

UNIVERSITÉ DE LILLE
FACULTÉ DE MÉDECINE HENRI WAREMBOURG
Année : 2021

THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT
DE DOCTEUR EN MÉDECINE

**Apport de l'évaluation en trois dimensions du ventricule droit en
péri-opératoire d'une chirurgie de remplacement valvulaire aortique
sous circulation extracorporelle**

Présentée et soutenue publiquement le 3 mai 2021 à 18 heures
Au Pôle Recherche
Par Jean-Sébastien SAVART

JURY

Président :

Monsieur le Professeur David MONTAIGNE

Assesseurs :

Monsieur le Professeur François PONTANA

Monsieur le Docteur Augustin COISNE

Directeur de thèse :

Madame le Docteur Amandine COPPIN-JANDEAUX

Avertissement

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

Liste des abréviations

2D : 2 Dimensions

3D : 3 Dimensions

AP : Artère Pulmonaire

AVC : Accident Vasculaire Cérébral

CCVG : Chambre de Chasse du Ventricule Gauche

CEC : Circulation Extra-Corporelle

CHU : Centre Hospitalier Universitaire

dp/dtmax : vitesse d'augmentation de la pression intra ventriculaire droite

DTC : Décès Toutes Causes

EFCV : Explorations Fonctionnelles Cardiovasculaires

ESC : European Society of Cardiology

ETT : Echographie Trans-Thoracique

FA : Fibrillation Atriale

FAPO : Fibrillation Atriale Post-Opératoire

FC : Fréquence Cardiaque

FEVD/G : Fraction d'Ejection du Ventricule Droit/Gauche

FRS : Fraction de Raccourcissement de Surface

IC : Insuffisance Cardiaque

IDM : Infarctus Du Myocarde

IMC : Indice de Masse Corporelle

IRM : Imagerie par Résonance Magnétique

ITV : Intégrale Temps Vitesse

IVA : Isovolumic Acceleration

MACE(s) : Major Adverse Cardiac Event(s)

NYHA : New-York Heart Association

PAC : Pontage Aorto-Coronarien

PAD : Pression Artérielle Diastolique

PAPm : Pression Artérielle Pulmonaire moyenne

PAPO : Pression Capillaire Pulmonaire

PAPs : Pression Artérielle Pulmonaire systolique

PAS : Pression Artérielle Systolique

PGSA : ParaSternale Grand Axe

RAO : Rétrécissement Aortique

RMPI (ou indice de Tei) : Right Myocardial Performance Index

RVEDA : Surface télédiastolique du ventricule droit

RVESA : Surface télésystolique du ventricule droit

RV Ees : élastance télésystolique du ventricule droit

RV Ea : élastance artérielle pulmonaire

RV PC coupling : Couplage ventriculo-artériel pulmonaire

SDTI : DTI-Derived Tricuspid Lateral Annular Systolic Velocity

SLVD : 2D-Strain Longitudinal de la paroi libre du VD

TAPSE : Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion

TAVI : Transcatheter Aortic Valve Implantation

TEp : Temps d'Ejection pulmonaire

TCIV : Temps de Contraction Isovolumique

TRIV : Temps de Relaxation Isovolumique

VD-AP : Ventricule Droit-Artère Pulmonaire

VD/VG : Ventricule Droit/Ventricule Gauche

VES : Volume d'Ejection Systolique

VEVD/G : Volume Ejecté du Ventricule Droit/Gauche

VTDVD/G : Volume Télédiastolique du Ventricule Droit/Gauche

VTSVD/G : Volume Télésystolique du Ventricule Droit/Gauche

Sommaire

I. Introduction

II. Objectifs

III. Matériels et méthodes

A. Design de l'étude et population

1) *Critères d'inclusion*

2) *Critères d'exclusion*

3) *Sur le plan éthique*

B. Données cliniques, biologiques et chirurgicales

C. Données échocardiographiques transthoraciques

1) *Paramètres évaluant les pressions pulmonaires*

2) *Paramètres évaluant la fonction longitudinale du ventricule droit*

3) *Paramètres évaluant la fonction globale du ventricule droit*

D. Suivi des patients

E. Analyses statistiques

IV. Résultats

A. Description de la population étudiée

1) *Données clinico-biologiques de la population*

- a. Données clinico-biologiques pré-opératoires
- b. Données clinico-biologiques per et post-opératoires

2) *Données échocardiographiques transthoraciques pré et post-opératoires*

- a. Données échocardiographiques de base et de fonction systolique longitudinale du ventricule droit
- b. Données échocardiographiques de fonction systolique globale du ventricule droit

3) *Données du VG et du VD en IRM cardiaque*

B. Étude de faisabilité de la 3D du VD en ETT

1) *Faisabilité de la 3D du VD en pré et post-opératoire*

2) *Reproductibilité intra et inter-observateur des données du VD en ETT 3D*

3) *Corrélation entre les données de volumes en ETT 3D et celles de l'IRM cardiaque en pré-opératoire*

4) *Corrélation entre les mesures de volumes éjectés sous-aortiques et sous-pulmonaires mesurés en ETT 2D, 3D et en IRM en pré-opératoire*

5) *Synthèse de l'étude de faisabilité de la 3D du VD*

C. Évolution des paramètres de fonction du VD en post-opératoire de chirurgie cardiaque sous CEC

D. Suivi des patients

1) *Description des évènements*

2) *Courbe de survie générale sans MACE + DTC*

3) *Facteurs pronostics*

4) *L'accélération isovolumique (IVA). Test du Log Rank, courbes de survie*

5) *Recherche de paramètres de fonction ventriculaire droite pronostics en analyse de Cox proportional hazard regression*

6) *Analyse de Cox Backward*

7) *Recherche d'un seuil d'IVA déterminant péjorativement le pronostic : courbe ROC*

V. Discussion

A. Synthèse des résultats

1) *Évolution des paramètres de fonction systolique du VD en péri-opératoire de chirurgie cardiaque sous CEC*

2) *Facteurs pronostics*

3) *Comparaison aux recommandations internationales*

B. Limites du travail :

- 1) *Limites techniques*
- 2) *Limites des estimations*
- 3) *Limites liées aux échantillons*

C. Perspectives :

- 1) *Agrandir la cohorte de patients ayant une ETT 3D du VD avec matériels de dernières générations*
- 2) *Agrandir la cohorte de patients (étendre à d'autres valvulopathies)*

VI. Conclusion

Bibliographie

Annexes

I. Introduction :

Le rétrécissement aortique est la valvulopathie primitive amenant le plus fréquemment à la chirurgie ou à une intervention par cathétérisme en Europe et en Amérique du Nord, dont la prévalence s'accroît avec le vieillissement de la population (1).

Dans une optique d'amélioration de la prise en charge de cette valvulopathie, de nouvelles classifications du rétrécissement aortique ont été proposées (2)(3) en sus des recommandations de l'ESC de 2017 (1). Ces dernières mettent en exergue l'impact pronostic de la dysfonction ventriculaire droite mise en évidence en préopératoire de remplacement valvulaire aortique par voie chirurgicale ou par TAVI, dysfonction mise en évidence via l'utilisation courante de paramètres évaluant la fonction longitudinale (TAPSE / SDTI) (4).

Bien que la fonction ventriculaire droite pré-opératoire soit pronostic, son appréciation en post-opératoire par ces mêmes paramètres de fonction longitudinale n'est plus pronostic à long terme (5)(6), malgré que ces paramètres se dégradent en post-opératoire de chirurgie cardiaque sous CEC (5)(7)(8).

Plusieurs hypothèses ont été émises afin d'expliquer l'absence de caractère pronostic de ces paramètres en post-opératoire de chirurgie valvulaire aortique sous CEC.

Premièrement, l'hypothèse selon laquelle la modification de la conformation du ventricule droit après péricardotomie rendrait la fonction longitudinale moins prépondérante à son fonctionnement et dont l'évaluation serait par conséquent inappropriée (9)(10).

Deuxièmement, l'hypothèse selon laquelle la dégradation de ces paramètres longitudinaux, qui semble partiellement réversible, serait trop peu importante et/ou trop courte pour induire une modification du pronostic à long terme (5).

Enfin, l'hypothèse selon laquelle l'évaluation de la fonction ventriculaire droite, par la seule mesure de paramètres longitudinaux, serait réductrice, face à un ventricule droit se contractant dans les 3 plans de l'espace, avec nécessité d'une évaluation par des paramètres d'appréciation plus globale du ventricule droit (10).

L'avènement de nouveaux outils comme le strain 2D (2 dimensions) ou la mesure en 3D (3 dimensions) du VD permettent une estimation plus fiable de la fonction ventriculaire droite.

En effet, dans une population de patients en attente de chirurgie de valvulopathies gauches ou de pontages aorto-coronaires, le 2D-Strain de la paroi libre du VD permet de reclasser des patients considérés à tort comme ayant une fonction ventriculaire droite préservée et présente un caractère pronostic en pré-opératoire (11). De même, l'évaluation en 3D du VD, bien validée face à l'IRM cardiaque, gold standard de l'évaluation du VD (12) , semble être pronostic dans une population de patients présentant des pathologies cardiaques diverses (cardiopathie valvulaire, cardiopathie ischémique, cardiomyopathie dilatée ou encore cardiomyopathie hypertrophique)(13).

II. Objectifs :

À l'heure actuelle, les paramètres usuels d'évaluation de la fonction ventriculaire droite utilisés en post-opératoire de chirurgie cardiaque sous CEC, chez des patients qui présentent une fonction ventriculaire droite normale en pré-opératoire, ne permettent pas de prédire les évènements cardiovasculaires et la mortalité à long terme.

Dans ce travail, nous investiguons, dans une cohorte prospective, l'évolution et le caractère pronostic de paramètres d'évaluation classique de la fonction ventriculaire droite, mais surtout, du 2D-Strain de la paroi libre du VD et de la 3D du VD après remplacement valvulaire aortique chirurgical sous CEC pour rétrécissement aortique serré, chez des patients ayant une fonction ventriculaire droite pré-opératoire normale.

Nous émettons l'hypothèse, que la fonction ventriculaire droite évaluée par les paramètres longitudinaux, se dégrade en post-opératoire et que seuls le 2D-Strain de la paroi libre du VD et la 3D du VD présentent un caractère pronostic à long terme.

III. Matériels et méthodes :

A. Design de l'étude et population :

Une étude observationnelle prospective monocentrique a été menée au sein de notre centre de référence en valvulopathie (CHU Lille) avec réalisation des inclusions entre février 2018 et septembre 2020.

1) Critères d'inclusion :

Tous les patients présentant un rétrécissement valvulaire aortique serré à fraction d'éjection du ventricule gauche préservée ($FEVG \geq 45\%$) et qui étaient hospitalisés pour remplacement valvulaire aortique, avec ou sans pontage aorto-coronarien associé (PAC), sous circulation extra-corporelle (CEC), ont été inclus.

Le caractère serré du rétrécissement aortique était défini par les recommandations de l'European Society of Cardiology (ESC) concernant les pathologies valvulaires éditées en 2017 (1).

2) Critères d'exclusion :

Les critères d'exclusion étaient représentés par : les rétrécissements aortiques à fraction d'éjection ventriculaire gauche altérée ($FEVG < 45\%$), les femmes en âge de procréer, les patients mineurs < 18 ans, les cardiopathies congénitales, les antécédents de chirurgie cardiaque, la présence d'une autre valvulopathie significative, les chirurgies dans un contexte d'urgence ou l'impossibilité d'obtenir un consentement éclairé, les patients présentant un trouble du rythme supra-ventriculaire ou ventriculaire au moment de l'acquisition des données échocardiographiques (l'acquisition de volumes en 3 dimensions nécessitant un intervalle RR

régulier), les rétrécissements aortiques sous ou supra valvulaires, les patients présentant une dysfonction ventriculaire droite en pré-opératoire évaluée de façon multiparamétrique (présence d'une majorité de paramètres altérés parmi les suivants : TAPSE < 17 mm, SDTI < 10 cm/s, FRS < 35%, RMPI > 0,55, dp/dtmax < 400 mmHg/s).

3) Sur le plan éthique :

Les patients inclus étaient informés de manière éclairée des modalités de l'étude et un consentement écrit était obtenu. Un avis favorable pour l'étude a été obtenu auprès du Comité de Protection des Personnes Nord-Ouest (NCT03376165). L'ensemble de nos travaux s'est inscrit dans le respect de la déclaration d'Helsinki.

B. Données cliniques, biologiques et chirurgicales :

Les antécédents, les traitements, les données démographiques et cliniques pré-opératoires de chaque patient étaient recueillis de façon prospective. La maladie coronaire était définie comme la présence d'un antécédent d'infarctus du myocarde, et/ou par un antécédent de revascularisation coronaire et/ou la présence d'une sténose angiographique d'au moins 50 % d'une artère coronaire native.

Les complications post-opératoires, jusqu'à la sortie d'hospitalisation du patient, relevées étaient les suivantes : la nécessité d'un support inotrope, la survenue d'un infarctus du myocarde péri-opératoire de type 1 ou 5, une intubation prolongée > 48h, une fibrillation atriale post-opératoire (FAPO), des troubles conductifs avec ou sans nécessité d'appareillage, une reprise chirurgicale, une tamponnade, une infection, une insuffisance rénale aiguë définie selon les critères KDIGO, les décès.

Les données chirurgicales recueillies étaient les suivantes : nombre de PAC et artère revascularisée, type de valve implantée (biologique ou mécanique) et sa taille, la durée de CEC

et de clampage aortique. La cardioplégie était réalisée selon l'habitude du centre à savoir une cardioplégie de type sang froid avec ajout de potassium.

C. Données échocardiographiques transthoraciques :

Une ETT complète de repos était effectuée conformément aux recommandations actuelles en utilisant les modes M, 2D et 3D, en utilisant des systèmes d'échocardiographie Vivid 9 ou E95 (GE Healthcare, Vingmed Ultrasound, Horten, Norway[®]) avant la chirurgie cardiaque (J-1), avant la sortie d'hospitalisation (J7) et à 1 an (J365). Les boucles étaient sauvegardées pour analyse ultérieure via le logiciel de station de travail clinique EchoPAC PC (GE Medical System[®]).

1) Paramètres évaluant les pressions pulmonaires :

La pression artérielle pulmonaire systolique (PAPs) était estimée par la vitesse maximale du flux d'insuffisance tricuspide, mesurée en doppler continu, en y appliquant l'équation de Bernoulli modifiée et en y ajoutant l'estimation de la pression siégeant dans l'oreillette droite, obtenue par mesure de la veine cave inférieure et de sa variation respiratoire (14).

La pression artérielle pulmonaire moyenne (PAPm) était dérivée de la PAPs en utilisant la formule de Chemla : $PAPm = 0,61 \times PAPs + 2$ (15).

2) Paramètres évaluant la fonction longitudinale du ventricule droit :

La fonction longitudinale du ventricule droit était évaluée en mesurant le TAPSE, le pic de l'onde S en doppler pulsé tissulaire (SDTI) et le 2D-Strain longitudinal de la paroi libre du ventricule droit (16)(17)(18)(19).

Le TAPSE était obtenu en utilisant le mode M sur le bord latéral de l'anneau tricuspide en coupe apicale 4 cavités afin d'apprécier son mouvement longitudinal vers l'apex (16)(18)(19).

Le SDTI était obtenu par doppler pulsé tissulaire appliqué sur le bord latéral de l'anneau tricuspide en coupe apicale 4 cavités (16)(18)(19).

La mesure du 2D-Strain longitudinal de la paroi libre du ventricule droit était obtenue en post-traitement sur station EchoPAC en utilisant une coupe apicale 4 cavités centrée sur le ventricule droit. Il s'agit d'une mesure non angle dépendante et non basée sur le doppler (17)(18)(19).

3) Paramètres évaluant la fonction globale du ventricule droit :

La surface télédiastolique (RVEDA) et la surface télésystolique (RVESA) du ventricule droit étaient mesurées en coupe apicale 4 cavités centrée sur le ventricule droit.

La fraction de raccourcissement de surface du ventricule droit (FRS) était définie comme le pourcentage de variation entre RVEDA et RVESA (18)(19).

L'élastance du ventricule droit (RV Ees) était calculée par la formule : $RV\ Ees = PAPm / \text{volume télésystolique du ventricule droit en 3D (VTSVD 3D)}$ (6)(20).

L'élastance artérielle pulmonaire (RV Ea) par la formule : $RV\ Ea = PAPm / \text{volume d'éjection ventriculaire droit en 3D (VEVD 3D)}$ (6)(20).

Le couplage ventriculo-artériel pulmonaire (RV PC coupling) était défini comme le ratio de RV Ea sur RV Ees (6)(20).

Le travail d'éjection du ventricule droit ($PAPm \times VEVD\ 3D$) était également calculé (6)(20).

Le doppler pulsé tissulaire était utilisé pour obtenir l'accélération isovolumique (IVA) ainsi que l'index de performance myocardique du ventricule droit (RMPI) connu pour être le ratio du

temps de contraction isovolumique et du temps de relaxation isovolumique sur le temps d'éjection (18)(19).

L'index de contraction isovolumique (dp/dtmax) était également mesuré en utilisant le doppler continu sur la fuite tricuspide (18).

Les volumes télédiastolique et télésystolique du ventricule droit, son volume d'éjection ainsi que sa fraction d'éjection étaient mesurés en 3D en utilisant l'outil 4D Auto RVQ de GE.

La 3D du ventricule droit a été validée versus IRM dans de précédents travaux réalisés par notre équipe ainsi que dans la littérature internationale (12)(21).

Dans notre travail, les paramètres de volume et de fonction du VD issus des analyses 4D ont été confrontés à l'IRM cardiaque pour 48 patients. Le VEVD 3D a également été comparé au volume d'éjection ventriculaire gauche (VEVG) mesuré en 2D par méthode de Simpson Biplan, par équation de continuité par mesure de la chambre de chasse ventriculaire gauche et de l'ITV sous aortique en doppler pulsé, ainsi que par 3D.

Enfin, l'analyse de la fonction ventriculaire droite étant complexe, de part la géométrie du ventricule droit, nous avons défini un critère de dysfonction ventriculaire droite multiparamétrique à partir de 5 paramètres classiques. Nous considérons qu'il existait une dysfonction ventriculaire droite lorsque strictement plus de 50 % des paramètres disponibles suivant étaient anormaux : TAPSE < 17 mm ; SDTI < 10 cm/s ; RMPI > 0,55 ; dp/dtmax < 400 mmHg/s ; FRS < 35% (22).

D. Suivi des patients :

Les patients ont été suivis entre février 2018 et février 2021 par consultation avec examen clinique, appel téléphonique du médecin aux patients ou apparentés, consultation des comptes-

rendus d'autopsie ou des certificats de décès.

Le critère de jugement primaire de nos travaux était composite et comprenait les MACEs (Major Adverse Cardiac Events), à savoir la survenue de décès de cause cardiovasculaire, les accidents vasculaires cérébraux, les hospitalisations de causes cardiaques, les insuffisances cardiaques aiguës et les revascularisations coronaires mais aussi les décès toutes causes (DTC).

Pour les patients sans événement, la date de dernier contact était utilisée pour l'analyse de survie.

E. Analyses statistiques :

Les analyses statistiques et les graphiques étaient réalisés à l'aide du logiciel Graph Pad Prism[®] (version 9.0).

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 avant ou après transformation logarithmique. Les variables qualitatives étaient décrites par leur effectif et leur fréquence associée exprimée en pourcentage.

Pour les variables quantitatives de distribution normale d'intérêt, les analyses de corrélation étaient réalisées selon une régression linéaire caractérisée par r^2 et p-value.

Un test Anova apparié à un facteur sur mesures répétées était utilisé afin de comparer les paramètres échocardiographiques à (J-1), (J7) et (J365) pour un même patient.

Les valeurs de $p < 0,05$ ont été considérées comme indiquant une différence statistiquement significative pour tous les tests.

Afin d'évaluer le caractère pronostic à 1 an des différents paramètres recueillis, une courbe de survie sans survenue de notre critère de jugement primaire était réalisée pour la population entière. La population ayant présenté un événement était comparée à celle n'en ayant pas présenté par des analyses univariées en utilisant le test t de Student pour les variables quantitatives de distribution normale, le test de Mann et Whitney en cas de distribution non normale, le test du chi 2 pour les variables qualitatives, le test du chi 2 for trend pour les variables ordinales.

Concernant les paramètres de fonction ventriculaire droite présentant une différence significative dans les deux populations en analyse univariée, des courbes de survie étaient réalisées, en séparant la population par quartile du paramètre étudié.

Un test de log rank for trend permettait de rechercher une différence significative entre les courbes de survie.

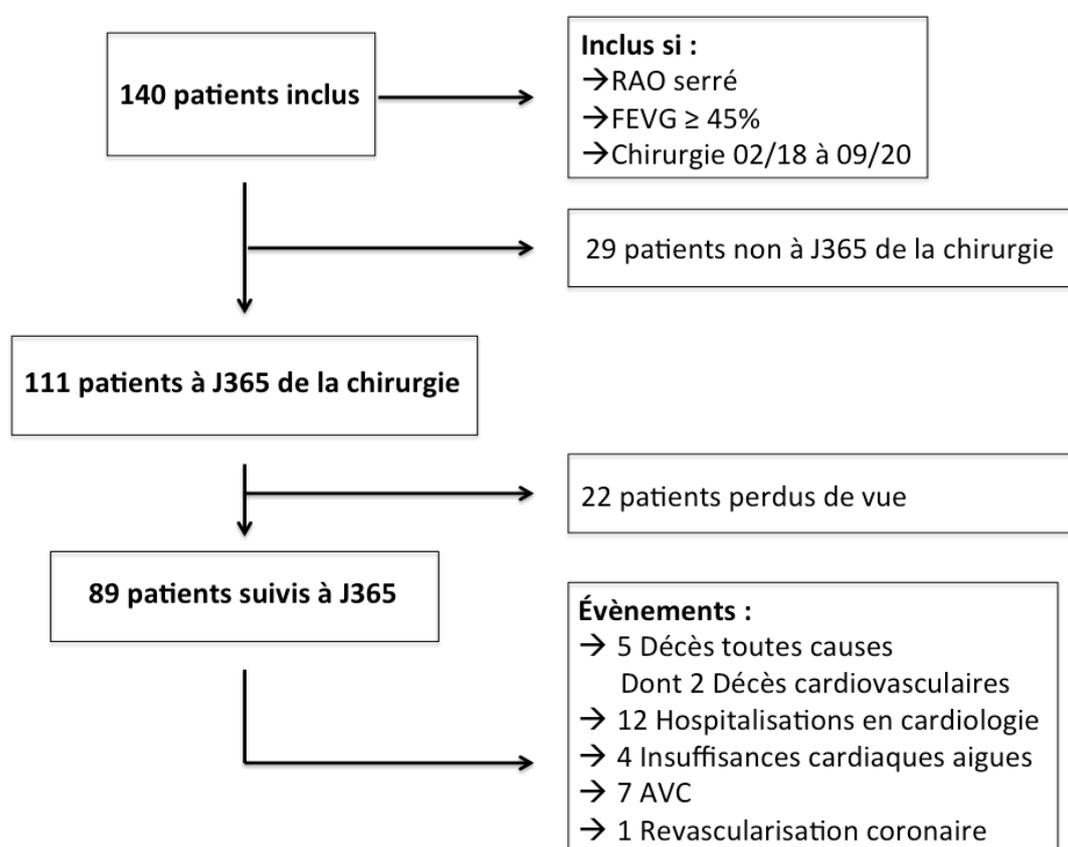
Une analyse de COX proportional hazards regression était réalisée pour rechercher une association pronostic entre les paramètres de fonction ventriculaire droite et la survenue du critère de jugement primaire ; puis une analyse de COX backward reprenant les différents paramètres de fonction ventriculaire droite significatifs permettant de rechercher le meilleur facteur prédictif de décès de cause cardiovasculaire ou non et de survenue de MACEs. Une courbe ROC était construite pour le paramètre le plus associé à la survenue d'événements.

IV. Résultats :

A. Description de la population étudiée :

Entre février 2018 et septembre 2020, 140 patients présentant un rétrécissement aortique serré avec une FEVG $\geq 45\%$, et opérés d'un remplacement valvulaire aortique sous CEC, ont été inclus (Figure 1) :

Figure 1 : Flow Chart :



1) Données clinico-biologiques de la population :

a. Données clinico-biologiques pré-opératoires (Tableau 1) :

La population était âgée en moyenne de 67,7 +/- 7,9 ans, comportait 57,9 % d'hommes (81 sur 140), symptomatiques (65,7 % au moins au stade 2 de la NYHA), à haut risque cardiovasculaire avec 18,6 % de fumeurs, 35,7 % de diabétiques, 65 % d'hypertendus, en surpoids (IMC 28,8 +/- 5,8 kg/m²).

Les principales comorbidités étaient un antécédent de fibrillation atriale paroxystique ou persistante chez 14,3% et la survenue d'un accident vasculaire cérébral chez 7,9 % de la population. Nous retrouvions 38,6 % de coronariens.

La distance parcourue au test de marche de 6 minutes était de 407 +/- 105 mètres.

La population était à faible risque opératoire avec un Euroscore II moyen s'élevant à 1,09 %.

Tableau 1 : Caractéristiques clinico-biologiques de base des patients opérés d'un remplacement valvulaire aortique sous CEC (n=140).	
Démographie	Total (n=140)
Âge (années) T	67,7 +/- 7,9
Genre (masculin) n (%) ø	81 (57,9)
IMC (kg/m ²) T	28,8 +/- 5,8
Dyspnée stade NYHA	
Stade 1 n (%) ø	48 (34,3)
Stade 2 n (%) ø	74 (52,9)
Stade 3 n (%) ø	16 (11,4)
Stade 4 n (%) ø	2 (1,4)
Facteurs de risque et comorbidités	
Tabagisme n (%) ø	26 (18,6)
Diabète n (%) ø	50 (35,7)
Hypertension artérielle n (%) ø	91 (65)
Syndrome d'apnée du Sommeil n (%) ø	20 (14,3)
Coronaropathie n (%) ø	54 (38,6)
Syndrome coronarien aigu n (%) ø	7 (5)
Accident vasculaire cérébral n (%) ø	11 (7,9)
FA paroxystique ou persistante n (%) ø	20 (14,3)
Biologie pré-opératoire	
Créatininémie (mg/l) T	9,7 +/- 7,4
DFG par Cockcroft et Gault (ml/min) T	92,1 +/- 35,3
CRP (mg/l) ⁺⁺	3 [3 ; 4]
BNP pré-opératoire (ng/ml) ⁺⁺	47,1 [41,9 ; 63,4]
Traitements	
Aspirine n (%) ø	79 (56,4)
Anticoagulants oraux n (%) ø	19 (13,6)
Béta-bloquant n (%) ø	51 (36,4)
IEC ou ARA2 n (%) ø	79 (56,4)
Statines n (%) ø	79 (56,4)
Diurétiques n (%) ø	50 (35,7)
Inhibiteur Calcique n (%) ø	29 (20,7)
Metformine n (%) ø	34 (24,3)
Insuline n (%) ø	9 (6,4)
Score de risque préopératoire	
Euroscore II (%) ø ⁺⁺	1,09 [0,77 ; 1,85]
Test de marche de 6 minutes	
Distance parcourue (m) T	407 +/- 105
ø effectif nombre n (%) ; ⁺⁺ Médiane [Q1-Q3], variable de distribution non normale ; T Moyenne ± déviation standard, variable de distribution normale ; CEC = Circulation Extra Corporelle ; IMC = Indice de Masse Corporelle ; NYHA = Échelle de dyspnée ; FA = Fibrillation Atriale ; CRP = C-Reactive-Protein ; DFG = Débit de Filtration Glomérulaire ; BNP = Béta Natriuretic Peptide ; ARA2 = Antagoniste des Récepteurs de l'Angiotensine 2 ; IEC = Inhibiteur de l'Enzyme de Conversion.	

b. Données clinico-biologiques per et post-opératoires (Tableau 2) :

La durée moyenne de CEC était de 85,5 +/- 30 minutes.

Il était notable que 23,6 % de notre population, soit 33 patients, a pu bénéficier d'au moins un pontage aorto-coronarien de manière concomitante au remplacement valvulaire aortique.

Il était également à noter la forte proportion de patients présentant une bicuspidie aortique qui constituait 35 % de notre population.

Tableau 2 :		Caractéristiques clinico-biologiques per et post-opératoires des patients opérés d'un remplacement valvulaire aortique sous CEC (n=140).
		Total (n=140)
<u>Données per opératoires</u>		
Pontages aorto-coronariens n (%) ø		33 (23,6)
PAC de l'interventriculaire antérieure n (%) ø		32 (22,9)
PAC de la marginale n (%) ø		6 (4,3)
PAC de la coronaire droite n (%) ø		6 (4,3)
PAC de l'interventriculaire postérieure n (%) ø		5 (3,6)
PAC de la diagonale n (%) ø		2 (1,4)
Durée de CEC (min) T		85,5 +/- 30
Durée de clampage aortique (min) T		66,1 +/- 25,3
Bicuspidie n (%) ø		49 (35)
<u>Données post opératoires</u>		
FAPO n (%) ø		60 (42,9)
IDM de type V péri-opératoire n (%) ø		20 (14,3)
Première troponine (pg/ml) ⁺⁺		252,5 [194,5 ; 382,5]
ø effectif nombre n (%) ; ⁺⁺ Médiane [Q1-Q3], variable de distribution non normale ; T Moyenne ± déviation standard, variable de distribution normale ; CEC = Circulation Extra Corporelle ; PAC = Pontage Aorto-Coronarien ; FAPO = Fibrillation Atriale Post-Opératoire ; IDM = Infarctus du Myocarde.		

2) Données échocardiographiques transthoraciques pré et post-opératoires :

Une échocardiographie était réalisée chez tous les patients en pré-opératoire à J-1 (n=140), chez 137 patients sur 140 en post-opératoire à J7 (un décès en post-opératoire précoce et deux patients n'ayant pu bénéficier d'une ETT en post-opératoire dans notre service) et chez 82 patients sur 111 à J365 (5 décès étant survenus au total dans l'année suivant la chirurgie, 2 ETT ayant été réalisées hors du protocole de recherche et 22 patients étant donc considérés perdus de vue).

a. Données échocardiographiques de base et de fonction systolique longitudinale du ventricule droit (Tableau 3) :

L'analyse 3D du VG était possible chez 99 patients (96,1 %) en pré-opératoire devant une échogénicité insuffisante chez 4 patients. 37 patients n'ont pas pu bénéficier d'acquisition 3D suite à des problèmes matériels avec notamment absence de sonde 3D disponible.

À J7, l'analyse 3D du VG était possible chez 79 patients (87,8 %) face à une échogénicité insuffisante chez 11 patients et absence d'acquisition 3D possible chez 27 patients suite à des problèmes matériels et chez 20 patients présentant une fibrillation atriale.

Enfin, à J365, l'analyse 3D du VG était possible chez 50 patients (90,9 %) devant une échogénicité insuffisante chez 5 patients et absence d'acquisition 3D disponible chez 25 patients secondaire à des problèmes matériels et chez 2 patients présentant une fibrillation atriale.

Les pressions de remplissage ventriculaires gauche avaient un profil tendant à être élevé en pré-opératoire avec notamment un rapport E/E' à 12,2 +/- 5,6, une onde E' latérale à 7,8 +/- 2,5 cm/s, une onde E' septale à 6,4 +/- 2,9 cm/s, une Vmax de l'insuffisance tricuspide à 2,74 +/- 0,4 m/s et une oreillette gauche dilatée à 41,4 +/- 17,3 ml/m².

La masse ventriculaire gauche indexée était augmentée à 103 +/- 29 g/m² en pré opératoire et ce de manière concentrique comme vu classiquement dans le rétrécissement aortique serré avec un ventricule gauche s'adaptant de façon chronique à l'élévation de la post-charge.

Le ventricule droit n'était pas dilaté à 28,7 +/- 4,6 mm en coupe parasternale grand axe.

Tableau 3 (partie 1) :	Données échocardiographiques de base et de fonction longitudinale VD des patients opérés d'un remplacement valvulaire aortique sous CEC (n=140).		
	J0	J7	J365
	Total (n=140)	Total (n=137)	Total (n=82)
Constantes pendant l'échocardiographie transthoracique			
Pression Artérielle Systolique (mmHg) T	140 +/- 20	132 +/- 19	151 +/- 22
Pression Artérielle Diastolique (mmHg) T	77 +/- 12	71 +/- 11	81 +/- 13
Fréquence Cardiaque (batt/min) T	72 +/- 14	83 +/- 17	69 +/- 11
Surface Corporelle (m²) T	1,93 +/- 0,24	1,92 +/- 0,22	1,93 +/- 0,22
Paramètres VG 2D			
FEVG (%) par SBP T	64 +/-11	63 +/-10	66 +/-8
VTDVG (ml) en 2D T	117 +/- 43	106 +/- 31	109 +/- 22
VTSVG (ml) en 2D T	44 +/- 30	39 +/- 24	38 +/- 15
VEVG (ml) par SBP T	73 +/- 20	66 +/- 14	71 +/- 13
VEVG (ml) par EC T	73 +/- 19	64 +/- 16	71 +/- 13
Paramètres VG 3D			
	n = 99	n = 79	n = 50
VTDVG (ml) en 3D T	119 +/- 45	110 +/- 31	107 +/- 25
VTSVG (ml) en 3D T	48 +/- 31	45 +/- 25	37 +/- 15
VEVG (ml) en 3D T	71 +/- 20	65 +/- 12	71 +/- 15
FEVG (%) en 3D T	61 +/- 10	60 +/-10	66 +/- 8
T Moyenne ± déviation standard pour les variables de distribution normale ; 2D/3D = 2/3 Dimensions ; FEVG = Fraction d'éjection du VG ; SBP = Simpson Biplan ; EC = Equation de Continuité ; VG = Ventricule Gauche ; VEVG = Volume d'éjection du VG ; VTDVG = Volume télé-diastolique du VG ; VTSVG = Volume télé-systolique du VG.			

Tableau 3 (partie 2) :	Données échocardiographiques de base et de fonction longitudinale VD des patients opérés d'un remplacement valvulaire aortique sous CEC (n=140).		
	J0	J7	J365
	Total (n=140)	Total (n=137)	Total (n=82)
Paramètres valvulaires aortiques			
Vitesse maximale aortique (m/s) T	4,5 +/- 1,4	2,4 +/- 0,6	2,4 +/- 0,5
Gradient moyen aortique (mmHg) T	50 +/- 24	14 +/- 7	13 +/- 6
SFAo (cm ²) T	0,7 +/- 0,2	1,6 +/- 0,6	1,5 +/- 0,4
Index de Perméabilité T	0,17 +/- 0,04	0,41 +/- 0,1	0,38 +/- 0,07
Paramètres standards VD, temps de contraction et relaxation VD, pressions pulmonaires			
Diamètre VD en PSGA (mm) T	28,7 +/- 4,6	28 +/- 4,3	31 +/- 4
TCIV (ms) T	74 +/- 23	66 +/- 19	82 +/- 20
TRIV (ms) T	79 +/- 29	99 +/- 40	114 +/- 40
TEp (ms) T	280 +/- 43	179 +/- 48	235 +/- 50
PAPs (mmHg) ++	32,9 [27 ; 37] n=76	29 [25 ; 37] n=96	30,5 [26 ; 35] n=41
PAPm (mmHg) ++	21,8 [18,5 ; 24,6] n=78	19 [16,6 ; 24,6] n=98	20,3 [17,9 ; 23,5] n=41
Paramètres de fonction longitudinale en mode TM et 2D			
TAPSE (mm) T	23,9 +/- 4,2	13,1 +/- 3,2	18 +/- 3,7
SDTI (cm/s) T	12,9 +/- 2,7	8,7 +/- 2,1	10,3 +/- 2,2
Strain paroi libre VD (%) T	-24,1 +/- 5,7 n=84	-15,1 +/- 5,4 n=92	-21,2 +/- 4,6 n=54

++ Médiane [Q1-Q3] pour les variables de distribution non normale ;
T Moyenne ± déviation standard pour les variables de distribution normale ;
2D = 2 Dimensions ; TM = Temps Mouvement ; PAPm = Pression artérielle pulmonaire moyenne ; PAPs = Pression artérielle pulmonaire systolique ; PSGA = ParaSternale Grand Axe ; SFAo = Surface Fonctionnelle Aortique ; SDTI = onde systolique doppler tissulaire ; TAPSE = Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion ; TEp = Temps d'éjection pulmonaire ; TCIV = Temps de contraction isovolumique ; TRIV = Temps de relaxation isovolumique ; VD = Ventricule Droit.

b. Données échocardiographiques de fonction systolique globale du VD (Tableau 4) :

Les paramètres de fonction globale du VD en 2D et en 3D étaient dans les valeurs normales en pré-opératoire.

La fonction ventriculaire droite était normale en pré-opératoire en analyse multi-paramétrique.

Les volumes ventriculaires droits étaient non augmentés en pré et en post opératoire à J7 comme à J365.

Les valeurs d'élastance télé-systolique du VD, de l'élastance artérielle pulmonaire étaient dans les valeurs normales en pré et en post-opératoire de même que le couplage ventriculo-artériel et le travail d'éjection ventriculaire droit.

Tableau 4 :	Données échocardiographiques de fonction globale VD des patients opérés d'un remplacement valvulaire aortique sous CEC (n=140).		
	J0	J7	J365
	Total (n=140)	Total (n=137)	Total (n=82)
Paramètres de fonction globale en 2D et 3D			
FRS (%) T	50,9 +/- 9,5 n=112	50,5 +/- 9,6 n = 111	49,1 +/- 7,5 n = 73
IVA (m/s ²) ⁺⁺	2,9 [2,1 ; 3,6] n = 113	2,15 [1,57 ; 2,75] n = 116	2 [1,52 ; 3,0] n = 74
RMPI (indice de Tei) ⁺⁺	0,52 [0,46 ; 0,62] n = 113	0,9 [0,7 ; 1,20] n = 117	0,87 [0,68 ; 1,02] n = 76
dp/dtmax VD (mmHg/s) ⁺⁺	504 [342 ; 713] n = 75	500 [346 ; 729] n = 94	572 [384 ; 776] n = 39
Dysfonction VD en évaluation multiparamétrique n (%) \emptyset	0 (0%)	93 (67,8%)	13 (15,3%)
3 dimensions	n = 97	n = 76	n = 48
VTDVD (ml) T	117,7 +/- 35,5	115,6 +/- 30,3	127 +/- 31,3
VTSVD (ml) T	53,3 +/- 22,8	52,6 +/- 20,3	57,9 +/- 20,1
VEVD (ml) T	64,4 +/- 17,3	62,5 +/- 20,6	69,1 +/- 14,3
FEVD (%) T	55,6 +/- 8,6	55,3 +/- 8,3	55,1 +/- 6,5
Élastance et couplage VD-AP	n = 64	n = 69	n = 28
Élastance télé-systolique VD Ees VD (mmHg/ml) ⁺⁺	0,4 [0,3 ; 0,5]	0,4 [0,3 ; 0,5]	0,36 [0,28 ; 0,47]
Élastance AP Ea AP (mmHg/ml) ⁺⁺	0,3 [0,3 ; 0,4]	0,32 [0,27 ; 0,44]	0,27 [0,24 ; 0,38]
Couplage VD-AP ⁺⁺	0,8 [0,6 ; 1]	0,8 [0,7 ; 1]	0,8 [0,7 ; 1]
Travail d'éjection du VD (ml.mmHg) ⁺⁺	1403 [984 ; 1680]	1306 [1066 ; 1588]	1399 [1263 ; 1626]
\emptyset effectif nombre n (%) ; ⁺⁺ Médiane [Q1-Q3] des valeurs ; T Moyenne \pm déviation standard ; 2D/3D = 2/3 Dimensions ; AP = Artère pulmonaire ; VD = Ventricule Droit ; FRS = Fraction de Raccourcissement de Surface ; IVA = Isovolumic Acceleration ; RMPI = Right Ventricular Myocardial Performance Index ; FEVD = Fraction d'éjection VD ; VEVD = Volume d'éjection du VD ; VTDVD = Volume télé-diastolique du VD ; VTSVD = Volume télé-systolique du VD.			

3) Données du VG et du VD en IRM cardiaque (Tableau 5) :

48 patients ont réalisé une IRM cardiaque en pré-opératoire. Les volumes ventriculaires étaient normaux ainsi que les fonctions ventriculaires droite et gauche. La masse ventriculaire gauche était augmentée sur hypertrophie, certainement secondaire à l'élévation de post-charge, prévalente dans cette population de patient porteuse de rétrécissement aortique serré.

Tableau 5 :	Paramètres du Ventricule Gauche et du Ventricule Droit en IRM cardiaque (n=48)
Pression Artérielle Systolique (mmHg) T	131 +/- 18
Pression Artérielle Diastolique (mmHg) T	79 +/- 14
Fréquence cardiaque (batt/min) T	68 +/- 12
Surface corporelle (m²) T	1,9 +/- 0,2
<u>Paramètres du Ventricule Gauche</u>	
VTDVG (ml) T	156 +/- 51
VTSVG (ml) T	69 +/- 36
VEVG (ml) T	88 +/- 29
FEVG (%) T	57 +/- 11
Masse VG (g) T	146 +/- 45
VTDVG indexé (ml/m²) T	82 +/- 25
VTSVG indexé (ml/m²) T	36 +/- 18
VEVG indexé (ml/m²) T	46 +/- 14
Masse VG indexée (g/m²) T	77 +/- 24
<u>Paramètres du Ventricule Droit</u>	
VTDVD (ml) T	144 +/- 37
VTSVD (ml) T	62 +/- 21
VEVD (ml) T	82 +/- 21
FEVD (%)T	57 +/- 7
VTDVD indexé (ml/m²) T	75 +/- 17
VTSVD indexé (ml/m²) T	32 +/- 10
VEVD indexé (ml/m²) T	59 +/- 10
T Moyenne ± déviation standard	
FEVG/VD : Fraction d'éjection du VG/VD ; VEVG/VD : Volume d'éjection du VG/VD ; VD : Ventricule Droit ; VG : Ventricule Gauche ; VTDVG/VD : Volume Télé-Diastolique du VG/VD ; VTSVG/VD : Volume Télé-Systolique du VG/VD.	

B. Étude de faisabilité de la 3D du VD en ETT :

1) Faisabilité de la 3D du VD en pré et post-opératoire :

L'analyse 3D du VD était possible chez 97 patients (94,2 %) en pré-opératoire devant une échogénicité insuffisante chez 6 patients. Il n'a pu être réalisé d'acquisition 3D chez 37 patients secondairement à des problèmes matériels, notamment l'absence de sonde 3D disponible.

À J7, l'analyse 3D du VD était possible chez 76 patients (84,4 %) face à une échogénicité insuffisante chez 14 patients. L'acquisition 3D n'a pu être réalisé chez 27 patients secondairement à des problèmes matériels et chez 20 patients présentant une fibrillation atriale.

Enfin à J365, l'analyse 3D du VD était possible chez 48 patients (87,3%) devant une échogénicité insuffisante chez 7 patients. L'acquisition 3D n'a pu être réalisée chez 28 patients suite à des problèmes matériels et chez 2 patients présentant une fibrillation atriale.

2) Reproductibilité intra et inter-observateur des données du VD en ETT 3D (Tableaux 6, 7 et 8 en Annexe) :

De précédents travaux menés par l'équipe des explorations fonctionnelles cardiovasculaires au CHU de Lille retrouvaient une bonne variabilité intra-observateur concernant le VTDVD, le VTSVD et le VEVD en ETT 3D.

Concernant la reproductibilité inter-observateur, elle était bonne pour la mesure du VTDVD mais décevante pour le VTSVD, en particulier, à cause des nombreuses trabéculations du VD rendant le contourage plus subjectif en télésystole et nécessitant donc l'apprentissage de l'outil avec probable courbe d'apprentissage.

3) *Corrélation entre les données de volumes en ETT 3D et celles de l'IRM cardiaque en pré-opératoire (Tableau 9, Figures 2 et 3) :*

Les VTDVG et VTSVG mesurés en ETT 3D présentaient une corrélation positive forte et significative avec ceux mesurés en IRM cardiaque ($r^2=0,70$, $p<0,0001$ et $r^2=0,69$, $p<0,0001$; respectivement) avec un biais en valeur absolue de -39 ± 34 ml pour le VTDVG et de -23 ± 23 ml pour le VTSVG (Tableau 6, Figure 2).

En ce qui concerne les volumes ventriculaires droits, on retrouvait une corrélation positive forte et significative pour le VTDVD ($r^2=0,64$, $p < 0,0001$) avec un biais de -22 ± 23 ml en ETT 3D comparativement à l'IRM, biais semblant se majorer pour les VTDVD au-delà de 150 ml.

La corrélation était significative mais faiblement positive concernant le VTSVD ($r^2=0,31$, $p<0,0001$) avec un biais de -11 ± 18 ml en ETT 3D comparativement à l'IRM (Tableau 6, Figure 3).

Tableau 9 : Régression linéaire entre les données ETT 3D VG (n=48) et VD (n=47) et les données en IRM cardiaques (n=48).

Ventricule gauche (n=48)			Ventricule droit (n=47)		
Paramètres	r ²	P Value	Paramètres	r ²	P Value
VTDVG (ml)	0,70	p < 0,0001	VTDVD (ml)	0,64	p < 0,0001
VTSVG (ml)	0,69	p < 0,0001	VTSVD (ml)	0,31	p < 0,0001

p < 0,05 = significatif.

VD : Ventricule Droit ; VG : Ventricule Gauche ; VTDVG/VD : Volume Télé-Diastolique du VG/VD ; VTSVG/VD : Volume Télé-Systolique du VG/VD.

Figure 2 : Corrélation entre les volumes ventriculaires gauches en ETT 3D et en IRM cardiaque (n=48) : A : Analyse de Bland Altman (% de différence de la moyenne) ; B : Régression linéaire.

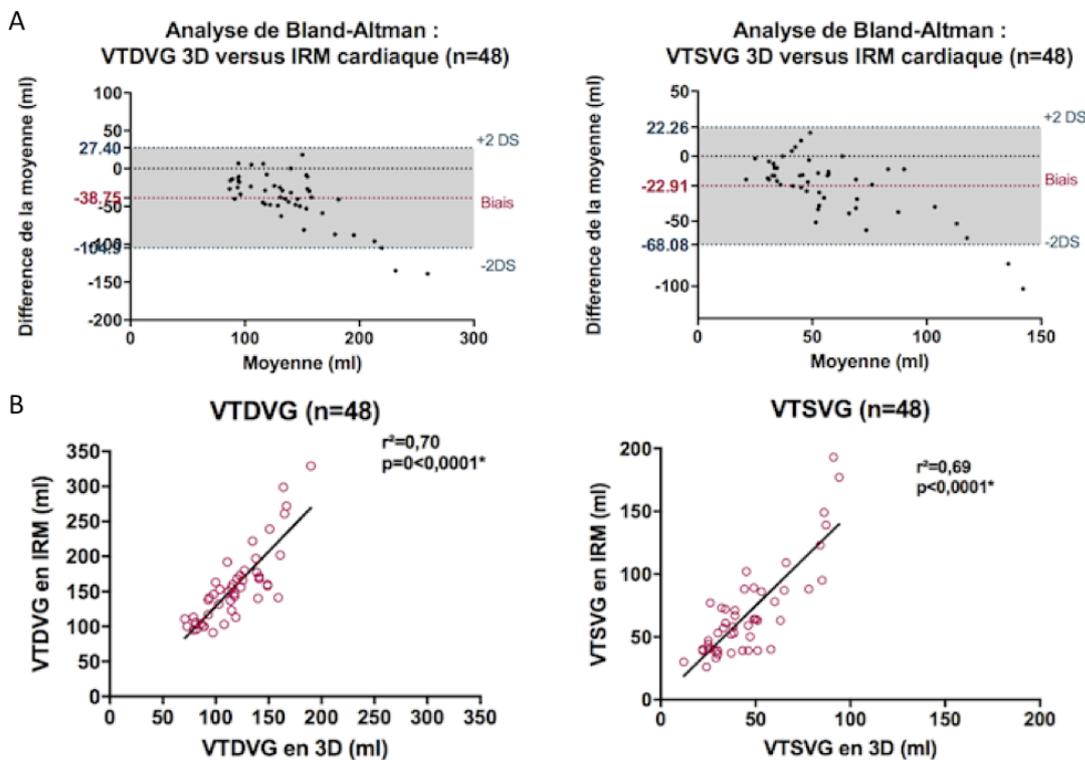
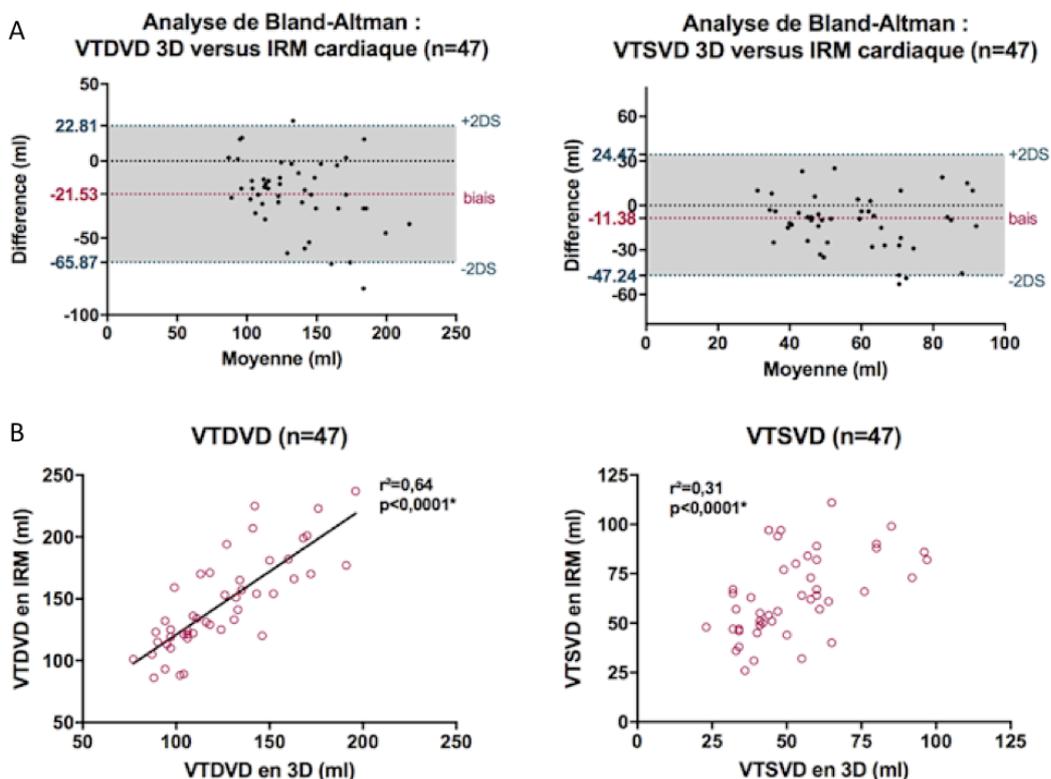


Figure 3 : Corrélation entre les volumes ventriculaires droits en ETT 3D et en IRM cardiaque (n=47) : A : Analyse de Bland-Altman (% de différence de la moyenne) ; B : Régression linéaire :



4) *Corrélation entre les mesures de volumes éjectés sous-aortique et sous-pulmonaire mesurés en ETT 2D, 3D et en IRM en pré-opératoire (Tableau 10 en annexe, Figure 4 en annexe) :*

De manière physiologique, le système cardiovasculaire fonctionne en circuit fermé. En l'absence de valvulopathie régurgitante ou de shunt intra-cardiaque, le volume éjecté sous-pulmonaire est égal au volume éjecté sous-aortique.

Nous nous sommes intéressés à observer la corrélation entre la mesure du VEVD en ETT 3D avec celle du VEVD en IRM, du VEVG en ETT 2D par Simpson Biplan et par équation de continuité et du VEVG en ETT 3D afin de s'assurer de la cohérence des mesures fournies par le 4D Auto RVQ.

On retrouvait des corrélations satisfaisantes entre les mesures réalisées en 3D et les mesures réalisées en IRM avec notamment une corrélation significative positive avec $r^2=0,46$ entre le VEVG 3D et le VEVD 3D et une corrélation significative positive avec $r^2=0,51$ entre le VEVD 3D et le VEVD mesuré en IRM.

Les corrélations étaient faibles voir médiocres lorsque l'on comparait la mesure du VEVD 3D au VEVG 2D mesuré par Simpson Biplan et par équation de continuité avec des r^2 à 0,28 et 0,17 respectivement.

5) *Synthèse de l'étude de faisabilité de la 3D du VD :*

Il existait une forte corrélation positive entre la 3D du VD et l'IRM cardiaque, gold standard pour l'étude du ventricule droit, notamment concernant le VTDVD avec un biais de -22 ± 23 ml pour les volumes inférieurs à 150 – 175 ml. Cette corrélation était cependant plus

faible concernant le VTSVD, témoignant probablement de l'existence d'une courbe d'apprentissage de cette nouvelle technique.

C. Évolution des paramètres de fonction VD en post-opératoire de chirurgie cardiaque sous CEC (Figure 5 et Tableau 11 en annexe) :

L'ensemble des paramètres de fonction longitudinale du VD présentaient une altération significative à J7 avec récupération partielle significative à J365, sans pour autant que les valeurs de J-1 ne soient à nouveau atteintes (TAPSE, SDTI et 2D-Strain de la Paroi Libre du VD).

Concernant les paramètres de 3D du VD, il n'était pas retrouvé de différence significative à J-1, J7 et J365, hormis concernant le VTDVD qui augmentait significativement à J365 comparativement à J-1 et J7 (117,7 +/- 32 ml versus 127,4 +/- 30,9 ml, $p = 0,0469$; 115,6 +/- 26,6 ml versus 127,4 +/- 30,9 ml, $p = 0,005$; respectivement).

Cette dilatation du VD survient entre J7 et J365 et il est retrouvé de façon concomitante sur cette période une augmentation significative du VEVD (62,5 +/- 14,6 ml versus 69,1 +/- 13,8 ml, $p = 0,011$) sans modification de la FEVD en regard.

Concernant les autres paramètres d'évaluation globale du VD, il était retrouvé une altération significative de l'indice de Tei et de l'IVA entre J-1 et J365 (0,52 [0,46 ; 0,62] m/s^2 versus 0,87 [0,68 ; 1] m/s^2 , $p < 0,0001$; 2,9 [2,1 ; 3,6] mmHg/s versus 2 [1,52 ; 3,0] mmHg/s, $p < 0,0001$; respectivement) avec dégradation survenant essentiellement entre J-1 et J7, sans récupération significative entre J7 et J365.

En revanche, concernant la Fraction de Raccourcissement de Surface et la mesure du dp/dt_{max} , il n'était pas retrouvé de différence significative à J-1, J7 et J365.

La PAPm a décreu de façon significative entre J-1 et J7 (21,8 [18,5 ; 24,6] mmHg versus [16,6 ; 24,6], $p = 0,032$), sans que cette différence ne persiste à J365 (21,8 [18,5 ; 24,6] mmHg versus 20,3 [17,9 ; 23,5] mmHg, $p = 0,58$).

Enfin, il était retrouvé une baisse significative à J365 de l'élastance télé-systolique du VD en comparaison à J-1 (0,4 [0,3 ; 0,5] mmHg/ml à J-1 versus 0,36 [0,28 ; 0,47] mmHg/ml à J365, $p = 0,0045$) et une tendance à la baisse de l'élastance artérielle pulmonaire en comparaison à J-1 (0,3 [0,3 ; 0,4] mmHg/ml à J-1 versus 0,27 [0,24 ; 0,38] à J365, $p = 0,076$). Cela est imputée à une tendance à la baisse de la PAPm concomitante à la fois d'une tendance à la hausse du VTSVD en 3D et d'une hausse significative du VEVD en 3D. Cela n'impactait pas le couplage VD/AP avec une absence de différence significative entre J-1 et J365 (0,8 [0,6 ; 1] versus 0,8 [0,7 ; 1], $p = 0,71$).

Figure 5 : Évolution des paramètres de fonction ventriculaire droite en post-opératoire d'un remplacement valvulaire aortique sous CEC :

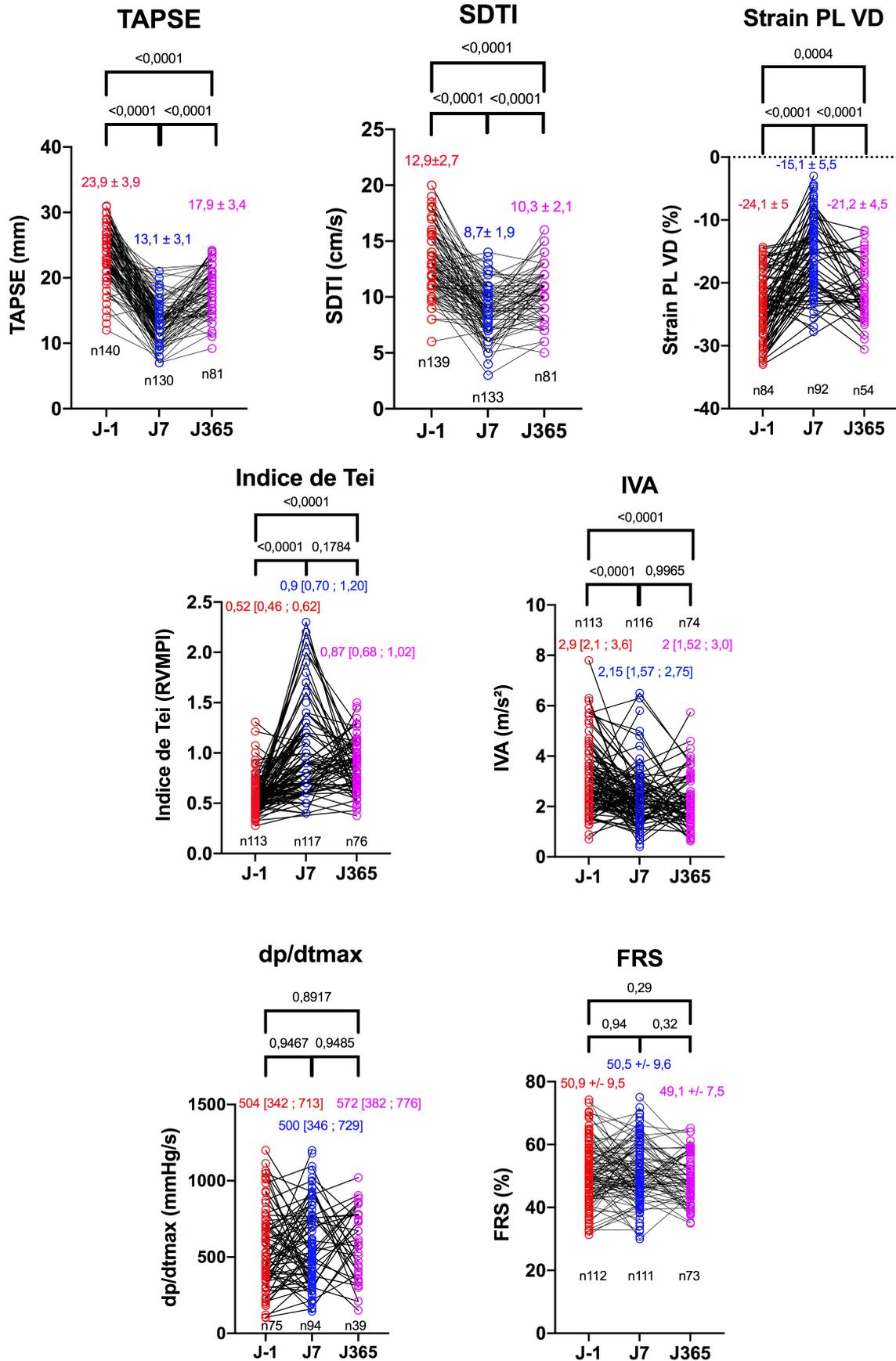
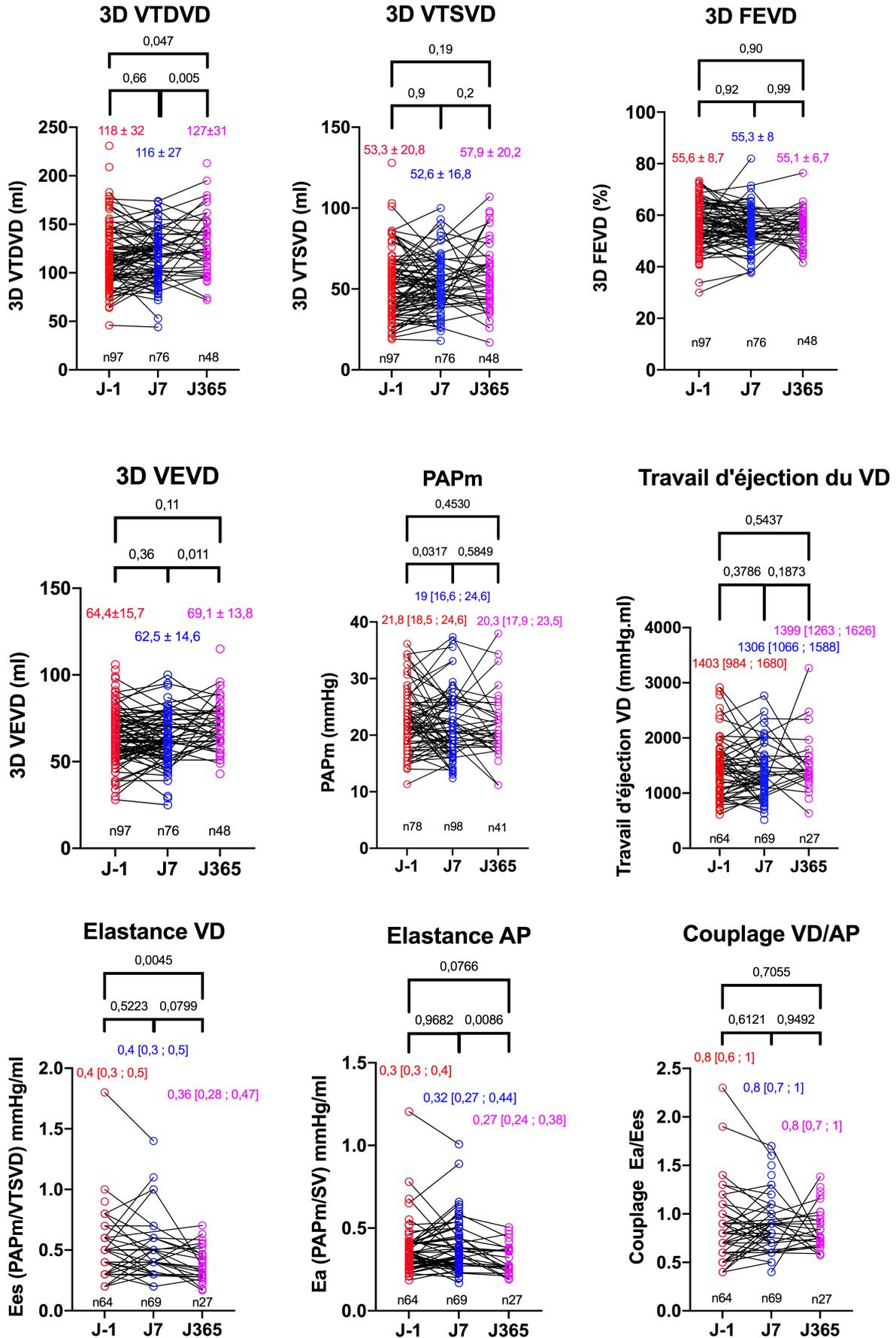


Figure 5 (suite) : Évolution des paramètres de fonction ventriculaire droite en post-opératoire d'un remplacement valvulaire aortique sous CEC :



D. Suivi des patients :

1) Description des évènements (Tableau 12) :

Le suivi moyen des 89 patients a été de 623 +/- 249 jours.

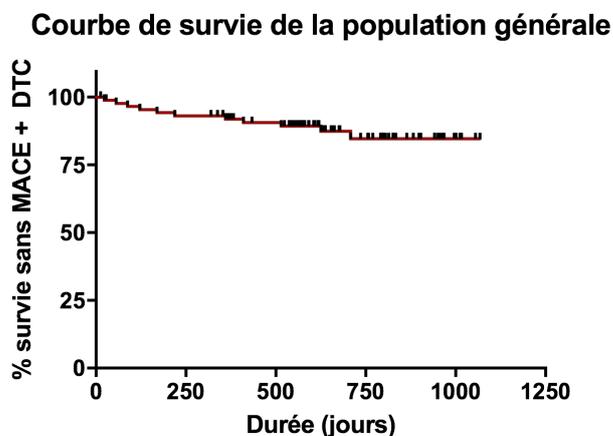
Le critère primaire est survenu chez 11 patients (12,4 %) avec 2 décès d'origine cardiovasculaire (une insuffisance cardiaque réfractaire et un accident vasculaire cérébral hémorragique), 7 accidents vasculaires cérébraux (6 accidents ischémiques constitués et 1 accident vasculaire cérébral hémorragique), 12 hospitalisations pour causes cardiovasculaires (1 dégénérescence de bioprothèse, 1 ablation de flutter, 1 cardioversion électrique de fibrillation atriale, 3 endocardites infectieuses avec abcès, 3 accidents ischémiques constitués, 1 embolie pulmonaire et 2 insuffisances cardiaques aiguës), 4 insuffisances cardiaques aiguës et 1 revascularisation coronaire programmée.

Tableau 12 : Description des événements :		
Évènements :	n=89 (%)	Délai de survenue (jours +/- écart type)
Hospitalisation pour cause cardiovasculaire	12 (13,5)	323,5 +/- 315
Épisode d'insuffisance cardiaque	4 (4,5)	406 +/- 217
Accident vasculaire cérébral	7 (7,9)	
Revascularisation coronaire programmée	1 (1,1)	
Décès de cause cardiovasculaire	2 (2,3)	502 +/- 677
Décès toutes causes	5 (5,6)	329 +/- 399
MACEs	9 (10,1)	296 +/- 262
MACEs + DTC**	11 (12,4)	300 +/- 239

**** 1 DTC non considéré : décès sur choc septique en réanimation en post opératoire précoce. MACEs : Major Adverse Cardiac Events ; DTC : Décès toutes causes.**

2) Courbe de survie de la population générale sans MACE + DTC (Figure 6) :

Figure 6 : Courbe de survie de la population générale sans MACE + DTC :



3) Facteurs pronostics (Tableau 13) :

Les patients présentant un antécédent de coronaropathie étaient plus à risque d'évènements cardiovasculaires et de décès toutes causes de même que les patients les plus dyspnéiques en pré-opératoire.

L'Euroscore II était semblable entre les patients ayant et n'ayant pas présenté le critère de jugement primaire (1,34 [0,84 ; 2,75] versus 1,09 [0,96 ; 1,29] ; $p = 0,46$).

La durée de CEC et la durée de clampage aortique n'étaient pas significativement différentes entre les patients ayant et n'ayant pas présenté le critère de jugement primaire (80 [65 ; 101] minutes versus 73 [66 ; 79] minutes, $p = 0,51$ et 60 [60 ; 73] versus 53 [49 ; 59], $p = 0,59$; respectivement).

Une fraction de raccourcissement de surface plus importante en pré-opératoire atteignait la limite de la significativité statistique (59 +/- 7 % versus 52 +/- 9,5%, $p = 0,05$), sans que cela soit cliniquement significatif.

Si l'on considérait une dysfonction ventriculaire droite à partir d'une évaluation multiparamétrique du ventricule droit, il n'était pas retrouvé de différence significative sur le critère de jugement primaire que ce soit en pré ou en post-opératoire.

Une accélération isovolumique (IVA) plus basse en post-opératoire précoce était statistiquement plus à risque d'événements cardiovasculaires et décès toutes causes dans notre cohorte (1,45 [1 ; 1,9] m/s² versus 2,2 [1,52 ; 3,05] m/s², p = 0,0085). (Figure 7).

Enfin, les paramètres ventriculaires droits mesurés en 3 dimensions (FEVD, VTDVD, VTSVD, VEVD), de même que les paramètres de fonction longitudinale du ventricule droit (TAPSE, SDTI, 2D-Strain de la paroi libre du VD), n'étaient pas statistiquement différents entre le groupe ayant présenté et le groupe n'ayant pas présenté d'évènement cardiovasculaire et décès toutes causes que ce soit en pré ou en post-opératoire précoce.

Figure 7 : Comparaison de l'IVA (m/s²) J7 chez les patients en fonction de la survenue du critère composite « MACEs + DTC » (T-Test sur la transformation logarithmique de la variable) :

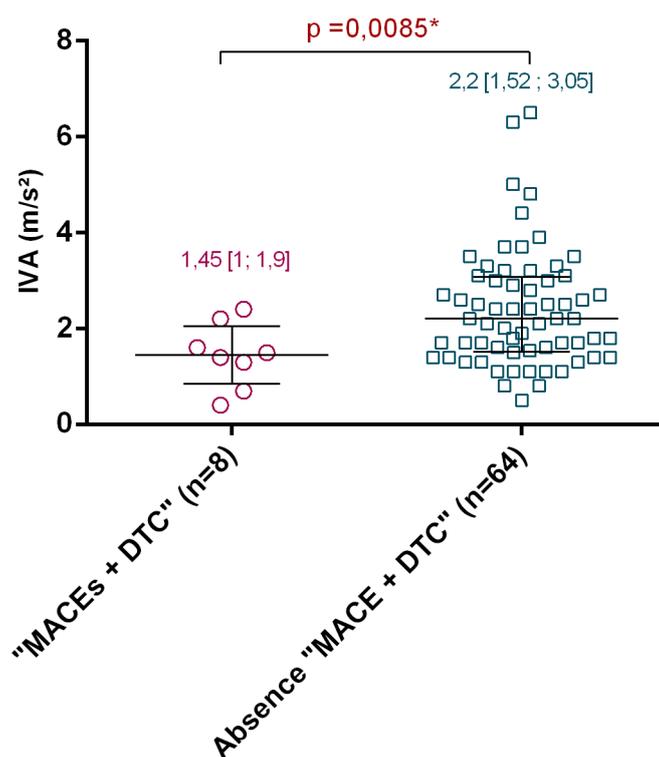


Tableau 13 (partie 1) :		Comparaison des patients ayant présenté des MACEs + DTC versus les patients n'ayant pas présenté de MACE + DTC (n=89) :		
Paramètres :	Patient ayant présenté un MACE + DTC (n=11)	Patient n'ayant pas présenté de MACE + DTC (n=78)	P	
Clinique :				
Sexe masculin ϕ	5 (45%)	45 (58%)	0,45	
Âge (années) T	67 +/-9,26	67 +/- 8	0,91	
Indice de masse corporelle (Kg/m²) T	30 +/- 7,35	28,6 +/- 5,4	0,45	
Antécédent coronaropathie ϕ	7 (63%)	25 (32%)	0,04*	
Antécédent AOMI ϕ	2 (18%)	6 (7,7%)	0,25	
Antécédent AVC ϕ	1 (9%)	6 (7,7%)	0,87	
Hypertension artérielle ϕ	8 (73%)	49 (62,8%)	0,52	
Tabagisme actif ϕ	2 (18%)	19 (24%)	0,65	
Diabète ϕ	3 (27%)	24 (30,7%)	0,81	
NYHA % ϕ			0,035*	
1 ϕ	2 (18%)	32 (41%)		
2 ϕ	5 (45%)	38 (49%)		
3 ϕ	4 (36%)	7 (9%)		
4 ϕ	0	1 (1%)		
TM6 (m) T	471 +/- 142 (n=5)	403 +/- 115 (n=52)	0,22	
Biologie :				
Créatinine (mg/L) ⁺⁺	7 [6 ; 9,3]	8,3 [8 ; 9]	0,19	
Chirurgie				
Euroscore II ⁺⁺	1,34 [0,84 ; 2,75]	1,09 [0,96 ; 1,29]	0,46	
PAC ϕ	5 (44%)	15 (19%)	0,05	
Bioprothèse aortique % ϕ	9 (82%)	74 (95%)	0,11	
Durée CEC (min) ⁺⁺	80 [65 ; 101]	73 [66 ; 79]	0,51	
Durée clampage aortique (min) ⁺⁺	60 [60 ; 73]	53 [49 ; 59]	0,59	
⁺⁺ Médiane [Q1-Q3] pour les variables de distribution non normale ; ϕ effectif nombre n (%) ; T Moyenne \pm déviation standard pour les variables de distribution normale ; ϕ T-Test sur la transformation logarithmique de la variable ; * p < 0,05 = significatif ; MACE : Major Adverse Cardiac Event ; DTC : Décès Toutes Causes ; AOMI : artériopathie oblitérante des membres inférieurs ; AVC : Accident vasculaire cérébral ; NYHA : échelle de dyspnée ; TM6 : Test de marche de 6 minutes ; PAC : Pontage Aorto-Coronarien ; CEC : Circulation Extra-Corporelle.				

Tableau 13 (partie 2) :		Comparaison des patients ayant présenté des MACEs + DTC versus les patients n'ayant pas présenté de MACE + DTC (n=89) :		
Paramètres :	Patient ayant présenté un MACE + DTC (n=11)	Patient n'ayant pas présenté de MACE + DTC (n=78)	P	
ETT pré-opératoire :				
SFAo (cm²) T	0,65 +/- 0,18	0,73 +/- 0,19	0,20	
Gradient moyen (mmHg) ⁺⁺	47 [42 ; 60]	49 [45 ; 51]	0,96	
FEVG % T	61 +/- 8	65 +/- 8	0,14	
TAPSE (mm) T	22 +/- 5	23 +/- 4	0,24	
SDTI (cm/s) T	13,2 +/- 3,6	12,8 +/- 2,7	0,68	
Strain PL VD (%) T	-26,01 +/- 3,5 (n=7)	-24,3 +/- 4,7 (n=50)	0,37	
FRS (%) T	59 +/- 7 (n=7)	52 +/- 9,5 (n=70)	0,05	
IVA (m/s²) ^φ	3,1 [1,93 ; 3,8] (n=8)	3 [2,3 ; 3,75] (n=69)	0,80	
RMPI (indice de Tei) ^φ	0,52 [0,39 ; 0,69] (n=8)	0,49 [0,45 ; 0,57] (n=69)	0,86	
dp/dtmax VD (mmHg/s) ^φ	280 [207 ; 872] (n=6)	504 [382 ; 774] (n=46)	0,44	
FEVD 3D (%) T	59 +/- 11 (n=7)	56 +/- 9 (n=62)	0,40	
VTDVD 3D (ml) T	114 +/- 29 (n=7)	114 +/- 31 (n=62)	0,97	
VTSVD 3D (ml) T	49 +/- 26 (n=7)	51 +/- 19 (n=62)	0,80	
VEVD 3D (ml) T	65 +/- 7 (n=7)	63 +/- 16 (n=62)	0,72	
Élastance VD (mmHg/ml) ^φ	0,40 [0,28 ; 0,5] (n=5)	0,51 [0,3 ; 0,6] (n=43)	0,35	
Élastance AP (mmHg/ml) ^φ	0,34 [0,27 ; 0,36] (n=5)	0,36 [0,3 ; 0,42] (n=43)	0,29	
Couplage VD/AP ^φ	0,8 [0,5 ; 1,2] (n=5)	0,8 [0,6 ; 1] (n=43)	0,98	
Travail d'éjection VD (ml.mmHg) ^φ	1677 [998 ; 1703] (n=5)	1366 [967 ; 1630] (n=43)	0,80	
Dysfonction VD ≥ 3/5 critères ^ø	0	0	1	

⁺⁺ Médiane [Q1-Q3] pour les variables de distribution non normale ; ^ø effectif nombre n (%) ; T Moyenne ± déviation standard pour les variables de distribution normale ; ^φ T-Test sur la transformation logarithmique de la variable ; * p < 0,05 = significatif ; MACE : Major Adverse Cardiac Event ; DTC : Décès toutes causes ; SFAo : Surface fonctionnelle aortique ; FEVG/VD : Fraction d'éjection du VG/VD ; SDTI : onde systolique doppler tissulaire ; TAPSE : Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion ; PL VD : Paroi libre du ventricule droit ; FRS : Fraction de Raccourcissement de Surface ; VEVD : Volume d'éjection du VD ; VTDVD : Volume télé-diastolique du VD ; VTSVD : Volume télé-systolique du VD ; IVA : Isovolumic Acceleration ; RMPI : Right Ventricular Myocardial Performance Index.

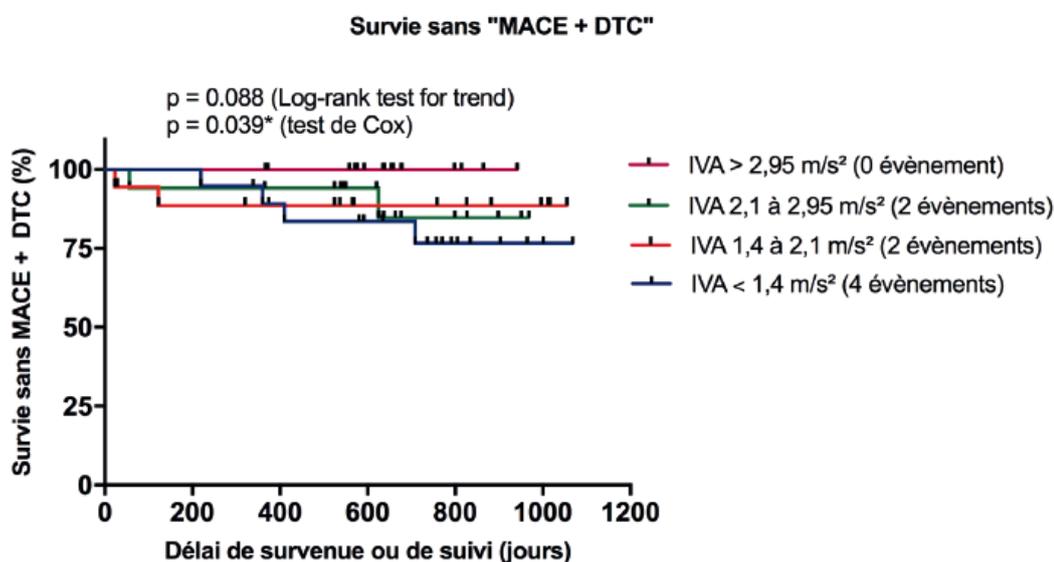
Tableau 13 (partie 3) :		Comparaison des patients ayant présenté des MACEs + DTC versus les patients n'ayant pas présenté de MACE + DTC (n=89) :		
Paramètres :	Patient ayant présenté un MACE + DTC (n=11)	Patient n'ayant pas présenté de MACE + DTC (n=78)	P	
ETT post-opératoire :				
SFAo (cm²) T	1,7 +/- 0,45 (n=9)	1,66 +/- 0,47 (n=70)	0,75	
Gradient moyen (mmHg) ⁺⁺	12 [7,5 ; 14,1] (n=11)	12 [11 ; 14] (n=76)	0,39	
FEVG % T	63 +/- 10 (n=11)	64 +/- 9 (n=75)	0,76	
TAPSE (mm) T	11,9 +/- 3 (n=11)	13 +/- 3 (n=75)	0,23	
SDTI (cm/s) T	8 +/- 2,5 (n=11)	8,8 +/- 2,0 (n=75)	0,25	
Strain PL VD (%) T	-14,4 +/- 5 (n=6)	-14,5 +/- 5,8 (n=48)	0,97	
FRS (%) T	49 +/- 5,2 (n=6)	52 +/- 8,15 (n=62)	0,34	
IVA (m/s²) ^φ	1,45 [1 ; 1,9] (n=8)	2,2 [1,52 ; 3,05] (n=64)	0,0085*	
RMPI (indice de Tei) ^φ	0,70 [0,55 ; 1,03] (n=8)	0,90 [0,7 ; 1,3] (n=64)	0,079	
dP/dtmax VD (mmHg/s) ^φ	595 [388 ; 918] (n=7)	504 [313 ; 763] (n=55)	0,29	
FEVD 3D (%)T	58 +/- 7 (n=7)	55 +/- 8 (n=54)	0,28	
VTDVD 3D (ml) T	111 +/- 17 (n=7)	118 +/- 28 (n=54)	0,92	
VTSVD 3D (ml) T	47 +/- 12 (n=7)	54 +/- 18 (n=54)	0,30	
VEVD 3D (ml) T	65 +/- 11 (n=7)	64 +/- 15 (n=54)	0,92	
Élastance VD (mmHg/ml) ^φ	0,4 [0,33 ; 0,58] (n=7)	0,4 [0,3 ; 0,5] (n=48)	0,56	
Élastance AP (mmHg/ml) ^φ	0,31 [0,27 ; 0,44] (n=7)	0,33 [0,26 ; 0,44] (n=48)	0,85	
Couplage VD/AP ^φ	0,6 [0,6 ; 0,8] (n=7)	0,8 [0,7 ; 1] (n=48)	0,31	
Travail d'éjection VD (ml.mmHg) ^φ	1282 [1248 ; 1432] (n=7)	1283 [1012 ; 1588] (n=48)	0,76	
Dysfonction VD ≥ 3/5 critères ^ø	7 (64%)	52 (66%)	0,71	

⁺⁺ Médiane [Q1-Q3] pour les variables de distribution non normale ; ^ø effectif nombre n (%) ; T Moyenne ± déviation standard pour les variables de distribution normale ; ^φ T-Test sur la transformation logarithmique de la variable ; * p < 0,05 = significatif ; SFAo : Surface fonctionnelle aortique ; FEVG/VD : Fraction d'éjection du VG/VD ; SDTI : onde systolique doppler tissulaire ; TAPSE : Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion ; PL VD : Paroi libre du ventricule droit ; FRS : Fraction de raccourcissement en surface ; VEVD : Volume d'éjection du VD ; VTDVD : Volume télé-diastolique du VD ; VTSVD : Volume télé-systolique du VD ; IVA : Isovolumic Acceleration ; RMPI : Right Ventricular Myocardial Performance Index.

4) L'accélération isovolumique (IVA). Test du Log Rank, courbes de survie (Figure 8) :

L'accélération isovolumique (IVA) était le seul paramètre présentant une différence significative entre les deux populations en analyse univariée. Les courbes de survie présentaient une différence significative par test de Cox ($p=0,039$). La survie était clairement meilleure dans la population avec $IVA > 2,95 \text{ m/s}^2$ que dans celle avec $IVA < 1,4 \text{ m/s}^2$. Les valeurs intermédiaires de l'IVA étaient quant à elles plus difficiles d'interprétation.

Figure 8 : Courbes de survie séparant la population par quartile de l'IVA (m/s^2) :



Patients à risque (n) :

Temps (jours)	0	200	400	600	800	1000	1200
IVA $\leq 1,4 \text{ m/s}^2$	19	19	16	13	6	2	0
IVA 1,4 à 2,1 m/s^2	18	15	13	8	6	3	0
IVA 2,1 à 2,95 m/s^2	17	16	15	11	4	0	0
IVA > 2,95 m/s^2	18	18	16	11	4	0	0

5) Recherche de paramètres de fonction ventriculaire droite pronostics en analyse de Cox proportional hazard regression (Tableau 14) :

Cette analyse retrouvait une persistance de la différence significative constatée sur l'IVA à J7 ($p = 0,0393$, coef beta $-1,04 \pm 0,51$).

Les autres paramètres de fonction ventriculaire droite, notamment les paramètres de fonction longitudinale (TAPSE, SDTI, 2D-Strain de la paroi libre) ainsi que les paramètres de fonction ventriculaire droite en 3D restaient non significativement différents entre les populations ayant et n'ayant pas présenté de MACE + DTC.

Tableau 14 :	Analyse de Cox recherchant une association pronostic entre les valeurs continues de fonction ventriculaire droite et la survenue de MACEs + DTC :
Paramètres :	Résultats du test de Cox
TAPSE J7 (mm)	$p = 0,2299$ coef beta $-0,13 \pm 0,11$
SDTI J7 (cm/s)	$p = 0,2982$ coef beta $-0,15 \pm 0,14$
Strain paroi libre VD J7 (%)	$p = 0,9746$ coef beta $-0,002 \pm 0,072$
FRS J7 (%)	$p = 0,3137$ coef beta $-0,05 \pm 0,053$
IVA J7 (m/s^2)	$p^* = 0,0393$ coef beta $-1,04 \pm 0,51$
Indice de Tei (RMPI) J7	$p = 0,1257$ coef beta $-1,61 \pm 1,05$
dp/dtmax J7 (mmHg/s)	$p = 0,2834$ coef beta $0,0014 \pm 0,0013$
FEVD J7 (%)	$p = 0,27$ coef beta $0,057 \pm 0,052$
Élastance télésystolique J7 (mmHg/ml)	$p = 0,47$ coef beta $1,27 \pm 1,75$
Élastance artérielle J7 (mmHg/ml)	$p = 0,80$ coef beta $-0,79 \pm 3,17$
Couplage ventriculo-artériel J7	$p = 0,26$ coef beta $-1,82 \pm 1,6$
FRS J0 (%)	$p = 0,0645$ coef beta $0,075 \pm 0,041$

* $p < 0,05$ = significatif ;
MACE : Major Adverse Cardiac Event ; DTC : Décès toutes causes ; VD : Ventricule Droit ; FEVD : Fraction d'éjection du VD ; SDTI : onde systolique doppler tissulaire ; TAPSE : Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion ; FRS : Fraction de raccourcissement de surface ; IVA : Isovolumic Acceleration ; RMPI : Right Ventricular Myocardial Performance Index.

6) *Analyse de Cox Backward :*

L'analyse de Cox Backward n'était pas réalisée devant la présence d'un unique facteur pronostic retrouvé dans notre cohorte.

7) *Recherche d'un seuil d'IVA déterminant péjorativement le pronostic : courbe ROC*

(Figure 9, Tableau 15) :

Le seuil d'IVA le plus déterminant d'un pronostic péjoratif dans notre cohorte était une IVA <1,6 m/s² (AUC = 0,756 ; p = 0,0014) avec une sensibilité de 75 % et une spécificité de 70 %.

Dans notre cohorte, les patients présentant une IVA inférieure à 1,6 m/s² avait donc 24 % de risque de faire un événement à 623 +/- 249 jours, alors que si le test était négatif (IVA supérieure à 1,6 m/s²), le risque de faire un événement dans les 623 +/- 249 jours tombait à 4,3 %.

Figure 9 : Courbe ROC déterminant le meilleur seuil pronostic de l'IVA :

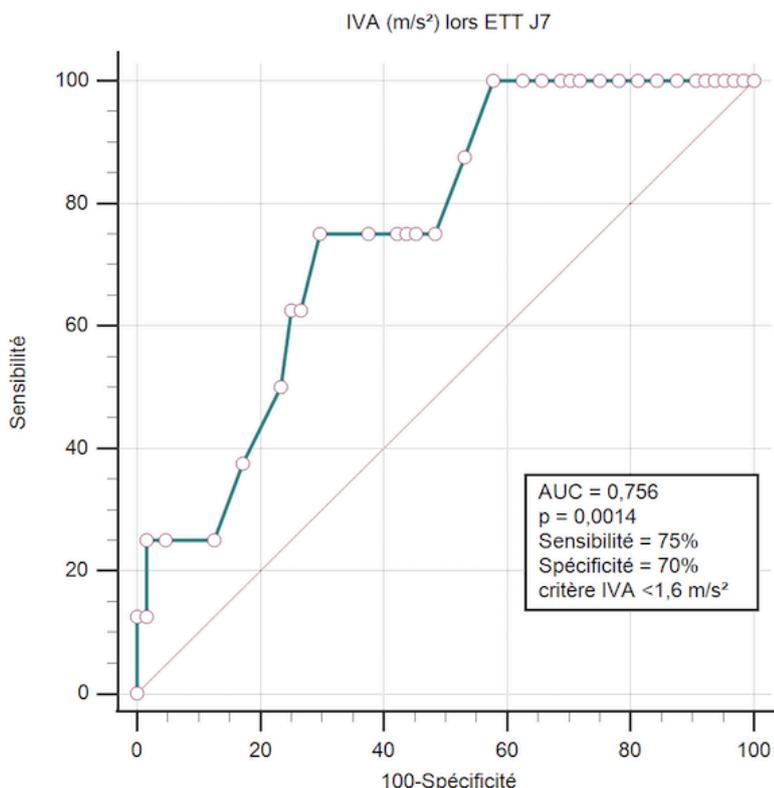


Tableau 15 :		Validité intrinsèque et extrinsèque du test « IVA à J7 »		
	MACEs + DTC présent	MACEs + DTC absent	Total	
IVA à J7 ≤ 1,6	6	19	25	
IVA à J7 > 1,6	2	45	47	
Total	8	64	72	

Sensibilité : 75% (6/8) ; Spécificité : 70% (45/64) ; Valeur Prédictive Positive : 24% (6/25) ; Valeur Prédictive Négative : 95,7% (45/47) ; MACEs + DTC : Major Adverse Cardiac Events + Décès Toutes Causes.

V. Discussion :

A. Synthèse des résultats :

1) *Évolution des paramètres de fonction systolique VD en péri-opératoire de chirurgie cardiaque sous CEC :*

L'ensemble des paramètres de fonction longitudinale du VD (TAPSE, SDTI, 2D-Strain de la paroi libre VD) présentaient une altération significative à J7 avec récupération partielle à J365. L'altération de la fonction longitudinale en post-opératoire précoce de remplacement valvulaire aortique a déjà été décrite dans la littérature notamment pour le TAPSE et le SDTI dans l'étude de Coisne et al (5) avec récupération partielle à 1 an de la chirurgie et dans l'étude de Kempny et al (7) où le 2D-Strain de la paroi libre du VD et le TAPSE s'altéraient significativement en post-opératoire précoce contrairement aux patients traités par TAVI qui présentaient une stabilité de ces paramètres.

Principalement deux hypothèses quant à cette dégradation des paramètres de fonction longitudinale existent.

La première théorie est celle de l'ouverture péricardique avec modification de la géométrie du ventricule droit. En effet, après ouverture du péricarde, le ventricule droit se sphéricise, voit son apex et sa portion médiane s'élargir quand, dans le même temps, sa longueur diminue. La contraction du ventricule droit, qui en physiologie repose à part égale sur les fonctions longitudinale, radiale et circonférentielle, va, secondairement à ces modifications anatomiques, prédominer sur les fonctions radiale et circonférentielle en miroir d'une dégradation de la fonction longitudinale (10).

Rösner et al ont notamment retrouvé, en faveur de cette hypothèse, chez 57 patients réalisant une IRM cardiaque et une ETT en pré-opératoire, et entre le 8^e et le 10^e mois post-opératoire de pontages aorto-coronaires, une dégradation des paramètres longitudinaux (TAPSE et 2D-Strain

de la paroi libre du VD) avec néanmoins des volumes télédiastoliques et télésystoliques ventriculaires droits inchangés entre le pré et le post-opératoire en IRM (9).

La seconde théorie évoquée est celle de l'ischémie myocardique induite par la CEC. Des embols gazeux, fibrinocruoriques, une dysfonction des greffons coronaires ou encore l'hypotension per-CEC peuvent entraîner la dysfonction d'un ventricule droit, d'ores et déjà adaptatif, dans un contexte de valvulopathie gauche (22).

Ces deux hypothèses corroborent au fait que ces paramètres s'altèrent en post-opératoire de remplacement valvulaire aortique, mais semblent rester stables en post-TAVI (7)(8).

L'hypothèse, selon laquelle la géométrie du ventricule droit change en post-péricardotomie, rendant les paramètres longitudinaux obsolètes à l'appréciation de la fonction ventriculaire droite, a motivé la réalisation de 3D du VD dans notre étude.

Comme dans l'étude de Sandstede et al (23) qui s'intéressait notamment aux paramètres de fonction du VD, appréciés en IRM en pré-opératoire et au décours d'un remplacement valvulaire aortique, à 3 et à 9 mois, chez 14 porteurs de rétrécissements aortiques serrés, nous n'avons pas retrouvé de modification cliniquement significative du VTDVD, du VTSVD, ni du VEVD en ETT 3D à J7 et J365. De même, Keyl et al ne trouvaient pas de variation des paramètres de 3D du VD chez 20 patients porteurs d'un rétrécissement aortique serré, traités de façon chirurgicale, et chez 20 patients, traités par TAVI, à J7 de l'intervention (8). Enfin, Rösner et al ne trouvaient pas de modification des volumes ventriculaires droits en IRM, 8 à 10 mois après pontages aorto-coronariens (9).

L'IVA, paramètre d'appréciation globale de la fonction systolique ventriculaire droite présentait, dans notre travail, une dégradation significative entre J-1 et J365, dégradation survenant particulièrement en péri-opératoire immédiat, sans récupération à 1 an.

La dégradation de l'IVA en péri-opératoire de chirurgies sous CEC avait été retrouvée

également par Van Orman et al chez 20 patients bénéficiant d'une chirurgie mitrale associée ou non à un pontage aorto-coronaire. L'IVA présentait une dégradation significative à J1 du bloc opératoire mais se normalisait à J6, contrairement à notre travail où l'IVA altérée à J7, le restait à 1 an (24). Cependant, il s'agissait d'une étude comportant seulement 20 patients avec une IVA moyenne à J6 à 1,99 m/s², lorsque notre étude comportant 116 patients avec IVA disponibles à J7 retrouvait une IVA néanmoins proche à 2,15 m/s². De plus, l'exclusion dans notre étude des patients présentant une altération pré-opératoire de la fonction ventriculaire droite aboutissait à une IVA plus élevée à 2,9 m/s² en pré-opératoire, versus 2,32 m/s² dans leur étude, pouvant expliquer l'absence de différence significative retrouvée entre le pré-opératoire et J6, dans leur étude, contrairement à la nôtre à J7.

Borde et al, qui comparaient la fonction ventriculaire droite à l'aide de ce paramètre chez 30 patients bénéficiant de pontage aorto-coronarien (25), ne trouvaient pas de différence sur ce paramètre, en regard du pré-opératoire sur des ETT réalisées avant transfert de réanimation cardiovasculaire vers un service de médecine conventionnelle. Dans leur étude, seuls des pontages aorto-coronaires étaient réalisés dans une population jeune de 59 +/- 7 ans, sous-entendant l'absence de valvulopathie significative associée. Cette différence de population peut expliquer les valeurs extrêmement élevées d'IVA retrouvées dans leur population en pré et en post-opératoire à 4,66 m/s² et 4,37 m/s² respectivement et l'absence de différence observée sur ce paramètre au décours de la chirurgie, contrairement à nos travaux et ceux de Van Orman et al (24).

L'IVA présente l'intérêt d'être un paramètre non charge dépendant, particulièrement intéressant pour évaluer un ventricule droit en post-chirurgie cardiaque soumis à d'importantes variations de charge induites par les modifications volémiques et ventilatoires du péri opératoire (26)(27). Ce paramètre, dans l'étude de Peyrou et al qui présentait une faisabilité de 84 %, jouissait d'une excellente reproductibilité inter et intra-observateur (coefficient de variation : 1,9 %, $r^2 = 0,96$ et coefficient de variation : 2,1 %, $r^2 = 0,94$; respectivement), le rendant in fine le plus reproductible et le moins variable à l'évaluation de la fonction du

ventricule droit (28).

Cependant, il s'agit d'un paramètre peu utilisé en pratique courante dont le seuil en vue de décrire une dysfonction VD est mal déterminé, suggéré à 2,2 m/s² dans l'étude de Borde et al (25) et 1,8 m/s² dans l'étude Peyrou et al (28).

De plus, s'il n'est pas charge dépendant, sa mesure reste néanmoins angle-dépendante de par l'utilisation du doppler tissulaire et du doppler pulsé nécessaires à sa réalisation, une coupe apicale non dédiée au ventricule droit risquant de sous-estimer sa valeur.

Concernant la Fraction de Raccourcissement de Surface (FRS), paramètre d'appréciation de la fonction globale du VD recommandé par l'EACVI en 2015 (19), nous n'avons pas retrouvé de variation significative de ce paramètre entre le pré et le post-opératoire. Cela est concordant avec l'étude de Borde et al (25) mais discordant avec l'étude menée par Kempny et al (7) qui retrouvait une altération de ce paramètre dans la population des patients traités chirurgicalement d'un rétrécissement aortique serré, contrairement aux patients traités par TAVI.

Les discordances retrouvées dans la littérature peuvent probablement être imputées au fait que la mesure de la FRS est rendue difficile par la dyskinésie septale souvent présente après CEC et par la faible échogénicité des patients en post-opératoire. Il s'agissait d'ailleurs du paramètre avec la plus mauvaise reproductibilité inter et intra-observateur de l'étude de Peyrou et al (coefficient de variation : 8,6 %, $r^2 = 0,64$ et coefficient de variation : 7,4 %, $r^2 = 0,75$; respectivement), alors même que ce paramètre était évalué dans les conditions d'échogénicité du pré-opératoire (28).

De plus, la FRS est une variable dépendant des conditions de charge (26) qui peut être prise à défaut en contexte post-opératoire, le ventricule droit se sphéricisant au décours de la péricardotomie (9).

Enfin, l'indice de Tei présentait, comme l'IVA dans notre travail, une dégradation significative entre J-1 et J365, dégradation survenant particulièrement en péri-opératoire immédiat sans

récupération significative entre J7 et J365.

Cela est discordant avec l'absence de variation observée par Borde et al dans une population de patients bénéficiant de pontages aorto-coronaires sur cœur arrêté (25). Il s'agissait cependant d'une population différente, ne comprenant que 20 patients bénéficiant de pontages aorto-coronariens, présentant des valeurs d'IVA et de RMPI très satisfaisantes en pré-opératoire et à J6 (4,66 m/s², 0,34 et 4,37 m/s², 0,36 ; respectivement) comparativement à notre population.

L'indice de Tei est un paramètre très dépendant de la post-charge, s'altérant notamment en cas d'élévation de cette dernière du fait d'un allongement du temps de relaxation iso-volumique. Il n'est cependant pas modifié par les variations de pré-charge, pouvant laisser à penser qu'il s'agit plus d'un paramètre reflétant les résistances vasculaires pulmonaires et leurs variations, plutôt que d'un réel paramètre d'évaluation de la fonction ventriculaire droite (26).

2) *Facteurs pronostics :*

Nous avons pu suivre 89 patients à 1 an. Notre population était relativement jeune avec un âge moyen de 67,7 +/- 7,9 ans, à bas risque chirurgical avec un Euroscore II médian à 1,09. La population de Coisne et al (5) était semblable avec un âge moyen de 71 +/- 10 ans, un bas risque chirurgical avec un Euroscore II médian à 1,91. Dans cette étude il était survenu légèrement plus d'événements (15,5% au cours d'un suivi médian de 4 ans versus 12,4% au cours d'un suivi de 1 an dans notre étude). La population de Keyl et al (8), dans l'étude parue en 2015, était un peu plus âgée avec un âge moyen de 77 +/- 4 ans et également à risque opératoire plus élevé avec un Euroscore Logistic médian à 7,1.

Notre population est concordante avec les recommandations ESC de 2017 de prise en charge des valvulopathies (1), qui réservent la chirurgie aux rétrécissements aortiques serrés symptomatiques considérés à bas risque chirurgical.

Il était particulièrement intéressant de noter la forte proportion de bicuspidie dans notre population (35%). En effet, la dégénérescence de la valve aortique survient plus précocement

en cas de bicuspidie, chez des patients plus jeunes, présentant moins de comorbidités, qui relèvent donc actuellement d'une chirurgie valvulaire aortique.

Le faible risque chirurgical de nos patients dont témoignait l'Euroscore II explique probablement, en partie, la survenue de peu d'évènements dans l'année suivant la chirurgie, avec seulement 11 MACEs + DTC.

Les patients présentant un antécédent de coronaropathie étaient plus à risque d'évènements cardiovasculaires et de décès toutes causes, de même que les patients les plus dyspnéiques en pré-opératoire, comme le retrouvaient déjà Bohbot et al dans une population de rétrécissement aortique sévère (surface fonctionnelle aortique < 1,3 cm²)(4).

L'Euroscore II était semblable entre les patients ayant et n'ayant pas présenté le critère de jugement primaire (1,34 [0,84 ; 2,75] versus 1,09 [0,96 ; 1,29] ; p = 0,46).

Notre travail s'est intéressé au pronostic à 1 an des patients ayant bénéficié d'une chirurgie de remplacement valvulaire aortique. Or l'étude validant l'Euroscore II comme score pronostic en pré-chirurgie cardiaque avait pour critère primaire la survie à la sortie d'hospitalisation et en critère secondaire la survie à J30 et J90 de la chirurgie (29).

L'absence de différence observée dans notre étude sur l'Euroscore II peut être expliquée par un faible nombre d'évènements survenus dans notre travail au cours du suivi et/ou témoigner du fait que l'Euroscore II ne permet pas de différencier les patients sur leur pronostic à 1 an.

La durée de CEC n'était pas significativement différente entre les patients ayant et n'ayant pas présenté le critère de jugement primaire.

Coisne et al (5) retrouvaient que plus la durée de CEC était longue, plus la fonction longitudinale du VD était altérée. Néanmoins la fonction longitudinale du VD évaluée à J7 n'était pas pronostic à 1 an.

Ternacle et al (11) retrouvaient chez 250 patients avec une chirurgie cardiaque concernant la valve aortique, la valve mitrale et/ou les artères coronaires, 3 paramètres prédictifs de décès à 1 mois post-opératoire et de nécessité d'un support par inotrope supérieur à 48 heures en post-opératoire : le 2D-Strain de la paroi libre du VD, l'Euroscore II, tous deux évalués en pré-opératoire, et la durée de CEC. Il était particulièrement intéressant d'observer que les patients présentant un 2D-Strain de la paroi libre du VD altéré présentaient une mortalité augmentée, mais cette hausse était moindre lors des CEC d'une durée inférieure à 120 minutes.

La durée de CEC dans notre étude, en moyenne de 85,5 +/- 30 minutes, le faible nombre d'événements survenus dans notre travail, l'étude du pronostic à 1 an de nos patients, peuvent peut-être expliquer l'absence de caractère pronostic de la durée de CEC dans notre travail, paramètre probablement prédictif de la morbidité en post-opératoire précoce, mais perdant de son influence dans le pronostic à long terme.

Si l'on considérait une dysfonction ventriculaire droite à partir d'une évaluation multiparamétrique du ventricule droit, il n'était pas retrouvé de différence significative sur le critère de jugement primaire, que ce soit en pré ou en post-opératoire.

L'absence de caractère pronostic de la fonction ventriculaire droite en pré-opératoire, dans notre travail, tient sans doute au fait qu'en pré-opératoire, aucun de nos patients ne présentait en base une dysfonction ventriculaire droite en évaluation multiparamétrique, puisqu'ils n'étaient pas inclus dans l'étude dans ce cas. En effet, nous nous sommes focalisés sur l'évaluation de la fonction VD en post-opératoire et la détermination d'un paramètre de fonction VD prédictif des événements cardiovasculaires majeurs.

De nombreux travaux ont retrouvé un intérêt pronostic de la fonction VD pré-opératoire. Asami et al (30) retrouvaient que les patients à plus mauvais pronostic étaient les patients qui présentaient une dysfonction VD pré-TAVI évaluée sur 3 paramètres (TAPSE, SDTI et FRS), d'autant plus, si la dysfonction VD persistait en post-TAVI. Il était également observé que les patients présentant initialement une dysfonction VD et qui récupérait après TAVI présentaient

un meilleur pronostic que les patients présentant une dysfonction VD en post-TAVI initialement non présente. La dysfonction ventriculaire droite était le meilleur paramètre pronostic, plus prédictif que les fuites périprothétiques. Bohbot et al (4) retrouvaient qu'un TAPSE inférieur à 17 mm en préopératoire était de moins bon pronostic et qu'un remplacement valvulaire aortique chirurgical ou par TAVI améliorait le pronostic des patients, mais de manière moins marquée chez les patients présentant initialement un dysfonction VD. Enfin, dans l'étude de Towheed et al (22), une dysfonction VD évaluée par une approche multiparamétrique (TAPSE, SDTI, FRS, dp/dtmax, RMPI) était le marqueur le plus prédictif de décès et de défaillances multisystémiques à J30, dans une population de patients opérés de la valve mitrale ou aortique. La dysfonction VD dans le rétrécissement aortique prend même toute sa place en pré-opératoire dans la nouvelle classification du rétrécissement aortique proposée par Généreux et al (2)(3), où la dysfonction VD évaluée par un TAPSE inférieur à 16 mm est considérée comme le grade le plus sévère de rétrécissement aortique serré.

En post-opératoire, comme dans l'étude de Coisne et al (5), les paramètres de fonction longitudinale du VD ne sont pas pronostics à long terme. Eleid et al(31) retrouvaient également que le SDTI, qu'il soit inférieur ou non à 11 cm/s en post-TAVI n'influait pas le pronostic à 1 an.

La fonction VD ne se résumant pas seulement à la fonction longitudinale de sa paroi libre (10), nous avons entrepris d'évaluer de façon plus globale le VD par 3D.

Les paramètres ventriculaires droits mesurés en 3 dimensions (FEVD, VTDVD, VTSVD, VEVD), n'étaient pas pronostics dans notre travail, que ce soit en pré ou en post-opératoire précoce.

Cela peut, en partie, être expliqué par l'absence de modification cliniquement significative de ces paramètres, entre le pré et le post-opératoire, dans notre étude, et ce, de manière

concordante avec la littérature et notamment l'évaluation du VD en IRM en pré et post-opératoire de chirurgie de remplacement valvulaire aortique (23).

Néanmoins, la 3D du VD a déjà prouvé qu'elle était pronostic dans de nombreuses pathologies cardiaques, comme dans l'étude de Nagata et al (13) portant sur 446 patients chez qui on réalisait une IRM cardiaque pour des cardiopathies variées et dans le même temps une ETT 3D. Dans cette population, un cut-off de FEVD à 35 % était prédictif de mortalité à 4 ans et un cut-off de FEVD à 41 % était prédictif de la survenue de MACEs.

Cependant, plusieurs différences entre l'étude de Nagata et al et la nôtre sont à mettre en avant :

- Il s'agit de deux populations différentes, notre population s'intéressant exclusivement à des patients allant bénéficier d'une chirurgie de remplacement valvulaire aortique pour rétrécissement aortique serré, pathologie où la dysfonction ventriculaire droite ne survient qu'à un stade terminal de la pathologie (2)(3).

- La fonction ventriculaire droite des patients dans l'étude de Nagata et al semble préservée avec une FEVD mesurée en 3D de 50 +/- 10 %. Cependant, aucune donnée n'est présentée concernant les paramètres usuels d'évaluation du ventricule droit (TAPSE, STDI), certains patients de leur cohorte pouvant présenter une altération de ces paramètres que l'on sait pronostics en pré-opératoire de chirurgie cardiaque et qui étaient exclus de notre étude (4)(2)(3).

- Le software utilisé par les auteurs pour le post-traitement de la 3D du VD était différent de celui utilisé dans notre travail (TomTec de Phillips®), pouvant altérer la reproductibilité de nos études. Il est d'ailleurs à noter l'excellente corrélation de leurs données 3D avec l'IRM cardiaque, avec des VTDVD et VTSVD présentant des corrélations de 0,85 et 0,90 respectivement, quand nos corrélations sont de 0,64 et 0,31 respectivement. Il est particulièrement notable que la corrélation du VTSVD mesuré en ETT 3D versus IRM est meilleure que la corrélation du VTDVD mesuré en ETT 3D versus IRM, quand on sait que le contourage du ventricule droit en systole est rendu particulièrement difficile par les

trabéculations.

- Le nombre important de patients (446 patients), la durée moyenne de suivi (4,1 ans), la variété des pathologies considérées, ont abouti à 19,7 % d'évènements (12,4 % dans notre cohorte), pouvant également expliquer l'absence de caractère pronostic de la 3D du VD retrouvée dans notre travail.

Surkova and al ont démontré que la FEVD évaluée en ETT 3D était prédictive de la mortalité toutes causes et cela indépendamment de la FEVG 3D dans une population de cardiopathies variées (32). Le meilleur seuil prédictif de mortalité toutes causes était une FEVD 3D inférieure à 41 % avec une sensibilité de 0,80, une spécificité de 0,84 et un index de Youden à 0,63. Encore une fois, il s'agissait d'une population importante (394 patients), suivie sur une période longue (3,7 +/- 1,1 ans) ayant présenté un nombre important d'évènements (14,2 % versus 12,4 % dans notre cohorte). Ce travail comportait 87 patients porteurs de valvulopathies (22 % de la population totale) et il était retrouvé un TAPSE médian de 15 mm et une FRS médiane de 31 % chez les 56 patients ayant présenté un évènement, or les patients présentant une altération de la fonction ventriculaire droite en partie évaluée par le TAPSE et la FRS étaient exclus de notre étude, pouvant expliquer notre faible taux d'évènement. Enfin, le software utilisé était encore une fois différent du nôtre (TomTec de Phillips®).

Seule l'IVA semble être prédictive de mortalité et d'évènements cardiovasculaires à 1 an dans notre étude, la survie étant clairement meilleure dans la population avec une IVA > 2,95 m/s² que dans celle avec une IVA < 1,4 m/s². Finalement, le seuil d'IVA le plus déterminant d'un pronostic péjoratif dans notre cohorte était une IVA < 1,6 m/s² (AUC = 0,756 ; p = 0,0014) avec une sensibilité de 75 % et une spécificité de 70 %.

Il s'agit à notre connaissance de la première fois qu'un seuil déterminant le pronostic des patients de chirurgie cardiaque est établi pour ce paramètre.

Seul Sade et al. (33) avaient démontré, dans une population de patients porteurs de rétrécissements mitraux significatifs, qu'une IVA ne dépassant pas 6,5 m/ s² sous dobutamine

était le seul facteur déterminant une $\text{Papo} > 18 \text{ mmHg}$ (critère primaire de l'étude). De plus, une IVA qui augmentait de moins de $3,4 \text{ m/s}^2$ avait une sensibilité de 86 % et une spécificité de 75% pour prédire les décès et événements cardiovasculaires à 20 ± 8 mois.

Tigen et al, dans une cohorte de 63 patients en péri-opératoire de chirurgie valvulaire mitrale et/ou aortique, retrouvaient que l'IVA était un facteur prédictif indépendant d'amélioration fonctionnelle à 6 mois de la chirurgie, à savoir, une amélioration d'au moins 1 stade de dyspnée quantifiée par l'échelle NYHA. Il n'était cependant pas recherché de caractère pronostic de l'IVA concernant les décès de cause cardiovasculaire et les MACEs (34).

L'IVA est un paramètre d'évaluation de la fonction systolique globale du ventricule droit validé dans l'étude princeps de Vogel et al réalisée sur des porcs. Il s'agit d'un paramètre insensible aux variations des conditions de charge (pré et post charge)(27). Cela était confirmé sur des humains par Kjeurgaard et al qui ne retrouvaient pas de variation d'IVA secondaire aux modifications de post-charge chez 17 patients sains (26).

Cela est particulièrement d'intérêt en post-opératoire de chirurgie cardiaque où les conditions de ventilation et où les conditions de volémie changent rapidement.

3) *Comparaison aux recommandations internationales :*

L'EACVI a recommandé en 2015 (19) de réaliser la mesure d'au moins un paramètre parmi FRS, TAPSE et SDTI et d'y adjoindre la mesure du RMPI. L'IVA n'est pas mentionnée.

Dans notre travail, l'IVA semble être le meilleur paramètre d'évaluation du ventricule droit en péri-opératoire de chirurgie de remplacement valvulaire aortique.

Dans leur étude, Peyrou et al retrouvaient déjà que l'IVA était le meilleur paramètre à adjoindre au SDTI et à la FRS en péri-opératoire de chirurgie cardiaque, l'IVA permettant de reclasser les patients présentant une dysfonction cardiaque avec un seuil $\leq 1,8 \text{ m/s}^2$ (Se = 86 %, Sp = 80 %, AUC 0,87).

B. Limites du travail :

1) *Limites techniques :*

La réalisation de la 3D du VD s'est heurtée, au cours de notre étude, à des problèmes matériels avec parfois l'indisponibilité d'une sonde 3D à l'origine d'une baisse de puissance de notre étude.

La corrélation du VTDVD mesuré en ETT 3D versus en IRM myocardique en pré-opératoire était satisfaisante avec un r^2 à 0,64, mais semblait diminuer pour des VTDVD supérieurs à 150 ml où le défaut de visualisation des segments antérieurs et latéraux de la paroi libre en ETT sous-estimait le VTDVD, ce qui était déjà retrouvé dans la littérature (12). Les trabéculations du VD en systole rendaient la corrélation du VTSVD mesurée en 3D versus en IRM certes significative, mais faible avec un r^2 à 0,31. Or, les patients en post-chirurgie cardiaque présentaient souvent une échogénicité médiocre rendant la visualisation de l'ensemble des parois, et notamment des segments antérieurs et latéraux de la paroi libre du ventricule droit, encore plus difficile. En effet, concernant les 76 patients qui ont bénéficié d'une évaluation de la 3D du VD à J7, l'échogénicité était considérée moyenne à médiocre chez 46 patients (60,5 % versus 55,7 % à J0).

La 3D du VD présentait l'inconvénient de ne pas pouvoir être réalisée en cas d'arythmie persistante lors de l'ETT à J7 (20 patients soit 14,6%), d'être un paramètre charge-dépendant et dont l'évaluation peut être biaisée par un septum interventriculaire dyskinétique, souvent présent au décours d'une chirurgie sous CEC, jusqu'à 50 % des échographies cardiaques réalisées avant sortie d'hospitalisation dans l'étude de Moya Mur et al (35).

L'apprentissage de la technique, l'utilisation d'appareils d'échographie et de sondes de dernières générations (Vivid E95 et sonde 4Vc) pourraient permettre de se rapprocher un peu plus du gold standard qu'est l'IRM cardiaque.

L'adjonction de produit de contraste pourrait également incrémenter la corrélation de la 3D du VD à l'IRM cardiaque. En effet, comparativement à l'IRM cardiaque, l'adjonction de produit de contraste à l'ETT 3D permet, dans l'étude de Medvedofsky et al, une meilleure visualisation des contours endocardiques résultant en une évaluation plus précise et plus reproductible des dimensions et de la fonction ventriculaire droite (36).

2) *Limites des estimations :*

Le système cardiocirculatoire fonctionne en circuit fermé avec des volumes éjectés en sous-pulmonaire et en sous-aortique égaux en l'absence de valvulopathies régurgitantes ou de shunt intra-cardiaque. Dans notre étude, la corrélation du VEVD 3D et du VEVG 2D était médiocre avec un r^2 à 0,28, probablement en raison de réalisation de coupes 2D tronquées sur le VG, en raison de l'échogénicité faible des patients en post-opératoire précoce de chirurgie cardiaque. La corrélation entre le VEVD 3D et le VEVG 3D était meilleure mais restait imparfaite avec un r^2 à 0,46 témoignant encore des difficultés d'acquisition de l'ensemble des parois du VD et de la courbe d'apprentissage nécessaire à la réalisation de la 3D du VD.

3) *Limites liées aux échantillons :*

Le faible effectif de patients ayant eu un suivi à 1 an ($n = 89$) et le faible nombre d'événements survenus chez cette population à bas risque chirurgical (MACEs + DTC = 11) limitent la puissance de notre étude. Il paraît nécessaire et intéressant de poursuivre le travail sur une plus large cohorte et pendant un temps de suivi plus long.

Le nombre important de perdus de vue à 1 an, 22 patients, soit (19,8%), doit être pris en compte dans la portée de nos résultats.

Il s'agit enfin d'une étude monocentrique menée au CHU de Lille.

C. Perspectives :

1) *Agrandir la cohorte de patients ayant une ETT 3D du VD avec matériels de dernières générations :*

Nous pourrions poursuivre les inclusions en utilisant des appareils d'échographie et des sondes de dernières générations (Vivid E95 et sonde 4Vc) et du produit de contraste afin de pallier au manque d'échogénicité des patients en post-opératoire précoce de chirurgie cardiaque.

La poursuite de l'apprentissage de la technique d'acquisition des boucles 3D du VD par l'équipe pourrait permettre l'obtention de boucles de meilleure qualité facilitant l'analyse « off-line ».

2) *Agrandir la cohorte de patients (étendre à d'autres valvulopathies) :*

La population des patients présentant un rétrécissement aortique serré de traitement chirurgical est, de manière concordante aux recommandations des sociétés savantes, à bas risque chirurgical avec donc la survenue de peu d'évènements en post-opératoire.

Agrandir la cohorte de patients, suivre les patients sur une durée plus longue pourraient permettre d'accroître le nombre d'évènement et de pallier au manque de puissance de notre étude.

Étendre l'étude des paramètres ventriculaires droits à d'autres valvulopathies gauches (insuffisance aortique, insuffisance ou rétrécissement mitraux) pourrait permettre d'accroître notre population. En effet, ces chirurgies nécessitent également une péricardotomie et une CEC avec altération des paramètres ventriculaires droits en post-opératoires. Néanmoins, cela induirait une hétérogénéité de la population.

VI. Conclusion :

Une altération systématique de tous les paramètres de fonction longitudinale du VD était retrouvée en post-opératoire de chirurgie de remplacement valvulaire aortique sous CEC.

À contrario, les paramètres d'évaluation globale de la fonction ventriculaire droite et notamment la FEVD 3D restaient stables. Seuls l'IVA et le RMPI présentaient une dégradation en post-opératoire qui persistait à 1 an.

L'évaluation du caractère pronostic de la fonction ventriculaire droite ne retrouve qu'un seul paramètre pronostic, l'IVA, indice non charge-dépendant, pour lequel le seuil le plus déterminant d'un pronostic péjoratif dans notre cohorte était une $IVA < 1,6 \text{ m/s}^2$ (AUC = 0,756 ; $p = 0,0014$) avec une sensibilité de 75 % et une spécificité de 70 %.

Il s'agit à notre connaissance de la première fois qu'un paramètre de fonction ventriculaire droite évalué en post-opératoire d'une chirurgie cardiaque sous CEC présente un intérêt pronostic à long terme.

La fonction ventriculaire droite évaluée en 3D (GE 4D Auto RVQ) n'était pas prédictive d'événement à 1 an dans notre étude. Cette technique, qui présente une bonne corrélation à l'IRM, présente néanmoins une courbe d'apprentissage non négligeable et nécessite donc la poursuite des inclusions dans cette étude.

Bibliographie

1. Baumgartner H, Falk V, Bax JJ, De Bonis M, Hamm C, Holm PJ, et al. 2017 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur Heart J*. 21 sept 2017;38(36):2739–91.
2. Génèreux P, Pibarot P, Redfors B, Mack MJ, Makkar RR, Jaber WA, et al. Staging classification of aortic stenosis based on the extent of cardiac damage. *Eur Heart J*. 1 déc 2017;38(45):3351–8.
3. Vollema EM, Amanullah MR, Ng ACT, van der Bijl P, Prevedello F, Sin YK, et al. Staging Cardiac Damage in Patients With Symptomatic Aortic Valve Stenosis. *J Am Coll Cardiol*. 30 juill 2019;74(4):538–49.
4. Bohbot Y, Guignant P, Rusinaru D, Kubala M, Maréchaux S, Tribouilloy C. Impact of Right Ventricular Systolic Dysfunction on Outcome in Aortic Stenosis. *Circ Cardiovasc Imaging*. janv 2020;13(1):e009802.
5. Coisne A, Modine T, Outteryck F, Mouton S, Pilato R, Ridon H, et al. Clinical Significance of Right Ventricular Longitudinal Function Parameters After Aortic Valve Replacement. *JACC Cardiovasc Imaging*. 1 avr 2018;11(4):651–2.
6. Sanz J, García-Alvarez A, Fernández-Friera L, Nair A, Mirelis JG, Sawit ST, et al. Right ventriculo-arterial coupling in pulmonary hypertension: a magnetic resonance study. *Heart*. 1 févr 2012;98(3):238–43.
7. Kempny A, Diller G-P, Kaleschke G, Orwat S, Funke A, Schmidt R, et al. Impact of transcatheter aortic valve implantation or surgical aortic valve replacement on right ventricular function. *Heart Br Card Soc*. sept 2012;98(17):1299–304.
8. Keyl C, Schneider J, Beyersdorf F, Ruile P, Siepe M, Pioch K, et al. Right ventricular function after aortic valve replacement: a pilot study comparing surgical and transcatheter procedures using 3D echocardiography. *Eur J Cardio-Thorac Surg Off J Eur Assoc Cardio-Thorac Surg*. mars 2016;49(3):966–71.
9. Rösner A, Avenarius D, Malm S, Iqbal A, Schirmer H, Bijmens B, et al. Changes in Right Ventricular Shape and Deformation Following Coronary Artery Bypass Surgery—Insights from Echocardiography with Strain Rate and Magnetic Resonance Imaging. *Echocardiography*. 2015;32(12):1809–20.
10. Kovács A, Lakatos B, Tokodi M, Merkely B. Right ventricular mechanical pattern in health and disease: beyond longitudinal shortening. *Heart Fail Rev*. juill 2019;24(4):511–20.
11. Ternacle J, Berry M, Cagnet T, Kloeckner M, Damy T, Monin J-L, et al. Prognostic Value of Right Ventricular Two-Dimensional Global Strain in Patients Referred for Cardiac Surgery. *J Am Soc Echocardiogr*. 1 juill 2013;26(7):721–6.
12. Shimada YJ, Shiota M, Siegel RJ, Shiota T. Accuracy of Right Ventricular Volumes and Function Determined by Three-Dimensional Echocardiography in Comparison with Magnetic Resonance Imaging: A Meta-Analysis Study. *J Am Soc Echocardiogr*. sept 2010;23(9):943–53.

13. Nagata Yasufumi, Wu Victor Chien-Chia, Kado Yuichiro, Otani Kyoko, Lin Fen-Chiung, Otsuji Yutaka, et al. Prognostic Value of Right Ventricular Ejection Fraction Assessed by Transthoracic 3D Echocardiography. *Circ Cardiovasc Imaging*. 1 févr 2017;10(2):e005384.
14. Galiè N, Humbert M, Vachiery J-L, Gibbs S, Lang I, Torbicki A, et al. 2015 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension: The Joint 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: Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC), International Society for Heart and Lung Transplantation (ISHLT). *Eur Heart J*. 1 janv 2016;37(1):67–119.
15. Chemla D, Castelain V, Humbert M, Hébert J-L, Simonneau G, Lecarpentier Y, et al. New Formula for Predicting Mean Pulmonary Artery Pressure Using Systolic Pulmonary Artery Pressure. *Chest*. 1 oct 2004;126(4):1313–7.
16. Miller D, Farah MG, Liner A, Fox K, Schluchter M, Hoit BD. The relation between quantitative right ventricular ejection fraction and indices of tricuspid annular motion and myocardial performance. *J Am Soc Echocardiogr*. 1 mai 2004;17(5):443–7.
17. Carluccio Erberto, Biagioli Paolo, Alunni Gianfranco, Murrone Adriano, Zuchi Cinzia, Coiro Stefano, et al. Prognostic Value of Right Ventricular Dysfunction in Heart Failure With Reduced Ejection Fraction. *Circ Cardiovasc Imaging*. 1 janv 2018;11(1):e006894.
18. Rudski LG, Lai WW, Afilalo J, Hua L, Handschumacher MD, Chandrasekaran K, et al. Guidelines for the Echocardiographic Assessment of the Right Heart in Adults: A Report from the American Society of Echocardiography: Endorsed by the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 1 juill 2010;23(7):685–713.
19. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, Afilalo J, Armstrong A, Ernande L, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. mars 2015;16(3):233–70.
20. Aubert R, Venner C, Huttin O, Haine D, Filippetti L, Guillaumot A, et al. Three-Dimensional Echocardiography for the Assessment of Right Ventriculo-Arterial Coupling. *J Am Soc Echocardiogr*. 1 août 2018;31(8):905–15.
21. Niemann PS, Pinho L, Balbach T, Galuschky C, Blankenhagen M, Silberbach M, et al. Anatomically Oriented Right Ventricular Volume Measurements With Dynamic Three-Dimensional Echocardiography Validated by 3-Tesla Magnetic Resonance Imaging. *J Am Coll Cardiol*. 23 oct 2007;50(17):1668–76.
22. Towheed Arooge, Sabbagh Ebrahim, Gupta Rajesh, Assiri Salem, Chowdhury Mohammed A., Moukarbel George V., et al. Right Ventricular Dysfunction and Short-Term Outcomes Following Left-Sided Valvular Surgery: An Echocardiographic Study. *J Am Heart Assoc*. 16 févr 2021;10(4):e016283.

23. Sandstede JJW, Beer M, Hofmann S, Lipke C, Harre K, Pabst T, et al. Changes in left and right ventricular cardiac function after valve replacement for aortic stenosis determined by cine MR imaging. *J Magn Reson Imaging*. 2000;12(2):240-6.
24. Van Orman JR, Connelly K, Albinmoussa Z, Tousignant C. Early recovery of tricuspid annular isovolumic acceleration after mitral valve surgery – an observational study. *Can J Anesth Can Anesth*. 1 août 2016;63(8):920-7.
25. Borde D, Joshi P, Joshi S, Asegaonkar B, Apsingekar P, Khade S, et al. Changes in Right Ventricular Function After Off-Pump Coronary Artery Bypass Grafting. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 1 mars 2021;35(3):811-9.
26. Kjaergaard J, Snyder EM, Hassager C, Oh JK, Johnson BD. Impact of Preload and Afterload on Global and Regional Right Ventricular Function and Pressure: A Quantitative Echocardiography Study. *J Am Soc Echocardiogr*. mai 2006;19(5):515-21.
27. Vogel M, Schmidt MR, Kristiansen SB, Cheung M, White PA, Sorensen K, et al. Validation of myocardial acceleration during isovolumic contraction as a novel noninvasive index of right ventricular contractility: comparison with ventricular pressure-volume relations in an animal model. *Circulation*. 9 avr 2002;105(14):1693-9.
28. Peyrou J, Parsaï C, Chauvel C, Simon M, Dehant P, Abergel E. Echocardiographic assessment of right ventricular systolic function in a population of unselected patients before cardiac surgery: A multiparametric approach is necessary. *Arch Cardiovasc Dis*. 1 oct 2014;107(10):529-39.
29. Nashef SAM, Roques F, Sharples LD, Nilsson J, Smith C, Goldstone AR, et al. EuroSCORE II†. *Eur J Cardiothorac Surg*. 1 avr 2012;41(4):734-45.
30. Asami M, Stortecky S, Praz F, Lanz J, Räber L, Franzone A, et al. Prognostic Value of Right Ventricular Dysfunction on Clinical Outcomes After Transcatheter Aortic Valve Replacement. *JACC Cardiovasc Imaging*. avr 2019;12(4):577-87.
31. Eleid MF, Padang R, Pislaru SV, Greason KL, Crestanello J, Nkomo VT, et al. Effect of Transcatheter Aortic Valve Replacement on Right Ventricular–Pulmonary Artery Coupling. *JACC Cardiovasc Interv*. 11 nov 2019;12(21):2145-54.
32. Surkova E, Muraru D, Genovese D, Aruta P, Palermo C, Badano LP. Relative Prognostic Importance of Left and Right Ventricular Ejection Fraction in Patients With Cardiac Diseases. *J Am Soc Echocardiogr*. 1 nov 2019;32(11):1407-1415.e3.
33. Sade LE, Özin B, Ulus T, Açikel S, Pirat B, Bilgi M, et al. Right ventricular contractile reserve in mitral stenosis: Implications on hemodynamic burden and clinical outcome. *Int J Cardiol*. 26 juin 2009;135(2):193-201.
34. Tigen K, Karaahmet T, Zencirkiran H, Cevik C, Gurel E, Fotbolcu H, et al. [Usefulness of isovolumic acceleration and tissue Doppler echocardiographic parameters for predicting postoperative functional recovery after heart valve surgery]. *Rev Esp Cardiol*. avr 2010;63(4):430-8.

35. Moya Mur J-L, García Martín A, García Lledó A, Lázaro Rivera C, Rincón Díaz LM, Miguelena Hycka J, et al. Geometrical and functional cardiac changes after cardiac surgery: a physiopathological explanation based on speckle tracking. *Int J Cardiovasc Imaging*. déc 2018;34(12):1905-15.
36. Medvedofsky D, Mor-Avi V, Kruse E, Guile B, Ciszek B, Weinert L, et al. Quantification of Right Ventricular Size and Function from Contrast-Enhanced Three-Dimensional Echocardiographic Images. *J Am Soc Echocardiogr*. 1 déc 2017;30(12):1193-202.

Annexes

Tableau 6 : Reproductibilité intra-observateur des données du VD en ETT 3D (n=15). (Travail antérieur de l'équipe des EFCV).			
Paramètres	Coefficient de variation (CV) (%) +/- Déviation standard (DS)	Biais +/- Déviation Standard (DS) T	IC 95% T
VTDVD (ml)	7,4 +/- 7,9	6,53 +/- 9,45	[-25,05 ; 11,98]
VTSVD (ml)	12 +/- 5	-2,6 +/- 6,79	[-15,91 ; 10,71]
VEVD (ml)	8,5 +/- 5,7	-5,25 +/- 6,33	[-17,66 ; 7,169]

Moyenne +/- déviation standard ; T Analyse de Bland Altman
VEVD : Volume d'éjection du VD ; VD : Ventricule Droit ; VTDVD : Volume Télé-Diastolique du VD ; VTSVD : Volume Télé-Systolique du VD.

Tableau 7 : Reproductibilité inter-observateur des données du VD en ETT 3D (n=15). (Travail antérieur de l'équipe des EFCV).			
Paramètres	Coefficient de variation (CV) (%) +/- Déviation standard (DS)	Biais +/- Déviation Standard (DS) T	IC 95% T
VTDVD (ml)	7,9 +/- 8,1	-4,6 +/- 11	[-25,84 ; 16,70]
VTSVD (ml)	20,6 +/- 7,6	-4,7 +/- 10	[-24,41 ; 14,98]
VEVD (ml)	7,3 +/- 4,7	0,1 +/- 6,9	[-13,36 ; 13,51]

Moyenne +/- déviation standard ; T Analyse de Bland Altman
VEVD : Volume d'éjection du VD ; VD : Ventricule Droit ; VTDVD : Volume Télé-Diastolique du VD ; VTSVD : Volume Télé-Systolique du VD.

Tableau 8 : Courbe d'apprentissage de la technique appréciée par la reproductibilité intra-observateur des données du VD en ETT 3D avec l'échographe VIVID9, la sonde 4V et le logiciel d'analyse GE RVQ2. (Travail antérieur de l'équipe des EFCV).				
	15 premiers patients réalisés avec le VIVID9 sonde 4V et le logiciel GE RVQ2 (n=15)		15 derniers patients réalisés avec le VIVID9, sonde 4V et le logiciel GE RVQ2 (n=15)	
Paramètres	CV (%) +/- DS	Biais +/- DS T	CV (%) +/- DS	Biais +/- DS T
VTDVD (ml)	13,4 +/- 14,7	0,33 +/- 21,48	7,8 +/- 8,6	-3,3 +/- 12,16
VTSVD (ml)	20,8 +/- 11	9,6 +/- 12,78	11,9 +/- 5,8	1,8 +/- 8,22
VEVD (ml)	17,9 +/- 10	-8,87 +/- 11,58	14,9 +/- 9,2	-4,8 +/- 12,54

Moyenne +/- déviation standard ; T Analyse de Bland Altman
VEVD : Volume d'éjection du VD ; VD : Ventricule Droit ; VTDVD : Volume Télé-Diastolique du VD ; VTSVD : Volume Télé-Systolique du VD.

Tableau 10 : Régression linéaire entre les différents volumes éjectés sous aortiques et sous pulmonaires évalués en ETT 2D, 3D et en IRM cardiaque en pré-opératoire.			
Corrélacion entre le VEVD en 3D (ml) et le VEVG en 3D (ml) (n=48)		Corrélacion entre le VEVD en 3D (ml) et le VEVG en 2D par méthode de Simpson Biplan (ml) (n=52)	
r^2	P Value	r^2	P Value
0,46	p<0,0001	0,28	p<0,0001
Corrélacion entre le VEVD en 3D (ml) et le VEVG en 2D par équation de continuité (ml) (n=52)		Corrélacion entre le VEVD en 3D (ml) et le VEVD en IRM (ml) (n=47)	
r^2	P Value	r^2	P Value
0,17	p=0,0021	0,51	p<0,0001

p < 0,05 = significatif.
VD : Ventricule Droit ; VG : Ventricule Gauche ; VEVG/VD : Volume éjecté du VG/VD

Figure 4 : Régressions linéaires, A : VEVD 3D versus VEVG 3D, B : VEVD 3D versus VEVG en équation de continuité, C : VEVD 3D versus VEVG 2D, D : VEVD 3D versus VEVD en IRM :

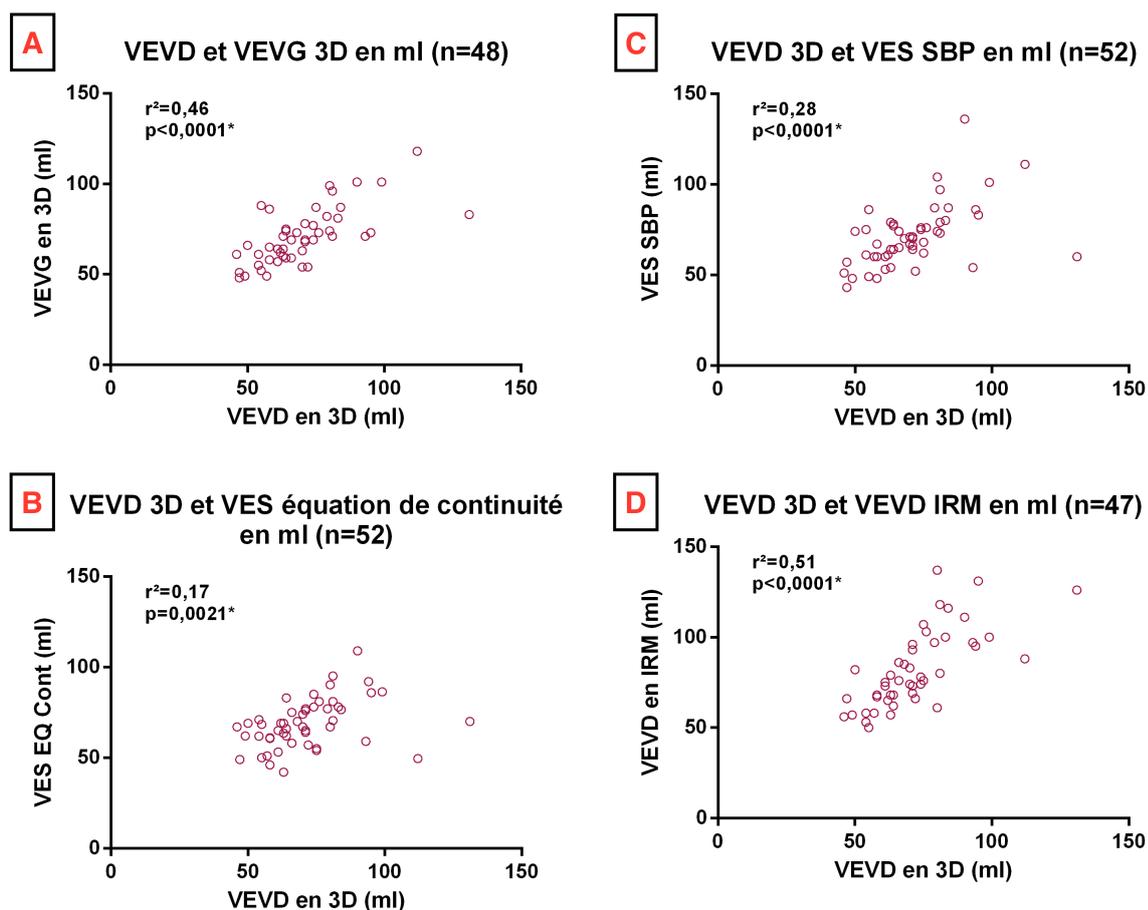


Tableau 11 : Evolution des paramètres évaluant la fonction VD en post-opératoire d'un remplacement valvulaire aortique sous CEC (n=140).

	J-1	J7	P value	J-1	J365	P value
PAPm (mmHg) T ^Φ	21,8 [18,5 ; 24,6]	19 [16,6 ; 24,6]	0,0317 n = 63	21,8 [18,5 ; 24,6]	20,3 [17,9 ; 23,5]	0,4530 n = 29
TCIV (ms) T	74,3 +/- 19,1	66,3 +/- 18,7	0,0045 n = 101	74,3 +/- 19,1	82,1 +/- 19,7	0,0014 n = 64
Temps d'éjection VD (ms) T	279,9 +/- 41,2	179,1 +/- 45,7	<0,0001 n = 101	279,9 +/- 41,2	234,6 +/- 43,9	<0,0001 n = 64
TRIV (ms) T	78,5 +/- 29,6	98,8 +/- 40,1	0,0002 n = 101	78,5 +/- 29,6	113,5 +/- 39,2	<0,0001 n = 64
Paramètres de fonction longitudinale en 2D						
TAPSE (mm) T	23,9 +/- 3,9	13,1 +/- 3,1	<0,0001 n = 129	23,9 +/- 3,9	17,9 +/- 3,4	<0,0001 n = 80
SDTI (cm/s) T	12,9 +/- 2,7	8,7 +/- 1,9	<0,0001 n = 131	12,9 +/- 2,7	10,3 +/- 2,1	<0,0001 n = 80
Strain PL VD (%) T	-24,1 +/- 5	-15,1 +/- 5,5	<0,0001 n = 65	-24,1 +/- 5	-21,2 +/- 4,5	0,0004 n = 36
Paramètres de fonction globale en 2D et 3D						
FRS (%) T	50,9 +/- 9,5	50,5 +/- 9,6	0,94 n = 97	50,9 +/- 9,5	49,1 +/- 7,5	0,29 n = 60
IVA (m/s ²) T ^Φ	2,9 [2,1 ; 3,6]	2,15 [1,57 ; 2,75]	<0,0001 n = 100	2,9 [2,1 ; 3,6]	2 [1,52 ; 3,0]	<0,0001 n = 62
RVMPI (indice de TeI) T ^Φ	0,52 [0,46 ; 0,62]	0,9 [0,7 ; 1,20]	<0,0001 n = 101	0,52 [0,46 ; 0,62]	0,87 [0,68 ; 1,02]	<0,0001 n = 64
dP/dtmax VD (mmHg/s) T ^Φ	504 [342 ; 713]	500 [346 ; 729]	0,9467 n = 62	504 [342 ; 713]	572 [384 ; 776]	0,8917 n = 27

T comparaison par un test One Way ANOVA apparié p < 0,05 = significatif ; T^Φ comparaison par un test One Way ANOVA apparié sur la transformation logarithmique de la variable ; FRS : Fraction de Raccourcissement Systolique ; IVA : Isovolumic Acceleration ; PAPm : Pression Artérielle Pulmonaire moyenne ; RVMPI : Right Ventricular Myocardial Performance Index ; PL VD : Paroi Libre Ventricule Droit ; SDTI = onde systolique doppler tissulaire ; TAPSE : Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion ; TCIV : Temps de contraction isovolumique ; TRIV : Temps de relaxation isovolumique ; dP/dtmax = index de contraction isovolumique.

Tableau 11 (suite 1) : Evolution des paramètres évaluant la fonction VD en post-opératoire d'un remplacement valvulaire aortique sous CEC (n=140).

	J-1	J7	P value	J-1	J365	P value
<i>3 dimensions</i>						
VTDVD (ml) T	117,7 +/- 32	115,6 +/- 26,6	0,66 n = 70	117,7 +/- 32	127,4 +/- 30,9	0,0469 n = 34
VTSVD (ml) T	53,3 +/- 20,8	52,6 +/- 16,8	0,90 n = 70	53,3 +/- 20,8	57,9 +/- 20,2	0,1919 n = 34
VEVD (ml) T	64,4 +/- 15,7	62,5 +/- 14,6	0,36 n = 70	64,4 +/- 15,7	69,1 +/- 13,8	0,1070 n = 34
FEVD (%) T	55,6 +/- 8,7	55,3 +/- 8	0,92 n = 70	55,6 +/- 8,7	55,1 +/- 6,7	0,90 n = 34
Elastance et couplage VD-AP						
Couplage VD-AP T ^Φ	0,8 [0,6 ; 1]	0,8 [0,7 ; 1]	0,6121 n = 48	0,8 [0,6 ; 1]	0,8 [0,7 ; 1]	0,7055 n = 19
Elastance télé-systolique VD Ees VD (mmHg/ml) T ^Φ	0,4 [0,3 ; 0,5]	0,4 [0,3 ; 0,5]	0,5223 n = 48	0,4 [0,3 ; 0,5]	0,36 [0,28 ; 0,47]	0,0045 n = 19
Elastance AP Ea AP (mmHg/ml) T ^Φ	0,3 [0,3 ; 0,4]	0,32 [0,27 ; 0,44]	0,9682 n = 48	0,3 [0,3 ; 0,4]	0,27 [0,24 ; 0,38]	0,0766 n = 19
Travail d'éjection du VD (ml.mmHg) T ^Φ	1403 [984 ; 1680]	1306 [1066 ; 1588]	0,3786 n = 48	1403 [984 ; 1680]	1399 [1263 ; 1626]	0,5437 n = 19

T comparaison par un test One Way ANOVA apparié ; T^Φ comparaison par un test One

Way ANOVA apparié sur la transformation logarithmique de la variable ; *p < 0,05 =

significatif ; AP : Artère pulmonaire ; FEVD : Fraction d'éjection VD ; VD : Ventricule

Droit ; VEVD : Volume d'éjection du VD ; VTDVD : Volume télé-diastolique du VD ; VTSVD :

Volume télé-systolique du VD.

Tableau 11 (suite 2) : Evolution des paramètres évaluant la fonction VD en post-opératoire d'un remplacement valvulaire aortique sous CEC (n=140).

	J7	J365	P value n=
PAPm (mmHg) T^Φ	19 [16,6 ; 24,6]	20,3 [17,9 ; 23,5]	0,5849 n=31
TCIV (ms) T	66,3 +/- 18,7	82,1 +/- 19,7	<0,0001 n=62
Temps d'éjection VD (ms) T	179,1 +/- 45,7	234,6 +/- 43,9	<0,0001 n=62
TRIV (ms) T	98,8 +/- 40,1	113,5 +/- 39,2	0,0546 n=62
Paramètres de fonction longitudinale en 2D			
TAPSE (mm) T	13,1 +/- 3,1	17,9 +/- 3,4	<0,0001 n=77
SDTI (cm/s) T	8,7 +/- 1,9	10,3 +/- 2,1	<0,0001 n=78
Strain PL VD (%) T	-15,1 +/- 5,5	-21,2 +/- 4,5	<0,0001 n=31
Paramètres de fonction Globale en 2D et 3D			
FRS (%) T	50,5 +/- 9,6	49,1 +/- 7,5	0,32 n=56
IVA (m/s ²) T ^Φ	2,15 [1,57 ; 2,75]	2 [1,52 ; 3,0]	0,9965 n=59
RVMPI (indice de TeI) T ^Φ	0,9 [0,7 ; 1,20]	0,87 [0,68 ; 1,02]	0,1784 n=62
dp/dtmax VD (mmHg/s) T ^Φ	500 [346 ; 729]	572 [384 ; 776]	0,9485 n=39
3 dimensions			
VTDVD (ml) T	115,6 +/- 26,6	127,4 +/- 30,9	0,005 n=28
VTSVD (ml) T	52,6 +/- 16,8	57,9 +/- 20,2	0,2 n=28
VEVD (ml) T	62,5 +/- 14,6	69,1 +/- 13,8	0,011 n=28
FEVD (%) T	55,3 +/- 8	55,1 +/- 6,7	0,99 n=28
Elastance et couplage VD-AP			
Couplage VD-AP T ^Φ	0,8 [0,7 ; 1]	0,8 [0,7 ; 1]	0,9492 n=18
Elastance télé-systolique VD Ees VD (mmHg/ml) T ^Φ	0,4 [0,3 ; 0,5]	0,36 [0,28 ; 0,47]	0,0799 n=18
Elastance AP Ea AP (mmHg/ml) Couplage VD-AP T ^Φ	0,32 [0,27 ; 0,44]	0,27 [0,24 ; 0,38]	0,0086 n=18
Travail d'éjection du VD (ml.mmHg) T ^Φ	1306 [1066 ; 1588]	1399 [1263 ; 1626]	0,1873 n=18

T comparaison par un test One Way ANOVA apparié ; p < 0,05 = significatif ;

T^Φ comparaison par un test One Way ANOVA apparié sur la transformation logarithmique de la variable ; AP : Artère pulmonaire ; FEVD : Fraction d'éjection VD ; FRS : Fraction de Raccourcissement systolique ; IVA : Isovolumic Acceleration ; PAPm : Pression Artérielle Pulmonaire moyenne ; RVMPI : Right Ventricular Myocardial Performance Index ; VD : Ventricule Droit ; VEVD : Volume d'éjection du VD ; VTDVD : Volume télé-diastolique du VD ; VTSVD : Volume télé-systolique du VD ; PL VD : Paroi Libre Ventricule Droit ; SDTI = onde systolique doppler tissulaire ; TAPSE : Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion ; TCIV : Temps de contraction isovolumique ; TRIV : Temps de relaxation isovolumique ; dp/dtmax = index de contraction isovolumique.

AUTEUR : Nom : SAVART

Prénom : Jean-Sébastien

Date de soutenance : 3 mai 2021

Titre de la thèse : Apport de l'évaluation en trois dimensions du ventricule droit en péri-opératoire d'une chirurgie de remplacement valvulaire aortique sous circulation extracorporelle.

Thèse - Médecine - Lille 2021

Cadre de classement : *Cardiologie*

DES + spécialité : *Cardiologie et maladies vasculaires*

Mots-clés : fonction ventriculaire droite, chirurgie cardiaque, CEC, échographie cardiaque 3D, accélération isovolumique (IVA).

Résumé :

Contexte : Le ventricule droit, au décours d'une chirurgie cardiaque sous CEC, présente une modification de sa conformation semblant rendre inadéquat l'utilisation en post-opératoire des paramètres longitudinaux usuellement utilisés à son évaluation, paramètres longitudinaux qui perdent leur valeur pronostic du pré-opératoire. L'ETT 3D pourrait permettre une évaluation plus fiable et pronostic du ventricule droit au décours de la chirurgie.

Méthodes : L'étude menée, monocentrique et prospective, a permis chez 140 patients opérés d'un remplacement valvulaire aortique sous CEC, d'évaluer de façon complète le ventricule droit en ETT 2D et 3D, en pré-opératoire (J-1), en post-opératoire précoce (J7) et à 1 an. La disponibilité d'un suivi à 1 an pour 89 patients a permis d'étudier la valeur pronostic à J-1 et à J7 des paramètres longitudinaux (TAPSE, SDTI, 2D-Strain de la paroi libre du VD) et globaux (IVA, RMPI, dp/dtmax, FRS, FEVD en 3D, couplage ventriculo-artériel).

Résultats : L'ensemble des paramètres longitudinaux présentaient une altération significative à J7 avec récupération partielle à 1 an. La FEVD en 3D restait stable entre le pré et le post-opératoire de même que les autres paramètres globaux hormis l'IVA et le RMPI qui présentaient une altération en post-opératoire précoce sans récupération à 1 an. 11 évènements sont survenus à 1 an de suivi chez 89 patients. Le seul paramètre retrouvé prédicteur de MACEs et Décès Toutes Causes à 1 an était l'IVA mesurée à J7 (1,45 [1 ; 1,9] m/s² dans la population ayant présenté un événement versus 2,2 [1,52 ; 3,05] m/s² dans la population n'en ayant pas présenté, p = 0,0085). La significativité persistait après analyse en Cox proportional hazard regression (p = 0,0393, coef beta -1,04 +/- 0,51). Le seuil d'IVA le plus déterminant d'un pronostic péjoratif dans notre cohorte était une IVA < 1,6 m/s² (AUC = 0,756 ; p = 0,0014) avec une sensibilité de 75 % et une spécificité de 70 %.

Conclusion : L'IVA, paramètre non charge dépendant, semble permettre une évaluation fiable et pronostic du ventricule droit en post-opératoire de chirurgie cardiaque sous CEC. L'évaluation de la 3D du ventricule droit, non pronostic dans notre travail, doit être poursuivie face à une courbe d'apprentissage et une reproductibilité perfectible.

Composition du Jury :

Président : Monsieur le Professeur David MONTAIGNE

Asseseurs : Monsieur le Professeur François PONTANA, Monsieur le Docteur Augustin COISNE

Directeur de thèse : Madame le Docteur Amandine COPPIN-JANDEAUX