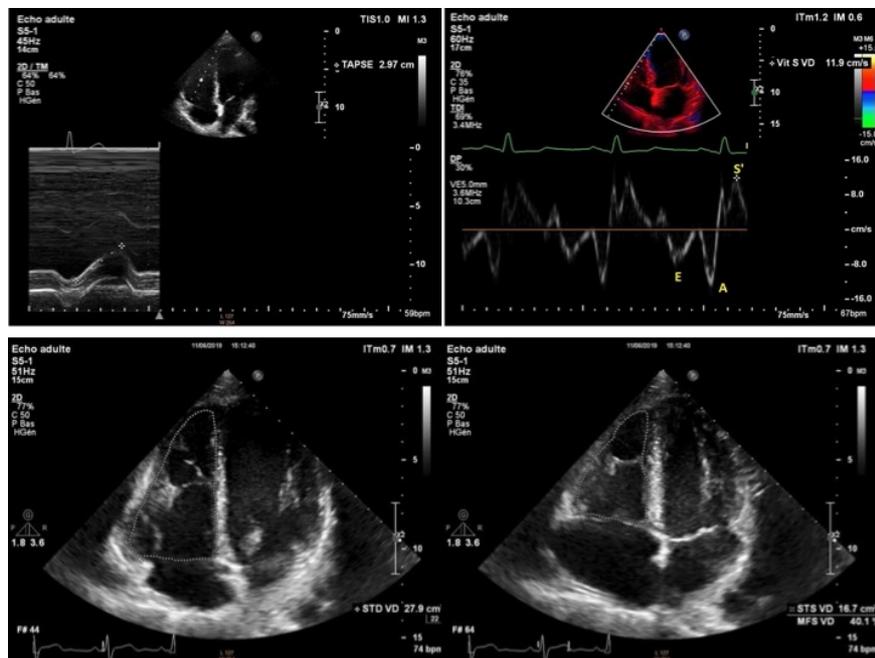


Figure 8 : Marqueurs classiques d'évaluation de la fonction du ventricule droit. (Image issue du site echocardiobot.com)

c. Nouveauté : le speckle tracking

Une nouvelle méthode échocardiographique d'évaluation du ventricule droit commence à être de plus en plus utilisée en clinique, il s'agit du speckle tracking. Elle permet l'analyse de la déformation myocardique afin d'en apprécier la fonction et la contractilité.

Le speckle tracking permet l'analyse du mouvement myocardique par l'intermédiaire de marqueurs acoustiques, nommés speckles, placés au niveau de régions d'intérêts (ROI, region of interest) par le clinicien. (Figure 9) On peut suivre le mouvement de ces speckles sur un certain nombre d'images consécutives. L'avantage de cette méthode est l'indépendance de l'angle de mesure et la reproductibilité inter-opérateur.

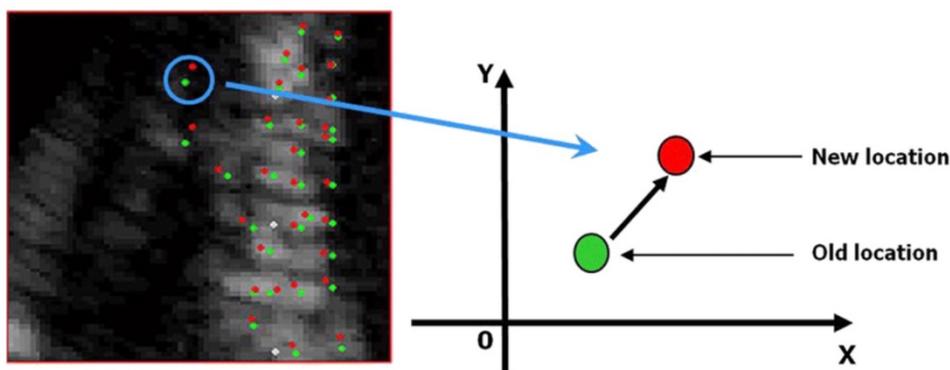


Figure 9 : Suivi des speckle au sein d'un ROI.

Parmi les méthodes dérivées du speckle tracking, on retrouve tout d'abord l'analyse du strain. Le strain étudie le raccourcissement d'un segment myocardique par rapport à son état initial dans les différents axes de l'espace (longitudinal, radial et circonférentiel) (Figure 10). Lors de l'évaluation du cœur droit, on étudie la paroi libre du ventricule droit soit le RVFWS (Right ventricle free wall strain). Par convention, le strain est défini comme une valeur positive lorsque la distance entre les points mesurés augmente (allongement), alors que le raccourcissement est défini par un strain négatif. Une valeur de RVFWS > -17 est considérée comme pathologique.

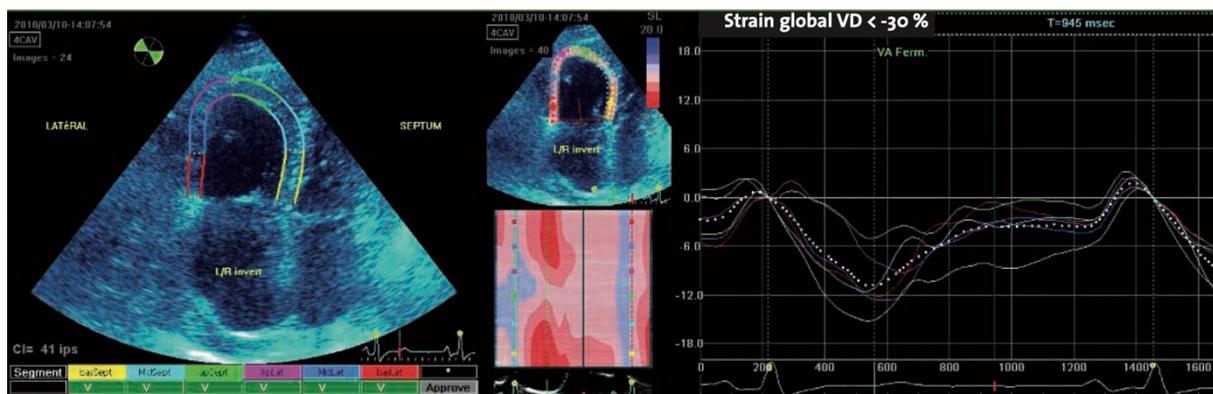


Figure 10 : Quantification de la fonction ventriculaire droite par analyse du strain échocardiographique. Kurtz et al.

Une autre méthode dérivée du speckle tracking, le TMAD ou TAD (Tissue motion annular displacement ou tissue annular displacement), permet l'analyse du déplacement longitudinal de l'anneau tricuspide par rapport à l'apex. Le clinicien place 3 ROI au niveau de la partie latérale et septale de l'anneau mitrale puis au niveau de l'apex du ventricule droit. (Figure 11)

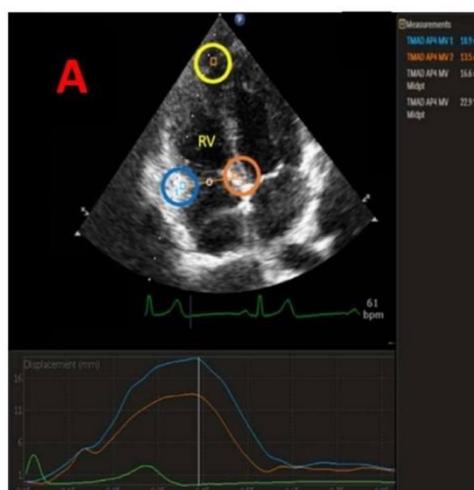


Figure 11 : Mesure du TMAD en coupe 4 cavités

Après analyse automatique par un logiciel informatique, on obtient une estimation de la fonction systolique du ventricule droit globale avec le TAD septal, TAD latéral et le RV-LSF (Right ventricle longitudinal shortening fraction ou fraction de raccourcissement longitudinale du ventricule droit).

Cette méthode d'analyse présente de meilleurs résultats par rapport aux paramètres conventionnels d'évaluation de la fonction systolique du ventricule droit après l'IRM. Plusieurs études ont montré l'intérêt du RV-LSF comme marqueur d'évaluation fiable de la fonction

systolique du ventricule droit et pronostic dans de nombreuses pathologies cardiovasculaires, dont le rétrécissement aortique serré chez les patients devant bénéficier d'un TAVI. Un seuil de RV-LSF $< 20\%$ est utilisé afin de définir la dysfonction systolique droite. (24)

d. Notion de couplage ventriculo-artériel

Le concept de couplage ventriculo-artériel développé par Sunagawa et al., décrit l'interaction entre le ventricule et le réseau vasculaire comme étant un déterminant majeur de la performance cardiaque globale. (25) L'évaluation du couplage ventriculo-artériel grâce à la mesure de l'élastance ventriculaire, comme reflet de la contractilité et de l'élastance artérielle, en tant qu'indice de post-charge, permet de quantifier cette interaction. Ces deux composants opèrent de manière simultanée, de telle sorte que leur interaction, soit leur couplage, détermine le volume d'éjection systolique et la pression d'éjection. La mesure est effectuée par le rapport de l'élastance ventriculaire (E_{es}) sur l'élastance artérielle (E_a). Le ventricule et l'artère pulmonaire sont considérés comme découplés si le rapport E_{es}/E_a est inférieur à 0,805. (Figure 12)

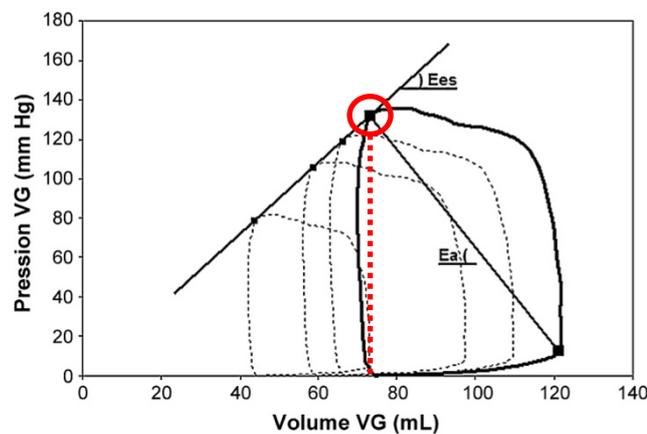


Figure 12 : Courbe pression volume avec détermination de la pente d'élastance ventriculaire et artérielle dont le croisement donne le volume éjecté. P Morimont et al.

De plus en plus de travaux montrent l'applicabilité en clinique de ce concept grâce au développement de l'imagerie non invasive. De fait, obtenir la courbe pression volume avec détermination de l'élastance ventriculaire et artérielle reste un geste invasif, long et onéreux. Le rapport TAPSE/PAPS a été validé dans la littérature comme étant un dérivé du rapport E_{es}/E_a . En effet, la mesure du TAPSE est considérée comme le reflet de la contractilité et la PAPS comme celle de la post-charge. (26) (Figure 13)

Le RV-LSF étant un des nouveaux marqueurs validés pour l'étude de la fonction systolique globale du ventricule droit par la méthode du speckle tracking, il peut alors être considéré comme le reflet de la contractilité du ventricule droit et de ce fait s'intégrer dans le rapport RV-LSF/PAPS comme dérivé du rapport E_{es}/E_a .

On dit que le système est découplé quand la performance systolique du VD n'arrive pas à s'adapter à un certain niveau de post-charge, aboutissant à une dysfonction et insuffisance cardiaque droite.

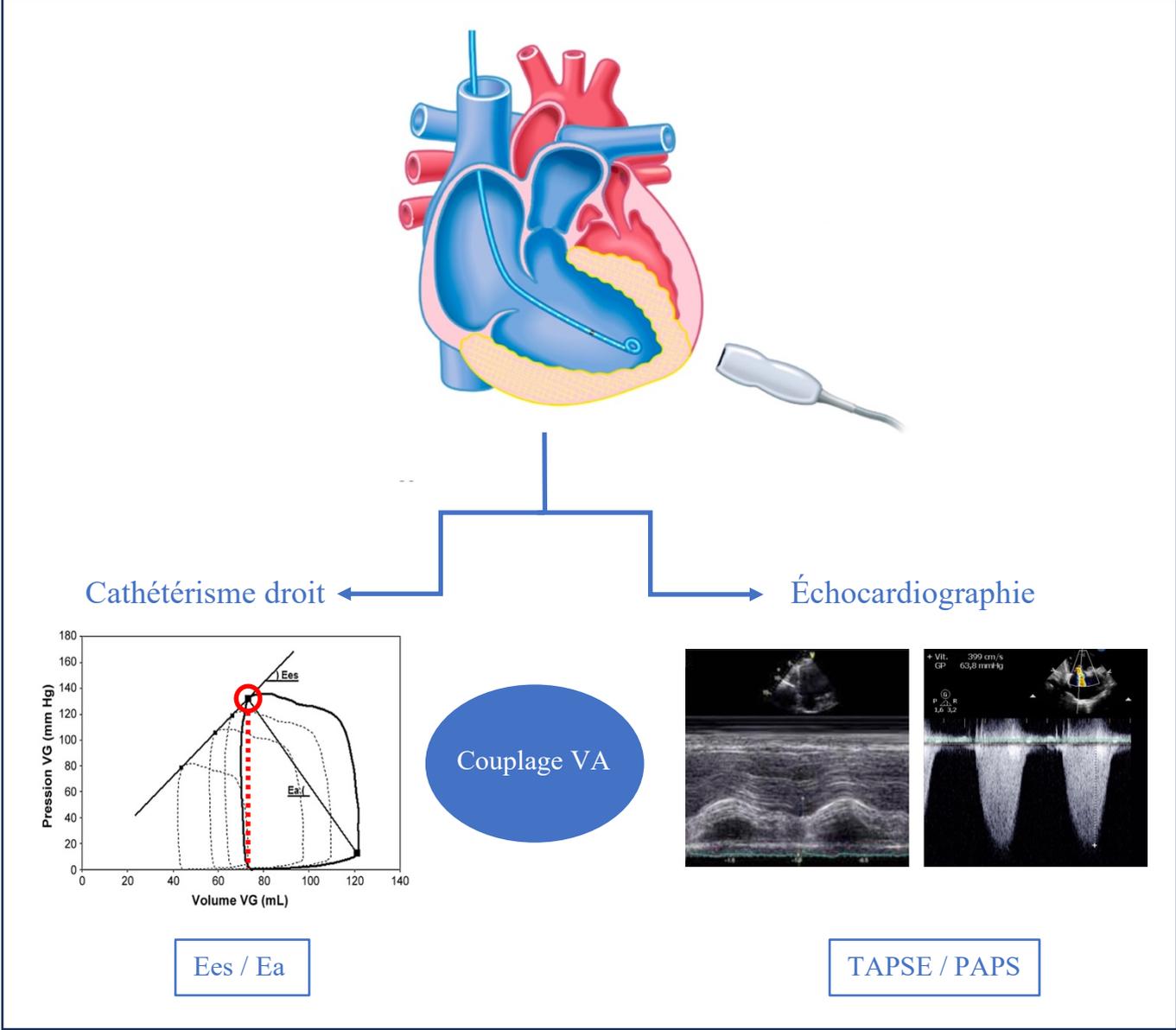


Figure 13: Détermination du couplage ventriculo-artériel droit par procédure invasive ou par échocardiographie.

On y retrouve plusieurs implications cliniques. En effet, beaucoup de pathologies cardiovasculaires s'accompagnent de dysfonction cardiaque droite avec hypertension artérielle pulmonaire dont le système ventriculo-artériel droit se retrouve découplé à un stade terminal de la pathologie.

Tout d'abord, Guazzi et al. ont montré dans leur essai contrôlé randomisé de patients en insuffisance cardiaque à fraction d'éjection préservée, que le rapport TAPSE/PAPS, classé en trois groupes selon le tercile du plus bas au plus élevé, était un marqueur indépendant de mauvais pronostic en termes de mortalité et d'hospitalisations pour insuffisance cardiaque. De plus, le statut NYHA des patients était inversement proportionnel au rapport TAPSE/PAPS.

(27)

Concernant le rétrécissement aortique, Sultan et al. se sont intéressés à l'évaluation du couplage ventriculo-artériel droit chez les patients porteurs d'un RAo serré, et ont pu démontrer qu'un rapport TAPSE/PAPS altéré avant la procédure de TAVI était un marqueur indépendant de mortalité en post-procédure. En effet, même après ajustement sur l'âge, la survenue de fibrillation atriale, la fraction d'éjection du ventricule gauche, le volume d'éjection systolique ou le STS score, le rapport TAPSE/PAPS restait associé à un surrisque de mortalité. (28)

De ce fait, l'évaluation échocardiographique du couplage ventriculo-artériel pourrait permettre de cibler plus précocement les patients à risque afin d'orienter et d'optimiser leur prise en charge thérapeutique.

3) Objectifs de l'étude

L'objectif principal de notre étude est de comparer la capacité diagnostique du rapport RV-LSF/PAPS et du rapport TAPSE/PAPS à identifier les patients présentant un évènement cardiovasculaire majeur dans une cohorte de patients contemporains bénéficiant d'un TAVI.

L'objectif secondaire de notre étude est d'évaluer le pronostic des marqueurs de couplage ventriculo-artériels droits chez les patients faisant l'objet d'un TAVI.

II. Patients et méthode

1) Population de l'étude

Les critères d'inclusion de l'étude étaient : (1) les patients ayant bénéficié d'un TAVI programmé par l'équipe cardiologique du CHU d'Amiens (2) et ayant bénéficié de la réalisation d'une ETT la veille du TAVI.

Les critères d'exclusions étaient : (1) les patients pour lesquels les images échocardiographiques étaient de qualité insuffisante pour permettre l'analyse des paramètres du ventricule droit en speckle tracking et la mesure de la PAPS, (2) les valvulopathies mitrales évoluées (supérieures au grade 2), (3) les troubles du rythme ventriculaire ou supra-ventriculaire rapides lors de l'ETT, (4) la dépendance à une stimulation électrique interne et, (5) les patients décédés pendant la réalisation du TAVI.

Les patients étaient inclus dans l'étude le jour de la réalisation du TAVI lors de leur hospitalisation enUSIC.

2) Description de l'étude

Il s'agit d'une étude monocentrique du CHU d'Amiens, prospective, réalisée sur la période de janvier 2021 à décembre 2022. Il s'agit d'une étude Hors Loi Jardé, agréée par la CNIL et enregistré au CHU d'Amiens Picardie (Identifiant : PI2021_843_0007). Conformément aux lois françaises relatives à la recherche clinique dans le cas des études non interventionnelles, les informations orales et écrites ont été fournies aux patients systématiquement en précisant qu'ils pouvaient s'opposer à tout moment à l'utilisation de leurs données.

3) Le critère de jugement principal

Le critère de jugement principal était la survenue d'un événement cardiovasculaire majeur (MACE) à 6 mois du TAVI. Le MACE était un critère composite comprenant : l'hospitalisation ou la consultation d'un médecin en urgence pour un épisode d'insuffisance cardiaque, la survenue d'un infarctus aigüe du myocarde, l'accident vasculaire cérébral et le décès d'origine toute cause.

4) Procédure de TAVI au CHU d'Amiens

Chaque patient faisant l'objet d'un TAVI au CHU d'Amiens a bénéficié d'un bilan pré-TAVI effectué dans les quelques mois précédents la procédure. Ce bilan comportait la réalisation d'examens complémentaires comptant : un ECG, une échocardiographie, une coronarographie avec angioplastie si besoin, un angioscanner aortique, et selon les patients des EFR et un bilan gériatrique avec calcul du score MMS. Chaque dossier était secondairement discuté en RCP avec la Heart Team.

Les patients étaient convoqués la veille de l'intervention où ils bénéficiaient d'une nouvelle réévaluation échocardiographique et d'un bilan sanguin complet.

L'intervention se déroulait en salle hybride avec deux cardiologues interventionnels et un anesthésiste réanimateur. Un chirurgien cardiaque et vasculaire devaient être présents au sein du CHU en cas de nécessité de conversion chirurgicale.

Les patients étaient ensuite surveillés 24 heures au minimum dans l'unité de soins intensifs cardiovasculaires sous surveillance scopée avant de pouvoir remonter dans le service de cardiologie conventionnel. Une nouvelle échocardiographie de contrôle était réalisée dans les 72 heures post procédure afin s'assurer de l'absence de complications (fuites para-valvulaires, malposition de la prothèse, évaluation de la Vmax et du gradient moyen).

5) Recueil des données

Recueil des données cliniques et démographiques

Le recueil des données démographiques, cliniques et biologiques a pu être réalisé à l'aide du logiciel Dxcare. Ce recueil a été réalisé de manière prospective.

L'évaluation clinique regroupait la recherche de l'ensemble des antécédents et des signes fonctionnels cardio-vasculaires : le stade de dyspnée évaluée par le score NYHA, la présence d'angor, ou d'épisodes de syncopes ou lipothymies. Ensuite ont été calculés les scores Euroscore II et de Charlson.

Sur le plan biologique, le bilan sanguin comportait au minimum une numération de formule sanguine, le dosage du BNP, un ionogramme avec évaluation de la fonction rénale et selon les cas, le dosage de la troponinémie et de l'albuminémie.

6) Recueil des données échocardiographiques

Le recueil des données échocardiographiques a été réalisé de manière prospective dans les 24 heures précédant la procédure de TAVI par un opérateur entraîné selon un protocole standardisé. Les paramètres d'évaluation conventionnels de la fonction systolique du ventricule droit (TAPSE, onde S' et RV-FAC) ont été mesurés conformément aux recommandations.

Les données échocardiographiques ont été sauvegardées et transférées vers un réseau sécurisé afin de pouvoir être retravaillées à l'aide du logiciel QLAB 13.0, Philips Healthcare.

Le RV-LSF a été mesuré grâce au logiciel QLAB par la création d'un point au milieu de la ligne reliant la portion septale et latérale de l'anneau tricuspide. A été calculé ensuite la fraction de raccourcissement entre ce point médian et la ROI de l'apex du ventricule droit. (Figure 14) Chaque mesure du RV- LSF est une moyenne de 3 mesures différentes sur un même cycle cardiaque.

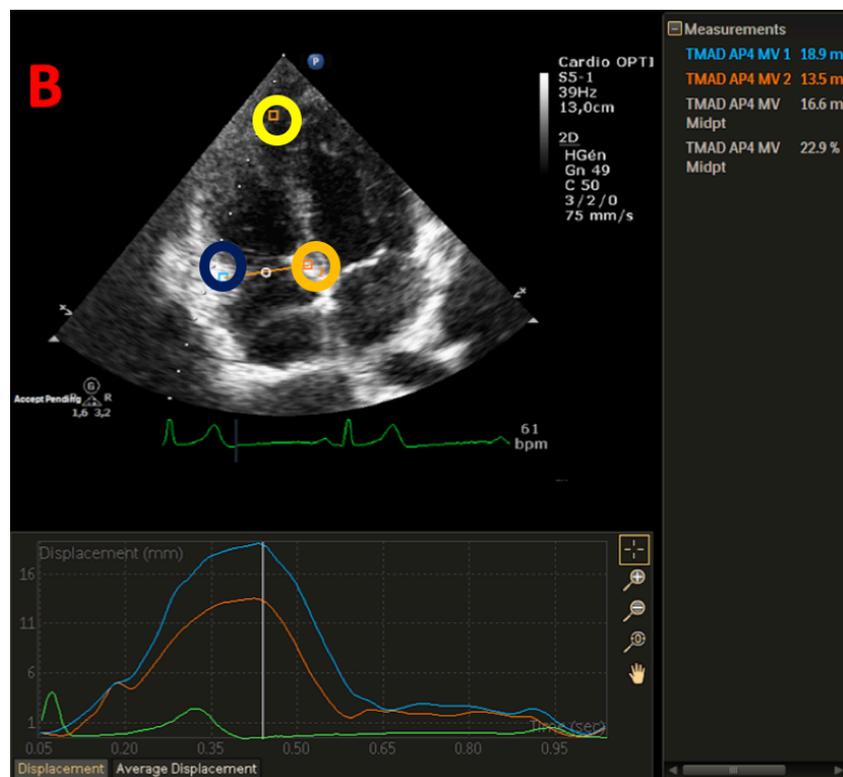


Figure 14 : Mesure du RV-LSF avec le logiciel QLAB.

7) Analyses statistiques

Les données étaient exprimées en moyenne \pm écart type, en médiane [écart interquartile] ou en nombre (pourcentage) selon les cas. Les variables entre les groupes (MACE et absence de MACE) ont été comparées à l'aide des tests de Mann-Whitney ou du Chi-2 selon le cas.

La capacité diagnostique des marqueurs de couplage a été évaluée par la comparaison des aires sous les courbes (AUC) en utilisant le test de Delong. La valeur optimale du RV-LSF/PAPS et du TAPSE/PAPSE permettant d'identifier les patients ayant présenté un MACE à 6 mois était réalisée à l'aide de l'indice de Youden.

Une régression univariée puis multivariée par des modèles proportionnels de Cox ont été réalisées pour analyser l'association entre les différents marqueurs de couplage et les MACE. Les données se présentent sous forme de hazard ratio (HR) et d'intervalles de confiance (IC) à 95 %. Les variables significatives en univarié ($P < 0.05$) ont été incluses dans un modèle multivarié basal (modèle A) et nous avons réalisé des modèles emboîtés avec l'introduction de chaque paramètre de couplage ventriculo-artériel : le RV-LSF/PAPS (modèle B) et le TAPSE/PAPS (modèle C). La comparaison des modèles emboîtés était réalisée à l'aide du critère d'information Aikake (AIC). Le meilleur modèle était celui avec l'AIC le plus proche de zéro. La discrimination des modèles aux données de la cohorte était évaluée par le test C-statistique représenté par une aire sous la courbe (AUC). Un modèle avec une AUC supérieure à 0.7 était considéré comme ayant une précision raisonnable et une AUC supérieure à 0.8 comme une précision forte.

Un test statistique était considéré significatif lorsque la valeur P était inférieure à 0,05. Toutes les valeurs P étaient les résultats de tests bilatéraux. Les analyses statistiques étaient réalisées à l'aide du logiciel SPSS version 24 (IBM Corp, Armonk, NY) et du logiciel R pour macOS (version 2021.09.01 +372). Les bibliothèques utilisées pour l'analyse statistique étaient : 'compareGroups', 'survival', 'AucUno', 'dyplyr' et 'survminer'.

III. Résultats

1) Diagramme de flux de l'étude

Durant la période de notre étude, 443 patients présentant un rétrécissement aortique serré ont fait l'objet d'un TAVI au CHU d'Amiens. Parmi ces patients, 197 ont pu être inclus dans l'étude. Nous avons séparé les patients en deux groupes selon la survenue ou non du critère MACE dans les 6 premiers mois post TAVI, dont 22 % (n= 44/197) dans le groupe MACE et 78 % (n= 153/197) dans le groupe sans MACE. (Figure 15)

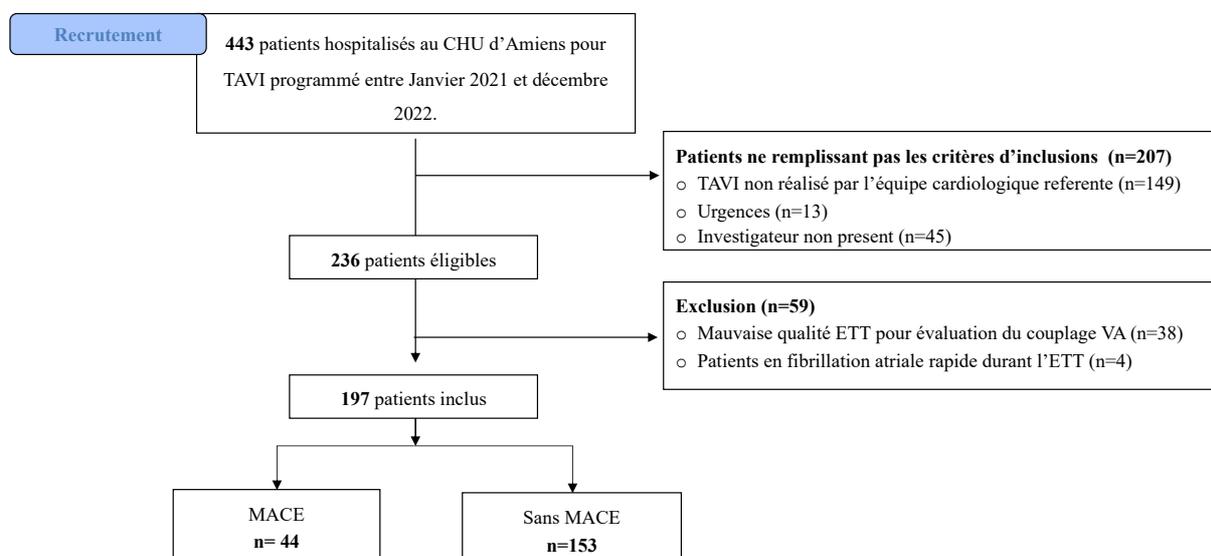


Figure 15 : Flow chart.

Des 443 patients hospitalisés pour réalisation d'un TAVI, 47% (n= 207/443) n'ont pas présenté les critères d'inclusions requis. Parmi eux, 72% (n= 149/207) ont fait l'objet d'un TAVI par une équipe cardiologique hors du CHU d'Amiens, 6% (n= 13/207) ont fait l'objet d'un TAVI dans un contexte d'urgence et enfin pour 22% (n= 45/207) d'entre eux, l'investigateur était absent le jour de l'inclusion.

Des 236 patients éligibles, 25% (n= 59/236) ont dû être exclus pour mauvaise qualité de l'échocardiographie ou des conditions cliniques du patient.

2) Caractéristiques démographiques de la population

Les caractéristiques générales de la population étudiée sont détaillées dans le **Tableau 1**. L'âge médian de la population est de 81 ans. La figure 16 représente la répartition de la population selon la tranche d'âge. Le groupe de patients ayant présenté un MACE présente un Euroscore II plus élevé (8,1 [4,4-11,2] vs. 5,3 [3,6-7,9], $P= 0,016$), une plus grande proportion d'AOMI ($n= 8/44$, 18% vs. $n= 11/197$, 7%, $P= 0,044$) et un taux de BNP plus important (310 [187-704] ng/L vs. 191 [122-389] ng/L, $P= 0,011$). On ne retrouve pas de différence entre les deux groupes sur les autres variables (Tableau 1).

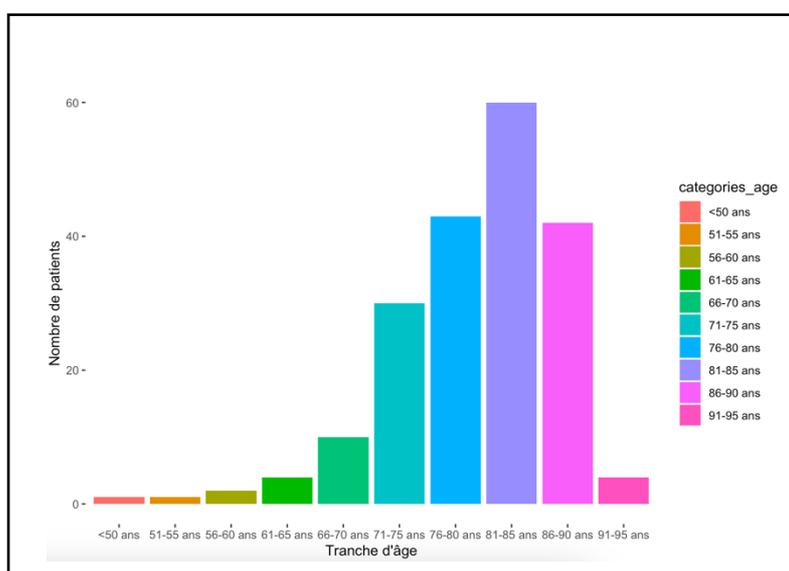


Figure 16 : Répartition de la population selon la tranche d'âge.

Tableau 1 : Caractéristiques démographiques de la population étudiée.

Variables	Sans MACE N = 153	MACE N = 44	P value
Age ; années [IQR]	81 [76-85]	82 [76-86]	0.491
IMC ; kg.m ⁻² [IQR]	27.7 [24.6-31.1]	26 [23.3-29.8]	0.088
Sexe féminin ; n (%)	60 (39)	20 (45)	0.57
Euroscore II ; [IQR]	5.3 [3.6-7.9]	8.1 [4.4-11.2]	0.016
Score de Charlson [IQR]	6 [5-7]	7.5 [5-8]	0.066
Antécédents ; n (%)			
HTA	128 (84)	38 (86)	0.842
Diabète	48 (31)	9 (20)	0.223
Dyslipidémie	74 (48)	21 (48)	1.000
Tabac	47 (31)	13 (29)	1.000
SAOS	16 (11)	3 (7)	0.575
AOMI	11 (7)	8 (18)	0.041
IRC	30 (20)	14 (32)	0.131
Chirurgie cardiaque	10 (7)	5 (11)	0.333
CPI ancienne	32 (21)	10 (23)	0.960
IDM	14 (9)	5 (11)	0.772
FA	48 (32)	15 (34)	0.896
BPCO	19 (12)	10 (23)	0.149
AVC ischémique	8 (5)	3 (7)	0.712
NYHA	2 [2-3]	2 [2-3]	0.462
Biologie, [IQR]			
BNP, ng/L	191 [122-389]	310 [187-704]	0.011
Score calcique	2822 [2094.0-4075.5]	3300 [1661.5-3897.0]	0.610
Hémoglobine, g/dl	12.9 [11.8-13.6]	12.4 [11.5-13.7]	0.37
Créatininémie, mmol/L	91 [72.0-111.0]	96.5 [75.5-137.2]	0.101

IQR : interquartile range ; **IMC** : indice masse corporelle; **HTA** : hypertension artérielle; **SAOS**: syndrome apnée obstructif du sommeil; **AOMI** : artériopathie oblitérante des membres inférieurs; **IRC** : insuffisance rénale chronique; **CPI** : cardiopathie ischémique; **IDM** : infarctus du myocarde; **FA** : fibrillation atriale; **BPCO** : bronchopneumopathie obstructive; **AVC** : accident vasculaire cérébral; **NYHA** : New York Heart Association; **BNP** : brain natriuretic peptide.

3) Caractéristiques cliniques et paracliniques et données per procédure

Les données échocardiographiques de la population sont détaillés dans le **Tableau 2**. Les patients ayant présenté un MACE présentent des paramètres d'évaluation de la fonction cardiaque droite dérivés du speckle tracking altérés avec un RV-LSF à 17 [12,9-20,6] % vs. 21 [17,0-24,2] %, $P= 0,001$.

On retrouve également une altération dans les paramètres du couplage ventriculo-artériel dans le groupe de patients ayant présenté un MACE (TAPSE/PAPS 0,48 [0,32-0,69] mm/mmHg vs. 0,62 [0,4-0,76] mm/mmHg, $P= 0,049$; RV-LSF/PAPS 0,48 [0,25-0,59] %/mmHg vs. 0,57 [0,39-0,74] %/mmHg, $P= 0,002$). Les données concernant les paramètres conventionnels d'évaluation de la fonction cardiaque droite ne diffèrent pas selon les deux groupes. Par ailleurs, les deux groupes sont comparables sur tous les autres paramètres échocardiographiques. (Tableau 2)

Tableau 2 : caractéristiques échocardiographiques de la population étudiée.

Variables	Sans MACE N = 150	MACE N = 44	P value
Onde E mitrale (cm.s ⁻¹)	95.0 [77.0-122.0]	105.5 [82.2-121.8]	0.225
Onde A mitrale (cm.s ⁻¹)	102 [86.2-117.8]	98 [88.5-114.8]	0.650
TDE mitral (ms)	200 [155.8-291.5]	210.5 [159.5-262]	0.900
E/A	0.8 [0.7-1.2]	1.1 [0.8-1.4]	0.059
E latéral	8.4 [6.6-10.2]	7.9 [6.7-10]	0.695
FEVG (%)	60 [55-65]	60 [45-65]	0.265
Surface Ao (cm ²)	0,78 [0.65-0.95]	0.77 [0.6-0.92]	0.633
Surface Ao indexée (cm ² .m ²)	0.41 [0.33-0.5]	0.41 [0.33-0.5]	0.930
Vmax Ao (m.s ⁻¹)	3.39 [4.15-4.73]	4.31 [4.03-4.77]	0.45
Gmoy Ao (mmHg)	49 [42-56]	46 [41.5-56.5]	0.355
PAPS (mmHg)	35 [28.2-45]	38 [31.8-45]	0.179
Vmax IT (cm.s ⁻¹)	281.1 [250-310]	280 [255.8-305]	0.948
Paramètres conventionnels du ventricule droit			
TAPSE (mm)	21.5 [18.4-24.8]	19.3 [16.5-24.1]	0.254
Onde S' (cm.s ⁻¹)	13 [10.8-14.8]	12.2 [9.8-13.8]	0.059
RV-FAC (%)	39.6 [28-56.2]	39.8 [29.6-60.4]	0.382
Paramètres dérivés du TAD			
RV-LSF (%)	21 [17-24.2]	17 [12.9-20.6]	< 0.001
Paramètres de couplage ventriculo-artériel du ventricule droit			
TAPSE/PAPS	0.62 [0.4-0.76]	0.48 [0.32-0.69]	0.049
RV-LSF/PAPS	0.57 [0.39-0.74]	0.48 [0.25-0.59]	0.002

Les données sont présentées sous forme de médiane [IQR] ; interquartile range.

TDE : temps de décélération ; **FEVG** : fraction d'éjection du ventricule gauche; **Ao** : aortique; **Vmax** : vitesse maximum; **Gmoy** : gradient moyen; **PAPS** : pression artérielle pulmonaire systolique.

Pour les données per-procédures décrites dans le **Tableau 3**, les deux groupes sont comparables au niveau du type de valve utilisée, de la durée d'intervention et du site d'abord. Concernant les complications post-TAVI, on retrouve plus de fibrillation atriale de novo dans le groupe ayant présenté un MACE (FA de novo n= 27/44, 27% vs. n= 8/197, 8% ; $P= 0,002$). Les deux groupes restent comparables en termes de développement des autres complications post-TAVI tels que la présence d'AVC, l'implantation de pace maker, la proportion de fuite para-valvulaire et le développement d'insuffisance rénale aigue. (Tableau 3)

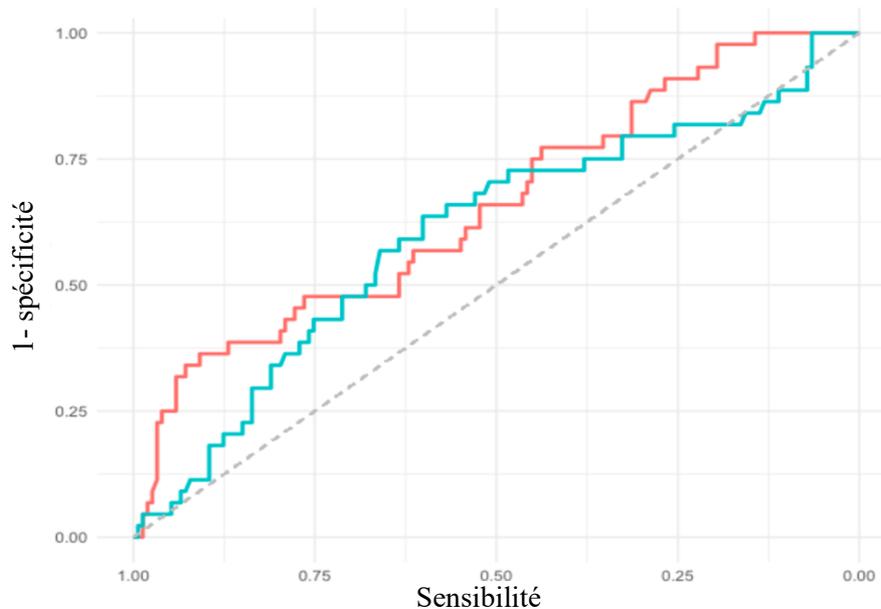
Tableau 3 : Données per procédure et complications post TAVI.

Variables	Pas de MACE N = 153	MACE N = 44	P value
Type de valve, n (%)			
Sapien 3	99 (66)	27 (61)	0.699
Corevalve Evolut R	14 (9)	6 (14)	0.400
Corevalve Evolut Pro	33 (22)	9 (21)	1.000
Acurate	2 (2)	2 (4)	0.216
Autre	1 (1)	0 (0)	1.000
Site d'abord, n (%)			
Fémoral	152 (99)	43 (98)	0.398
Trans-carotidien	0 (0)	1 (2)	0.223
Sous clavier	1 (1)	0 (0)	1.000
Abord chirurgical, n (%)	7 (5)	2 (5)	1.000
Durée d'intervention, min	73 [59-90.2]	73 [64.5-93]	0.494
Complications post TAVI, n (%)			
AVC	3 (2)	3 (7)	0.126
Implantation PM	35 (23)	9 (21)	0.950
IRA	18 (12)	6 (14)	0.942
Fuite para-valvulaire			0.784
0	95 (63)	26 (60)	
1	54 (36)	17 (40)	
2	1 (1)	0 (0)	
Transfusion	12 (8)	6 (14)	0.243
FA de novo	12 (8)	12 (27)	0.001

AVC : accident vasculaire cérébral ; PM : pace maker; IRA : insuffisance rénale aigue; FA : fibrillation atriale.

4) Description des courbes ROC

Les marqueurs du couplage ventriculo-artériel droit ont été comparés grâce aux courbes ROC. Le marqueur identifié en speckle tracking qui est le RV-LSF/PAPS est celui qui présente l'aire sous la courbe la plus importante pour identifier les patients découplés (AUC= 0,66 ; IC 95% [0,56-0,75] ; $p=0,001$), avec une sensibilité de 94% et une spécificité de 36% pour le RV-LSF/PAPS. (Figure 17)



		AUC	95% CI	P value	Cut-off	Sensibilité	Spécificité
TAPSE/PAPS	—	0.57	0.49 – 0.69	0.001	0.55	60%	63%
RVLSF/PAPS	—	0.66	0.56 – 0.75	0.001	0.30	90%	36%

Figure 17 : AUC des différents marqueurs du couplage ventriculo-artériel du ventricule droit.

Les cut-offs retrouvés pour les marqueurs du couplage ventriculo-artériel du ventricule droit sont de 0,55 mm/mmHg pour le TAPSE/PAPS et de 0,30 %/mmHg pour le RVLSF/PAPS avec respectivement une aire sous la courbe à 0,57, 95% IC [0,49-0,69], $P= 0,001$ et 0,66, 95% IC [0,56-0,75], $P= 0,001$.

5) Résultats en analyse univariée

Dans l'analyse en régression logistique univariée, plusieurs paramètres sont associés à un surrisque de survenue de MACE en post procédure de TAVI à 6 mois comme décrit dans le **Tableau 4**. Dans les données pré-TAVI, on retrouve l'Euroscore II > 8 et le taux de BNP > 200 ng/L avec respectivement un HR à 2,34 [1,27-4,28], $P=0,01$ et un HR à 2,51 [1,33-4,76], $P=0,001$. Concernant les données échographiques, l'onde S' < 9,5 cm.s⁻¹ (HR 2,12 [1,12-4,04], $P=0,02$), le RV-LSF < 20% (HR 2,56 [1,3-4,98], $P=0,01$) et les marqueurs du couplage ventriculo-artériel (TAPSE/PAPS > 0,55 HR 0,28 [0,09-0,88] mm/mmHg, $P=0,03$ et RV-LSF/PAPS > 0,3 HR 0,09 [0,02-0,39] %/mmHg, $P=0,001$) sont corrélés à la survenue du critère MACE à 6 mois. Sur les complications post-TAVI, seule la survenue de fibrillation atriale de novo est corrélée avec un HR à 3,22 [1,64-6,35], $P=0,05$. (Tableau 4)

Tableau 4 : Analyse en régression logistique univariée sur les données pré-TAVI et complications post TAVI sur la survenue du critère MACE à 6 mois.

Variables	Hazard Ratio (95% CI)	P value
Données cliniques pré TAVI		
Euroscore II > 8	2.34 [1.27-4.28]	0.01
Score de Charlson > 6	1.72 [0.95-3.13]	0.08
RAo critique	0.34 [0.05-2.51]	0.29
BNP > 200 ng/L	2.51 [1.33-4.76]	0.001
Données échographiques pré TAVI		
Présence de dysfonction cardiaque droite selon		
Marqueurs conventionnels		
TAPSE < 17 mm	1.8 [0.94-3.49]	0.08
Onde S' < 9,5 cm.s ⁻¹	2.12 [1.12-4.04]	0.02
RV-FAC < 35%	0.74 [0.41-1.35]	0.31
Speckle tracking		
RV-LSF < 20%	2.56 [1.3-4.98]	0.01
Couplage ventriculo-artériel		
TAPSE/PAPS > 0.55*	0.28 [0.09-0.88]	0.03
mm/mmHg		
RV-LSF/PAPS > 0.30*	0.09 [0.02-0.39]	0.001
%/mmHg		
Complications post TAVI		
PM	0.76 [0.35-1.66]	0.5
Transfusion	1.22 [0.47-3.18]	0.68
Fuite para-valvulaire	1.11 [0.6-2.01]	0.75
Fibrillation atriale de novo	3.22 [1.64-6.35]	0.05

*Pour chaque augmentation d'une unité de la variable

Rao : rétrécissement aortique ; **PM** : pace maker.

6) Association entre le couplage ventriculo-artériel du VD et MACE à 6 mois post-TAVI en analyse multivariée

Lors de l'analyse des variables en régression logistique multivariée, 3 modèles ont été proposés quant à l'évaluation de l'association des variables avec la survenue du critère MACE à 6 mois en post-TAVI. (Tableau 5 et figure 18)

Le modèle A prend en compte les paramètres classiquement utilisés en pratique clinique. Parmi ces paramètres on retrouve l'Euroscore II, le taux de BNP, la mesure de l'onde S' et l'apparition de fibrillation atriale de novo. Les modèles B et C prennent en compte les variables du modèle A en y incorporant de plus les paramètres du couplage ventriculo-artériel droit (RVLSF/PAPS et TAPSE/PAPS).

Tableau 5 : Analyse en régression logistique multivariée des variables associées à la survenue du critère MACE à 6 mois post TAVI.

Variables	Modèle A		Modèle B		Modèle C	
	HR 95%IC	P value	HR 95%IC	P value	HR 95%IC	P value
Euroscore II > 8	1.60 [0.86-3.10]	0.13	1.46 [0.76-2.8]	0.261	1.50 [0.78-2.9]	0.227
BNP > 200 ng/L	2.0 [1.05-3.60]	0.03	1.75 [0.9-3.4]	0.102	1.87 [0.97-3.6]	0.063
Onde S' < 9,5 cm/s	1.09 [0.99-3.80]	0.053	1.72 [0.87-3.4]	0.118	1.77 [0.89-3.5]	0.104
FA de novo	2.80 [1.37-5.80]	0.05	2.51 [1.2-5.3]	0.015	2.65 [1.28-5.5]	0.009
RVLSF/PAPS > 0.30	-	-	0.52 [0.25-1.10]	0.07	-	-
TAPSE/PAPS > 0.55	-	-	-	-	0.71 [0.35-1.40]	0.34

En analyse en régression logistique multivariée, on ne retrouve pas d'association entre les marqueurs du couplage ventriculo-artériel du ventricule droit et la survenue du critère MACE à 6 mois post-TAVI, avec un HR à 0,52, 95% IC [0,25-1,10], $P=0,07$ (AIC 419 et AUC 0,74) pour le RVLSF/PAPS et un HR à 0,71, 95% IC [0,35-1,40], $P=0,34$ (AIC 421 et AUC 0,75) pour le TAPSE/PAPS. (Tableau 5) La comparaison des deux modèles B et C ne retrouve pas de différence, leurs AIC et AUC étant proches. (Forrest Plot des modèles B et C en annexe)

Dans tous les modèles, seule la fibrillation atriale de novo est associée à la survenue du critère MACE à 6 mois en post-TAVI avec selon le modèle un HR à 2,8, 95% IC [1,37-5,80], $P=0,05$ pour le modèle A; HR à 2,51, 95% IC [1,2-5,3], $P=0,015$ pour le modèle B; HR à 2,65 [1,28-5,5], $P=0,009$ pour le modèle C. Le taux de BNP > 200 ng/L est associé à un surrisque de survenue du critère MACE dans le modèle A (HR 2,0 [1,05-3,60], $P=0,03$).

Le modèle conventionnel A reste le plus discriminant en termes de surrisque de survenue de MACE dans les 6 premiers mois post-TAVI.

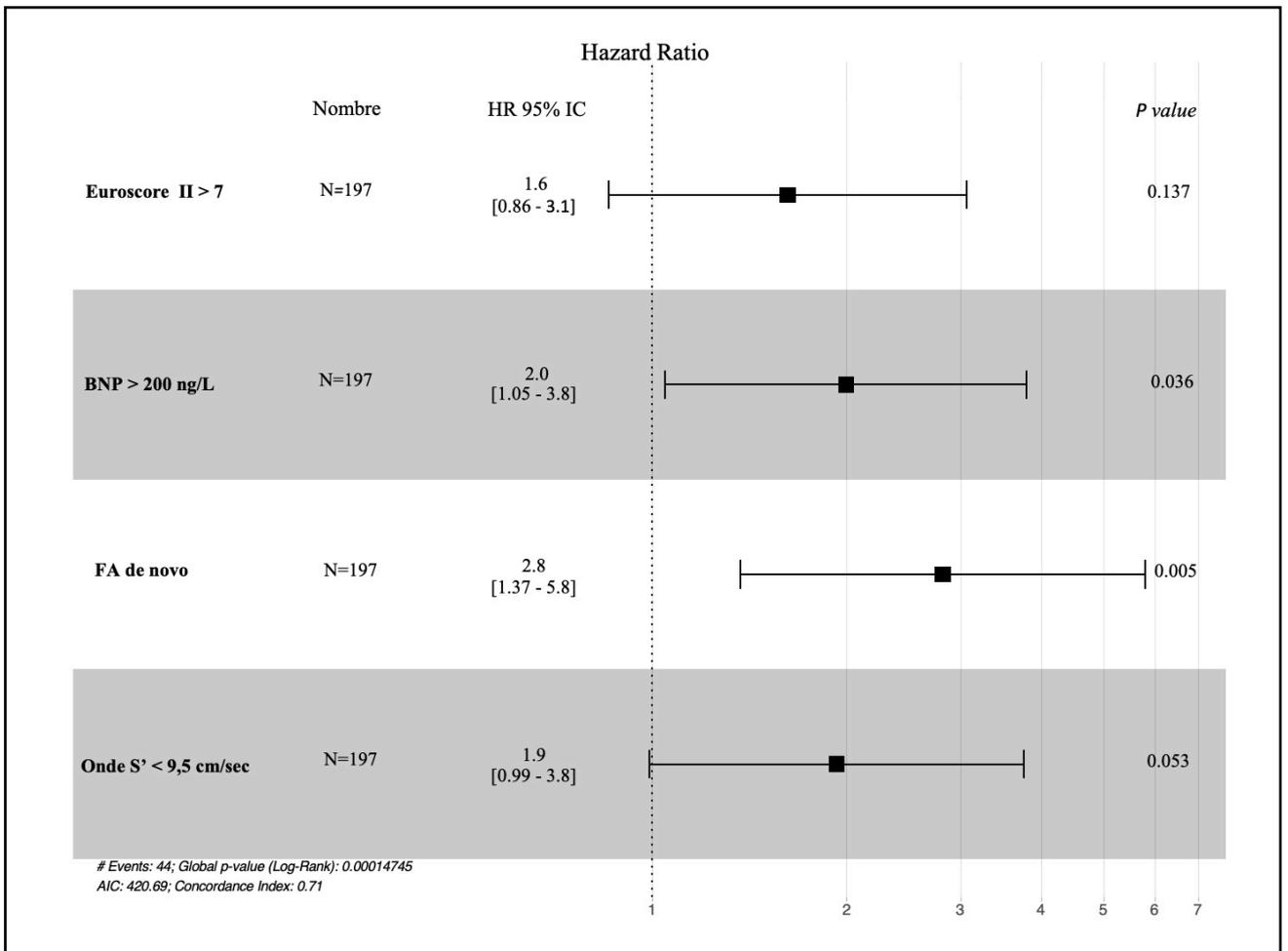


Figure 18 : Analyse multivariée de l'association entre les différentes variables et la survenue du critère MACE à 6 mois post TAVI, représentation en Forrest Plot du modèle A.

IV. Discussion

Les résultats de notre étude évaluant la capacité diagnostique des rapports TAPSE/PAPS et RV-LSF/PAPS à identifier les patients présentant un MACE et à en évaluer leur valeur pronostique post-TAVI nous montrent que : (1) le rapport RV-LSF/PAPS est plus performant que le rapport TAPSE/PAPS pour identifier les patients ayant présenté un MACE, (2) les indices du couplage ventriculo-artériel droit ne sont pas associés au MACE en post-TAVI, (3) contrairement à la FA de novo (HR à 2,65 [1,28-5,5], $P=0,009$) et au taux de BNP > 200 ng/L (HR 2,0 [1,05-3,60], $P=0,03$), et (4) le taux de MACE à 6 mois post-TAVI dans notre cohorte est de 22% ($n=44/197$).

Performance diagnostique des indices du couplage ventriculo-artériel droit sur l'altération de la fonction ventriculaire droite

Dans notre étude, nous retrouvons une supériorité du marqueur de couplage ventriculo-artériel RV-LSF/PAPS comparé au marqueur validé du TAPSE/PAPS pour l'identification d'une altération de la fonction ventriculaire droite avec une meilleure sensibilité de 90% contre 60% et une AUC de 0,66, IC 95% [0,56-0,75], $P=0,001$ contre une AUC de 0,57, IC 95% [0,49-0,69], $P=0,001$.

Ce résultat peut être expliqué par le fait que, dans notre cohorte le RV-LSF est plus altéré dans le groupe MACE que dans le groupe sans MACE (17 [12,9-20,6] % vs. 21 [17,0-24,2] %, $P=0,001$), alors qu'il n'y a pas de différence entre les deux groupes sur la mesure de la PAPS (38 [31,8-45] mmHg vs. 35 [28,2-45] mmHg, $P=0,179$) ni du TAPSE (19,3 [16,5-24,1] mm vs. 21,5 [18,4-24,8] mm, $P=0,254$). En effet, il a été démontré que la mesure du RV-LSF est plus performante afin de détecter une altération de la fonction cardiaque droite comparée aux mesures échocardiographiques conventionnelles. (24) La sensibilité du TAPSE et de l'onde S' est dépendante des conditions de charge, de l'angle de tir en mode TM et ne mesure que la contraction longitudinale du ventricule droit. De plus, ces marqueurs deviennent ininterprétables dès lors que le patient présente un antécédent de chirurgie cardiaque. La mesure du RV-LSF permet de s'affranchir de ces contraintes.

Le seuil retrouvé dans notre étude pour le rapport TAPSE/PAPS > 0,55 mm/mmHg est concordant avec celle de Sultan et al. qui trouve un seuil de référence pour discriminer les patients ayant présenté un MACE des autres à 0,59 mm/mmHg (HR=2,16 [1,04-4,47],

$P=0,038$). Notre seuil est voisin du leur, étant plus proche des patients n'ayant pas présenté de MACE. Ceci appuie le fait que notre cohorte est moins comorbide.

Cependant, les seuils restent assez disparates dans la littérature. En effet, selon les cohortes, on retrouve des seuils qui diffèrent selon le sexe, la pathologie cardio-vasculaire avec un seuil de 0,19 mm/mmHg retrouvé par Humbert et al. dans l'HTP contre un seuil à 0,48 mm/mmHg de Bosch et al. dans leur cohorte de patients insuffisants cardiaque à fraction d'éjection préservée ou encore Fortuni et al. qui retrouvent un rapport TAPSE/PAPS à 0,31 mm/mmHg chez des patients ayant fait l'objet d'une plastie tricuspide (29, 30, 31).

Les indices du couplage ventriculo-artériel droit ne sont pas des facteurs indépendants de mauvais pronostic post-TAVI

Dans notre étude, les patients du groupe ayant présenté un MACE présentent une altération des paramètres du couplage ventriculo-artériel droit avant TAVI comparé au groupe n'ayant pas présenté de MACE. Cependant, lors de l'analyse multivariée des différents paramètres du couplage ventriculo-artériel droit, cette altération n'est pas associée à un surrisque de survenue du critère MACE dans les 6 mois post-TAVI (RVLSF/PAPS > 0,30 HR à 0,52 [0,25-1,10], $P=0,07$ et TAPSE/PAPS > 0,55 HR à 0,71 [0,35-1,40], $P=0,34$).

Ce résultat peut éventuellement s'expliquer par plusieurs raisons. Tout d'abord, comparativement à l'étude de Sultan et al. qui a inclus des patients de 2011 à 2016, notre étude se déroule durant la période de 2021 à 2022. (28) Plusieurs changements ont pu s'opérer entre 2011 et 2022 concernant les caractéristiques démographiques des cohortes et les techniques de procédure de TAVI (en termes d'implantation de la valve et du matériel utilisé).

En termes de modèles de valves utilisées, l'étude de Sultan et al. rapporte surtout l'utilisation de valves de premières générations qui sont les SapienXT (Edwards™) et CoreValve (Medtronic™). Ces valves étaient bien plus pourvoyeuses de fuites paravalvulaires comparées aux valves de nouvelles générations pourvues de jupe extérieure ou d'enveloppe péricardique principalement utilisées dans notre cohorte. Gilard et al. avaient reporté un taux de fuites paravalvulaires de grade 1 ou plus chez 45,1% des patients pour la valve SapienXT et chez 46,9% des patients pour la CoreValve à 1 mois alors que dans l'étude PARTNER 3 le taux est de 26,5% à 2 ans pour la valve Sapien 3 ; le taux est de 1,7% dans l'étude EVOLUT concernant les valves Evolut R et Evolut Pro, qui sont les 3 valves les plus utilisées dans notre cohorte et en France en général. (16, 17, 32)

Les caractéristiques cliniques de la population ont elles aussi évoluées durant les dernières décennies avec des patients moins comorbides, plus jeunes et présentant moins d'altération de la fonction ventriculaire droite avant la procédure de TAVI comme peut en témoigner l'élargissement des indications aux patients à faible risque chirurgical. En effet, la cohorte de Sultan et al. comportait majoritairement des patients à haut risque chirurgical avec une altération de la fonction cardiaque droite pré TAVI. Sur leur données échocardiographiques évaluant la fonction cardiaque droite, 30,4% des patients présentaient un TAPSE < 17 mm contre 19,3% des patients du groupe MACE de notre étude. De plus, la PAPS moyenne était de 44,1 mmHg dans la cohorte de Sultan et al. contre 38 mmHg chez nos patients du groupe MACE. (28). Toutes ces données pourraient expliquer la différence entre nos résultats.

FA de novo et BNP > 200 ng/L comme facteurs prédictifs de mauvais pronostic en post-TAVI

Selon le modèle statistique étudié, seul le taux de BNP > 200 ng/L et la survenue d'une FA de novo sont des facteurs prédictifs de survenue du critère MACE dans les 6 premiers mois post TAVI. (HR à 2,65 [1,28-5,5], $P= 0,009$ pour la FA de novo et un HR à HR 2,0 [1,05-3,60], $P= 0,03$)

Le BNP est un peptide principalement synthétisé par les cardiomyocytes en réponse à une surcharge volémique ou à une augmentation des conditions de charge. Le BNP étant alors un reflet de la fonction cardiaque gauche, son taux a une valeur pronostique chez les patients présentant une insuffisance cardiaque, dont un taux plus élevé est associé à un risque accru de décès ou d'hospitalisation pour décompensation cardiaque. O'Leary et al. ont montré que les patients ayant un taux de BNP plus élevé en pré et post-TAVI avaient un surrisque de présenter un MACE. (33)

La fibrillation atriale est connue comme étant un facteur de mauvais pronostic associée à un surrisque de décompensation cardiaque, l'augmentation du risque de survenue d'AVC et la surmortalité. Mentias et al. ont étudié dans leur cohorte rétrospective comprenant 72 660 patients l'association entre la préexistence de FA avant TAVI et l'apparition de FA de novo en post-TAVI sur la survenue de MACE. Comparativement à la pré existence de FA en pré TAVI, la FA de novo était associée à un surrisque de mortalité, d'AVC et de décompensation cardiaque avec nécessité d'une hospitalisation. (34) Les facteurs prédictifs de FA de novo post-TAVI ne sont pas bien connus, mais on pourrait se demander si elle ne rentre pas dans le cadre de la

FAPO (FA post-opératoire) dans un contexte de stress chirurgical avec un état pro-inflammatoire, de changement de régime de charge et de pression au niveau atrial gauche. (35)

Taux de MACE

Dans notre cohorte, 22% (n = 44/197) des patients ont présenté un MACE (hospitalisation pour un événement cardiovasculaire, un AVC, un IDM ou un décès d'origine cardiovasculaire) dans les 6 premiers mois post-TAVI. Il reste cependant difficile de comparer ce résultat face aux données de la littérature car, dans les grandes études les plus récentes comme PARTNER 3 ou EVOLUT, les patients inclus présentaient tous un faible risque chirurgical avec un suivi des patients à 1 et 2 ans. L'étude PARTNER 3 retrouve une incidence de MACE chez 8,5% (n = 42/496) des patients à 1 an et l'étude EVOLUT retrouve une incidence de MACE à 5,3% (95% BCI, 3,3 à 8,0). (16, 17) Si l'on regarde les études plus anciennes telles que PARTNER 2 évaluant le risque de survenue du critère MACE chez les patients à risque intermédiaires à 1 an, 14,5% (n= 145/1011) des patients ont présenté un MACE à 1 an.(36) Notre cohorte présentait des patients allant du faible risque chirurgical au haut risque, pouvant ainsi expliquer le taux de MACE à 22%.

Application clinique

La différence de seuil et le manque d'association avec le MACE met en évidence la disparité et le manque de standardisation des valeurs du couplage ventriculo-artériel droit qui le rend difficilement applicable et interprétable en clinique, celui-ci étant dépendant de multiples paramètres (âge, sexe, pathologie cardio-vasculaire). (37)

Devant l'élargissement des indications au TAVI, avec une population rajeunissante et moins comorbide, la pertinence clinique de l'évaluation systématique des paramètres du couplage ventriculo-artériel droit peut alors être remise en question, dans la mesure où son résultat n'entrera en compte ni dans la décision de réalisation de la procédure, ni dans le délai de réalisation de celle-ci.

Points forts et limites de l'étude

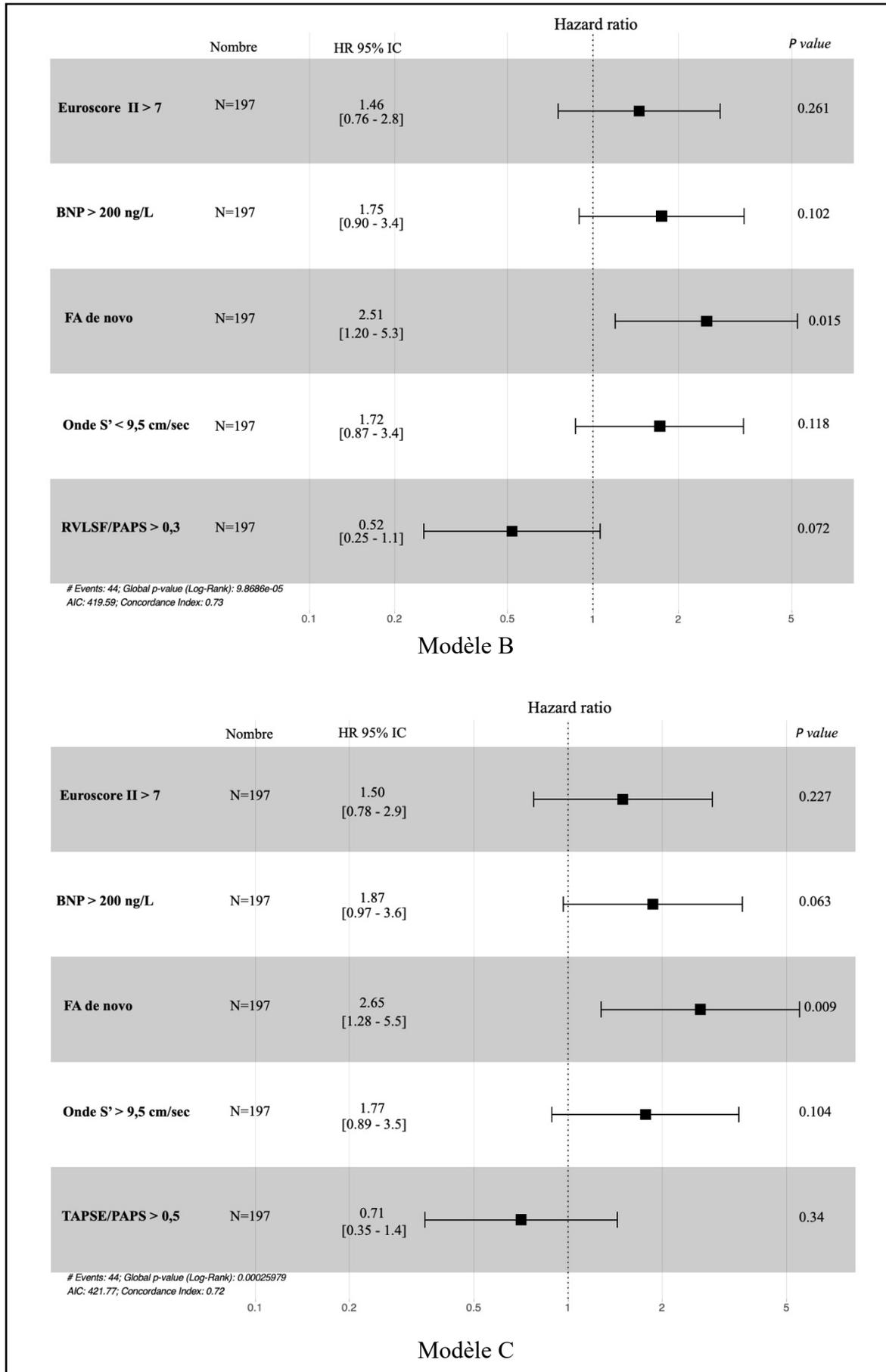
Les points forts de notre étude sont qu'elle rassemble une cohorte de patients dont les caractéristiques cliniques et démographiques s'ancrent dans l'ère actuelle du TAVI par la présence des différents niveaux de risques chirurgicaux évalué grâce à l'Euroscore II. De plus, le caractère prospectif rend compte de l'évolution des pratiques et de la modification de la population des patients qui sont de plus en plus jeunes et moins comorbides.

Les limites de notre étude sont le caractère monocentrique, le manque de puissance avec un fort taux d'exclusion des patients n'ayant pas fait l'objet d'un TAVI par l'équipe de référence du CHU d'Amiens (n= 149), et la mauvaise échogénicité n'ayant pas permis le recueil des paramètres du couplage ventriculo-artériel droit. De plus, le RV-LSF est un paramètre développé uniquement par le constructeur Philips Healthcare™, ce qui restreint son utilisation en routine clinique à travers les différents centres hospitaliers.

V. Conclusion

La détermination des paramètres du couplage ventriculo-artériel est utile dans un panel de pathologies cardio-vasculaires. Dans notre cohorte de patients ayant bénéficié d'un TAVI au CHU d'Amiens, le RV-LSF/PAPS semble supérieur au marqueur TAPSE/PAPS pour identifier les patients présentant un MACE. Cependant, la détermination des paramètres du couplage ventriculo-artériel droit ne sont pas associés à un surrisque de survenue du critère MACE.

ANNEXE



Analyse multivariée de l'association entre les différentes variables et la survenue du critère MACE à 6 mois post TAVI, représentation en Forrest Plot des modèles B et C.

VI. BIBLIOGRAPHIE

1. Lindman BR, Clavel MA, Mathieu P, Iung B, Lancellotti P, Otto CM, et al. Calcific aortic stenosis. *Nat Rev Dis Primers*. 2016;2:16006.
2. Das P, Rimington H, Chambers J. Exercise testing to stratify risk in aortic stenosis. *Eur Heart J*. 2005;26(13):1309-13.
3. Joseph J, Naqvi SY, Giri J, Goldberg S. Aortic Stenosis: Pathophysiology, Diagnosis, and Therapy. *Am J Med*. 2017;130(3):253-63.
4. Kanwar A, Thaden JJ, Nkomo VT. Management of Patients With Aortic Valve Stenosis. *Mayo Clin Proc*. 2018;93(4):488-508.
5. Cribier A, Eltchaninoff H, Bash A, Borenstein N, Tron C, Bauer F, et al. Percutaneous transcatheter implantation of an aortic valve prosthesis for calcific aortic stenosis: first human case description. *Circulation*. 2002;106(24):3006-8.
6. Rotman OM, Bianchi M, Ghosh RP, Kovarovic B, Bluestein D. Principles of TAVR valve design, modelling, and testing. *Expert Rev Med Devices*. 2018;15(11):771-91.
7. Corrigendum to: 2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease: Developed by the Task Force for the management of valvular heart disease of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *European Heart Journal*. 2022;43(21):2022-.
8. van Rosendaal PJ, Delgado V, Bax JJ. Pacemaker implantation rate after transcatheter aortic valve implantation with early and new-generation devices: a systematic review. *European Heart Journal*. 2018;39(21):2003-13.
9. Sammour Y, Krishnaswamy A, Kumar A, Puri R, Tarakji KG, Bazarbashi N, et al. Incidence, Predictors, and Implications of Permanent Pacemaker Requirement After Transcatheter Aortic Valve Replacement. *JACC Cardiovasc Interv*. 2021;14(2):115-34.
10. Eschenbach LK, Erlebach M, Deutsch MA, Ruge H, Bleiziffer S, Holzer L, et al. Stroke after transcatheter aortic valve replacement: A severe complication with low predictability. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2022;99(6):1897-905.
11. Tarantini G, Cardaioli F. TAVR and stroke: A common evolution. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2022;99(6):1906-7.
12. Reyes M, Reardon MJ. Transcatheter Valve Replacement: Risk Levels and Contemporary Outcomes. *Methodist DeBakey Cardiovasc J*. 2017;13(3):126-31.
13. Webb JG, Doshi D, Mack MJ, Makkar R, Smith CR, Pichard AD, et al. A Randomized Evaluation of the SAPIEN XT Transcatheter Heart Valve System in Patients With Aortic Stenosis Who Are Not Candidates for Surgery. *JACC Cardiovasc Interv*. 2015;8(14):1797-806.
14. Smith CR, Leon MB, Mack MJ, Miller DC, Moses JW, Svensson LG, et al. Transcatheter versus surgical aortic-valve replacement in high-risk patients. *N Engl J Med*. 2011;364(23):2187-98.

15. Mach M, Okutucu S, Kerbel T, Arjomand A, Fatihoglu SG, Werner P, et al. Vascular Complications in TAVR: Incidence, Clinical Impact, and Management. *J Clin Med*. 2021;10(21).
16. Mack MJ, Leon MB, Thourani VH, Makkar R, Kodali SK, Russo M, et al. Transcatheter Aortic-Valve Replacement with a Balloon-Expandable Valve in Low-Risk Patients. *N Engl J Med*. 2019;380(18):1695-705.
17. Popma JJ, Deeb GM, Yakubov SJ, Mumtaz M, Gada H, O'Hair D, et al. Transcatheter Aortic-Valve Replacement with a Self-Expanding Valve in Low-Risk Patients. *N Engl J Med*. 2019;380(18):1706-15.
18. Afilalo J, Lauck S, Kim DH, Lefevre T, Piazza N, Lachapelle K, et al. Frailty in Older Adults Undergoing Aortic Valve Replacement: The FRAILTY-AVR Study. *J Am Coll Cardiol*. 2017;70(6):689-700.
19. Yoshijima N, Saito T, Inohara T, Anzai A, Tsuruta H, Shimizu H, et al. Predictors and clinical outcomes of poor symptomatic improvement after transcatheter aortic valve replacement. *Open Heart*. 2021;8(2).
20. Mok M, Nombela-Franco L, Dumont E, Urena M, DeLarochelliere R, Doyle D, et al. Chronic obstructive pulmonary disease in patients undergoing transcatheter aortic valve implantation: insights on clinical outcomes, prognostic markers, and functional status changes. *JACC Cardiovasc Interv*. 2013;6(10):1072-84.
21. Genereux P, Cohen DJ, Pibarot P, Redfors B, Bax JJ, Zhao Y, et al. Cardiac Damage and Quality of Life After Aortic Valve Replacement in the PARTNER Trials. *J Am Coll Cardiol*. 2023;81(8):743-52.
22. Bohbot Y, Guignant P, Rusinaru D, Kubala M, Marechaux S, Tribouilloy C. Impact of Right Ventricular Systolic Dysfunction on Outcome in Aortic Stenosis. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2020;13(1):e009802.
23. Rolf A, Keller T, Wolter JS, Kriechbaum S, Weferling M, Guth S, et al. Right Ventricular Strain by Magnetic Resonance Feature Tracking Is Largely Afterload-Dependent and Does Not Reflect Contractility: Validation by Combined Volumetry and Invasive Pressure Tracings. *Diagnostics (Basel)*. 2022;12(12).
24. Beyls C, Bohbot Y, Huette P, Booz T, Daumin C, Abou-Arab O, et al. Usefulness of Right Ventricular Longitudinal Shortening Fraction to Detect Right Ventricular Dysfunction in Acute Cor Pulmonale Related to COVID-19. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2021;35(12):3594-603.
25. Sunagawa K, Sagawa K, Maughan WL. Ventricular interaction with the loading system. *Ann Biomed Eng*. 1984;12(2):163-89.
26. Tello K, Wan J, Dalmer A, Vanderpool R, Ghofrani HA, Naeije R, et al. Validation of the Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion/Systolic Pulmonary Artery Pressure Ratio for the Assessment of Right Ventricular-Arterial Coupling in Severe Pulmonary Hypertension. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2019;12(9):e009047.

27. Guazzi M, Dixon D, Labate V, Beussink-Nelson L, Bandera F, Cuttica MJ, et al. RV Contractile Function and its Coupling to Pulmonary Circulation in Heart Failure With Preserved Ejection Fraction: Stratification of Clinical Phenotypes and Outcomes. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2017;10(10 Pt B):1211-21.
28. Sultan I, Cardounel A, Abdelkarim I, Kilic A, Althouse AD, Sharbaugh MS, et al. Right ventricle to pulmonary artery coupling in patients undergoing transcatheter aortic valve implantation. *Heart*. 2019;105(2):117-21.
29. Bosch L, Lam CSP, Gong L, Chan SP, Sim D, Yeo D, et al. Right ventricular dysfunction in left-sided heart failure with preserved versus reduced ejection fraction. *Eur J Heart Fail*. 2017;19(12):1664-71.
30. Humbert M, Kovacs G, Hoeper MM, Badagliacca R, Berger RMF, Brida M, et al. 2022 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension: Developed by the task force for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Respiratory Society (ERS). Endorsed by the International Society for Heart and Lung Transplantation (ISHLT) and the European Reference Network on rare respiratory diseases (ERN-LUNG). *European Heart Journal*. 2022;43(38):3618-731.
31. Fortuni F, Butcher SC, Dietz MF, van der Bijl P, Prihadi EA, De Ferrari GM, et al. Right Ventricular-Pulmonary Arterial Coupling in Secondary Tricuspid Regurgitation. *Am J Cardiol*. 2021;148:138-45.
32. Gilard M, Eltchaninoff H, Donzeau-Gouge P, Chevreul K, Fajadet J, Leprince P, et al. Late Outcomes of Transcatheter Aortic Valve Replacement in High-Risk Patients: The FRANCE-2 Registry. *J Am Coll Cardiol*. 2016;68(15):1637-47.
33. O'Leary JM, Clavel MA, Chen S, Goel K, O'Neill B, Elmariah S, et al. Association of Natriuretic Peptide Levels After Transcatheter Aortic Valve Replacement With Subsequent Clinical Outcomes. *JAMA Cardiol*. 2020;5(10):1113-23.
34. Mentias A, Saad M, Girotra S, Desai M, Elbadawi A, Briasoulis A, et al. Impact of Pre-Existing and New-Onset Atrial Fibrillation on Outcomes After Transcatheter Aortic Valve Replacement. *JACC Cardiovasc Interv*. 2019;12(21):2119-29.
35. Tarantini G, Mojoli M, Urena M, Vahanian A. Atrial fibrillation in patients undergoing transcatheter aortic valve implantation: epidemiology, timing, predictors, and outcome. *Eur Heart J*. 2017;38(17):1285-93.
36. Leon MB, Smith CR, Mack MJ, Makkar RR, Svensson LG, Kodali SK, et al. Transcatheter or Surgical Aortic-Valve Replacement in Intermediate-Risk Patients. *N Engl J Med*. 2016;374(17):1609-20.
37. Fortuni F, Ciliberti G, Zilio F. Right Ventricular-Pulmonary Arterial Coupling: So You Think You Can Tell. *JACC Cardiovasc Interv*. 2023;16(12):1549.

Résumé

Introduction : Le RAO serré est la valvulopathie la plus représentée dans les pays développés avec une prévalence augmentant avec l'âge. Les indications au TAVI se sont élargies et sont désormais proposées aux patients à faible risque chirurgical. L'étude échocardiographique de la fonction ventriculaire droite, comme marqueur prédictif de mortalité si présent avant TAVI, bénéficie de nouveaux paramètres plus performants, le RV-LSF et l'analyse du couplage ventriculo-artériel (TAPSE/PAPS et RV-LSF/PAPS), afin d'étudier la présence d'une dysfonction droite préexistante. Nous avons cherché à évaluer si la présence d'une altération du couplage ventriculo-artériel du ventricule droit avant TAVI était associé à un surrisque de survenue de MACE.

Patients et méthode : Notre étude est prospective monocentrique au CHU d'Amiens qui a inclus 197 patients présentant un RAO serré faisant l'objet d'un TAVI. Une échocardiographie a été réalisée pour chaque patient avec recueil des paramètres conventionnels de la fonction ventriculaire droite ainsi que les paramètres dérivés du couplage ventriculo-artériel droits. L'analyse de la capacité diagnostic des rapports du couplage ventriculo-artériel droit à identifier les patients ayant présenté un MACE à 6 mois a été réalisée par une courbe ROC.

Résultats : Sur les 197 patients inclus, 22% (n=44/197) ont présenté un MACE. Le rapport RV-LSF/PAPS (AUC 0,66, 95% IC [0,56-0,75], $P= 0,001$) est plus performant que le rapport TAPSE/PAPS (AUC 0,57, 95% IC [0,49-0,69], $P= 0,001$) pour identifier les patients ayant présenté un MACE. Lors de l'analyse multivariée, les rapports du couplage ventriculo-artériel droits ne sont pas des facteurs indépendants de mauvais pronostic post-TAVI (RVLSF/PAPS > 0,30 HR à 0,52 [0,25-1,10], $P= 0,07$ et TAPSE/PAPS > 0,55 HR à 0,71 [0,35-1,40], $P= 0,34$). Seul le taux de BNP > 200 ng/L (HR 2,0 [1,05-3,60], $P= 0,03$) et la survenue de FA de novo (HR à 2,65 [1,28-5,5], $P= 0,009$) sont associée à un surrisque de survenue de MACE en post-TAVI.

Conclusion : Chez les patients présentant un RAO serré faisant l'objet d'un TAVI, il n'y a pas d'intérêt à la détermination des paramètres du couplage ventriculo-artériel droits, son altération avant procédure n'étant pas un facteur indépendant de mauvais pronostic dans les 6 mois post-TAVI.

Mots clefs : TAVI, couplage ventriculo-artériel, RV-LSF, MACE, rétrécissement aortique

Abstract

Introduction : Aortic stenosis is the most common valvular pathology in developed countries with a prevalence that increases with age. Indications for TAVR are expanding and now benefits low surgical risk patients. The echocardiographic evaluation of the right ventricle function as a marker of poor prognosis if altered before TAVR, benefits from new and more accurate parameters like RV-LSF and ventriculo-arterial coupling (TAPSE/PASP and RV-LSF/PASP). We aimed to evaluate if the assessment of an altered right ventriculo-arterial coupling before TAVR was associated with a higher risk of MACE.

Patients and method: We performed a prospective monocentric study at Amiens University Hospital wich included 197 patients with severe aortic stenosis undergoing TAVR. A TTE was performed for each patient whith the assessment of the right systolic function by using standard parameters and ventriculo-arterial coupling. We evaluated the ability of the ventriculo-arterial coupling parameters to identify patients who presented a MACE within 6 months after TAVR by using ROC curve.

Results: Of the 197 patients enrolled, 22% (n= 44/197) presented a MACE. The RV-LSF/PASP ratio (AUC 0,66, 95% IC [0,56-0,75], $P= 0,001$) is more efficient than the TAPSE/PASP ratio (AUC 0,57, 95% IC [0,49-0,69], $P= 0,001$) to identify patients who presented a MACE. In the multivariate analysis, right ventriculo-arterial coupling is not associated whith a poor prognosis after TAVR (RVLSF/PASP > 0,30 HR 0,52 [0,25-1,10], $P= 0,07$ and TAPSE/PASP > 0,55 HR 0,71 [0,35-1,40], $P= 0,34$). Only the BNP level > 200 ng/L (HR 2,0 [1,05-3,60], $P= 0,03$) and the new onset of atrial fibrillation (HR à 2,65 [1,28-5,5], $P= 0,009$) is associated with a higher risk of MACE after TAVR.

Conclusion: In patients with severe aortic stenosis undergoing TAVR, there is no need to evaluate the right ventriculo-arterial coupling as its alteration before TAVR is not an independent factor of poor prognosis within 6 months after TAVR.

Key words: TAVR, ventriculo-arterial coupling, RV-LSF, MACE, aortic stenosis