

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE
MÉDECINE SPÉCIALISÉE CLINIQUE

Présentée et soutenue publiquement

Par

Laure VILIJN

Le 2 juillet 2021

COMPARAISON DE L'IRM ET DE L'ECHOGRAPHIE DANS L'EVALUATION
DU RETENTISSEMENT VENTRICULAIRE GAUCHE CHEZ DES PATIENTS
PORTEURS D'UNE INSUFFISANCE AORTIQUE.

Directeur de thèse : Docteur Yoan LAVIE BADIE.

JURY

Monsieur le Professeur Michel GALINIER	Président
Monsieur le Professeur Olivier LAIREZ	Assesseur
Madame le Docteur Eve CARIOU	Assesseur
Madame le Docteur Pauline FOURNIER	Assesseur
Monsieur le Docteur Yoan LAVIE BADIE	Assesseur



TABLEAU du PERSONNEL HU
des Facultés de Médecine de l'Université Paul Sabatier
au 1^{er} septembre 2020

Professeurs Honoraires

Doyen Honoraire	M. CHAP Hugues	Professeur Honoraire	M. MAGNAVAL Jean-François
Doyen Honoraire	M. GUIRAUD-CHAUMEIL Bernard	Professeur Honoraire	M. MANELFE Claude
Doyen Honoraire	M. LAZORTHES Yves	Professeur Honoraire	M. MANSAT Michel
Doyen Honoraire	M. PUEL Pierre	Professeur Honoraire	M. MASSIP Patrice
Doyen Honoraire	M. ROUGE Daniel	Professeur Honoraire	Mme MARTY Nicole
Doyen Honoraire	M. VINEL Jean-Pierre	Professeur Honoraire	M. MAZIERES Bernard
Professeur Honoraire	M. ABBAL Michel	Professeur Honoraire	M. MONROZIES Xavier
Professeur Honoraire	M. ADER Jean-Louis	Professeur Honoraire	M. MOSCOVICI Jacques
Professeur Honoraire	M. ADOUE Daniel	Professeur Honoraire	M. MURAT
Professeur Honoraire	M. ARBUS Louis	Professeur Honoraire associé	M. NICODEME Robert
Professeur Honoraire	M. ARLET Jacques	Professeur Honoraire	M. OLIVES Jean-Pierre
Professeur Honoraire	M. ARLET Philippe	Professeur Honoraire	M. PASCAL Jean-Pierre
Professeur Honoraire	M. ARLET-SUAU Elisabeth	Professeur Honoraire	M. PESSEY Jean-Jacques
Professeur Honoraire	M. ARNE Jean-Louis	Professeur Honoraire	M. PLANTE Pierre
Professeur Honoraire	M. BARRET André	Professeur Honoraire	M. PONTONNIER Georges
Professeur Honoraire	M. BARTHE Philippe	Professeur Honoraire	M. POURRAT Jacques
Professeur Honoraire	M. BAYARD Francis	Professeur Honoraire	M. PRADERE Bernard
Professeur Honoraire	M. BOCCALON Henri	Professeur Honoraire	M. PRIS Jacques
Professeur Honoraire	M. BONAFÉ Jean-Louis	Professeur Honoraire	Mme PUEL Jacqueline
Professeur Honoraire	M. BONEU Bernard	Professeur Honoraire	M. PUEL Pierre
Professeur Honoraire	M. BONNEVILLE Paul	Professeur Honoraire	M. PUJOL Michel
Professeur Honoraire	M. BOUNHOURE Jean-Paul	Professeur Honoraire	M. QUERLEU Denis
Professeur Honoraire	M. BOUTAULT Franck	Professeur Honoraire	M. RAILHAC Jean-Jacques
Professeur Honoraire Associé	M. BROS Bernard	Professeur Honoraire	M. REGIS Henri
Professeur Honoraire	M. BUGAT Roland	Professeur Honoraire	M. REGNIER Claude
Professeur Honoraire	M. CAHUZAC Jean-Philippe	Professeur Honoraire	M. REME Jean-Michel
Professeur Honoraire	M. CARATERO Claude	Professeur Honoraire	M. RISCHMANN Pascal
Professeur Honoraire	M. CARLES Pierre	Professeur Honoraire	M. RIVIERE Daniel
Professeur Honoraire	M. CARRIERE Jean-Paul	Professeur Honoraire	M. ROCHE Henri
Professeur Honoraire	M. CARTON Michel	Professeur Honoraire	M. ROCHICCIOLI Pierre
Professeur Honoraire	M. CATHALA Bernard	Professeur Honoraire	M. ROLLAND Michel
Professeur Honoraire	M. CHABANON Gérard	Professeur Honoraire	M. ROQUE-LATRILLE Christian
Professeur Honoraire	M. CHAMONTIN Bernard	Professeur Honoraire	M. RUMEAU Jean-Louis
Professeur Honoraire	M. CHAP Hugues	Professeur Honoraire	M. SALVADOR Michel
Professeur Honoraire	M. CHAVOIN Jean-Pierre	Professeur Honoraire	M. SALVAYRE Robert
Professeur Honoraire	M. CLANET Michel	Professeur Honoraire	M. SARRAMON Jean-Pierre
Professeur Honoraire	M. CONTE Jean	Professeur Honoraire	M. SIMON Jacques
Professeur Honoraire	M. COSTAGLIOLA Michel	Professeur Honoraire	M. SUC Jean-Michel
Professeur Honoraire	M. COTONAT Jean	Professeur Honoraire	M. THOUVENOT Jean-Paul
Professeur Honoraire	M. DABERNAT Henri	Professeur Honoraire	M. TREMOULET Michel
Professeur Honoraire	M. DAHAN Marcel	Professeur Honoraire	M. VALDIGUIE Pierre
Professeur Honoraire	M. DALOUS Antoine	Professeur Honoraire	M. VAYSSE Philippe
Professeur Honoraire	M. DALY-SCHVEITZER Nicolas	Professeur Honoraire	M. VIRENQUE Christian
Professeur Honoraire	M. DAVID Jean-Frédéric	Professeur Honoraire	M. VOIGT Jean-Jacques
Professeur Honoraire	M. DELSOL Georges		
Professeur Honoraire	Mme DELISLE Marie-Bernadette		
Professeur Honoraire	Mme DIDIER Jacqueline		
Professeur Honoraire	M. DUCOS Jean		
Professeur Honoraire	M. DUFFAUT Michel		
Professeur Honoraire	M. DUPRE M.		
Professeur Honoraire	M. DURAND Dominique		
Professeur Honoraire associé	M. DUTAU Guy		
Professeur Honoraire	M. ESCANDE Michel		
Professeur Honoraire	M. ESCHAPASSE Henri		
Professeur Honoraire	M. ESCOURROU Jean		
Professeur Honoraire	M. ESQUERRE J.P.		
Professeur Honoraire	M. FABIÉ Michel		
Professeur Honoraire	M. FABRE Jean		
Professeur Honoraire	M. FOURNIAL Gérard		
Professeur Honoraire	M. FOURNIE Bernard		
Professeur Honoraire	M. FOURTANIER Gilles		
Professeur Honoraire	M. FRAYSSE Bernard		
Professeur Honoraire	M. FREXINOS Jacques		
Professeur Honoraire	Mme GENESTAL Michèle		
Professeur Honoraire	M. GERAUD Gilles		
Professeur Honoraire	M. GHISOLFI Jacques		
Professeur Honoraire	M. GLOCK Yves		
Professeur Honoraire	M. GOUZI Jean-Louis		
Professeur Honoraire	M. GRAND Alain		
Professeur Honoraire	M. GUIRAUD CHAUMEIL Bernard		
Professeur Honoraire	M. HOFF Jean		
Professeur Honoraire	M. JOFFRE Francis		
Professeur Honoraire	M. LACOMME Yves		
Professeur Honoraire	M. LAGARRIGUE Jacques		
Professeur Honoraire	M. LANG Thierry		
Professeur Honoraire	Mme LARENG Marie-Blanche		
Professeur Honoraire	M. LAURENT Guy		
Professeur Honoraire	M. LAZORTHES Franck		
Professeur Honoraire	M. LAZORTHES Yves		
Professeur Honoraire	M. LEOPHONTE Paul		
		Professeur Honoraire	M. ALBAREDE Jean-Louis
		Professeur Honoraire	M. ARBUS Louis
		Professeur Honoraire	M. ARLET Philippe
		Professeur Honoraire	M. ARLET-SUAU Elisabeth
		Professeur Honoraire	M. BOCCALON Henri
		Professeur Honoraire	M. BOUTAULT Franck
		Professeur Honoraire	M. BONEU Bernard
		Professeur Honoraire	M. CARATERO Claude
		Professeur Honoraire	M. CHAMONTIN Bernard
		Professeur Honoraire	M. CHAP Hugues
		Professeur Honoraire	M. CONTE Jean
		Professeur Honoraire	M. COSTAGLIOLA Michel
		Professeur Honoraire	M. DABERNAT Henri
		Professeur Honoraire	M. FRAYSSE Bernard
		Professeur Honoraire	M. DELISLE Marie-Bernadette
		Professeur Honoraire	M. GUIRAUD-CHAUMEIL Bernard
		Professeur Honoraire	M. GRAND Alain
		Professeur Honoraire	M. JOFFRE Francis
		Professeur Honoraire	M. LAGARRIGUE Jacques
		Professeur Honoraire	M. LANG Thierry
		Professeur Honoraire	M. LAURENT Guy
		Professeur Honoraire	M. LAZORTHES Yves
		Professeur Honoraire	M. MAGNAVAL Jean-François
		Professeur Honoraire	M. MANELFE Claude
		Professeur Honoraire	M. MASSIP Patrice
		Professeur Honoraire	M. MAZIERES Bernard
		Professeur Honoraire	M. MOSCOVICI Jacques
		Professeur Honoraire	M. MURAT
		Professeur Honoraire	M. RISCHMANN Pascal
		Professeur Honoraire	M. RIVIERE Daniel
		Professeur Honoraire	M. ROQUES-LATRILLE Christian

Professeurs Emérites

Professeur ADER Jean-Louis	Professeur SALVAYRE Robert
Professeur ALBAREDE Jean-Louis	Professeur SARRAMON Jean-Pierre
Professeur ARBUS Louis	Professeur SIMON Jacques
Professeur ARLET Philippe	
Professeur ARLET-SUAU Elisabeth	
Professeur BOCCALON Henri	
Professeur BOUTAULT Franck	
Professeur BONEU Bernard	
Professeur CARATERO Claude	
Professeur CHAMONTIN Bernard	
Professeur CHAP Hugues	
Professeur CONTE Jean	
Professeur COSTAGLIOLA Michel	
Professeur DABERNAT Henri	
Professeur FRAYSSE Bernard	
Professeur DELISLE Marie-Bernadette	
Professeur GUIRAUD-CHAUMEIL Bernard	
Professeur GRAND Alain	
Professeur JOFFRE Francis	
Professeur LAGARRIGUE Jacques	
Professeur LANG Thierry	
Professeur LAURENT Guy	
Professeur LAZORTHES Yves	
Professeur MAGNAVAL Jean-François	
Professeur MANELFE Claude	
Professeur MASSIP Patrice	
Professeur MAZIERES Bernard	
Professeur MOSCOVICI Jacques	
Professeur MURAT	
Professeur RISCHMANN Pascal	
Professeur RIVIERE Daniel	
Professeur ROQUES-LATRILLE Christian	

FACULTE DE MEDECINE TOULOUSE-PURPAN

37 allées Jules Guesde - 31062 TOULOUSE Cedex

Doyen : D. CARRIE

P.U. - P.H.

Classe Exceptionnelle et 1ère classe

M. AMAR Jacques	Thérapeutique
M. ATTAL Michel (C.E)	Hématologie
M. AVET-LOISEAU Hervé	Hématologie, transfusion
Mme BEYNE-RAUZY Odile	Médecine Interne
M. BIRMES Philippe	Psychiatrie
M. BLANCHER Antoine (C.E)	Immunologie (option Biologique)
M. BOSSAVY Jean-Pierre (C.E)	Chirurgie Vasculaire
M. BRASSAT David	Neurologie
M. BROUCHET Laurent	Chirurgie thoracique et cardio-vascul
M. BROUSSET Pierre (C.E)	Anatomie pathologique
M. BUREAU Christophe	Hépatogastro-entérologie
M. CALVAS Patrick (C.E)	Génétique
M. CARRERE Nicolas	Chirurgie Générale
M. CARRIE Didier (C.E)	Cardiologie
M. CHAIX Yves	Pédiatrie
Mme CHARPENTIER Sandrine	Médecine d'urgence
M. CHAUVEAU Dominique	Néphrologie
M. CHOLLET François (C.E)	Neurologie
M. DE BOISSEZON Xavier	Médecine Physique et Réadapt Fonct.
M. DEGUINE Olivier (C.E)	Oto-rhino-laryngologie
M. DUCOMMUN Bernard	Cancérologie
M. FERRIERES Jean (C.E)	Epidémiologie, Santé Publique
M. FOURCADE Olivier	Anesthésiologie
M. FOURNIÉ Pierre	Ophthalmologie
M. GAME Xavier	Urologie
M. GEERAERTS Thomas	Anesthésiologie et réanimation
M. IZOPET Jacques (C.E)	Bactériologie-Virologie
Mme LAMANT Laurence (C.E)	Anatomie Pathologique
M. LANGIN Dominique (C.E)	Nutrition
M. LAUQUE Dominique (C.E)	Médecine d'Urgence
M. LAUWERS Frédéric	Chirurgie maxillo-faciale
M. LEOBON Bertrand	Chirurgie Thoracique et Cardiaque
M. LIBLAU Roland (C.E)	Immunologie
M. MALAUAUD Bernard	Urologie
M. MANSAT Pierre	Chirurgie Orthopédique
M. MARCHOU Bruno	Maladies Infectieuses
M. MAS Emmanuel	Pédiatrie
M. MAZIERES Julien	Pneumologie
M. MOLINIER Laurent	Epidémiologie, Santé Publique
M. MONTASTRUC Jean-Louis (C.E)	Pharmacologie
Mme MOYAL Elisabeth (C.E)	Cancérologie
Mme NOURHASHEMI Fatemeh (C.E)	Gériatrie
M. OSWALD Eric (C.E)	Bactériologie-Virologie
M. PARANT Olivier	Gynécologie Obstétrique
M. PARIENTE Jérémie	Neurologie
M. PARINAUD Jean (C.E)	Biol. Du Dévelop. et de la Reprod.
M. PAUL Carle (C.E)	Dermatologie
M. PAYOUX Pierre	Biophysique
M. PAYRASTRE Bernard (C.E)	Hématologie
M. PERON Jean-Marie	Hépatogastro-entérologie
M. PERRET Bertrand (C.E)	Biochimie
M. RASCOL Olivier (C.E)	Pharmacologie
M. RECHER Christian(C.E)	Hématologie
M. RONCALLI Jérôme	Cardiologie
M. SALES DE GAUZY Jérôme (C.E)	Chirurgie Infantile
M. SALLES Jean-Pierre (C.E)	Pédiatrie
M. SANS Nicolas	Radiologie
Mme SELVES Janick	Anatomie et cytologie pathologiques
M. SERRE Guy (C.E)	Biologie Cellulaire
M. SOL Jean-Christophe	Neurochirurgie
M. TELMON Norbert (C.E)	Médecine Légale
M. VINEL Jean-Pierre (C.E)	Hépatogastro-entérologie

P.U. Médecine générale

M. OUSTRIC Stéphane (C.E)

Professeur Associé de Médecine Générale

Mme IRI-DELAHAYE Motoko

P.U. - P.H.

2ème classe

Mme BONGARD Vanina	Epidémiologie
M. BONNEVILLE Nicolas	Chirurgie orthopédique et traumatologique
Mme CASPER Charlotte	Pédiatrie
M. CAVIGNAC Etienne	Chirurgie orthopédique et traumatologie
M. COGNARD Christophe	Neuroradiologie
M. LAIREZ Olivier	Biophysique et médecine nucléaire
M. LAROCHE Michel	Rhumatologie
M. LOPEZ Raphael	Anatomie
M. MARTIN-BLONDEL Guillaume	Maladies infectieuses, maladies tropicales
M. MARX Mathieu	Oto-rhino-laryngologie
M. OLIVOT Jean-Marc	Neurologie
M. PAGES Jean-Christophe	Biologie cellulaire
Mme PASQUET Marlène	Pédiatrie
M. PORTIER Guillaume	Chirurgie Digestive
Mme RUYSSSEN-WITRAND Adeline	Rhumatologie
Mme SAVAGNER Frédérique	Biochimie et biologie moléculaire
M. SIZUN Jacques	Pédiatrie
Mme TREMOLLIERES Florence	Biologie du développement
Mme VAYSSE Charlotte	Cancérologie
Mme VEZZOSI Delphine	Endocrinologie

P.U. Médecine générale

M. MESTHÉ Pierre

Professeur Associé Médecine générale

M. ABITTEBOUL Yves

M. POUTRAIN Jean-Christophe

Professeur Associé en Bactériologie-Hygiène

Mme MALAUAUD Sandra

FACULTE DE MEDECINE TOULOUSE-RANGUEIL

133, route de Narbonne - 31062 TOULOUSE Cedex

P.U. - P.H.

Classe Exceptionnelle et 1ère classe

M. ACAR Philippe	Pédiatrie
M. ACCADBLED Franck	Chirurgie Infantile
M. ALRIC Laurent (C.E)	Médecine Interne
Mme ANDRIEU Sandrine	Epidémiologie
M. ARBUS Christophe	Psychiatrie
M. ARNAL Jean-François	Physiologie
M. BERRY Antoine	Parasitologie
Mme BERRY Isabelle (C.E)	Biophysique
M. BONNEVILLE Fabrice	Radiologie
M. BUJAN Louis (C. E)	Urologie-Andrologie
Mme BURA-RIVIERE Alessandra	Médecine Vasculaire
M. BUSCAIL Louis (C.E)	Hépto-Gastro-Entérologie
M. CANTAGREL Alain (C.E)	Rhumatologie
M. CARON Philippe (C.E)	Endocrinologie
M. CHAUFOUR Xavier	Chirurgie Vasculaire
M. CHAYNES Patrick	Anatomie
M. CHIRON Philippe (C.E)	Chirurgie Orthopédique et Traumatologie
M. CONSTANTIN Arnaud	Rhumatologie
M. COURBON Frédéric	Biophysique
Mme COURTADE SAIDI Monique	Histologie Embryologie
M. DAMBRIN Camille	Chirurgie Thoracique et Cardiovasculaire
M. DELABESSE Eric	Hématologie
M. DELOBEL Pierre	Maladies Infectieuses
M. DELORD Jean-Pierre (C.E)	Cancérologie
M. DIDIER Alain (C.E)	Pneumologie
Mme DULY-BOUHANICK Béatrice (C.E)	Thérapeutique
M. ELBAZ Meyer	Cardiologie
M. GALINIER Michel (C.E)	Cardiologie
Mme GOMEZ-BROUCHET Anne-Muriel	Anatomie Pathologique
M. GOURDY Pierre	Endocrinologie
M. GROLEAU RAOUX Jean-Louis (C.E)	Chirurgie plastique
Mme GUIMBAUD Rosine	Cancérologie
Mme HANAIRE Hélène (C.E)	Endocrinologie
M. HUYGHE Eric	Urologie
M. KAMAR Nassim (C.E)	Néphrologie
M. LARRUE Vincent	Neurologie
M. LEVADE Thierry (C.E)	Biochimie
M. MALECAZE François (C.E)	Ophthalmologie
M. MARQUE Philippe (C.E)	Médecine Physique et Réadaptation
M. MAURY Jean-Philippe	Cardiologie
Mme MAZEREEUW Juliette	Dermatologie
M. MINVILLE Vincent	Anesthésiologie Réanimation
M. MUSCARI Fabrice	Chirurgie Digestive
M. RAYNAUD Jean-Philippe (C.E)	Psychiatrie Infantile
M. RITZ Patrick (C.E)	Nutrition
M. ROLLAND Yves (C.E)	Gériatrie
M. ROUGE Daniel (C.E)	Médecine Légale
M. ROUSSEAU Hervé (C.E)	Radiologie
M. ROUX Franck-Emmanuel	Neurochirurgie
M. SAILLER Laurent (C.E)	Médecine Interne
M. SCHMITT Laurent (C.E)	Psychiatrie
M. SENARD Jean-Michel (C.E)	Pharmacologie
M. SERRANO Elie (C.E)	Oto-rhino-laryngologie
M. SOULAT Jean-Marc	Médecine du Travail
M. SOULIE Michel (C.E)	Urologie
M. SUC Bertrand	Chirurgie Digestive
Mme TAUBER Marie-Thérèse (C.E)	Pédiatrie
Mme URO-COSTE Emmanuelle (C.E)	Anatomie Pathologique
M. VAYSSIERE Christophe	Gynécologie Obstétrique
M. VELLAS Bruno (C.E)	Gériatrie

Professeur Associé de Médecine Générale

M. STILLMUNKES André

Doyen : E. SERRANO

P.U. - P.H.

2ème classe

M. ABBO Olivier	Chirurgie infantile
M. AUSSEIL Jérôme	Biochimie et biologie moléculaire
M. BOUNES Vincent	Médecine d'urgence
Mme BOURNET Barbara	Gastro-entérologie
M. CHAPUT Benoit	Chirurgie plastique et des brûlés
Mme DALENC Florence	Cancérologie
M. DE BONNECAZE Guillaume	Oto-rhino-laryngologie
M. DECRAMER Stéphane	Pédiatrie
M. FAGUER Stanislas	Néphrologie
Mme FARUCH BILFELD Marie	Radiologie et imagerie médicale
M. FRANCHITTO Nicolas	Addictologie
Mme GARDETTE Virginie	Epidémiologie
M. GARRIDO-STOWHAS Ignacio	Chirurgie Plastique
M. GUILLEMINAULT Laurent	Pneumologie
Mme LAPRIE Anne	Radiothérapie
Mme LAURENT Camille	Anatomie Pathologique
M. LE CAIGNEC Cédric	Génétique
M. LEANDRI Roger	Biologie du dével. et de la reproduction
M. MARCHEIX Bertrand	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
M. MEYER Nicolas	Dermatologie
M. PUGNET Grégory	Médecine interne
M. REINA Nicolas	Chirurgie orthopédique et traumatologique
M. SILVA SIFONTES Stein	Réanimation
M. SOLER Vincent	Ophthalmologie
Mme SOMMET Agnès	Pharmacologie
Mme SOTO-MARTIN Maria-Eugénia	Gériatrie et biologie du vieillissement
M. TACK Ivan	Physiologie
M. VERGEZ Sébastien	Oto-rhino-laryngologie
M. YSEBAERT Loic	Hématologie

P.U. Médecine générale

Mme ROUGE-BUGAT Marie-Eve

Professeur Associé de Médecine Générale

M. BOYER Pierre

FACULTE DE MEDECINE TOULOUSE-PURPAN
37, allées Jules Guesde – 31062 Toulouse Cedex

M.C.U. - P.H.

M. APOIL Pol Andre	Immunologie
Mme ARNAUD Catherine	Epidémiologie
Mme AUSSEIL-TRUDEL Stéphanie	Biochimie
Mme BELLIERES-FABRE Julie	Néphrologie
Mme BERTOLI Sarah	Hématologie, transfusion
M. BIETH Eric	Génétique
Mme CASPAR BAUGUIL Sylvie	Nutrition
Mme CASSAGNE Myriam	Ophthalmologie
Mme CASSAING Sophie	Parasitologie
Mme CHANTALAT Elodie	Anatomie
M. CONGY Nicolas	Immunologie
Mme COURBON Christine	Pharmacologie
M. CUROT Jonathan	Neurologie
Mme DAMASE Christine	Pharmacologie
Mme de GLISEZENSKY Isabelle	Physiologie
M. DUBOIS Damien	Bactériologie Virologie Hygiène
Mme FILLAUX Judith	Parasitologie
M. GANTET Pierre	Biophysique
Mme GENNERO Isabelle	Biochimie
Mme GENOUX Annelise	Biochimie et biologie moléculaire
M. HAMDI Safouane	Biochimie
Mme HITZEL Anne	Biophysique
M. IRIART Xavier	Parasitologie et mycologie
Mme JONCA Nathalie	Biologie cellulaire
M. KIRZIN Sylvain	Chirurgie générale
Mme LAPEYRE-MESTRE Maryse	Pharmacologie
M. LHERMUSIER Thibault	Cardiologie
M. LHOMME Sébastien	Bactériologie-virologie
Mme MASSIP Clémence	Bactériologie-virologie
Mme MONTASTIER Emile	Nutrition
Mme MOREAU Marion	Physiologie
Mme NOGUEIRA M.L.	Biologie Cellulaire
Mme PERROT Aurore	Hématologie
M. PILLARD Fabien	Physiologie
Mme PUISSANT Bénédicte	Immunologie
Mme RAYMOND Stéphanie	Bactériologie Virologie Hygiène
Mme SABOURDY Frédéricque	Biochimie
Mme SAUNE Karine	Bactériologie Virologie
M. TAFANI Jean-André	Biophysique
M. TREINER Emmanuel	Immunologie

M.C.U. Médecine générale

M. BRILLAC Thierry
Mme DUPOUY Julie

M.C.A. Médecine Générale

Mme FREYENS Anne
M. CHICOULAA Bruno
Mme PUECH Marielle

FACULTE DE MEDECINE TOULOUSE- RANGUEIL
133, route de Narbonne - 31062 TOULOUSE cedex

M.C.U. - P.H.

Mme ABRAVANEL Florence	Bactériologie Virologie Hygiène
Mme BASSET Céline	Cytologie et histologie
Mme BREHIN Camille	Pneumologie
Mme CAMARE Caroline	Biochimie et biologie moléculaire
M. CAMBUS Jean-Pierre	Hématologie
Mme CANTERO Anne-Valérie	Biochimie
Mme CARFAGNA Luana	Pédiatrie
Mme CASSOL Emmanuelle	Biophysique
M. CHASSAING Nicolas	Génétique
M. CLAVEL Cyril	Biologie Cellulaire
Mme COLOMBAT Magali	Anatomie et cytologie pathologiques
Mme CORRE Jill	Hématologie
M. DEDOUT Fabrice	Médecine Légale
M. DEGBOE Yannick	Rhumatologie
M. DELPLA Pierre-André	Médecine Légale
M. DESPAS Fabien	Pharmacologie
M. EDOUARD Thomas	Pédiatrie
Mme ESQUIROL Yolande	Médecine du travail
Mme EVRARD Solène	Histologie, embryologie et cytologie
Mme FLOCH Pauline	Bactériologie-Virologie
Mme GALINIER Anne	Nutrition
Mme GALLINI Adeline	Epidémiologie
M. GASQ David	Physiologie
M. GATIMEL Nicolas	Médecine de la reproduction
Mme GRARE Marion	Bactériologie Virologie Hygiène
M. GUERBY Paul	Gynécologie-Obstétrique
M. GUIBERT Nicolas	Pneumologie
Mme GUILBEAU-FRUGIER Céline	Anatomie Pathologique
Mme GUYONNET Sophie	Nutrition
M. HERIN Fabrice	Médecine et santé au travail
Mme INGUENEAU Cécile	Biochimie
M. LEPAGE Benoit	Biostatistiques et Informatique médicale
Mme MAUPAS SCHWALM Françoise	Biochimie
M. MOULIS Guillaume	Médecine interne
Mme NASR Nathalie	Neurologie
Mme QUELVEN Isabelle	Biophysique et médecine nucléaire
M. RIMAILHO Jacques	Anatomie et Chirurgie Générale
Mme SIEGFRIED Aurore	Anatomie et cytologie pathologiques
Mme VALLET Marion	Physiologie
M. VERGEZ François	Hématologie
Mme VIJA Lavinia	Biophysique et médecine nucléaire
M. YRONDI Antoine	Psychiatrie d'adultes

M.C.U. Médecine générale

M. BISMUTH Michel
M. ESCOURROU Emile

M.C.A. Médecine Générale

M. BIREBENT Jordan
Mme BOURGEOIS Odile
Mme BOUSSIER Nathalie
Mme LATROUS Leila

REMERCIEMENTS AU JURY

Yoan, merci pour le temps que tu as passé à m'aider sur ce sujet, les conseils précieux, dans la simplicité et la bonne humeur. Tu es un excellent pédagogue, rigoureux et concret, et je recommande à tous les internes de travailler avec toi !

Monsieur GALINIER, merci d'avoir accepté de présider cette thèse, merci également pour votre investissement auprès des internes, votre soutien et votre bienveillance à mon égard. Je vous suis profondément reconnaissante pour m'avoir permis de concrétiser mon projet professionnel en Haute Savoie.

Eve, toujours à fond (au boulot et sur le terrain de foot) et toujours pour le mieux des patients, ton investissement au CHU est sans faille, tu as fait preuve d'un réel soutien lors de tes passages attentionnés en HDJ, je t'en remercie.

Pauline, avec les petits « Laurette » par-ci par-là qui font chaud au cœur, le modèle de la femme cardiologue qui a sa petite famille à la maison et qui gère. Mon seul regret est de ne pas être passée en cardiologie 13 pour avoir l'opportunité de travailler avec toi.

Olivier, il m'est à cœur que tu juges ce travail de par ton engagement et investissement dans l'imagerie cardiaque, et de par ton expérience dans la recherche. J'ai apprécié l'accessibilité et la franchise dont tu as fait preuve, et tes cours toujours aussi clairs et passionnants. Je te souhaite un bel avenir.

REMERCIEMENTS PERSONNELS

A celles et ceux dont j'ai croisé la route durant l'internat :

A l'équipe de la Cardiologie 61, merci pour votre accueil dans la cardiologie toulousaine et votre confiance en nos débuts d'internes. A Marine QUILLOT, ta présence, patience et pédagogie furent essentielles, ce 1^{er} semestre sans toi aurait été bien plus dur, je ne peux que te remercier.

A l'équipe de vasculaire et à Thomas MOINE, merci pour ta bienveillance auprès des internes.

A l'équipe d'Albi, Philippe RUMEAU, Maria MARTINEZ, Marie BLAYE FELICE, Margarita BAERT, Tarek ABDELKARIM, à toute l'équipe paramédicale, et aux réanimateurs qui ont été d'une aide précieuse pour mes premières gardes à l'USIC. Sans oublier Marie, Emmanuellitta, et Sarah, le trio parfait de MG et tous les autres internes croisés à Albi.

A l'équipe de l'HDJ et d'échographie, pour votre soutien infailible dans l'épreuve des 13 patients quotidiens...

A toute l'équipe de l'USIC et notre Clémence DELON, chef de clinique à la pointe. Merci pour nous avoir formés, pour votre patience et disponibilité, pédagogie dans les gestes et confiance que vous nous avez accordé sur ce semestre prolongé.

A l'équipe de Purpan, Nathalie SOULETIE-BLOT, pour ton professionnalisme, ta disponibilité, et ton expérience et à Elodie et Maryse, souvenir inoubliable du tamponnage d'enveloppes en pleine période de COVID.

A l'équipe de réanimation de Thonon Les Bains, Virginie POUPINEL, Caroline GAUTHIER, François BOUNIOL, Marine TASLE, Célia CHIRON, Didier HOMMEL, entourés de petits soldats incorruptibles que forme toute l'équipe paramédicale, ce semestre aura été riche et ressourçant dans une Haute Savoie sublime.

Un clin d'œil tout particulier à **Marc DESGROSEILLERS**, MERCI pour l'initiation au Go, les échecs à rebours, et inévitablement MERCI pour m'avoir initiée aux statistiques, ce fut une grande aide pour ma thèse.

A l'équipe de rythmologie, et particulièrement à Franck MANDEL pour ta gentillesse, Anne ROLLIN, MERCI du fond du cœur pour avoir trouvé les mots les plus réconfortants quand j'en ai eu besoin, tu es une femme incroyable, ne change rien !

A l'équipe de réadaptation cardiaque, une belle parenthèse estivale vers une approche des patients dans leur vie de tous les jours, merci pour votre accueil.

A tous les cardiologues et médecins du CHU de Rangueil qui ont à un moment donné pris le temps de répondre à nos interrogations, nous conseiller et nous faire confiance.

A mes co-internes et amis :

Clarisse MARTIN, ma première co-interne, faire ce 1^{er} semestre à tes côtés aura été un vrai soutien, un an de moins mais déjà si professionnelle de part tous les chocolats qui t'étaient donnés ! Sans oublier les soirées et les points sur Maître Gim's.

Laurence BARDE, #Lolobarjo, équipière à l'USIC, au foot, au basket, au bar, au restaurant, et où encore ? Une belle rencontre, et certainement mon meilleur public pour toutes mes pitreries !

Henri TREILLE DE GRANDSAIGNE, sportif (à l'époque), qui n'est point frileux, et dont l'intelligence détenue lui permet de comprendre le plus lointain degré d'humour qu'il est possible d'imaginer. J'ai adoré partager cette complicité avec toi.

Maxime BENEYTO, co-interne en rythmologie, merci pour ton implication et ta force tranquille, je te souhaite un très bel avenir en rythmologie.

Arthur GIOT et **Laetitia POURTAU**, nous n'avons pas eu l'occasion de travailler ensemble, cependant, merci à Laetitia pour les délicieux desserts et Arthur pour les rigolades autour de quelques crêpes ou bières.

Emma BIQUET, future skieuse de randonnée, pardon, réanimatrice, moments toujours forts sympathiques avec toi que ce soit en musique ou ailleurs.

Alex SCRIPCARIU, le meilleur grimpeur, blagueur, merci pour ta visite à Thonon ! Clin d'œil à Sylvie, j'espère que les tomates poussent !

Thib's GUITTENY, super semestre à l'USIC avec toi, toujours content, merci pour ton implication pour les internes, une belle personne vers une belle carrière. Clin d'œil à Inès (la meilleure IDE de l'USIC).

A TOUS les internes de cardiologie à Toulouse, c'est une grande famille et il est précieux de restés unis, je souhaite à tous un bel avenir professionnel et personnel.

Aux pouilleux rencontrés à l'internat, Mémé, Sof', Marine, Laurène, Manu, Laeti, Mathieu, Eul, pour sûr les plus drôles ! Mais aussi Laurent, Bastien, Greg et Loé...

Et puis à Lamia et Coco pour tous les bons moments passés ensemble et pour les futurs ! Steph la meilleure grimpeuse, Fédé, Armando, Arnaud #Nono pour l'aspirateur à l'internat, et tous les autres.

Et enfin, à ma famille :

Maman et Papa, je n'ai pas de mot assez fort pour vous remercier, tellement vous avez été exemplaires à tout égard, si attentionnés, présents, réconfortants, pour m'accompagner sur toutes ces années. Merci pour votre amour de chaque jour, merci pour tout ce que vous m'avez appris, et merci pour le bonheur de chaque moment partagé et de tous les autres à venir. Je vous aime très fort.

Péto, Pétovitich, Pierre, mon frère, merci pour ton amour inconditionnel depuis que tu es né, ta gentillesse hors norme, et pour toute l'attention et l'affection que tu m'as apportée durant toutes ces années de travail et de vie commune à la maison, ces souvenirs d'enfance partagés n'ont pas de prix, ton bonheur sera toujours le mien. Ní hảo Ting.

Mon papi René, notre patriarche. Tu as fait preuve d'un soutien si sincère pour mes années d'externat, papi moderne, les petits sms et skype ne m'ont pas laissée indifférente. Tu nous as montré l'exemple et aujourd'hui encore, ta fierté et solidarité auprès de tes petits enfants font l'union de ta famille.

Ma mamie Suzanne, pour tout l'amour que tu nous as donné, tous les étés où tu nous as gardés, les croque-monsieur, les crêpes, le tailleur pour la photo de la faculté, les visites chapelloises avec toute la générosité dans le coffre de la voiture. Ma tête est emplie de souvenirs doux de cette enfance. Tu me manques terriblement, j'aurais aimé venir te voir plus souvent en me rapprochant d'Albi, la vie est faite ainsi, je t'aime fort.

Ma mamie Paulette, si forte, que de souvenirs durant tous ces étés d'enfance passés aux Béraudies, les petits coups de fil, les confidences, les mémoires si bien racontées de ta vie, la flûte traversière de ton papa, j'ai eu une chance inouïe d'avoir des grands parents si affectueux, une forte pensée à **papi Jacob**, à qui je pense à chaque fois qu'on me demande l'origine de mon nom, et dont je suis si fière.

A tous mes oncles et tantes, une dédicace particulière à ma tatie Bri et Benoit, pour l'attention et l'accueil toujours aussi chaleureux sur mon semestre à Albi et encore, ma tatie Hélène, Pati-Patou et Kathleen pour les petits messages affectueux, et mon tonton Pierre aux USA, que j'aime tant, et qui est le plus FUN et affectueux des tontons.

A tous mes cousins et cousines (et pièces rapportées !), ma Marie et Sophinette, que j'adore, toujours aussi partantes de danser dans les boîtes les plus pourries d'Albi et pour tous les fous rires, Nano et Anaïs pour leur accueil à Cambon, les amerloques Alex, Nico, Emilie, Coraline, Tom, Géraldine et Fanny et leurs jolies petites familles, Nono et Guillaume. Une pensée pour les hollandais également.

A la famille LADIAS, une belle rencontre maintenant depuis 3 ans, merci pour votre accueil, les repas si délicieux de Marie-Christine, le bricoleur hors-pair qu'est Philippe, Sophie, Nico, Cyrille et sa petite famille, Elie (le meilleur cuisinier de l'Occitanie) et Camille pour votre accueil toujours très sympathique, et Côme, pour les bons moments autour du lac Léman. A mon p'tit Tanguy (oui t'es dans la famille), une belle rencontre et un partenaire de belote hors pair, on se voit à nos prochaines vacances !

A mon Sam ... Sans premier semestre à l'internat je n'aurais probablement jamais croisé la route de la personne qui m'est aujourd'hui la plus chère, avec qui j'apprends chaque jour de nouvelles choses, notamment sur les vers de terre et les composts. Je n'ai pas vraiment de mot pour qualifier le soutien que tu m'as apporté pendant l'internat, et sans aucun doute mon équilibre dans la vie de tous les jours. Je t'aime tout simplement.

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ABREVIATIONS	2
RESUME	3
INTRODUCTION	4
MATERIELS ET METHODES	5
CONCEPTION DE L'ETUDE ET POPULATION DE PATIENTS	5
RECUEIL DE DONNEES en ETT	6
RECUEIL DE DONNEES en IRM.....	6
DONNEES CLINIQUES, SUIVI ET CRITERE DE JUGEMENT.....	7
ANALYSE STATISTIQUE	7
RESULTATS	9
1) MENSURATIONS VENTRICULAIRES GAUCHES EN ETT ET EN IRM	9
2) VARIABILITES INTRA ET INTER-OBSERVATEURS.....	9
3) CORRELATION DES MENSURATIONS VENTRICULAIRES GAUCHES EN ETT ET EN IRM.....	10
4) COMPARAISON ETT VS IRM CONCERNANT LES « CUT-OFF » CHIRURGICAUX	10
5) VALEUR PRONOSTIQUE DU REMODELAGE VENTRICULAIRE GAUCHE en IRM ET EN ETT ...	11
DISCUSSION ET COMMENTAIRES	12
CONCLUSION	14
TABLEAUX ET FIGURES	15
BIBLIOGRAPHIE	22
ARTICLE ISSU DU TRAVAIL DE THESE	25

LISTE DES ABREVIATIONS

IAO : Insuffisance aortique

ETT : Echocardiographie transthoracique

IRM : Imagerie par résonnance magnétique

DTDVG : Diamètre télédiastolique du ventricule gauche

DTSVG : Diamètre télésystolique du ventricule gauche

VTDBG : Volume télédiastolique du ventricule gauche

VTSVG : Volume télésystolique du ventricule gauche

FEVG : Fraction d'éjection du ventricule gauche

CJP : Critère de jugement principal

Se : Sensibilité

Sp : Spécificité

VPP : Valeur prédictive positive

VPN : Valeur prédictive négative

IC : Intervalle de confiance

RESUME

Introduction : L'étude du retentissement ventriculaire gauche est incontournable dans l'évaluation d'une IAO. Si les recommandations s'appuient sur les mensurations échographiques, l'IRM cardiaque est un outil de plus en plus utilisé.

Méthodes : Rétrospectivement, entre 2016 et 2020, 88 patients porteurs d'une IAO moyenne à sévère, ayant bénéficié d'une ETT et d'une IRM dans un délai de 3 mois, ont été inclus. Les mensurations ventriculaires gauches en ETT et IRM ont été comparées et leur impact pronostique a été évalué au cours du suivi. Le critère composite de jugement principal regroupait l'apparition d'une insuffisance cardiaque aigüe et/ou la nécessité d'une chirurgie valvulaire aortique.

Résultats : L'âge moyen était de 66 ± 13 ans, 51 (58%) patients étaient des hommes et 28 (32%) avaient une IAO sévère. Le délai moyen entre la réalisation des deux imageries était de 18 ± 30 jours, le suivi médian était de 2,2 (1,3 – 3,1) années. Les mesures en ETT et IRM étaient corrélées mais significativement plus importantes en IRM. L'utilisation en IRM des « cut-off » chirurgicaux proposés par les recommandations, basés sur les valeurs ETT, était peu spécifique et avec une faible valeur prédictive positive, pouvant conduire à poser des indications chirurgicales par excès. En termes de pronostic, l'IRM était tout aussi performante que l'ETT. (HR 1,03 [1,01 – 1,06] et 1,05 [1,01 – 1,09] $p < 0,01$ pour le DTDVG IRM et ETT et HR 1,03 [1,01 – 1,05] et 1,05 [1,01 – 1,08] $p < 0,01$ pour le DTSVG IRM et ETT). Le CJP a été observé chez 39 (45%) patients.

Conclusion : L'évaluation du retentissement ventriculaire gauche dans le contexte de l'IAO est réalisable en ETT et en IRM cardiaque, cependant, si les mesures sont corrélées entre les deux imageries et de performance pronostique comparable, les « cut-off » de dilatation et de fonction ventriculaire gauche proposés par les recommandations ne doivent pas être utilisés en IRM du fait d'une faible spécificité.

INTRODUCTION

L'insuffisance aortique (IAO) est une valvulopathie non rare retrouvée chez 13% des hommes et 8,5% des femmes (tous grades confondus), avec une sévérité d'autant plus importante avec l'âge (1). Elle est responsable d'une surcharge volumétrique et barométrique du ventricule gauche, créant une hypertrophie-dilatation excentrique compensatrice, qui, dépassée, conduit à une dysfonction ventriculaire gauche irréversible (2), (3), (4). L'indication opératoire est, entre autres, basée sur la sévérité de l'IAO, la symptomatologie et le retentissement ventriculaire gauche (5). L'échocardiographie transthoracique (ETT), de par le calcul de la fraction d'éjection du ventricule gauche (FEVG) et la mesure des diamètres télédiastolique et télésystolique (DTDVG et DTSVG), est l'examen de référence pour apprécier le retentissement de l'IAO sur le ventricule gauche. Dans le cas d'une IAO sévère asymptomatique, elle permet de poser l'indication chirurgicale si la FEVG est $< 50\%$ ou le DTDVG > 70 mm ou le DTSVG > 50 mm (> 25 mm/m²), ceux-ci sont appelés « cut-off » (6).

L'IRM cardiaque est de nos jours un outil d'aide à la quantification de l'IAO lorsque l'ETT est discordante ou non réalisable (7), (8). Il s'agit également d'une imagerie de référence en terme de précision des mensurations ventriculaires (9), (10), (11), (12), (13), (14) avec une meilleure reproductibilité que l'ETT (15), (16), (17), (18). Elle permettrait également de mieux prédire le risque de chirurgie grâce à la quantification de l'IAO (19). Nous savons également, que pour un même patient, il existe des différences notables entre les mesures faites en ETT et en IRM (20) et nous n'avons pas, à ce jour, clairement établi de « cut-off » en IRM pouvant poser l'indication d'une chirurgie valvulaire aortique (8) afin d'éviter une dysfonction ventriculaire gauche irréversible.

L'objectif de cette étude était donc d'étudier, chez des patients porteurs d'une IAO moyenne à sévère, les différences entre les mensurations du ventricule gauche en IRM et en ETT ; analyser leurs corrélations ; évaluer la pertinence de l'utilisation des mêmes « cut-off » échographiques en IRM pour définir le retentissement ventriculaire gauche devant faire proposer une chirurgie valvulaire aortique et apprécier leurs performances pronostiques.

MATERIELS ET METHODES

CONCEPTION DE L'ETUDE ET POPULATION DE PATIENTS

Nous avons inclus rétrospectivement tous les patients présentant une IAO moyenne ou sévère à l'ETT et ayant, dans un délai maximal de trois mois par rapport à l'ETT, bénéficié d'une imagerie par résonnance magnétique (IRM) cardiaque au CHU de Rangueil, entre juin 2016 et novembre 2020.

Etaients exclus ceux dont l'imagerie n'était pas exploitable, et ceux présentant une étiologie évidente de cardiomyopathie dilatée autre que l'IAO.

Le diagnostic et la quantification de l'IAO étaient basés sur l'ETT, considérée comme le Gold-Standard.

L'étude était conforme aux principes énoncés dans la Déclaration d'Helsinki. Selon les principes de la loi française sur l'éthique, les patients ont été informés que leurs données codifiées seraient utilisées pour l'étude. Selon les réglementations du Code de santé publique, les études rétrospectives basées sur l'exploitation des données habituelles de santé ne devraient pas être soumises à un comité d'éthique, mais elles doivent être déclarées ou couvertes par la méthodologie de référence de la Commission Nationale d'Informatique et des Libertés (CNIL). Le recueil et le traitement informatique des données personnelles et médicales ont été mis en œuvre pour analyser les résultats de la recherche. Le CHU de Toulouse a signé un engagement de conformité à la méthodologie de référence MR-004 de la CNIL. Après évaluation et validation par l'agent de protection des données, et conformément au Règlement général sur la protection des données, cette étude a rempli tous les critères et est inscrite au registre des études rétrospectives du CHU de Toulouse et reprise par le MR-004 (numéro français CNIL : 2206723 v 0). Cette étude a été approuvée par le CHU de Toulouse et affirme que les exigences éthiques ont été totalement respectées dans ce rapport.

RECUEIL DE DONNEES EN ETT

Toutes les données échocardiographiques ont été faites à l'aide d'un échographe disponible dans le commerce (transducteur 6VT-D, système e95 ou s70 Vivid, GE Vingmed Ultrasound AS, Horten, Norvège). Une analyse complète avec Doppler, M-mode, et coupes 2D comprenant les trois vues apicales standards (quatre, trois, et deux cavités) a été réalisée pour tous les patients. L'analyse hors ligne d'images a été effectuée indépendamment par un seul opérateur expérimenté ignorant les autres résultats d'imagerie, utilisant la version logicielle EchoPAC 202 (GE Vingmed Ultrasound AS). La quantification de la sévérité de l'IAO a été réalisée selon les directives de l'American Society of Echocardiography (21). Brièvement, une méthode intégrative entre paramètres quantitatifs et semi-quantitatifs a été utilisée, permettant de classer les IAO en moyenne ou sévère. Des mesures clés de la géométrie ventriculaire gauche ont été conduites, comprenant : les diamètres télédiastoliques et télésystoliques (DTDVG et DTSVG) utilisant la coupe para sternale longue axe en 2D ; les volumes télédiastoliques et télésystoliques (VTDVG et VTSVG) et la fraction d'éjection ventriculaire gauche (FEVG) utilisant la méthode de Simpson Biplan 2D. Ces mesures ont été réalisées à deux reprises par le même opérateur et par un autre opérateur indépendant afin d'étudier les variabilités intra et inter-observateurs.

RECUEIL DE DONNEES EN IRM

L'IRM cardiaque était effectuée sur un scanner MR de 1,5 T (Avanto, Siemens). L'acquisition des boucles d'imagerie était stabilisée par de courtes apnées (TE [temps d'écho] /TR [temps de répétition] = 1,27/50 ms, angle flip 78°, matrice 208 × 170, champ de vision = 350 × 350 mm, résolution temporelle 40 ms) réalisant des tranches séquentielles de 8 mm en court axe (pas d'écart entre les tranches). Les boucles cinétiques ont été examinées à l'aide d'un logiciel semi-automatisé (logiciel Argus, Siemens) par un seul observateur expérimenté. Les mensurations géométriques clés du ventricule gauche étaient : VTDVG, VTSVG, DTDVG, DTSVG et calcul de la FEVG. Les diamètres en IRM ont été

obtenus à partir de la coupe court axe, juste en aval de la valve mitrale, dans la cavité ventriculaire (**Figure 1**). Ces mesures ont été réalisées à deux reprises par le même opérateur et par un autre opérateur indépendant afin d'étudier les variabilités intra et inter-observateurs.

DONNEES CLINIQUES, SUIVI ET CRITERE DE JUGEMENT

Des données cliniques comme l'âge, le sexe et la classe New-York Heart Association (NYHA) ont été rassemblées. Le suivi a été obtenu par une entrevue téléphonique et la consultation des dossiers électroniques des patients. Le critère de jugement principal (CJP) était composite comprenant « hospitalisation pour insuffisance cardiaque aiguë et/ou chirurgie valvulaire aortique ».

ANALYSE STATISTIQUE

Les variables continues ont été exprimées en moyenne \pm écart type standard ; le suivi médian avec son écart interquartile (IQR) et les valeurs nominales en effectifs et en pourcentages.

Cinq différentes analyses statistiques ont été menées :

1) Le biais et les limites de concordance représentant les écarts des valeurs d'une technique par rapport à l'autre (ETT vs IRM) ont été évalués par la méthode de Bland et Altman et par un test de Wilcoxon.

2) Les variabilités intra et inter-observateurs pour les diamètres et FEVG des deux imageries ont été évaluées avec la méthode de Pearson, sur 15 patients pris au hasard.

3) La corrélation entre les mesures ventriculaires gauches en ETT et en IRM a été analysée grâce à la méthode de Pearson. Cette corrélation linéaire pouvait être qualifiée de moyenne ($r = 0,40 - 0,69$), forte ($0,70 - 0,89$) et très forte ($0,90 - 1$)(22).

4) En se basant sur les recommandations de l'European Society of Cardiology (23), nous avons définis des « cut-off » chirurgicaux, relatifs au retentissement ventriculaire gauche de l'IAO, devant faire retenir une indication chirurgicale en cas d'IAO asymptomatique : DTDVG > 70 mm, DTSVG > 50 mm, DTSVG indexé > 25mm/m² et FEVG < 50%. En considérant l'ETT comme technique de référence, nous avons testé la sensibilité (Se), la spécificité (Sp), la valeur prédictive positive (VPP) et la valeur prédictive négative (VPN) de l'IRM concernant ces « cut-off ». Des valeurs de « cut-off » chirurgicaux « idéaux » en IRM, définis comme étant ceux ayant la somme la plus élevée de sensibilité et de spécificité, ont ensuite été recherchées en utilisant les « courbes ROC ».

5) Un modèle de Cox univarié a été réalisé pour évaluer l'association des variables ETT et IRM avec la survie sans survenue du CJP. Celle-ci était exprimée sous forme de Hazard Ratio (HR) et leur intervalle de confiance (IC) à 95 %.

Les statistiques ont été analysées à l'aide de XLSTAT v2019.1 (Addinsoft, Paris, FR). Une valeur de $p < 0,05$ était considérée comme significative.

RESULTATS

Sur la période de l'étude, 92 patients ont présenté le critère d'inclusion. Parmi eux, 4 (4%) patients ont été exclus : 1 (1%) patient avait une ETT non exploitable et 3 (3%) avaient une étiologie évidente de cardiomyopathie dilatée autre que l'IAO (nécrose myocardique étendue). Au final, 88 patients ont été inclus dans notre étude. L'âge moyen était de 66 ± 13 ans, 51 (58%) patients étaient des hommes et 28 (32%) avaient une IAO sévère. Le délai moyen entre la réalisation des deux imageries était de 18 ± 30 jours et le suivi médian de 2,2 (IQR 1,3 – 3,1) années. Cinquante et un patients (58%) étaient symptomatiques au moment de la réalisation de l'ETT et 39 (45%) ont rencontré le CJP (**Tableau 1**).

1) MENSURATIONS VENTRICULAIRES GAUCHES EN ETT ET EN IRM

En moyenne, la FEVG était de 50 ± 14 % en ETT et 49 ± 14 % en IRM ($p = 0,55$) ; le DTDVG de 54 ± 9 mm (30 ± 5 mm/m²) en ETT et 63 ± 9 mm (35 ± 5 mm/m²) en IRM ($p < 0,01$) ; le DTSVG de 40 ± 10 mm (22 ± 6 mm/m²) en ETT et 46 ± 11 mm (25 ± 6 mm/m²) en IRM ($p < 0,01$) ; le VTDVG de 146 ± 65 ml (79 ± 31 ml/m²) en ETT et 214 ± 89 ml (117 ± 46 ml/m²) en IRM ($p < 0,01$) et le VTSVG de 78 ± 49 ml (42 ± 25 ml/m²) en ETT et 112 ± 76 ml (61 ± 39 ml/m²) en IRM ($p < 0,01$) (**Tableau 2**).

En moyenne, l'IRM majorait de 10 mm (-2 ; 21) le DTDVG, de 6 mm (-6 ; 18) le DTSVG, de 69 ml (-25 ; 162) le VTDVG et de 34 ml (-42 ; 110) le VTSVG (**Figures 2a et 2b**).

2) VARIABILITES INTRA ET INTER-OBSERVATEURS

Les variabilités intra et inter-observateurs étaient globalement plus importantes en ETT qu'en IRM (**Tableau 3**).

3) CORRELATION DES MENSURATIONS VENTRICULAIRES GAUCHES EN ETT ET EN IRM

Toutes les mesures faites en IRM étaient corrélées à celles en ETT et une forte corrélation globale (pour l'ensemble des IAO) était constatée pour tous les paramètres (**Figure 3**). La corrélation était d'autant plus forte lorsque l'IAO était sévère, avec une très forte corrélation pour les volumes systoliques (VTSVG et VTSVG indexé, $r_1 = 0,92$) et fortes corrélations pour les diamètres systoliques (DTSVG et DTSVG indexé, r_1 respectifs à 0,88 et 0,87) ; volumes et diamètres diastoliques (VTDVG et DTDVG, r_1 respectifs à 0,87 et 0,84) et FEVG ($r_1 = 0,87$).

4) COMPARAISON ETT VS IRM CONCERNANT LES « CUT-OFF » CHIRURGICAUX

En IRM, les mesures supérieures aux « cut-off » chirurgicaux avaient une bonne Se (100% pour un DTDVG > 70 mm, 93% pour un DTSVG > 50 mm, 90% pour un DTSVG > 25mm/m²) mais une plus faible Sp (83% pour un DTDVG > 70 mm, 82% pour un DTSVG > 50 mm, 66% pour un DTSVG > 25mm/m²) pour prédire des valeurs supérieures aux « cut-off » chirurgicaux en ETT. Ainsi, la VPP était globalement faible (26% pour un DTDVG > 70 mm, 52% pour un DTSVG > 50 mm, 44% pour un DTSVG > 25mm/m²) et la VPN élevée (100% pour un DTDVG > 70 mm, 98% pour un DTSVG > 50 mm, 96% pour un DTSVG > 25mm/m²). Respectivement, ces valeurs étaient de 78%, 89%, 86% et 82% pour une FEVG < 50% (**Tableau 4**).

Les « cut-off » idéaux en IRM étaient : DTDVG IRM > 74 mm, DTSVG IRM > 52 mm, DTSVG indexé IRM > 27,6 mm/m² et FEVG < 51% (**Tableau 4**).

5) VALEUR PRONOSTIQUE DU REMODELAGE VENTRICULAIRE GAUCHE EN IRM ET EN ETT

Le risque de présenter le CJP était d'autant moins important que la FEVG était grande (HR 0.96 [0 – 0,98] $p < 0,01$) et d'autant plus important que les diamètres ventriculaires gauches étaient grands (HR 1,03 [1,01 – 1,06] et 1,05 [1,01 – 1,09] $p < 0,01$ pour le DTDVG IRM et ETT ; HR 1,11 [1,04 – 1,18] $p = 0,01$ et 1,11 [1,05 – 1,18] $p < 0,01$ pour le DTDVGi IRM et ETT ; HR 1,03 [1,01 – 1,05] et 1,05 [1,01 – 1,08] $p < 0,01$ pour le DTSVG IRM et ETT ; et HR 1,03 [1,01 – 1,05] et 1,12 [1,06 – 1,19] $p < 0,01$ pour le DTSVGi IRM et ETT (**Tableau 5**).

DISCUSSION ET COMMENTAIRES

Dans cette étude rétrospective monocentrique comparant les mesures ventriculaires gauches réalisées en IRM et en ETT chez 88 patients présentant une IAO moyenne à sévère, nous avons mis en évidence les résultats suivants :

- 1) Malgré une forte corrélation entre les deux imageries, l'IRM a tendance à majorer les mensurations ventriculaires gauches.
- 2) L'utilisation en IRM des « cut-off » chirurgicaux proposés par les recommandations, basées sur les valeurs échographiques, est peu spécifique et a une faible VPP. En d'autres termes, l'utilisation de l'IRM pour définir une dilatation ou dysfonction ventriculaire gauche significative en cas d'IAO sévère asymptomatique peut conduire à poser des indications chirurgicales par excès.
- 3) Les paramètres en ETT et en IRM étaient corrélés avec le pronostic. Si les recommandations se basent essentiellement sur les diamètres et la FEVG évalués en ETT, nos observations mettent en avant que l'IRM peut se montrer tout aussi performant, en bénéficiant d'une meilleure reproductibilité.

Malgré une forte corrélation entre les deux imageries, l'IRM a tendance à majorer les mensurations ventriculaires gauches. En effet, tous les paramètres ventriculaires gauches mesurés en ETT et en IRM étaient fortement corrélés ($r > 0,70$) et d'autant plus corrélés que l'IAO était sévère. Cette corrélation est notoire (24). La « sous-estimation » statistiquement significative en ETT comparativement à l'IRM était en accord avec les données de la littérature (15), où une différence significative avait été retrouvée pour les volumes ventriculaires gauches chez les sujets normaux et ceux porteurs d'une insuffisance cardiaque ou hypertrophie ventriculaire gauche entre ETT et IRM. Dans une étude (25) portant sur 101 patients porteurs d'une IAO (tout grade, 15% sévères et 70% moyennes), une sous-estimation en ETT de 6,6 mm (IC 5.8–7.7, $p < 0,001$) pour les DTDVG et 5.9 mm (IC 4.1–7.6, $p < 0,001$) pour les DTSVG, comparativement à l'IRM (court axe), avait été démontrée. Nous retrouvons dans notre étude une meilleure reproductibilité des mesures en IRM par rapport à l'ETT, avec une variabilité intra et inter-observateurs moindre, ce qui est retrouvé dans la littérature (12).

La différence de valeur observée entre les deux méthodes pose la question de la pertinence de l'utilisation des mêmes « cut-off » en ETT et en IRM pour définir le retentissement ventriculaire gauche devant faire proposer une chirurgie valvulaire aortique. L'utilisation en IRM des « cut-off » chirurgicaux proposés par les recommandations basées sur les valeurs échographiques, est peu spécifique et a une faible VPP. En d'autres termes, l'utilisation de l'IRM pour définir une dilatation ou dysfonction ventriculaire gauche significative en cas d'IAO sévère asymptomatique peut conduire à poser des indications chirurgicales par excès. Par exemple, un patient avec un DTDVG > 70 mm en IRM a potentiellement un DTDVG < 70 mm en ETT, ce qui pose un problème clair par rapport aux recommandations. En l'absence de données de la littérature actuellement disponibles concernant ces « cut-off » en IRM chez les patients asymptomatique porteur d'une IAO sévère, nous pourrions envisager d'utiliser les « cut-off » modifiés en IRM, à l'instar de ceux issus des courbes ROC de notre étude.

De plus, la plupart des paramètres en ETT et en IRM étaient corrélés avec le pronostic. Cette dernière observation confirme l'intérêt devant être porté au retentissement ventriculaire gauche en cas d'insuffisance aortique. Si les recommandations se basent essentiellement sur les diamètres et la FEVG évalués en ETT, nos observations mettent en valeur que l'IRM peut se montrer tout aussi performant. Il a, dans le même sens, déjà été montré qu'un VTDVG > 246 ml en IRM était prédictif de l'apparition de symptôme ou de chirurgie valvulaire (Se 87%, Sp 77%, aire sous la courbe 0,88) chez des patients avec une IAO moyenne à sévère (26). Des études prospectives seront nécessaires pour établir clairement les facteurs pronostics pertinents en IRM.

Enfin, nous devons noter les différentes limites méthodologiques de notre étude, à savoir son caractère rétrospectif, monocentrique avec une cohorte de faible effectif ; l'hétérogénéité de la population qui présentait des IAO moyennes et sévères avec des patients asymptomatiques mais aussi symptomatiques ; le délai entre les deux imageries était non nul mais globalement acceptable comparativement à la littérature, allant de 1 mois (20) à 6 mois (25).

CONCLUSION


L'évaluation du retentissement ventriculaire gauche dans le contexte de l'IAO est réalisable en ETT et en IRM cardiaque, cependant, si les mesures sont corrélées entre les deux imageries et de performance pronostique comparable, les « cut-off » de dilatation et de fonction ventriculaire gauche proposés par les recommandations ne doivent pas être utilisés en IRM du fait d'une faible spécificité.

Vu permis d'imprimer
Le Doyen de la Faculté
De Médecine Rangueil

12.06.2021 E. SERRANO



Vu le Président du Jury



Professeur Michel GALINIER
Chef de Service
Fédération des services de Cardiologie
CHU de Toulouse - Hôpital Rangueil
Tél. 05 61 32 26 61

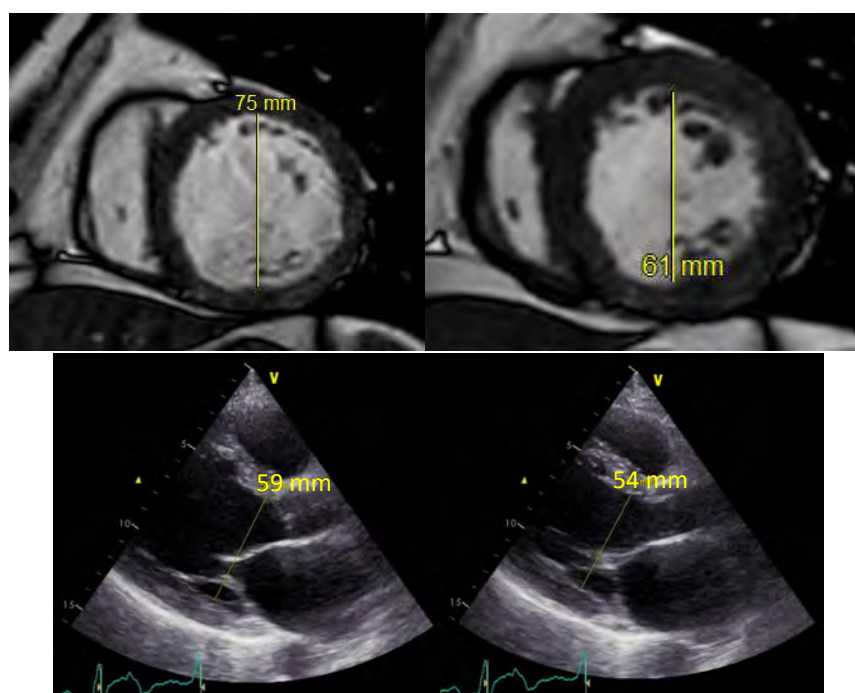
TABLEAUX ET FIGURES

Tableau 1 : Caractéristiques de la population.

Caractéristiques	TOTAL n = 88 patients
Âge (ans)	66 ± 13
Sexe masculin	51 (58%)
Surface corporelle (m ²)	1,8 ± 0,2
IAO (ETT)	
Grade moyen	60 (68%)
Grade sévère	28 (32%)
Délai ETT – IRM cardiaque (jours)	18 ± 30
Aorte ascendante ≥ 40 mm	40 (45%)
Symptomatologie et biologie	
Dyspnée (NYHA ≥ 2)	51 (58%)
Nt pro BNP (pg/ml)	1756 ± 2374
Evènements	
Chirurgie	19 (22%)
Mortalité (toutes causes)	3 (3,4%)
Hospitalisation pour insuffisance cardiaque	20 (23%)
Suivi	
Durée de suivi (années)	2,2 (1,3 ; 3,1)
Perdus de vue	3 (3,4%)

Légende : IAO : Insuffisance aortique ; NYHA : classification de la dyspnée selon la New-York Heart Association ; Nt-pro BNP : Peptide natriurétique de type B, précurseur du BNP. Les valeurs indiquées pour l'âge, la surface corporelle, le délai ETT-IRM, la dilatation de l'aorte ascendante, et du Nt-pro BNP sont des moyennes avec écart-type standard. La durée de suivi est une médiane avec écarts interquartiles (25% et 75%). Les autres données comportent l'effectif avec leur pourcentage.

Figure 1 : Illustration des prises de mesures des diamètres en ETT et IRM.



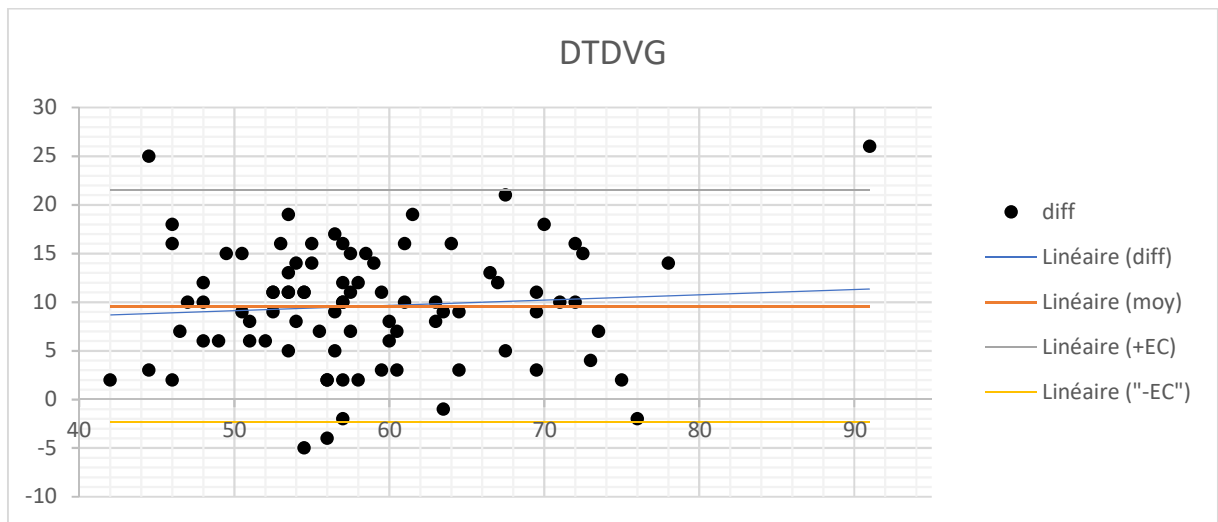
Légende : Au-dessus : coupes en court axe du ventricule gauche en IRM, diamètres télédiastolique et télésystolique du ventricule gauche dans la cavité ventriculaire, juste en aval de la valve mitrale. Au-dessous : coupes para-sternales long axe du ventricule gauche en ETT, diamètres télédiastolique et télésystolique en aval de la valve mitrale. A titre d'exemple, les mensurations dans le sens de la lecture : 75 mm, 61 mm, 59 mm et 54 mm.

Tableau 2 : Mesures ventriculaires gauches en IRM et ETT.

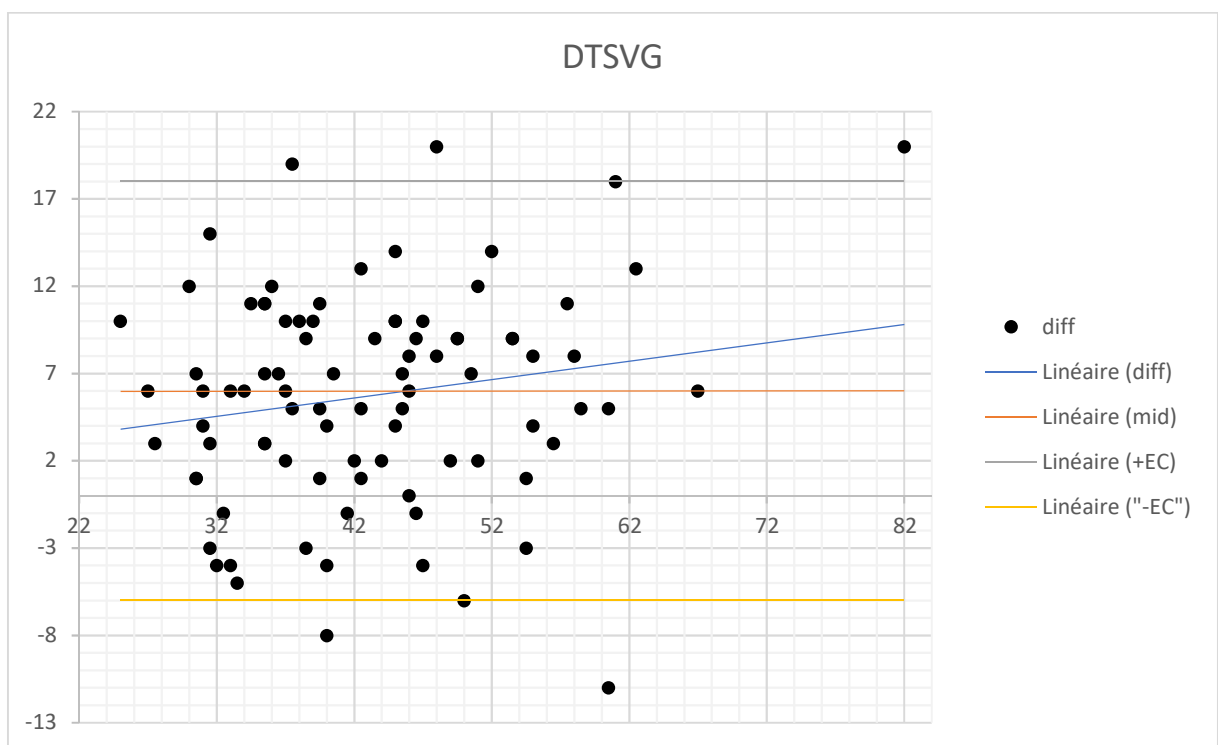
Mesures	ETT	IRM	p value
FEVG (%)	50 ± 14	49 ± 14	0,55
Volumes (ml) et indexés (ml/m²)			
VTDVG	146 ± 65	214 ± 89	< 0,01
VTSVG	78 ± 49	112 ± 76	< 0,01
VTDVG indexé	79 ± 31	117 ± 46	< 0,01
VTSVG indexé	42 ± 25	61 ± 39	< 0,01
Diamètres (mm) et indexés (mm/m²)			
DTDVG	54 ± 9	63 ± 9	< 0,01
DTSVG	40 ± 10	46 ± 11	< 0,01
DTDVG indexé	30 ± 5	35 ± 5	< 0,01
DTSVG indexé	22 ± 6	25 ± 6	< 0,01

Légende : FEVG : Fraction d'éjection ventriculaire gauche, VTDVG : Volume télédiastolique du ventricule gauche, VTSVG : Volume télésystolique du ventricule gauche, DTDVG : Diamètre télédiastolique du ventricule gauche, DTSVG : Diamètre télésystolique du ventricule gauche. Chaque mesure (moyenne avec écart-type) a été indexée à la surface corporelle du patient.

Figure 2a : Graphiques de Bland et Altman comparant les diamètres en IRM et ETT.

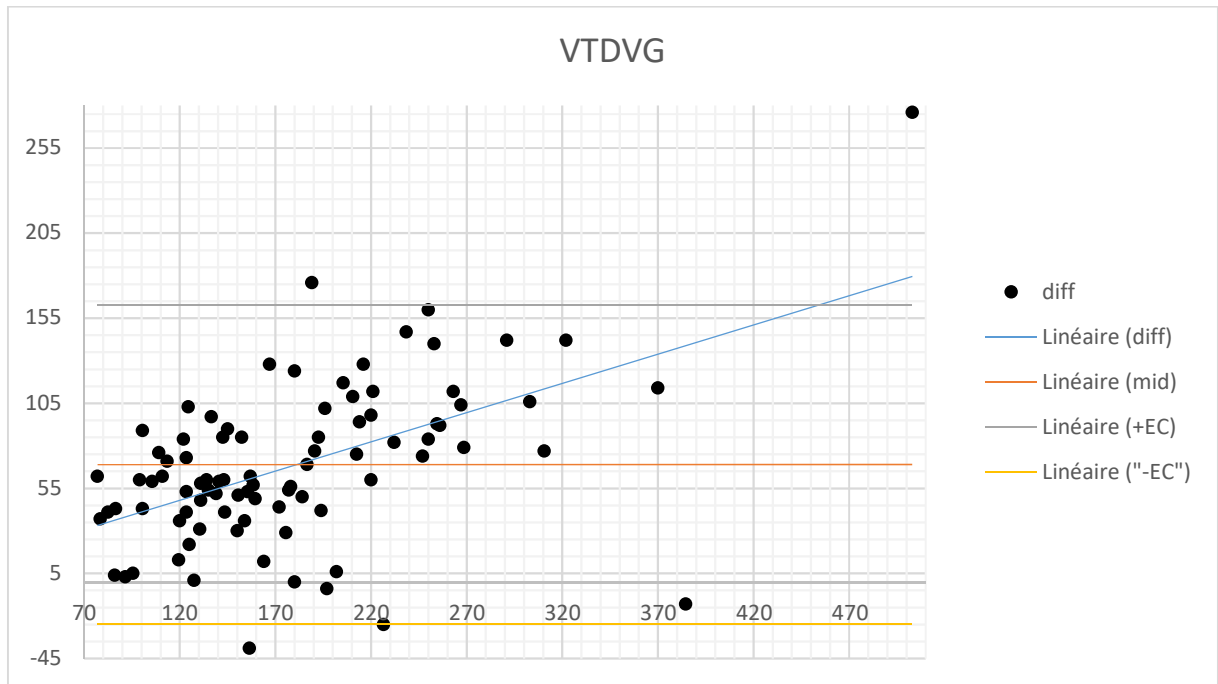


Légende : En ordonnée, la différence et en abscisse la moyenne entre 2 mesures en IRM et en ETT. Graphe de Bland et Altman obtenu pour les diamètres télédiastoliques du ventricule gauche, avec une différence moyenne de **10 mm (-2 ; 21)**.

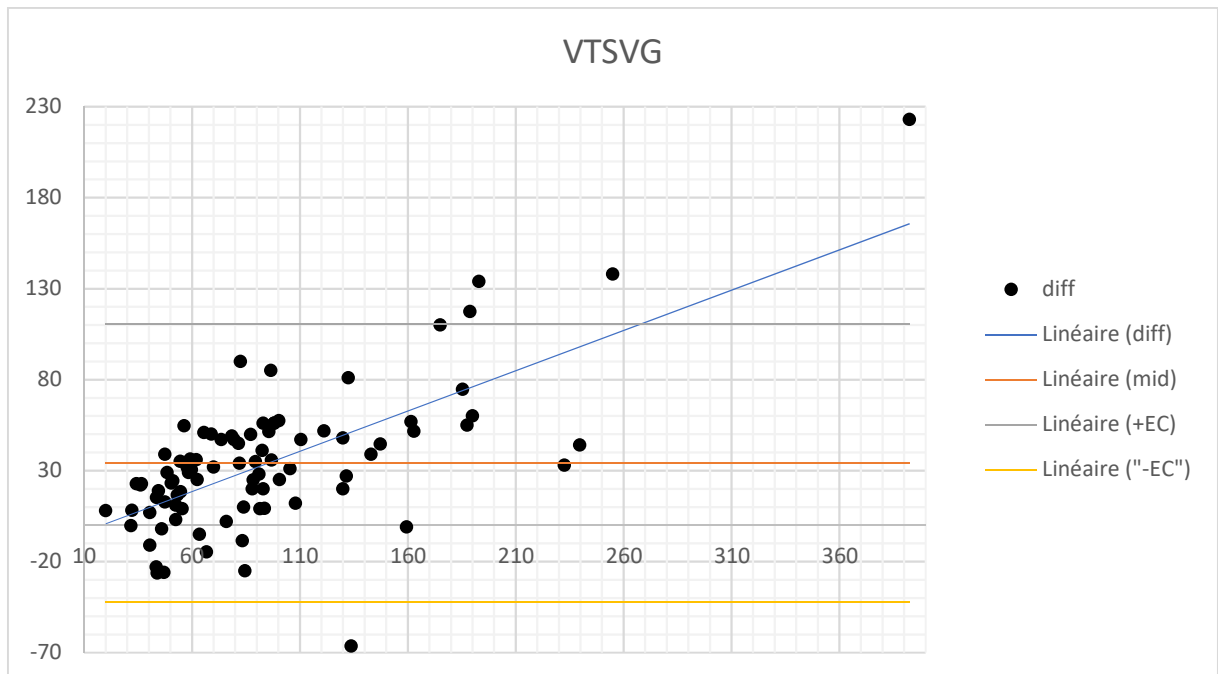


Légende : En ordonnée, la différence et en abscisse la moyenne entre 2 mesures en IRM et en ETT. Graphe de Bland et Altman obtenu pour les diamètres télésystoliques du ventricule gauche avec une différence moyenne de **6 mm (-6 ; 18)**.

Figure 2b : Graphiques de Bland et Altman comparant les volumes en IRM et ETT.

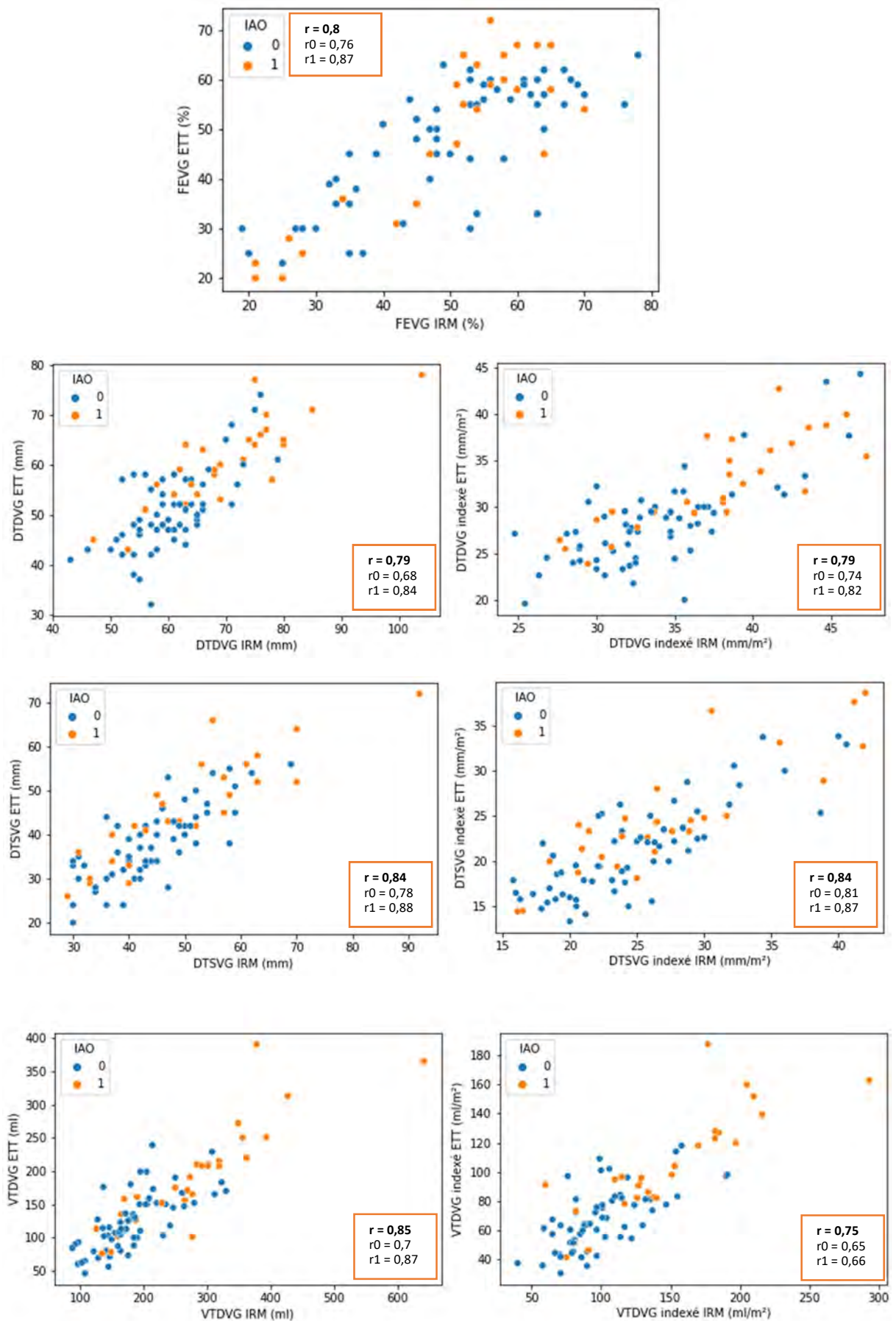


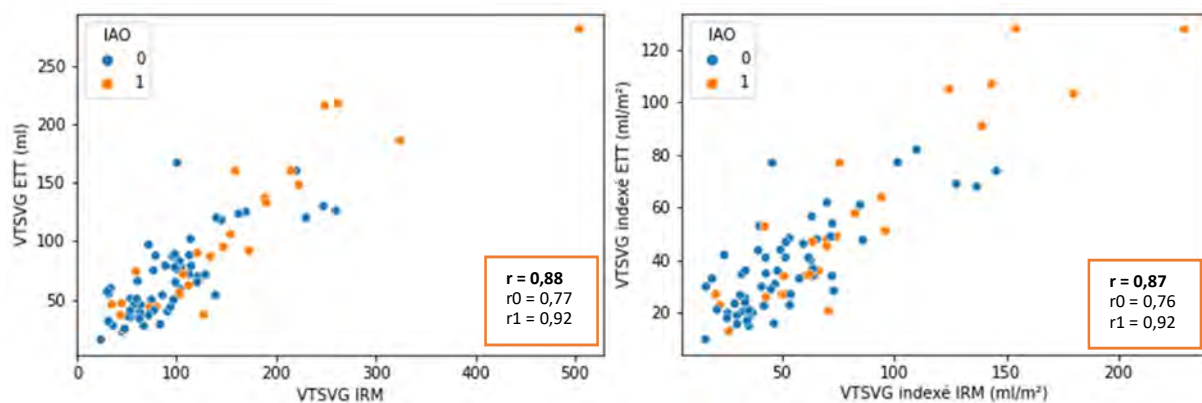
Légende : En ordonnée, la différence et en abscisse la moyenne entre les 2 mesures (en IRM et en ETT). Graphe de Bland et Altman obtenu pour les volumes télédiastoliques du ventricule gauche, avec une différence moyenne de **69 ml (-25 ; 162)**.



Légende : En ordonnée, la différence et en abscisse la moyenne entre les 2 mesures (en IRM et en ETT). Graphe de Bland et Altman obtenu pour les volumes télésystoliques du ventricule gauche, avec une différence moyenne de **34 ml (-42 ; 110)**.

Figure 3 : Relation de corrélation entre les différents paramètres en IRM et ETT.





Légende : IA0 : Insuffisance aortique, 0 : grade moyen (bleu) et 1 : grade sévère (orange) ; FEVG : Fraction d'éjection ventriculaire gauche ; VTDVG et VTSVG : Volumes télédiaستولique et télésystolique du ventricule gauche, DTDVG et DTSVG : Diamètres télédiaستولique et télésystolique du ventricule gauche. **r** : coefficient de corrélation global ; r0 : IA0 moyennes et r1 : IA0 sévères.

Tableau 3 : Variabilités intra et inter-observateurs pour la FEVG et diamètres en ETT et IRM.

Paramètre	Variabilité « intra »	Variabilité « inter »	Variabilité globale
FEVG IRM	0,989	0,967	0,966
DTD IRM	0,980	0,923	
DTS IRM	0,984	0,953	
FEVG ETT	0,836	0,871	0,798
DTD ETT	0,785	0,739	
DTS ETT	0,956	0,604	

Légende : Les variabilités sont exprimées en coefficient de corrélation linéaire.

Tableau 4 : Performances intrinsèques, extrinsèques et meilleurs « cut-off » des diamètres ventriculaires gauches en IRM, par comparaison au Gold standard ETT.

Paramètre testé	Paramètre de référence	Se (%)	Sp (%)	VPN (%)	VPP (%)
DTD IRM >70 mm	DTD ETT > 70 mm	100	83	100	26
DTD IRM >74 mm	DTD ETT > 70 mm	100	90	100	38
DTS IRM > 50 mm	DTS ETT > 50 mm	93	82	98	52
DTS IRM > 52 mm	DTS ETT > 50 mm	93	89	98	63
DTS IRM > 25 mm/m ²	DTS ETT > 25 mm/m ²	90	66	96	44
DTS IRM > 27,6 mm/m ²	DTS ETT > 25 mm/m ²	85	85	95	63
FEVG IRM ≤ 50%	FEVG ETT ≤ 50%	78	89	82	86
FEVG IRM ≤ 51%	FEVG ETT ≤ 50%	82	87	85	85

Légende : FEVG : Fraction d'éjection ventriculaire gauche ; DTD : Diamètre télédiaستولique du ventricule gauche, DTS : Diamètre télésystolique du ventricule gauche ; Se : Sensibilité ; Sp : Spécificité ; VPP : Valeur prédictive positive ; VPN : Valeur prédictive négative.

Tableau 5 : Modèle de Cox étudiant l'association entre les différents paramètres mesurés en IRM et ETT et la survenue du critère de jugement principal.

		Hazard Ratio	95% IC	p (test de Wald)
IRM	FEVG	0.96	0.00-0.98	<0.01
	VTDVG	1.00	1.00-1.00	0.02
	VTDVGi	1.01	1.00-1.01	<0.01
	VTSVG	1.00	1.00-1.00	0.02
	VTSVGi	1.00	1.00-1.01	<0.01
	DTDVG	1.03	1.01-1.06	<0.01
	DTDVGi	1.11	1.04-1.18	0.01
	DTSVG	1.03	1.01-1.05	<0.01
	DTSVGi	1.08	1.03-1.13	<0.01
ETT	FEVG	0.96	0.00-0.98	<0.01
	VTDVG	1.00	1.00-1.01	<0.01
	VTDVGi	1.01	1.01-1.02	<0.00
	VTSVG	1.01	1.00-1.01	<0.01
	VTSVGi	1.01	1.00-1.03	<0.00
	DTDVG	1.05	1.01-1.09	<0.01
	DTDVGi	1.11	1.05-1.18	<0.00
	DTSVG	1.05	1.01-1.08	<0.01
	DTSVGi	1.12	1.06-1.19	<0.00

Légende : FEVG : Fraction d'éjection ventriculaire gauche ; VTDVG et VTSVG : Volumes télédiastolique et télésystolique du ventricule gauche, DTDVG et DTSVG : Diamètres télédiastolique et télésystolique du ventricule gauche ; Les paramètres avec le suffixe « i » correspondent aux valeurs indexées. IC : Intervalle de confiance.

BIBLIOGRAPHIE

1. Singh JP, Evans JC, Levy D, Larson MG, Freed LA, Fuller DL, et al. Prevalence and clinical determinants of mitral, tricuspid, and aortic regurgitation (the Framingham Heart Study). *Am J Cardiol.* mars 1999;83(6):897-902.
2. Bonow RO, Dodd JT, Maron BJ, O’Gara PT, White GG, McIntosh CL, et al. Long-term serial changes in left ventricular function and reversal of ventricular dilatation after valve replacement for chronic aortic regurgitation. *Circulation.* nov 1988;78(5):1108-20.
3. Turina J, Milincic J, Seifert B, Turina M. Valve replacement in chronic aortic regurgitation. True predictors of survival after extended follow-up. *Circulation.* 10 nov 1998;98(19 Suppl):II100-106; discussion II106-107.
4. Chaliki HP, Mohty D, Avierinos J-F, Scott CG, Schaff HV, Tajik AJ, et al. Outcomes After Aortic Valve Replacement in Patients With Severe Aortic Regurgitation and Markedly Reduced Left Ventricular Function. *Circulation.* 19 nov 2002;106(21):2687-93.
5. Nishimura RA, Otto CM, Bonow RO, Carabello BA, Erwin JP, Guyton RA, et al. 2014 AHA/ACC Guideline for the Management of Patients With Valvular Heart Disease: Executive Summary: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Circulation.* 10 juin 2014;129(23):2440-92.
6. Iung B. Recommendations on the management of the asymptomatic patient with valvular heart disease. *Eur Heart J.* 15 août 2002;23(16):1253-66.
7. Popović ZB, Desai MY, Griffin BP. Decision Making With Imaging in Asymptomatic Aortic Regurgitation. *JACC Cardiovasc Imaging.* oct 2018;11(10):1499-513.
8. Cawley PJ, Maki JH, Otto CM. Cardiovascular Magnetic Resonance Imaging for Valvular Heart Disease: Technique and Validation. *Circulation.* 27 janv 2009;119(3):468-78.
9. Hudsmith† L, Petersen† S, Francis J, Robson M, Neubauer S. Normal Human Left and Right Ventricular and Left Atrial Dimensions Using Steady State Free Precession Magnetic Resonance Imaging. *J Cardiovasc Magn Reson.* 1 oct 2005;7(5):775-82.
10. Lorenz C, Walker E, Morgan V, Klein S, Graham T. Normal Human Right and Left Ventricular Mass, Systolic Function, and Gender Differences by Cine Magnetic Resonance Imaging. *J Cardiovasc Magn Reson.* 1 janv 1999;1(1):7-21.
11. Myerson SG, Bellenger NG, Pennell DJ. Assessment of Left Ventricular Mass by Cardiovascular Magnetic Resonance. *Hypertension.* mars 2002;39(3):750-5.

12. Puntmann VO, Gebker R, Duckett S, Mirelis J, Schnackenburg B, Graefe M, et al. Left ventricular chamber dimensions and wall thickness by cardiovascular magnetic resonance: comparison with transthoracic echocardiography. *Eur Heart J - Cardiovasc Imaging*. 1 mars 2013;14(3):240-6.
13. Sechtem U, Pflugfelder PW, Gould RG, Cassidy MM, Higgins CB. Measurement of right and left ventricular volumes in healthy individuals with cine MR imaging. *Radiology*. juin 1987;163(3):697-702.
14. Kawel-Boehm N, Maceira A, Valsangiacomo-Buechel ER, Vogel-Claussen J, Turkbey EB, Williams R, et al. Normal values for cardiovascular magnetic resonance in adults and children. *J Cardiovasc Magn Reson [Internet]*. déc 2015 [cité 8 avr 2021];17(1). Disponible sur: <http://jcmr-online.com/content/17/1/29>
15. Grothues F, Smith GC, Moon JCC, Bellenger NG, Collins P, Klein HU, et al. Comparison of interstudy reproducibility of cardiovascular magnetic resonance with two-dimensional echocardiography in normal subjects and in patients with heart failure or left ventricular hypertrophy. *Am J Cardiol*. juill 2002;90(1):29-34.
16. Mor-Avi V, Jenkins C, Kühl HP, Nesser H-J, Marwick T, Franke A, et al. Real-Time 3-Dimensional Echocardiographic Quantification of Left Ventricular Volumes. *JACC Cardiovasc Imaging*. juill 2008;1(4):413-23.
17. Lee JC, Branch KR, Hamilton-Craig C, Krieger EV. Evaluation of aortic regurgitation with cardiac magnetic resonance imaging: a systematic review. *Heart*. janv 2018;104(2):103-10.
18. Koch J-A, Poll LW, Godehardt E, Korbmacher B, Mödder U. Right and left ventricular volume measurements in an animal heart model in vitro: first experiences with cardiac MRI at 1.0 T. *Eur Radiol*. 24 févr 2000;10(3):455-8.
19. Harris AW, Krieger EV, Kim M, Cawley PJ, Owens DS, Hamilton-Craig C, et al. Cardiac Magnetic Resonance Imaging Versus Transthoracic Echocardiography for Prediction of Outcomes in Chronic Aortic or Mitral Regurgitation. *Am J Cardiol*. avr 2017;119(7):1074-81.
20. Bellenger N. Comparison of left ventricular ejection fraction and volumes in heart failure by echocardiography, radionuclide ventriculography and cardiovascular magnetic resonance. Are they interchangeable? *Eur Heart J*. 15 août 2000;21(16):1387-96.
21. Zoghbi WA, Adams D, Bonow RO, Enriquez-Sarano M, Foster E, Grayburn PA, et al. Recommendations for Noninvasive Evaluation of Native Valvular Regurgitation. *J Am Soc Echocardiogr*. avr 2017;30(4):303-71.
22. Schober P, Boer C, Schwarte LA. Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. *Anesth Analg*. mai 2018;126(5):1763-8.

23. 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.
24. Stoebe S, Metze M, Jurisch D, Tayal B, Solty K, Laufs U, et al. Analysis of chronic aortic regurgitation by 2D and 3D echocardiography and cardiac MRI. *Echo Res Pract*. juin 2018;5(2):51-62.
25. Neisius U, Tsao CW, Hauser TH, Patel AD, Pierce P, Ben-Assa E, et al. Aortic regurgitation assessment by cardiovascular magnetic resonance imaging and transthoracic echocardiography: intermodality disagreement impacting on prediction of post-surgical left ventricular remodeling. *Int J Cardiovasc Imaging*. janv 2020;36(1):91-100.
26. Myerson SG, d'Arcy J, Mohiaddin R, Greenwood JP, Karamitsos TD, Francis JM, et al. Aortic Regurgitation Quantification Using Cardiovascular Magnetic Resonance: Association With Clinical Outcome. *Circulation*. 18 sept 2012;126(12):1452-60.

**COMPARISON OF AORTIC REGURGITATION EFFECTS ON THE LEFT VENTRICLE AS
MEASURED BY MRI VERSUS ECHOCARDIOGRAPHY**

Authors and affiliations :

Laure Vilijn MD^{a,d}, Michel Galinier MD, PhD^{a,c,d}, Olivier Lairez MD PhD^{a,b,c,d}, Pauline Fournier MD^{a,d}, Eve Cariou MD^{a,d}, Clarisse Martin MD^{a,d} and Yoan Lavie-Badie MD^{a,b,d}.

a - Department of Cardiology, Rangueil University Hospital, Toulouse, France

b - Department of Nuclear Medicine, Rangueil University Hospital, Toulouse, France

c - Medical School of Toulouse, Paul Sabatier University, Toulouse, France

d- Heart Valve Center, Rangueil University Hospital, Toulouse, France

Corresponding author:

Yoan Lavie-Badie, MD

Department of Cardiology, Toulouse University Hospital

1, avenue Jean Poulhès, TSA 50032, 31059 Toulouse Cedex 9, France

Email : lavie-badie.y@chu-toulouse.fr

Phone : +33 5 61 32 24 37

Fax : +33 5 61 32 22 77

Disclosure of funding: This research received no specific grant from public, commercial, or non-profit funding agencies.

Declarations of interest: The authors have no conflict of interests to disclose.

ABREVIATIONS

AR: Aortic regurgitation

TTE: Transthoracic echocardiography

MRI: Magnetic resonance imaging

LVEDD: Left Ventricular End-Diastolic Diameter

LVESD: Left Ventricular End-Systolic Diameter

LVEDV: Left Ventricular End-Diastolic Volume

LVESV: Left Ventricular End-Systolic Volume

LVEF: Left ventricle ejection fraction

PO: Primary Outcome

Se: Sensitivity

Sp: Specificity

PPV: Positive Predictive Value

NPV: Negative Predictive Value

CI: Confidence Interval

SD: Standard Deviation

ABSTRACT

Aims: Evaluation of left ventricular impact is essential in the assessment of AR. If the recommendations are based on TTE measurements, cardiac MRI is an increasingly used tool.

Methods: We retrospectively studied, from 2016 to 2020, 88 patients with moderate to severe AR who realized TTE and cardiac MRI within 3 months. Left ventricular measurements in TTE and MRI were compared and prognostic impact was assessed during follow-up. The composite primary outcome included hospitalization for acute heart failure and/or aortic valve surgery.

Results: Average age was 66 ± 13 (mean \pm SD) years old, 51 (58%) patients were men and 28 (32%) had a severe AR. The average time between TTE and MRI was 18 ± 30 days, with a median follow-up of 2.2 (1.3 - 3.1) years. TTE and MRI measurements correlated but were significantly larger when measured by MRI. Use of MRI surgical “cut-offs” as proposed by the international guidelines, based on TTE values, was not specific and had a low positive predictive value, which could lead to “premature” surgical indications. In terms of prognosis, defined as the hazard ratio of freedom from the primary outcome, MRI was as effective as TTE. (HR 1.03 [1.01 - 1.06] and 1.05 [1.01 - 1.09] $p < 0.01$ for LVEDD MRI and TTE and HR 1.03 [1.01 - 1.05] and 1.05 [1.01 - 1.08] $p < 0.01$ for MRI and TTE LVESD). PO was observed in 39 (45%) patients.

Conclusion: Evaluation of the effects of AR on the left ventricle is feasible with cardiac MRI as is with TTE. However, the measurements of left ventricular size “cut-offs” as proposed by the international guidelines, which are based on TTE measurements, should not be used with MRI because of their low specificity.

Keywords: Aortic regurgitation; left ventricular impact; magnetic resonance imaging.

INTRODUCTION

Aortic regurgitation (AR) is a non-rare valvular disease found in 13% of men and 8.5% of women (all grades combined), with greater severity in old age (1). It is responsible for a volumetric and barometric overload of the left ventricle, creating a compensatory eccentric hypertrophy-dilation, which, if exceeded, leads to irreversible left ventricular dysfunction (2), (3), (4). The operative indication is, among other things, based on the AR severity, symptomatology and left ventricular impact (5). Transthoracic echocardiography (TTE), by calculating left ventricular ejection fraction (LVEF) and measuring end-diastolic and end-systolic diameters (LVEDD and LVESD), is the main study used to assess the effects of AR on the left ventricle. In the case of severe asymptomatic AR, there is an indication for surgical intervention if the LVEF is $< 50\%$ or LVEDD > 70 mm or LVESD > 50 mm (> 25 mm / m²), called "cut-offs" (6).

Nowadays, cardiac MRI helps to quantify AR when TTE is discordant or not feasible (7), (8). It is also a reference imaging modality when assessing the accuracy of ventricular measurements (9), (10), (11), (12), (13), (14) with a better reproducibility than TTE (15), (16), (17), (18). MRI also offers the possibility of predicting the likelihood of surgery by quantifying the severity of AR (19). However, it is well known that, for a given patient, there can be significant differences between TTE and MRI measurements (20). Clearly established "cut-offs" measurements indicating the need for aortic valve surgery or the threshold to avoid irreversible left ventricular dysfunction have not been established.

The objective of this study was therefore to evaluate, in patients with moderate to severe AR, the differences between left ventricular measurements with MRI and TTE; analyze their correlations; evaluate the relevance of using the same echocardiographic cut-offs in MRI to define the effects of aortic regurgitation on the left ventricle that would indicate the need for aortic valve surgery, and assess their prognostic performance.

MATERIALS AND METHODS

STUDY DESIGN AND PATIENT POPULATION

We retrospectively included all patients with moderate to severe AR as shown by TTE and who, within a maximum of three months compared to TTE, underwent cardiac magnetic resonance imaging (MRI) at Rangueil University Hospital between June 2016 and November 2020. Patients whose imaging studies were not usable, and those with an obvious etiology of dilated cardiomyopathy other than AR were excluded. Diagnosis and quantification of AR was based on TTE, considered as Gold-Standard.

The study was consistent with the principles set out in the Helsinki Declaration. According to the principles of French ethics law, patients were informed that their codified data would be used for the study. According to the regulations of the Public Health Code, retrospective studies based on the exploitation of the usual health data should not be submitted to an ethics committee, but they must be declared or covered by the reference methodology of the National Commission for Information Technology and Freedoms (CNIL). The collection and computer processing of personal and medical data was implemented to analyze the results of the research. The Toulouse University Hospital has signed a commitment to comply with CNIL's MR-004 reference methodology. After evaluation and validation by the data protection officer, and in accordance with the General Data Protection Regulations, this study has met all the criteria and is registered in the retrospective studies register of the Toulouse University Hospital and taken up by the MR-004 (French number CNIL: 2206723 v 0). This study was approved by the Toulouse University Hospital and states that the ethical requirements have been fully complied with in this report.

COLLECTION OF TTE DATA

All echocardiographic data were made using a commercially available ultrasound (6VT-D transducer, e95 or s70 Vivid system, GE Vingmed Ultrasound AS, Horten, Norway). A complete analysis with Doppler, M-mode, and 2D sections including the three standard apical views (four, three, and two cavities) was performed for all patients. Offline image analysis was performed independently by a single experienced operator unaware of other imaging results, using the EchoPAC 202 (GE Vingmed Ultrasound AS) software version. AR severity quantification was carried out according to the American Society of Echocardiography guidelines (21). Briefly, an integrative method between quantitative and semi-quantitative parameters was used, allowing to classify AR as moderate or severe. Key measurements of left ventricular geometry were conducted, including: end-diastolic and end-systolic diameters (LVEDD and LVESD) using 2D long axis para-sternal section; end-diastolic and end-systolic volumes (LVEDV and LVESV) and left ventricular ejection fraction (LVEF) using Simpson's 2D Biplane method. These measurements were carried out twice by the same operator and by another independent operator in order to study intra- and inter-observer variability.

COLLECTION OF MRI DATA

Cardiac MRI was performed on a 1.5 T MR scanner (Avanto, Siemens). The acquisition of the imaging loops was stabilized by short apneas (TE [echo time] /TR [repetition time] = 1.27/50 ms, flip angle 78 °, matrix 208 × 170, field of view = 350 × 350 mm, temporal resolution 40 ms) achieving sequential slices of 8 mm in short axis (no gap between the slices). The kinetic loops were examined using semi-automated software (Argus software, Siemens) by a single experienced observer. Key geometric measurements of the left ventricle were: LVEDV, LVESV, LVEDD, LVESD and LVEF calculation. MRI diameters were obtained from the short axis cut, just downstream of the mitral valve, in the ventricular cavity (**Figure 1**). These measurements were carried out twice by the same operator and by another independent operator in order to study intra- and inter-observer variability.

CLINICAL DATA, MONITORING AND JUDGMENT

Clinical data such as age, gender and New York Heart Association (NYHA) class were collected. Follow-up was achieved through a telephone interview and consultation of electronic patient records. The primary outcome (PO) was the composite of "hospitalization for acute heart failure and/or aortic valve surgery".

STATISTICAL ANALYSIS

Continuous variables were expressed on average \pm standard deviation; median follow-up with its 25 and 75 interquartile range (IQR) and nominal values in numbers and percentages.

Five different statistical analyses were carried out:

1) The bias and agreement limits representing the deviations of the values of one technique from the other (TTE vs MRI) were evaluated by the method of Bland and Altman and by a Wilcoxon test.

2) The intra- and inter-observer variabilities for the diameters and LVEF of the two images were evaluated using Pearson's method, on 15 patients taken at random.

3) The correlation between left ventricular measurements in TTE and MRI was analyzed using Pearson's method. This linear correlation could be described as mean ($r = 0.40 - 0.69$), strong ($0.70 - 0.89$) and very strong ($0.90 - 1$) (22).

4) Based on the European Society of Cardiology recommendations (23), we have defined surgical "cut-offs", relating to the left ventricular impact of the AR, to retain a surgical indication in case of asymptomatic AR: LVEDD > 70 mm, LVESD > 50 mm, LVESD indexed > 25 mm / m² and LVEF $< 50\%$. Considering TTE as a reference technique, we tested the sensitivity (Se), specificity (Sp), positive predictive value (PPV) and negative predictive value (NPV) of MRI for these cut-offs. "Ideal" surgical "cut-offs" values in MRI, defined as those with the highest sum of sensitivity and specificity, were then searched using "ROC curves".

5) A univariate Cox model was performed to assess the association of the TTE and MRI variables with the non-occurrence survival of PO. This was expressed as hazard ratio (HR) and their confidence interval (CI) at 95%.

A p-value < 0.05 was considered significant. The statistics were analyzed using XLSTAT v2019.1 (Addinsoft, Paris, FR).

RESULTS

Over the study period, 92 patients presented the inclusion criterion. Of these, 4 (4%) patients were excluded: 1 (1%) patient had a non-usable TTE and 3 (3%) had an obvious etiology of dilated cardiomyopathy other than AR (extensive myocardial necrosis). In the end, 88 patients were included in our study.

The median age was 66 ± 13 years old, 51 (58%) patients were men and 28 (32%) had severe AR. The average time between the two images was 18 ± 30 days and the median follow-up was 2.2 (IQR 1.3 – 3.1) years. Fifty-one patients (58%) were symptomatic at the time of TTE and 39 (45%) met PO (**Table 1**).

LEFT VENTRICULAR MEASUREMENTS IN TTE AND MRI

On average, LVEF was $50 \pm 14\%$ in TTE and $49 \pm 14\%$ in MRI ($p = 0.55$); the LVEDD of 54 ± 9 mm (30 ± 5 mm/m²) in TTE and 63 ± 9 mm (35 ± 5 mm/m²) in MRI ($p < 0.01$); the LVESD of 40 ± 10 mm (22 ± 6 mm/m²) in TTE and 46 ± 11 mm (25 ± 6 mm/m²) in MRI ($p < 0.01$); LVEDV of 146 ± 65 ml (79 ± 31 ml/m²) in TTE and 214 ± 89 ml (117 ± 46 ml/m²) in MRI ($p < 0.01$) and LVESV of 78 ± 49 ml (42 ± 25 ml/m²) in TTE and 112 ± 76 ml (61 ± 39 ml/m²) in MRI ($p < 0.01$) (**Table 2**).

On average, MRI increased LVEDD by 10 mm (-2;21), LVTDD by 6 mm (-6;18), LVEDV by 69 ml (-25;162) and LVESV by 34 ml (-42;110) (**Figures 2a and 2b**).

INTRA- AND INTER-OBSERVER VARIABILITY

Intra-observer and inter-observer variability was generally greater in TTE than in MRI (**Table 3**).

CORRELATION OF LEFT VENTRICULAR MEASUREMENTS IN TTE AND MRI

All MRI measurements were correlated with TTE measurements and a strong overall correlation (for all AR) was found for all parameters (**Figure 3**). The correlation was stronger when AR was severe, and with a very strong correlation for systolic volumes (LVESV and indexed LVESV, $r_1 = 0.92$) and strong correlations for systolic diameters (LVESD and indexed LVESD, r_1 respectively at 0.88 and 0.87); diastolic volumes and diameters (LVEDV and LVEDD, r_1 respectively at 0.87 and 0.84) and LVEF ($r_1 = 0.87$).

TTE VERSUS MRI COMPARISON REGARDING SURGICAL CUT-OFFS

In MRI, measurements higher than surgical "cut-offs" had a good Se (100% for a LVEDD > 70 mm, 93% for a LVESD > 50 mm, 90% for a LVESD > 25mm / m²) but a lower Sp (83% for a LVEDD > 70 mm, 82% for a LVESD > 50 mm, 66% for a LVESD > 25mm / m²) to predict values higher than surgical "cut-offs" in TTE. Thus, the PPV was generally low (26% for a LVEDD > 70 mm, 52% for a LVESD > 50 mm, 44% for a LVESD > 25mm / m²) and with a high NPV (100% for a LVEDD > 70 mm, 98% for a LVESD > 50 mm, 96% for a LVESD > 25mm / m²). Respectively, these values were 78%, 89%, 86% and 82% for an LVEF < 50% (**Table 4**). The ideal "cut-offs" in MRI were: LVEDD MRI > 74 mm, LVESD MRI > 52 mm, LVESD indexed MRI > 27.6 mm/m² and FVEV < 51% (**Table 4**).

PROGNOSTIC VALUE OF LEFT VENTRICULAR REMODELING IN MRI AND TTE

The risk of presenting PO was less important if LVEF was greater (HR 0.96 [0 – 0.98] $p < 0.01$) and more important if left ventricular diameters were greater (HR 1.03 [1.01 – 1.06] and 1.05 [1.01 – 1.09] $p < 0.01$ for the LVEDD MRI and TTE; HR 1.11 [1.04 – 1.18] $p = 0.01$ and 1.11 [1.05 – 1.18] $p < 0.01$ for LVEDDi MRI and TTE; HR 1.03 [1.01 – 1.05] and 1.05 [1.01 – 1.08] $p < 0.01$ for LVESD MRI and TTE; and HR 1.03 [1.01 – 1.05] and 1.12 [1.06 – 1.19] $p < 0.01$ for MRI and TTE (**Table 5**).

DISCUSSION AND COMMENTS

In this monocentric retrospective study comparing left ventricular measurements performed in MRI and TTE in 88 patients with moderate to severe AR, we found the following results:

- 1) Despite a strong correlation between the two images, MRI left ventricular measurements tend to be larger.
- 2) The use in MRI of the surgical "cut-offs" proposed by the recommendations, based on echocardiographic values, is not specific and has a low PPV. In other words, the use of MRI to define significant left ventricular dilatation or dysfunction in case of asymptomatic severe AR can lead to over calling the need for surgical intervention.
- 3) Parameters in TTE and MRI were correlated with freedom from the PO. If the recommendations are essentially based on diameters and LVEF evaluated in TTE, our observations highlight that MRI can be just as effective, benefiting from better reproducibility.

Despite a strong correlation between the two images, MRI ventricular measurements tend to be larger. Indeed, all the left ventricular parameters measured in TTE and MRI were highly correlated ($r > 0.70$) and more correlated when AR was severe. This correlation is well known (24). The statistically significant "underestimation" in TTE compared to MRI was consistent with data from the literature (15), where a significant difference was found for TTE and MRI in left ventricular volumes in normal subjects and those with heart failure or left ventricular hypertrophy between TTE and MRI. In one study (25) involving 101 patients with AR (all grade, 15% severe and 70% mean), a TTE underestimation of 6.6 mm (CI 5.8–7.7, $p < 0.001$) for LVEDD and 5.9 mm (CI 4.1–7.6, $p < 0.001$) for LVESD compared to SHORT-AXIS MRI was demonstrated. We find in our study a better reproducibility of MRI measurements compared to TTE, with less intra- and inter-observer variability, which is consistent with the literature (12).

The difference in values observed between the two methods raises the question of the relevance of using the same "cut-offs" values obtained by TTE with MRI to determine the indications for aortic valve surgery. Using the same surgical "cut-offs" based on echocardiography for MRI measurements yields poor specificity and a low PPV. In other words, the use of MRI to define significant left ventricular dilatation or dysfunction in cases of asymptomatic severe AR can lead to premature indications for surgical intervention. For example, a patient with a LVEDD > 70 mm in MRI potentially has a LVEDD < 70 mm in TTE, which poses a clear inconsistency with international guidelines. In the absence of data from the literature for MRI "cut-offs" in asymptomatic patients with severe AR, we could potentially consider using the "cut-offs" modified in MRI, like those from the ROC curves of our study.

Moreover, most of the parameters in TTE and MRI correlated with the likelihood of freedom from hospitalization and need for surgery. This last observation supports the interest shown in using MRI to measure the effects of AR on the left ventricle. If the recommendations are based essentially on diameters and LVEF evaluated in TTE, our observations show that MRI can be equally effective. It has, in the same sense, already been shown that a LVEDV > 246 ml in MRI was predictive of the onset of symptoms or valvular surgery (Se 87%, Sp 77%, area under the curve 0.88) in patients with medium to severe AR (26). Prospective studies will be needed to clearly establish the relevant prognostic factors in MRI.

Finally, we must note the limitations of our study. This is a retrospective, single center study with a small heterogeneous patient cohort. The study group consisted of patients with symptomatic and asymptomatic moderate or severe AR. The time that elapsed between the two imaging modalities, though generally acceptable according to the literature did exhibit a range from 1 month (20) to 6 months (25).

CONCLUSION

Evaluation of the effects of aortic regurgitation on the left ventricle is feasible with TTE and cardiac MRI. However, if the measurements are correlated between the two images and with comparable prognostic performance, the "cut-offs" of dilatation and left ventricular function proposed by the international guidelines should not be used based on the MRI due to low specificity.

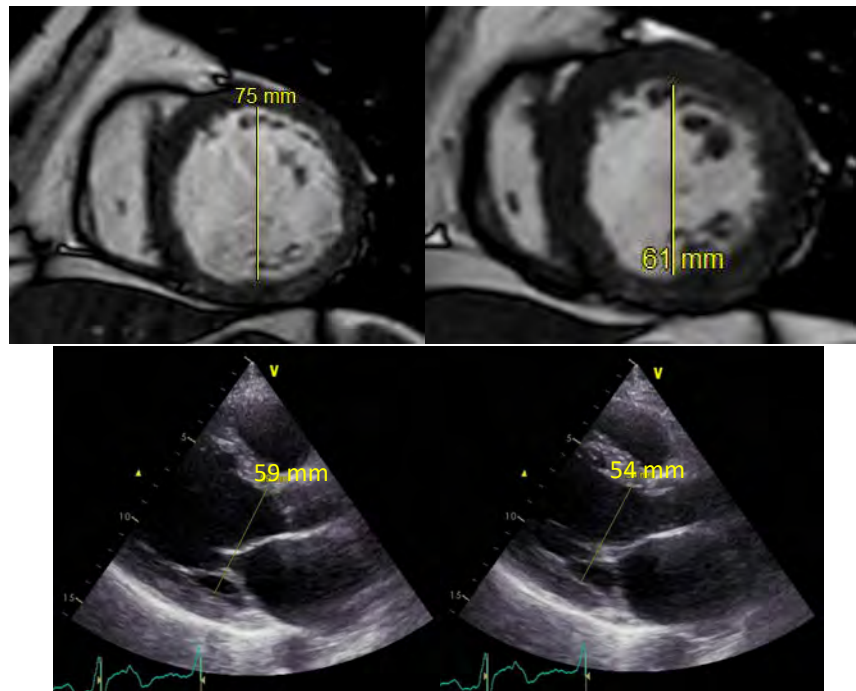
TABLES AND FIGURES

Table 1: Population characteristics.

Characteristics	TOTAL n = 88 patients
Age (years)	66 ± 13
Male	51 (58%)
Body surface area (m ²)	1.8 ± 0.2
AR (TTE)	
Medium grade	60 (68%)
Severe grade	28 (32%)
Delay TTE – cardiac MRI (days)	18 ± 30
Ascending aorta ≥ 40 mm	40 (45%)
Symptomatology and biology	
Dyspnea (NYHA ≥ 2)	51 (58%)
Nt pro BNP (pg/ml)	1756 ± 2374
Events	
surgery	19 (22%)
Mortality (all causes)	3 (3,4%)
Hospitalization for heart failure	20 (23%)
Aftercare	
Duration of follow-up (years)	2,2 (1,3 ; 3,1)
Lost from sight	3 (3,4%)

***Legend:** AR: Aortic regurgitation; NYHA: classification of dyspnea according to the New York Heart Association; Nt-pro BNP: Natriuretic peptide type B, precursor of BNP. The values shown for age, body surface area, TTE-MRI delay, dilatation of the ascending aorta, and Nt-pro BNP are standard deviation means. The duration of follow-up is a median with interquartile deviations (25% and 75%). The other data include the number of employees with their percentage.*

Figure 1: Illustration of the measurements of the diameters in TTE and MRI.



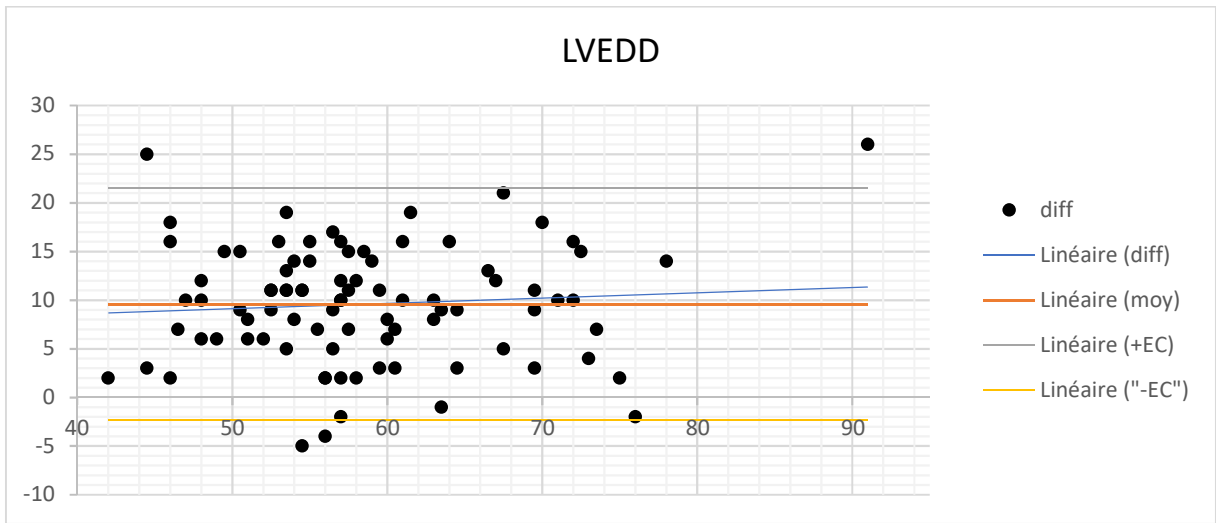
Legend: Above: short axis sections of the left ventricle in MRI, end-diastolic and end-systolic diameters of the left ventricle in the ventricular cavity, just downstream of the mitral valve. Below: long-axis para-sternal sections of the left ventricle in TTE, end-diastolic and end-systolic diameters downstream of the mitral valve. For example, measurements in the direction of reading: 75 mm, 61 mm, 59 mm and 54 mm.

Table 2: Left ventricular measurements in MRI and TTE.

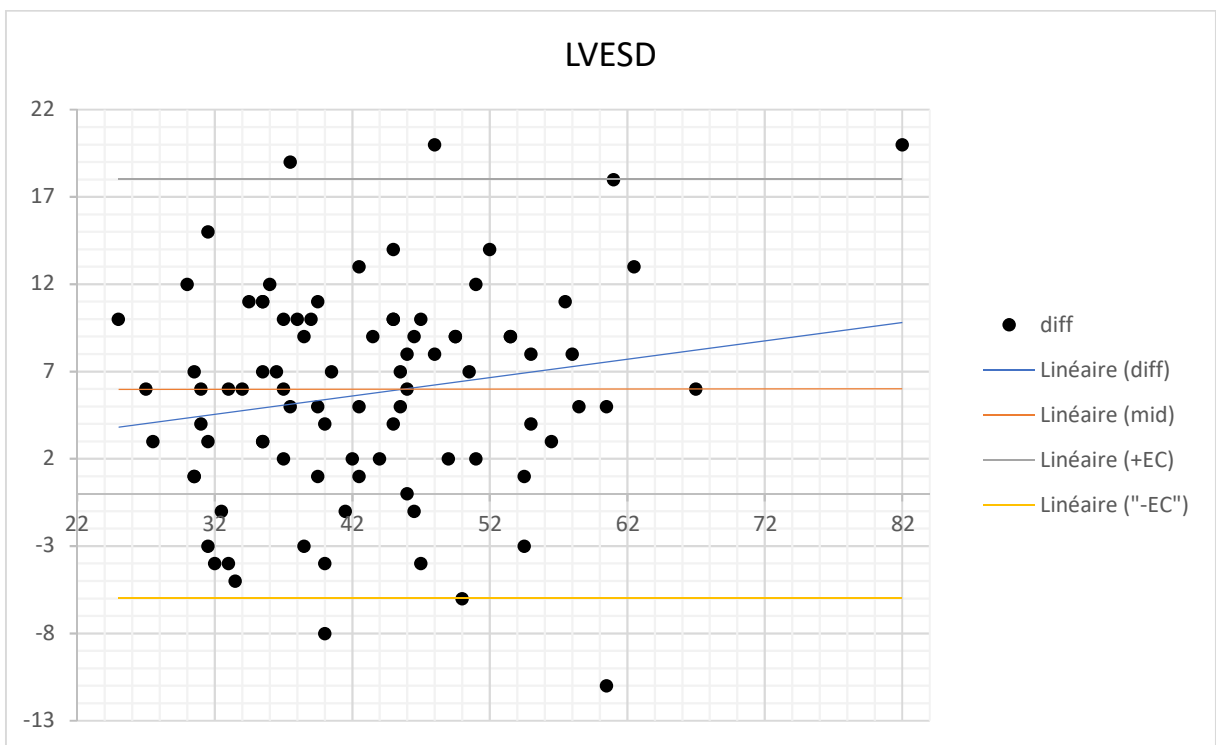
Measurements	TTE	MRI	p value
LVEF (%)	50 ± 14	49 ± 14	0,55
Volumes (ml) and indexed (ml/m²)			
LVEDV	146 ± 65	214 ± 89	< 0.01
LVESV	78 ± 49	112 ± 76	< 0.01
Indexed LVEDV	79 ± 31	117 ± 46	< 0.01
Indexed LVESV	42 ± 25	61 ± 39	< 0.01
Diameters (mm) and indexed (mm/m²)			
LVEDD	54 ± 9	63 ± 9	< 0.01
LVESD	40 ± 10	46 ± 11	< 0.01
Indexed LVEDD	30 ± 5	35 ± 5	< 0.01
Indexed LVESD	22 ± 6	25 ± 6	< 0.01

Legend: LVEF: Left ventricular ejection fraction, LVEDV: End-diastolic volume of the left ventricle, LVESV: End-systolic volume of the left ventricle, LVEDD: End-diastolic diameter of the left ventricle, LVESD: End-systolic diameter of the left ventricle. Each measurement (mean with standard deviation) was indexed to the patient's body surface area.

Figure 2a: Bland and Altman graphs comparing diameters in MRI and TTE.

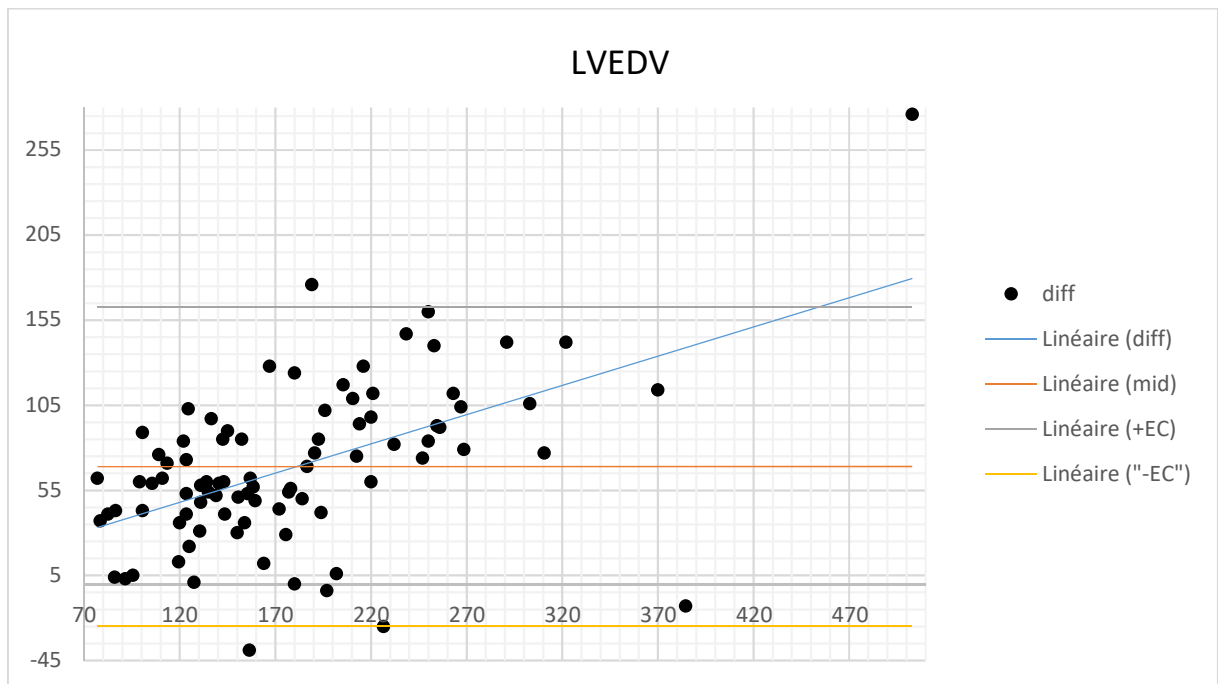


Legend: On the y axis, the difference and on the x axis the average between 2 measurements in MRI and TTE. Bland and Altman graph obtained for the end-diastolic diameters of the left ventricle, with an average difference of **10 mm (-2; 21)**.

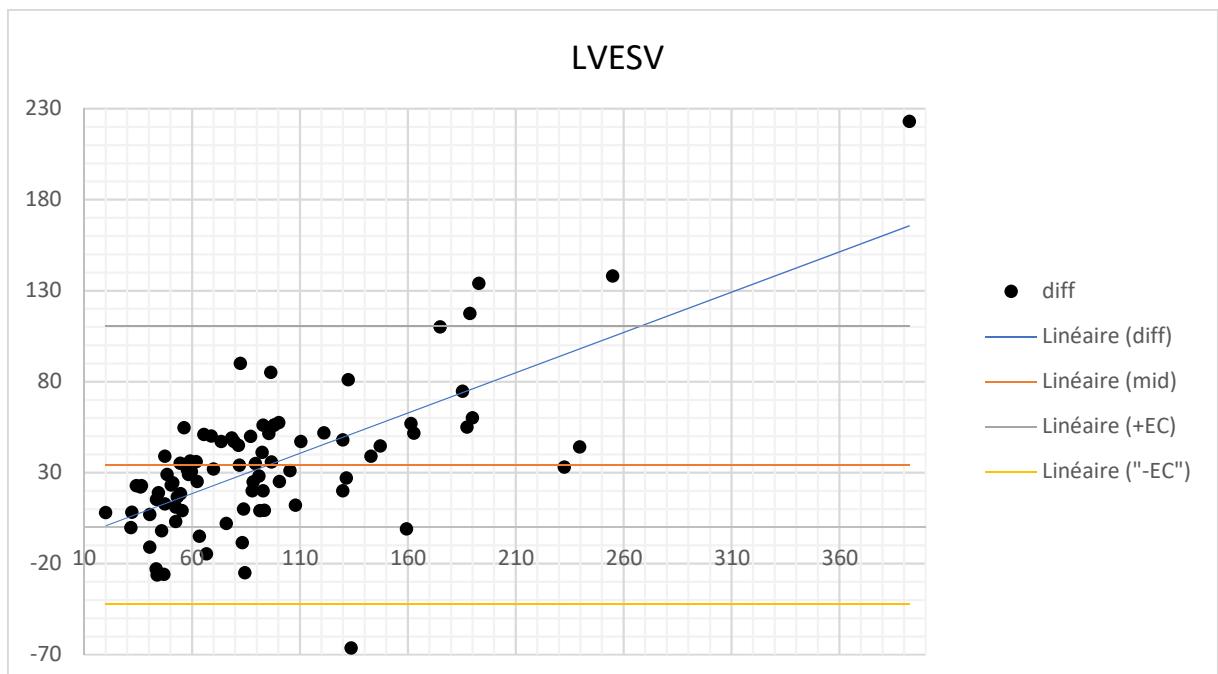


Legend: On the y axis, the difference and on the x axis the average between 2 measurements in MRI and TTE. Bland and Altman graph obtained for the end-systolic diameters of the left ventricle with an average difference of **6 mm (-6; 18)**.

Figure 2b: Bland and Altman graphs comparing volumes in MRI and TTE.

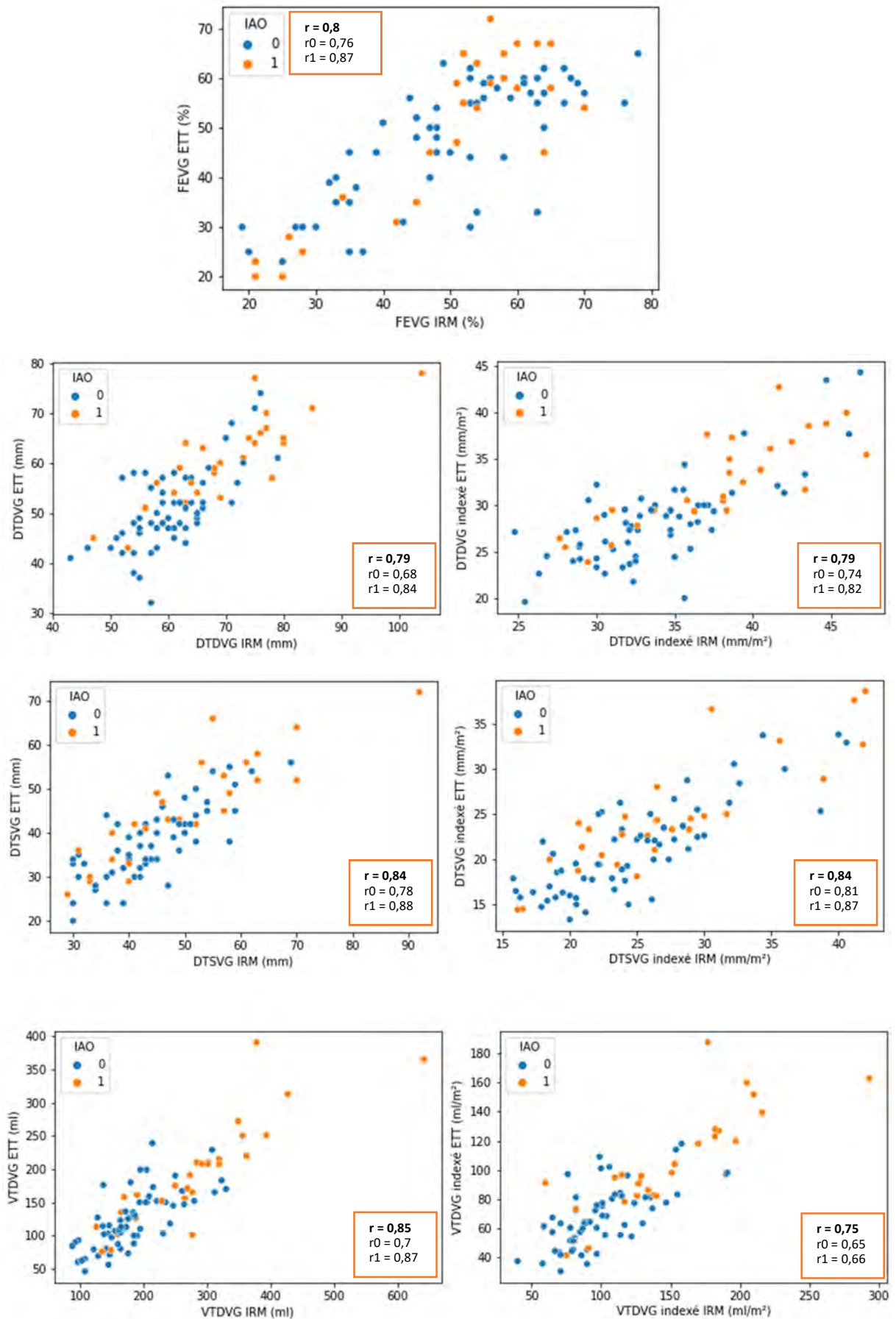


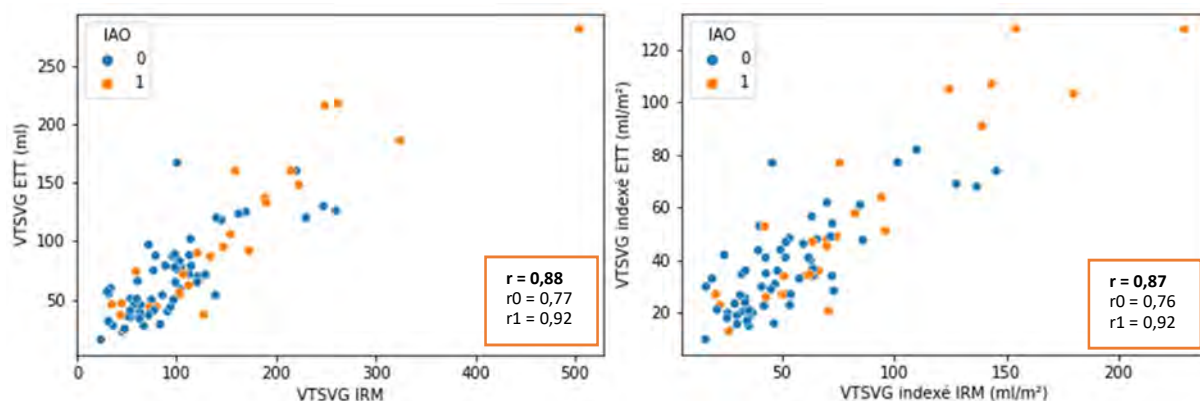
Legend: On the y axis, the difference and on the x axis the average between the 2 measurements (in MRI and in TTE). Bland and Altman graph obtained for end-diastolic volumes of the left ventricle, with an average difference of **69 ml (-25; 162)**.



Legend: On the y axis, the difference and on the x axis the average between the 2 measurements (in MRI and in TTE). Bland and Altman graph obtained for the end-systolic volumes of the left ventricle, with a mean difference of **34 ml (-42; 110)**.

Figure 3: Correlation relationship between the different parameters in MRI and TTE.





Legend: AR: Aortic regurgitation, 0: medium grade (blue) and 1: severe grade (orange); FEVG = LVEF: Left ventricular ejection fraction; VTDVG = LVEDV and VTSVG = LVESV: end-diastolic and end-systolic volumes of the left ventricle, DTDVG = LVEDD and DTSVG = LVESD: End-diastolic and end-systolic diameters of the left ventricle. **r: overall correlation coefficient; r0: Average AR and r1: Severe AR.**

Table 3: Intra- and inter-observer variability for LVEF and diameters in TTE and MRI.

Parameter	« Intra » variability	« Inter » variability	Global variability
LVEF MRI	0,989	0,967	0,966
EDD MRI	0,980	0,923	
ESD MRI	0,984	0,953	
LVEF TTE	0,836	0,871	0,798
EDD TTE	0,785	0,739	
ESD TTE	0,956	0,604	

Legend: Variabilities are expressed as a linear correlation coefficient.

Table 4: Intrinsic, extrinsic and better "cut-offs" performance of left ventricular diameters in MRI, compared to the gold standard TTE.

Parameter tested	Reference parameter	Se (%)	Sp (%)	NPV (%)	PPV (%)
EDD MRI >70 mm	EDD TTE > 70 mm	100	83	100	26
EDD MRI >74 mm	EDD TTE > 70 mm	100	90	100	38
ESD MRI > 50 mm	ESD TTE > 50 mm	93	82	98	52
ESD MRI > 52 mm	ESD TTE > 50 mm	93	89	98	63
ESD MRI > 25 mm/m ²	ESD TTE > 25 mm/m ²	90	66	96	44
ESD MRI > 27.6 mm/m ²	ESD TTE > 25 mm/m ²	85	85	95	63
LVEF MRI ≤ 50%	LVEF TTE ≤ 50%	78	89	82	86
LVEF MRI ≤ 51%	LVEF TTE ≤ 50%	82	87	85	85

Legend: LVEF: Left ventricular ejection fraction; EDD: End-diastolic diameter of the left ventricle, ESD: End-systolic diameter of the left ventricle; Se: Sensitivity; Sp: Specificity; PPV: Positive predictive value; NPV: Negative predictive value.

Table 5: Cox model studying the association between the different parameters measured in MRI and TTE and the occurrence of the principal outcome.

		Hazard Ratio	95% CI	p (test de Wald)
MRI	LVEF	0.96	0.00-0.98	<0.01
	LVEDV	1.00	1.00-1.00	0.02
	LVEDVi	1.01	1.00-1.01	<0.01
	LVESV	1.00	1.00-1.00	0.02
	LVTEVi	1.00	1.00-1.01	<0.01
	LVEDD	1.03	1.01-1.06	<0.01
	LVEDDi	1.11	1.04-1.18	0.01
	LVESD	1.03	1.01-1.05	<0.01
	LVESDi	1.08	1.03-1.13	<0.01
TTE	LVEF	0.96	0.00-0.98	<0.01
	LVEDV	1.00	1.00-1.01	<0.01
	LVEDVi	1.01	1.01-1.02	<0.00
	LVESV	1.01	1.00-1.01	<0.01
	LVESVi	1.01	1.00-1.03	<0.00
	LVEDD	1.05	1.01-1.09	<0.01
	LVEDDi	1.11	1.05-1.18	<0.00
	LVESD	1.05	1.01-1.08	<0.01
	LVESDi	1.12	1.06-1.19	<0.00

Legend: LVEF: Left ventricular ejection fraction; LVEDV and LVESV: End-diastolic and end-systolic volumes of the left ventricle, LVEDD and LVESD: End-diastolic and end-systolic diameters of the left ventricle; Parameters where the suffix "i" corresponds to indexed values. CI: Confidence Interval.

BIBLIOGRAPHY

1. Singh JP, Evans JC, Levy D, Larson MG, Freed LA, Fuller DL, et al. Prevalence and clinical determinants of mitral, tricuspid, and aortic regurgitation (the Framingham Heart Study). *Am J Cardiol.* mars 1999;83(6):897-902.
2. Bonow RO, Dodd JT, Maron BJ, O'Gara PT, White GG, McIntosh CL, et al. Long-term serial changes in left ventricular function and reversal of ventricular dilatation after valve replacement for chronic aortic regurgitation. *Circulation.* nov 1988;78(5):1108-20.
3. Turina J, Milincic J, Seifert B, Turina M. Valve replacement in chronic aortic regurgitation. True predictors of survival after extended follow-up. *Circulation.* 10 nov 1998;98(19 Suppl):II100-106; discussion II106-107.
4. Chaliki HP, Mohty D, Avierinos J-F, Scott CG, Schaff HV, Tajik AJ, et al. Outcomes After Aortic Valve Replacement in Patients With Severe Aortic Regurgitation and Markedly Reduced Left Ventricular Function. *Circulation.* 19 nov 2002;106(21):2687-93.
5. Nishimura RA, Otto CM, Bonow RO, Carabello BA, Erwin JP, Guyton RA, et al. 2014 AHA/ACC Guideline for the Management of Patients With Valvular Heart Disease: Executive Summary: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Circulation.* 10 juin 2014;129(23):2440-92.
6. Iung B. Recommendations on the management of the asymptomatic patient with valvular heart disease. *Eur Heart J.* 15 août 2002;23(16):1253-66.
7. Popović ZB, Desai MY, Griffin BP. Decision Making With Imaging in Asymptomatic Aortic Regurgitation. *JACC Cardiovasc Imaging.* oct 2018;11(10):1499-513.
8. Cawley PJ, Maki JH, Otto CM. Cardiovascular Magnetic Resonance Imaging for Valvular Heart Disease: Technique and Validation. *Circulation.* 27 janv 2009;119(3):468-78.
9. Hudsmith† L, Petersen† S, Francis J, Robson M, Neubauer S. Normal Human Left and Right Ventricular and Left Atrial Dimensions Using Steady State Free Precession Magnetic Resonance Imaging. *J Cardiovasc Magn Reson.* 1 oct 2005;7(5):775-82.
10. Lorenz C, Walker E, Morgan V, Klein S, Graham T. Normal Human Right and Left Ventricular Mass, Systolic Function, and Gender Differences by Cine Magnetic Resonance Imaging. *J Cardiovasc Magn Reson.* 1 janv 1999;1(1):7-21.
11. Myerson SG, Bellenger NG, Pennell DJ. Assessment of Left Ventricular Mass by Cardiovascular Magnetic Resonance. *Hypertension.* mars 2002;39(3):750-5.
12. Puntmann VO, Gebker R, Duckett S, Mirelis J, Schnackenburg B, Graefe M, et al. Left ventricular chamber dimensions and wall thickness by cardiovascular magnetic resonance: comparison with transthoracic echocardiography. *Eur Heart J - Cardiovasc Imaging.* 1 mars 2013;14(3):240-6.
13. Sechtem U, Pflugfelder PW, Gould RG, Cassidy MM, Higgins CB. Measurement of right and left ventricular volumes in healthy individuals with cine MR imaging. *Radiology.* juin 1987;163(3):697-702.

14. Kawel-Boehm N, Maceira A, Valsangiacomo-Buechel ER, Vogel-Claussen J, Turkbey EB, Williams R, et al. Normal values for cardiovascular magnetic resonance in adults and children. *J Cardiovasc Magn Reson* [Internet]. déc 2015 [cité 8 avr 2021];17(1). Disponible sur: <http://jcmr-online.com/content/17/1/29>
15. Grothues F, Smith GC, Moon JCC, Bellenger NG, Collins P, Klein HU, et al. Comparison of interstudy reproducibility of cardiovascular magnetic resonance with two-dimensional echocardiography in normal subjects and in patients with heart failure or left ventricular hypertrophy. *Am J Cardiol*. juill 2002;90(1):29-34.
16. Mor-Avi V, Jenkins C, Kühl HP, Nesser H-J, Marwick T, Franke A, et al. Real-Time 3-Dimensional Echocardiographic Quantification of Left Ventricular Volumes. *JACC Cardiovasc Imaging*. juill 2008;1(4):413-23.
17. Lee JC, Branch KR, Hamilton-Craig C, Krieger EV. Evaluation of aortic regurgitation with cardiac magnetic resonance imaging: a systematic review. *Heart*. janv 2018;104(2):103-10.
18. Koch J-A, Poll LW, Godehardt E, Korbmacher B, Mödder U. Right and left ventricular volume measurements in an animal heart model in vitro: first experiences with cardiac MRI at 1.0 T. *Eur Radiol*. 24 févr 2000;10(3):455-8.
19. Harris AW, Krieger EV, Kim M, Cawley PJ, Owens DS, Hamilton-Craig C, et al. Cardiac Magnetic Resonance Imaging Versus Transthoracic Echocardiography for Prediction of Outcomes in Chronic Aortic or Mitral Regurgitation. *Am J Cardiol*. avr 2017;119(7):1074-81.
20. Bellenger N. Comparison of left ventricular ejection fraction and volumes in heart failure by echocardiography, radionuclide ventriculography and cardiovascular magnetic resonance. Are they interchangeable? *Eur Heart J*. 15 août 2000;21(16):1387-96.
21. Zoghbi WA, Adams D, Bonow RO, Enriquez-Sarano M, Foster E, Grayburn PA, et al. Recommendations for Noninvasive Evaluation of Native Valvular Regurgitation. *J Am Soc Echocardiogr*. avr 2017;30(4):303-71.
22. Schober P, Boer C, Schwarte LA. Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. *Anesth Analg*. mai 2018;126(5):1763-8.
23. 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.
24. Stoebe S, Metze M, Jurisch D, Tayal B, Solty K, Laufs U, et al. Analysis of chronic aortic regurgitation by 2D and 3D echocardiography and cardiac MRI. *Echo Res Pract*. juin 2018;5(2):51-62.
25. Neisius U, Tsao CW, Hauser TH, Patel AD, Pierce P, Ben-Assa E, et al. Aortic regurgitation assessment by cardiovascular magnetic resonance imaging and transthoracic echocardiography: intermodality disagreement impacting on prediction of post-surgical left ventricular remodeling. *Int J Cardiovasc Imaging*. janv 2020;36(1):91-100.
26. Myerson SG, d'Arcy J, Mohiaddin R, Greenwood JP, Karamitsos TD, Francis JM, et al. Aortic Regurgitation Quantification Using Cardiovascular Magnetic Resonance: Association With Clinical Outcome. *Circulation*. 18 sept 2012;126(12):1452-60.

SERMENT d'HIPPOCRATE

« Au moment d'être admis(e) à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences.

Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis(e) dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu(e) à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré(e) et méprisé(e) si j'y manque. »

COMPARAISON DE L'IRM ET DE L'ECHOGRAPHIE DANS L'EVALUATION DU RETENTISSEMENT VENTRICULAIRE GAUCHE CHEZ DES PATIENTS PORTEURS D'UNE INSUFFISANCE AORTIQUE

Introduction : L'étude du retentissement ventriculaire gauche est incontournable dans l'évaluation d'une IAO. Si les recommandations s'appuient sur les mensurations ETT, l'IRM cardiaque est un outil de plus en plus utilisé. **Méthodes** : Rétrospectivement, entre 2016 et 2020, 88 patients porteurs d'une IAO moyenne à sévère, ayant bénéficié d'une ETT et d'une IRM dans un délai de 3 mois, ont été inclus. Les mensurations ventriculaires gauches en ETT et IRM ont été comparées et leur impact pronostique a été évalué au cours du suivi. Le critère composite de jugement principal regroupait l'apparition d'une insuffisance cardiaque aigüe et/ou la nécessité d'une chirurgie valvulaire aortique. **Résultats** : L'âge moyen était de 66 ± 13 ans, 51 (58%) patients étaient des hommes et 28 (32%) avaient une IAO sévère. Le délai moyen entre la réalisation des deux imageries était de 18 ± 30 jours, le suivi médian était de 2,2 (1,3 – 3,1) années. Les mesures ETT et IRM étaient corrélées mais significativement plus importantes en IRM. L'utilisation en IRM des « cut-off » chirurgicaux proposés par les recommandations, basés sur les valeurs ETT, était peu spécifique et avec une faible valeur prédictive positive, pouvant conduire à poser des indications chirurgicales par excès. En terme de pronostic, l'IRM pouvait se montrer tout aussi performant que l'ETT. (HR 1,03 [1,01 – 1,06] et 1,05 [1,01 – 1,09] $p < 0,01$ pour le DTDVG IRM et ETT et HR 1,03 [1,01 – 1,05] et 1,05 [1,01 – 1,08] $p < 0,01$ pour le DTSVG IRM et ETT). Le CJP a été observé chez 39 (45%) patients. **Conclusion** : L'évaluation du retentissement ventriculaire gauche dans le contexte de l'IAO est réalisable en ETT et en IRM cardiaque, cependant, si les mesures sont corrélées entre les deux mesures et de performance pronostique comparable, les « cut-off » de dilatation et de fonction ventriculaire gauche proposés par les recommandations ne doivent pas être utilisés en IRM du fait d'une faible spécificité.

COMPARISON OF AORTIC REGURGITATION EFFECTS ON THE LEFT VENTRICLE AS MEASURED BY MRI VERSUS ECHOCARDIOGRAPHY

Aims: Evaluation of left ventricular impact is essential in the assessment of AR. If the recommendations are based on TTE measurements, cardiac MRI is an increasingly used tool. **Methods**: We retrospectively studied, from 2016 to 2020, 88 patients with moderate to severe AR who realized TTE and cardiac MRI within 3 months. Left ventricular measurements in TTE and MRI were compared and prognostic impact was assessed during follow-up. The composite primary outcome included hospitalization for acute heart failure and/or aortic valve surgery. **Results**: Average age was 66 ± 13 (mean \pm SD) years old, 51 (58%) patients were men and 28 (32%) had a severe AR. The average time between TTE and MRI was 18 ± 30 days, with a median follow-up of 2.2 (1.3 - 3.1) years. TTE and MRI measurements correlated but were significantly larger when measured by MRI. Use of MRI surgical “cut-offs” as proposed by the international guidelines, based on TTE values, was not specific and had a low positive predictive value, which could lead to “premature” surgical indications. In terms of prognosis, defined as the hazard ratio of freedom from the primary outcome, MRI was as effective as TTE. (HR 1.03 [1.01 - 1.06] and 1.05 [1.01 - 1.09] $p < 0.01$ for LVEDD MRI and TTE and HR 1.03 [1.01 - 1.05] and 1.05 [1.01 - 1.08] $p < 0.01$ for MRI and TTE LVESD). PO was observed in 39 (45%) patients. **Conclusion**: Evaluation of the effects of AR on the left ventricle is feasible with cardiac MRI as is with TTE. However, the measurements of left ventricular size “cut-offs” as proposed by the international guidelines, which are based on TTE measurements, should not be used with MRI because of their low specificity.

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Médecine spécialisée clinique.

KEY WORDS : aortic regurgitation ; left ventricular dimensions ; magnetic resonance imaging.

INTITULÉ ET ADRESSE DE L'UFR OU DU LABORATOIRE : Université Toulouse III - Paul Sabatier, Faculté de médecine Toulouse - Purpan, 37 Allées Jules Guesde 31000 Toulouse.

Directeur de thèse : Dr Yoan LAVIE-BADIE.