



HAL
open science

Étude comparative du strain ventriculaire gauche 2D et de la fraction d'éjection 3D chez des sujets sains entre deux types d'échographes (Vivid E9 General Electric et Epiq 7 Philips)

Noëlie Miton

► **To cite this version:**

Noëlie Miton. Étude comparative du strain ventriculaire gauche 2D et de la fraction d'éjection 3D chez des sujets sains entre deux types d'échographes (Vivid E9 General Electric et Epiq 7 Philips). Sciences du Vivant [q-bio]. 2019. dumas-02461155

HAL Id: dumas-02461155

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02461155>

Submitted on 30 Jan 2020

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

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

UNIVERSITE DE CLERMONT AUVERGNE
UFR DE MEDECINE ET DES PROFESSIONS PARAMEDICALES
THESE D'EXERCICE
Pour le
DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN MEDECINE
Par

MITON Noëlie Margot

Présentée et soutenue publiquement le 2 Octobre 2019

**Étude comparative du strain ventriculaire gauche 2D et de
la fraction d'éjection 3D chez des sujets sains entre deux
types d'échographes
(Vivid E9 General Electric et Epiq 7 Philips)**

Président du jury :

Monsieur CITRON Bernard, Professeur, UFR de Médecine et des Professions Paramédicales
de Clermont-Ferrand

Membres du jury :

Monsieur ESCHALIER Romain, Professeur, UFR de Médecine et des Professions
Paramédicales de Clermont-Ferrand

Monsieur SOUTEYRAND Géraud, Professeur, UFR de Médecine et des Professions
Paramédicales de Clermont-Ferrand

Monsieur CLERFOND Guillaume, Docteur, CHU Clermont-Ferrand, service de Cardiologie

Monsieur TRESORIER Romain, Docteur, CHU Clermont-Ferrand, service de Cardiologie

UNIVERSITE DE CLERMONT AUVERGNE
UFR DE MEDECINE ET DES PROFESSIONS PARAMEDICALES
THESE D'EXERCICE
Pour le
DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN MEDECINE
Par

MITON Noëlie Margot,

Présentée et soutenue publiquement le 2 Octobre 2019

**Étude comparative du strain ventriculaire gauche 2D et de
la fraction d'éjection 3D chez des sujets sains entre deux
types d'échographes
(Vivid 9 General Electric et Epiq 7 Philips)**

Président du jury :

Monsieur CITRON Bernard, Professeur, UFR de Médecine et des Professions Paramédicales
de Clermont-Ferrand

Membres du jury :

Monsieur ESCHALIER Romain, Professeur, UFR de Médecine et des Professions
Paramédicales de Clermont-Ferrand

Monsieur SOUTEYRAND Géraud, Professeur, UFR de Médecine et des Professions
Paramédicales de Clermont-Ferrand

Monsieur CLERFOND Guillaume, Docteur, CHU Clermont-Ferrand, service de Cardiologie

Monsieur TRESORIER Romain, Docteur, CHU Clermont-Ferrand, service de Cardiologie



UNIVERSITE CLERMONT AUVERGNE

PRESIDENTS HONORAIRES
UNIVERSITE D'AUVERGNE

: **JOYON** Louis
: **DOLY** Michel
: **TURPIN** Dominique
: **VEYRE** Annie
: **DULBECCO** Philippe
: **ESCHALIER** Alain

PRESIDENTS HONORAIRES
UNIVERSITE BLAISE PASCAL

: **CABANES** Pierre
: **FONTAINE** Jacques
: **BOUTIN** Christian
: **MONTEIL** Jean-Marc
: **ODOUARD** Albert
: **LAVIGNOTTE** Nadine

PRESIDENT DE L'UNIVERSITE et
PRESIDENT DU CONSEIL ACADEMIQUE PLENIER
PRESIDENT DU CONSEIL ACADEMIQUE RESTREINT
VICE-PRESIDENT DU CONSEIL D'ADMINISTRATION
VICE-PRESIDENT DE LA COMMISSION DE LA RECHERCHE
VICE PRESIDENTE DE LA COMMISSION DE LA
FORMATION ET DE LA VIE UNIVERSITAIRE
DIRECTEUR GENERAL DES SERVICES

: **BERNARD** Mathias
: **DEQUIEDT** Vianney
: **WILLIAMS** Benjamin
: **HENRARD** Pierre

: **PEYRARD** Françoise
: **PAQUIS** François



UFR DE MEDECINE ET DES PROFESSIONS PARAMEDICALES

DOYENS HONORAIRES

: **DETEIX** Patrice
: **CHAZAL** Jean

DOYEN
RESPONSABLE ADMINISTRATIVE

: **CLAVELOU** Pierre
: **ROBERT** Gaëlle

LISTE DU PERSONNEL ENSEIGNANT

PROFESSEURS HONORAIRES :

MM. BACIN Franck - BEGUE René-Jean - BOUCHER Daniel - BOURGES Michel - BUSSIERE Jean-Louis - CANO Noël - CASSAGNES Jean - CATILINA Pierre - CHABANNES Jacques – CHAZAL Jean - CHIPPONI Jacques - CHOLLET Philippe - COUDERT Jean - DASTUGUE Bernard - DEMEOCQ François - DE RIBEROLLES Charles - ESCANDE Georges - Mme FONCK Yvette - MM. GENTOU Claude - GLANDDIER Gérard - Mmes GLANDDIER Phyllis - LAVARENNE Jeanine - MM. LAVERAN Henri - LEVAI Jean-Paul - MAGE Gérard - MALPUECH Georges - MARCHEIX Jean-Claude - MICHEL Jean-Luc - MOLINA Claude - MONDIE Jean-Michel - PERI Georges - PETIT Georges - PHILIPPE Pierre - PLAGNE Robert - PLANCHE Roger - PONSONNAILLE Jean - RAYNAUD Elie - REY Michel - Mme RIGAL Danièle - MM. ROZAN Raymond - SCHOEFFLER Pierre - SIROT Jacques - SOUTEYRAND Pierre - TANGUY Alain - TERVER Sylvain - THIEBLOT Philippe - TOURNILHAC Michel - VANNEUVILLE Guy - VIALLET Jean-François - Mlle VEYRE Annie

PROFESSEURS EMERITES :

MM. - BEYTOUT Jean - BOITEUX Jean-Paul - BOMMELAER Gilles - CHAMOUX Alain - DAUPLAT Jacques - DETEIX Patrice - ESCHALIER Alain - IRTIUM Bernard - JACQUETIN Bernard - KEMENY Jean-Louis – Mme LAFEUILLE Hélène – MM. LEMERY Didier - LESOURD Bruno - LUSSON Jean-René - RIBAL Jean-Pierre

PROFESSEURS DES UNIVERSITES-PRATICIENS HOSPITALIERS

PROFESSEURS DE CLASSE EXCEPTIONNELLE

M. VAGO Philippe	Histologie-Embryologie Cytogénétique
M. AUMAITRE Olivier	Médecine Interne
M. LABBE André	Pédiatrie
M. AVAN Paul	Biophysique et Traitement de l'Image
M. DURIF Franck	Neurologie
M. BOIRE Jean-Yves	Biostatistiques, Informatique Médicale et Technologies de Communication
M. BOYER Louis	Radiologie et Imagerie Médicale option Clinique
M. POULY Jean-Luc	Gynécologie et Obstétrique
M. CANIS Michel	Gynécologie-Obstétrique
Mme PENAULT-LLORCA Frédérique	Anatomie et Cytologie Pathologiques
M. BAZIN Jean-Etienne	Anesthésiologie et Réanimation Chirurgicale
M. BIGNON Yves Jean	Cancérologie option Biologique
M. BOIRIE Yves	Nutrition Humaine
M. CLAVELOU Pierre	Neurologie

M.	DUBRAY Claude	Pharmacologie Clinique
M.	GILAIN Laurent	O.R.L.
M.	LEMAIRE Jean-Jacques	Neurochirurgie
M.	CAMILLERI Lionel	Chirurgie Thoracique et Cardio-Vasculaire
M.	DAPOIGNY Michel	Gastro-Entérologie
M.	LLORCA Pierre-Michel	Psychiatrie d'Adultes
M.	PEZET Denis	Chirurgie Digestive
M.	SOUWEINE Bertrand	Réanimation Médicale
M.	BOISGARD Stéphane	Chirurgie Orthopédique et Traumatologie
M.	CONSTANTIN Jean-Michel	Anesthésiologie et Réanimation Chirurgicale
Mme	DUCLOS Martine	Physiologie
M.	SCHMIDT Jeannot	Thérapeutique

**PROFESSEURS DE
1ère CLASSE**

M.	DECHELOTTE Pierre	Anatomie et Cytologie Pathologique
M.	CAILLAUD Denis	Pneumo-phtisiologie
M.	VERRELLE Pierre	Radiothérapie option Clinique
M.	CITRON Bernard	Cardiologie et Maladies Vasculaires
M.	D'INCAN Michel	Dermatologie -Vénérologie
Mme	JALENQUES Isabelle	Psychiatrie d'Adultes
Mlle	BARTHELEMY Isabelle	Chirurgie Maxillo-Faciale
M.	GARCIER Jean-Marc	Anatomie-Radiologie et Imagerie Médicale
M.	GERBAUD Laurent	Épidémiologie, Économie de la Santé et Prévention
M.	SOUBRIER Martin	Rhumatologie
M.	TAUVERON Igor	Endocrinologie et Maladies Métaboliques
M.	MOM Thierry	Oto-Rhino-Laryngologie
M.	RICHARD Ruddy	Physiologie
M.	RUIVARD Marc	Médecine Interne
M.	SAPIN Vincent	Biochimie et Biologie Moléculaire
M.	BAY Jacques-Olivier	Cancérologie
M.	BERGER Marc	Hématologie
M.	COUDEYRE Emmanuel	Médecine Physique et de Réadaptation
Mme	GODFRAIND Catherine	Anatomie et Cytologie Pathologiques
M.	ROSSET Eugénio	Chirurgie Vasculaire
M.	ABERGEL Armando	Hépatologie
M.	LAURICHESSE Henri	Maladies Infectieuses et Tropicales
M.	TOURNILHAC Olivier	Hématologie
M.	CHIAMBARETTA Frédéric	Ophthalmologie
M.	FILAIRE Marc	Anatomie – Chirurgie Thoracique et Cardio-Vasculaire
M.	GALLOT Denis	Gynécologie-Obstétrique
M.	GUY Laurent	Urologie
M.	TRAORE Ousmane	Hygiène Hospitalière
M.	ANDRE Marc	Médecine Interne
M.	BONNET Richard	Bactériologie, Virologie
M.	CACHIN Florent	Biophysique et Médecine Nucléaire
M.	COSTES Frédéric	Physiologie

M. FUTIER Emmanuel	Anesthésiologie-Réanimation
Mme HENG Anne-Elisabeth	Néphrologie
M. MOTREFF Pascal	Cardiologie
Mme PICKERING Gisèle	Pharmacologie Clinique

**PROFESSEURS DE
2ème CLASSE**

Mme CREVEAUX Isabelle	Biochimie et Biologie Moléculaire
M. FAICT Thierry	Médecine Légale et Droit de la Santé
Mme KANOLD LASTAWIECKA Justyna	Pédiatrie
M. TCHIRKOV Andréï	Cytologie et Histologie
M. CORNELIS François	Génétique
M. DESCAMPS Stéphane	Chirurgie Orthopédique et Traumatologique
M. POMEL Christophe	Cancérologie – Chirurgie Générale
M. CANAVESE Frédéric	Chirurgie Infantile
M. LESENS Olivier	Maladies Infectieuses et Tropicales
M. RABISCHONG Benoît	Gynécologie Obstétrique
M. AUTHIER Nicolas	Pharmacologie Médicale
M. BROUSSE Georges	Psychiatrie Adultes/Addictologie
M. BUC Emmanuel	Chirurgie Digestive
M. CHABROT Pascal	Radiologie et Imagerie Médicale
M. LAUTRETTE Alexandre	Néphrologie Réanimation Médicale
M. AZARNOUSH Kasra	Chirurgie Thoracique et Cardiovasculaire
Mme BRUGNON Florence	Biologie et Médecine du Développement et de la Reproduction
Mme HENQUELL Cécile	Bactériologie Virologie
M. ESCHALIER Romain	Cardiologie
M. MERLIN Etienne	Pédiatrie
Mme TOURNADRE Anne	Rhumatologie
M. DURANDO Xavier	Cancérologie
M. DUTHEIL Frédéric	Médecine et Santé au Travail
Mme FANTINI Maria Livia	Neurologie
M. SAKKA Laurent	Anatomie – Neurochirurgie
M. BOURDEL Nicolas	Gynécologie-Obstétrique
M. GUIEZE Romain	Hématologie
M. POINCLOUX Laurent	Gastroentérologie
M. SOUTEYRAND Géraud	Cardiologie

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

M. CLEMENT Gilles	Médecine Générale
Mme MALPUECH-BRUGERE Corinne	Nutrition Humaine
M. VORILHON Philippe	Médecine Générale

PROFESSEURS ASSOCIES DES UNIVERSITES

Mme BOTTET-MAULOUBIER Anne
M. CAMBON Benoît

Médecine Générale
Médecine Générale

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS

MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

Mme CHAMBON Martine
Mme BOUTELOUP Corinne

Bactériologie Virologie
Nutrition

MAITRES DE CONFERENCES DE 1ère CLASSE

M. MORVAN Daniel
Mlle GOUMY Carole
Mme FOGLI Anne
Mlle GOUAS Laetitia
M. MARCEAU Geoffroy
Mme MINET-QUINARD Régine
M. ROBIN Frédéric
Mlle VERONESE Lauren
M. DELMAS Julien
Mlle MIRAND Andrey
M. OUCHCHANE Lemlih

Biophysique et Traitement de l'Image
Cytologie et Histologie, Cytogénétique
Biochimie Biologie Moléculaire
Cytologie et Histologie, Cytogénétique
Biochimie Biologie Moléculaire
Biochimie Biologie Moléculaire
Bactériologie
Cytologie et Histologie, Cytogénétique
Bactériologie
Bactériologie Virologie
Biostatistiques, Informatique Médicale
et Technologies de Communication
Pharmacologie Médicale
Pédiatrie
Immunologie
Hygiène Hospitalière
Parasitologie et Mycologie
Radiologie et Imagerie Médicale
Hématologie

M. LIBERT Frédéric
Mlle COSTE Karen
M. EVRARD Bertrand
Mlle AUMERAN Claire
M. POIRIER Philippe
Mme CASSAGNES Lucie
M. LEBRETON Aurélien

**MAITRES DE CONFERENCES DE
2ème CLASSE**

Mme PONS Hanaë	Biologie et Médecine du Développement et de la Reproduction
M. JABAUDON-GANDET Matthieu	Anesthésiologie – Réanimation Chirurgicale
M. BOUVIER Damien	Biochimie et Biologie Moléculaire
M. BUISSON Anthony	Gastroentérologie
M. COLL Guillaume	Neurochirurgie
Mme SARRET Catherine	Pédiatrie
M. MAQDASY Salwan	Endocrinologie, Diabète et Maladies Métaboliques
Mme NOURRISSON Céline	Parasitologie - Mycologie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

Mme BONHOMME Brigitte	Biophysique et Traitement de l'Image
Mme VAURS-BARRIERE Catherine	Biochimie Biologie Moléculaire
M. BAILLY Jean-Luc	Bactériologie Virologie
Mlle AUBEL Corinne	Oncologie Moléculaire
M. BLANCHON Loïc	Biochimie Biologie Moléculaire
Mlle GUILLET Christelle	Nutrition Humaine
M. BIDET Yannick	Oncogénétique
M. MARCHAND Fabien	Pharmacologie Médicale
M. DALMASSO Guillaume	Bactériologie
M. SOLER Cédric	Biochimie Biologie Moléculaire
M. GIRAUDET Fabrice	Biophysique et Traitement de l'Image
Mme VAILLANT-ROUSSEL Hélène	Médecine Générale
Mme LAPORTE Catherine	Médecine Générale
M. LOLIGNIER Stéphane	Neurosciences – Neuropharmacologie
Mme MARTEIL Gaëlle	Biologie de la Reproduction
M. PINEL Alexandre	Nutrition Humaine

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES DES UNIVERSITES

M.TANGUY Gilles	Médecine Générale
M.BERNARD Pierre	Médecine Générale
Mme ESCHALIER Bénédicte	Médecine Générale
Mme RICHARD Amélie	

A NOTRE PRESIDENT DE THESE

Monsieur le Professeur Bernard CITRON

Je suis reconnaissante de l'honneur que vous me faites de présider mon jury de thèse. Je vous remercie pour vos enseignements. Veuillez recevoir le témoignage de ma considération.

A NOTRE JURY DE THESE

Monsieur le Professeur ESCHALIER Romain

Je te remercie d'apporter ton expérience et ton exigence à la critique de ce travail. Tes connaissances, ta précision de travail et ta pédagogie t'honorent. Je te remercie pour tes conseils précieux et ta bienveillance. Je suis enchantée d'intégrer ton service en Novembre.

Monsieur le Professeur SOUTEYRAND Géraud

Je te remercie d'avoir accepté de siéger à mon jury de thèse et de l'intérêt que tu portes à mon travail. J'ai pu apprécier la clarté et la rigueur de ton enseignement.

Monsieur le Docteur TRESORIER Romain

Tu me fais l'honneur d'avoir accepté de faire partie de mon jury. Je te remercie de ton soutien au cours de mon internat. Apprendre la Cardiologie à tes côtés a été un réel plaisir. Trouve ici l'expression de ma sincère amitié.

A NOTRE DIRECTEUR DE THESE

Monsieur le Docteur CLERFOND Guillaume

Un grand merci pour le travail et le temps passé pour la réalisation de ma thèse. Je te remercie de ton aide et de ton soutien au quotidien. Cela est un grand plaisir de travailler avec toi, et je suis heureuse de poursuivre cette collaboration.

Je dédie cette thèse à mes parents

« Fais de ta vie un rêve, et d'un rêve une réalité »

Antoine de Saint-Exupéry (1900-1944)

Table des matières

Résumé :	14
Abstract :	15
Liste des tableaux et des figures :	16
Liste des abréviations :	18
Introduction :	20
Matériels et Méthodes :	23
Population de l'étude :	23
Échographie :	24
Définition du strain :	25
Analyse du <i>speckle tracking</i> :	25
Analyse 3D :	26
Variabilité intra-observateur et inter-observateur :	27
Analyses statistiques :	27
Résultats :	28
Caractéristiques de la population :	28
Comparaison du strain longitudinal global :	29
Comparaison du strain circonférentiel global :	29

Faisabilité du strain longitudinal segmentaire et du strain circonférentiel segmentaire :	30
.....
Comparaison du strain longitudinal segmentaire et du strain circonférentiel segmentaire :	32
.....
Comparaison des volumes ventriculaires gauches et de la fraction d'éjection ventriculaire gauche en 3D :	34
.....
Comparaison de la fraction d'éjection ventriculaire gauche en 2D et en 3D :	36
.....
Reproductibilité intra-observateur et inter-observateur :	36
.....
Discussion :	38
.....
Strain ventriculaire gauche 2D :	38
.....
Volumes et FEVG 3D :	41
.....
Limites :	42
.....
Conclusion :	44
.....
Bibliographie:	45
.....
Annexes :	52
.....
Serment d'Hippocrate :	63
.....

Résumé :

Introduction : Le strain et l'étude 3D sont des nouvelles techniques d'échographie améliorant l'évaluation de la fonction myocardique. Leur utilisation est limitée par la variabilité de leurs valeurs entre les constructeurs.

Objectif : Rechercher une concordance du strain longitudinal et circonférentiel, de la fraction d'éjection ventriculaire gauche 3D (FEVG-3D) entre les échographes GE Vivid E9 et Philips Epiq 7.

Matériels et méthodes : Une échographie sur l'échographe GE Vivid E9 et Philips Epiq 7 a été réalisée chez des sujets sains pour l'obtention du strain longitudinal et circonférentiel, des volumes ventriculaires gauches et de la FEVG-3D sur leur logiciel dédié (ECHOPAC PC version 201 et Q-Station version 3.5).

Résultats : Soixante-six sujets ont été inclus pour la comparaison du strain, 44 pour les volumes 3D. Le strain longitudinal global sur GE Vivid E9 est de $-19,7 \pm 2,7\%$ et sur Philips Epiq 7 de $-19,3 \pm 2,4\%$, différence moyenne de $-0,4 \pm 2,5\%$ avec une concordance modérée (facteur de concordance=0,52). Le strain circonférentiel global sur GE Vivid E9 est de $-23,3 \pm 5,3\%$ et sur Philips Epiq 7 de $-21,1 \pm 3,8\%$, différence moyenne de $-2,3 \pm 6,1\%$, sans concordance (facteur de concordance=0,14). Il n'y a pas de concordance pour le strain longitudinal et circonférentiel segmentaire. La concordance de la FEVG-3D est bonne entre les deux échographes avec un facteur de concordance de 0,68. Il y a une bonne concordance du volume télédiastolique, du volume télésystolique et du volume éjectionnel ventriculaire gauche.

Conclusions : La concordance du strain longitudinal global entre l'échographe GE Vivid E9 et l'échographe Philips Epiq 7 est modérée, sans concordance pour le strain circonférentiel global. Concernant l'étude 3D des volumes ventriculaires gauches et de la FEVG, la concordance est bonne entre l'échographe GE Vivid E9 et Philips Epiq 7.

Mots-clés : strain, FEVG-3D, GE Vivid E9, Philips Epiq 7, concordance

Abstract :

Aims : Strain and 3D-study are new echography technics improving the assessment of myocardial function. Their use is limited by the variability of their values between vendors.

Objective: To find a concordance of longitudinal and circumferential strain, of left ventricular ejection fraction 3D (LVEF-3D) between the GE Vivid E9 and Philips Epiq 7 ultrasound machines

Methods : An echography on GE Vivid E9 and on Philips Epiq 7 was performed in healthy subjects to obtain longitudinal and circumferential strain, LVEF-3D on their dedicated software (ECHOPAC PC version 201 and Q-station version 3,5)

Results : Sixty six subjects were included for strain comparison, 44 for 3D volumes. The global longitudinal strain on GE Vivid E9 is $-19,7 \pm 2,7\%$ and on Philips Epiq 7 is $-19,3 \pm 2,4\%$, mean difference of $-0,4 \pm 2,5\%$ with a moderate concordance (concordance factor=0,52). The global circumferential strain on GE Vivid E9 is $-23,2 \pm 5,3\%$ and on Philips Epiq 7 $-21,1 \pm 3,8\%$, mean difference of $-2,3 \pm 6,1\%$, no concordance (concordance factor of 0,14). There was no concordance for longitudinal and circumferential regional strain. The concordance of the LVEF-3D is good between two ultrasound machines with a concordance factor of 0,68, as the end-diastolic volume, the end-systolic volume and the ejected volume

Conclusion : The global longitudinal strain concordance between the GE Vivid E9 ultrasound machine and the Philips Epiq 7 ultrasound machine is moderate, with no concordance for global circumferential strain. Regarding the 3D study of left ventricular volumes and LVEF, the concordance is good between the two ultrasound machines.

Keywords: strain, LVEF-3D, GE Vivid E9, Philips Epiq 7, concordance

Liste des tableaux et des figures :

Tableaux

Tableau I - Caractéristiques cliniques et échographiques de la population de l'étude

Tableau II - Faisabilité du strain longitudinal segmentaire sur l'échographe GE Vivid E9 et sur l'échographe Philips Epiq 7

Tableau III - Faisabilité du strain circonférentiel segmentaire sur l'échographe GE Vivid E9 et sur l'échographe Philips Epiq 7

Tableau IV - Comparaison du strain longitudinal segmentaire entre sur l'échographe GE Vivid E9 et sur l'échographe Philips Epiq 7

Tableau V - Comparaison du strain circonférentiel segmentaire sur l'échographe GE Vivid E9 et sur l'échographe Philips Epiq 7

Tableau VI - Comparaison des volumes ventriculaires gauches et de la FEVG-3D entre l'échographe GE Vivid E9 et l'échographe Philips Epiq 7

Tableau VII – Variabilité intra-observateur du SLG, SCG et FEVG-3D sur l'échographe GE Vivid E9 et l'échographe Philips Epiq 7

Tableau VIII – Variabilité inter-observateur du SLG, SCG et FEVG-3D sur l'échographe GE Vivid E9 et l'échographe Philips Epiq 7

Tableau IX - Résultats des études comparant le strain longitudinal global entre les échographes GE et Philips

Figures

Figure 1 – Comparaison du strain longitudinal global entre l'échographe GE Vivid E9 et l'échographe Philips Epiq 7

Figure 2 – Comparaison du strain circonférentiel entre l'échographe GE Vivid E9 et l'échographe Philips Epiq 7

Figure 3 – Comparaison de la FEVG-3D entre l'échographe GE Vivid E9 et l'échographe Philips Epiq 7

Liste des abréviations :

2D: Bidimensionnelle

3D: Tridimensionnelle

ASE : *American Society of Echocardiography*

CCVG : Chambre de Chasse du Ventricule Gauche

DICOM : *Digital Imaging and COmmunication in Medicine*

DTDVD : Diamètre Télé-Diastolique du Ventricule Droit

DTDVG : Diamètre Télé-Diastolique du Ventricule Gauche

DTSVG : Diamètre Télé-Systolique du Ventricule Gauche

EACVI : *European Association of CardioVascular Imaging*

FEVG : Fraction d'Éjection Ventriculaire Gauche

FEVG-3D : Fraction d'Éjection Ventriculaire Gauche en tridimensionnelle

GE : General Electric

IMC : Indice de Masse Corporelle

IRM : Imagerie par Résonance Magnétique

OG : Oreillette Gauche

PAS : Pression Artérielle Systolique

PP : Paroi Postérieure

SCG: Strain Circonférentiel Global

SCS : Strain Circonférentiel Segmentaire

SIV : Septum Inter-Ventriculaire

SLG : Strain Longitudinal Global

SLS: Strain Longitudinal Segmentaire

TAPSE : *Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion*

VD: Ventricule Droit

VES: Volume d'Éjection Systolique

VG: Ventricule Gauche

VTDVG : Volume Télé-Diastolique du Ventricule Gauche

VTSVG : Volume Télé-Systolique du Ventricule Gauche

Introduction :

Le strain échographique par *speckle tracking* est un outil échocardiographique bien établi pour l'évaluation de la fonction myocardique régionale et globale (1)(2)(3). Le *speckle tracking* consiste en une mesure, image par image, de la distance entre deux points myocardiques, appelés *speckle*, dans les trois dimensions (radiale, circonférentielle et longitudinale) (1)(3)(4)(5). Le strain est fiable avec une meilleure reproductibilité inter-observateur et intra-observateur que la fraction d'éjection (FEVG). Il permet une évaluation du raccourcissement et de la torsion du myocarde (6). Le développement du strain a permis une évaluation échographique plus complète et réelle de la fonction myocardique (6). Les études cliniques ont montré l'intérêt diagnostique et pronostic du strain longitudinal global (SLG) par rapport à l'évaluation conventionnelle de la fonction ventriculaire gauche dans les cardiopathies ischémiques, les pathologies valvulaires, les cardiopathies congénitales et de nombreuses autres cardiopathies (7)(8)(9)(10). L'Association Européenne d'Imagerie Cardiovasculaire (EACVI) et l'*American Society of Echocardiography* (ASE) ont émis un consensus pour l'utilisation du SLG pour la détection et la surveillance de la cardiotoxicité liée aux chimiothérapies (11).

Au fil des années, chaque constructeur a développé son propre logiciel et algorithme de *speckle tracking*. Malgré les avantages offerts par le strain échographique par rapport à une évaluation conventionnelle, il n'a pas été largement introduit dans la pratique clinique en raison de l'absence de normalisation des valeurs en fonction des caractéristiques démographiques des patients, mais aussi entre les différents constructeurs et logiciels d'exploitation (1)(12). Par conséquent, cela pose problème dans les laboratoires d'échographie dotés d'échographes de différents constructeurs, pour le suivi longitudinal de la fonction ventriculaire gauche par strain (13). Le suivi avec des appareils de différents fournisseurs peut être à l'origine de résultats trompeurs (13). Des études ont été réalisées pour apprécier la concordance des valeurs de strain

et leur résultats sont variables (12)(13)(14)(15)(16)(17)(18)(19)(20). Face à cette limite pratique, l'EACVI et l'ASE ont incité les constructeurs à réduire cette variabilité (4)(21). En effet, cette standardisation est essentielle pour le suivi longitudinal des patients par les cliniciens qui doivent être en mesure d'interpréter les valeurs de strain indépendamment de l'échographe utilisé.

L'évaluation de la FEVG en 3D est également une nouvelle technique échographique pour l'évaluation fonctionnelle du ventricule gauche (VG). Elle est plus précise que l'évaluation bidimensionnelle (2D) par la méthode de Simpson biplan (22)(23)(22), en limitant les hypothèses géométriques des mesures des volumes ventriculaires en 2D et est recommandée en pratique clinique (24). De plus, l'échocardiographie cardiaque 3D permet d'apprécier les perspectives, mais aussi une évaluation anatomique et fonctionnelle plus précise. Elle apporte un véritable bénéfice en pratique clinique. Ainsi, l'ASE et l'EACVI recommandent l'évaluation de la FEVG en 3D dans différentes pathologies (24).

Mais la FEVG-3D n'est pas largement utilisée en pratique clinique, malgré sa supériorité par rapport à l'évaluation 2D. En effet, pour obtenir des images de qualité suffisante, l'échographie 3D nécessite des patients échogènes avec un rythme cardiaque régulier et capable de tenir une apnée un certain temps. Elle nécessite aussi des sondes spécifiques qui sont coûteuses rendant leur accessibilité difficile. Ainsi, la FEVG-3D n'est pas réalisable pour certains patients et seule une évaluation 2D est possible. De plus, on retrouve la même problématique que celle de la mesure du strain pour le suivi longitudinal des patients sur différents types d'échographe. Si les constructeurs ont comparé leur mesure à l'imagerie par résonance magnétique (IRM), peu d'études ont apprécié la concordance des volumes ventriculaires gauches et de la FEVG-3D entre les différents constructeurs et leurs logiciels d'exploitation chez des sujets sains (25)(26)(27).

Notre étude, sur des sujets sains, avait pour objectif principal de déterminer le facteur de concordance des mesures de strain longitudinal et circonférentiel entre les échographes Philips Epiq 7 et General Electrics (GE) Vivid E9. Nous avons évalué la faisabilité du strain longitudinal segmentaire et du strain circonférentiel segmentaire, ainsi que la concordance entre la FEVG et les volumes ventriculaires gauches en échographie 3D entre les deux échographes, mais aussi par rapport aux mesures 2D.

Matériels et Méthodes :

Population de l'étude :

Les sujets inclus dans cette étude ont été contacté par mail. Après obtention d'une liste de sujets volontaires et répondants aux critères d'inclusion selon les données disponibles après contact par mail, nous avons effectué un tirage au sort des sujets répartis en âge et en sexe afin d'obtenir un échantillon représentatif de la population française selon le dernier recensement de l'INSEE (28).

Les patients tirés au sort ont été contacté par téléphone ou par mail afin de convenir d'un rendez-vous d'inclusion. Ce dernier a eu lieu dans le service de consultation de Cardiologie, Pôle de Cardiologie médicale et chirurgicale, CHU Gabriel Montpied, Clermont-Ferrand. Lors de ce rendez-vous, un interrogatoire et un examen clinique complet avec un électrocardiogramme et mesure de la pression artérielle ont été réalisés afin de rechercher des critères d'exclusion. Lors de l'interrogatoire, ont également été recueillis le poids et la taille du sujet, ainsi que la présence d'une intoxication tabagique.

Les critères d'inclusion étaient : sujet de plus de 18 ans, absence de pathologie cardiaque ou extracardiaque connue, pas de traitement au long court sauf contraception orale, accord pour participer à l'étude. Les critères d'exclusion étaient : présence d'un pathologie cardiaque et/ou extracardiaque connue, présence d'un trouble du rythme cardiaque et/ou d'un pacemaker, incapacité à remplir seul le questionnaire et de donner son accord, présence d'une hypertension artérielle traitée ou non et/ou d'un diabète de type 1 ou de type 2 traité ou non et/ou d'une dyslipidémie traitée, pratique sportive intensive de plus de 6 heures par semaine, présence d'une intoxication alcoolique chronique (plus de 3 unités d'alcool par jour pour les hommes et de 2 unités pour les femmes), grossesse en cours, mauvaise fenêtre échographique, sujet sous tutelle

ou curatelle, sujet grabataire et/ou vivant en institution, présence d'une pathologie psychiatrique, refus de participer à l'étude, patients mineurs.

Tous les sujets inclus ont signé une lettre d'information et un consentement écrit. L'étude a été approuvée par le comité de protection des personnes Sud-Est VI de Clermont-Ferrand et par l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé.

Échographie :

Pour chaque personne incluse, nous avons réalisé une échographie cardiaque complète selon les recommandations de l'ASE et de l'EACVI (24), sur un échographe GE Vivid E9 (GE Vingmed, Horton, Norway) avec la sonde M5S pour les acquisitions 2D et la sonde 4V pour les acquisitions 3D, en décubitus latéral gauche. L'ensemble des données recueillies au cours de l'échographie est disponible en Annexe I.

Les boucles échographiques nécessaires à l'analyse du *speckle tracking*, ainsi qu'aux mesures des volumes 3D et de la FEVG-3D, ont été acquises en fin d'examen après vérification de l'absence de critère d'exclusion et d'une bonne échogénicité. Les mêmes boucles échographiques ont été acquises, dans un second temps, sur l'échographe Philips Epiq 7 (Philips Healthcare, Andover, Massachusetts) avec la sonde X5-1 pour les acquisitions 2D et 3D. Elles ont toutes été obtenues de la même manière : en fin d'expiration avec une apnée sur quatre cycles cardiaques, sur les trois niveaux en coupe parasternale petit axe (basal, médian et apical) et les trois coupes apicales (quatre cavités, trois cavités et deux cavités), selon les recommandations émises par GE (29). L'acquisition de ces boucles sur les deux échographes a été réalisée après optimisation de la profondeur d'image et de la largeur du secteur afin d'améliorer la résolution spatiale et temporelle.

Pour limiter la variabilité inter-observateur, un seul investigateur a réalisé l'acquisition des boucles échographiques pour les deux types d'échographes.

Définition du strain :

Nous avons examiné deux types de strain : longitudinal et circonférentiel. Pour ces deux types, nous avons analysé le strain global et segmentaire. Les valeurs de SLG et de strain circonférentiel global (SCG) ont été calculé en faisant la moyenne des valeurs du strain segmentaire. Concernant la segmentation myocardique, nous avons utilisé dans cette étude un modèle à 17 segments selon les recommandations de l'ASE et EACVI (24).

Les valeurs de SLG et SCG sont négatives, c'est-à-dire qu'une dégradation de la fonction VG se traduit par une augmentation contre-intuitive de leur valeur.

Analyse du *speckle tracking* :

Les boucles acquises sur l'échographe GE Vivid E9 ont été transférées sur le logiciel ECHOPAC PC version 201, General Electric Medical System; et celles acquises sur l'échographe Philips Epiq 7 ont été transférées sur le logiciel Q-Station version 3.5, Philips Healthcare. Les images étaient au format *Digital Imaging and Communications in Medicine* (DICOM). Une description détaillée du *speckle tracking* pour Philips et GE est décrite par ailleurs (13)(17). L'analyse du strain a été semi-automatique.

Dans un premier temps, le cycle cardiaque ayant la meilleure qualité d'image a été sélectionné. Dans un second temps, l'endocarde a été marqué manuellement par l'investigateur et la région d'intérêt a été ajustée pour inclure l'ensemble de l'épaisseur du myocarde et exclure le péricarde. Des ajustements ont été réalisés en fonction du *tracking* proposé par le logiciel, dans le but d'obtenir le meilleur suivi pour tous les segments myocardiques. Les segments, dont l'échogénicité ou le *speckle tracking* n'était pas satisfaisant, ont été exclus.

Une mesure du strain a été effectuée sur les 3 niveaux de coupe en parasternale petit axe (basal, médian, apical), ainsi que sur les coupes deux cavités, trois cavités et quatre cavités. Le logiciel a effectué automatiquement la segmentation ventriculaire gauche qui pouvait être

ajustée par l'investigateur. Les valeurs du strain, longitudinal et circonférentiel, global et segmentaire, données automatiquement par le logiciel a été relevées.

Pour limiter la variabilité inter-observateur, un seul investigateur a réalisé la mesure du strain pour les deux échographes.

Analyse 3D :

L'analyse 3D a été réalisée sur les mêmes logiciels que l'analyse du *speckle tracking*, ECHOPAC PC version 201 pour les boucles acquises sur l'échographe GE et Q-Station 3.5 pour celles acquises sur l'échographe Philips. Les mesures 3D du volume télédiastolique du VG (VTDVG), du volume télésystolique du VG (VTSVG), du volume d'éjection systolique (VES) et de la FEVG ont été réalisées sur les boucles offrant la meilleure qualité d'image. L'analyse est là aussi semi-automatique.

Trois points de repères anatomiques (partie latérale et médiane de l'anneau mitrale, apex du VG) devaient être indiqués pour le logiciel Q-Station, et seulement deux points (apex du VG, centre de la valve mitrale) pour le logiciel ECHOPAC. Sur ce dernier, l'investigateur devait aligner manuellement par pivotement et translation des coupes apicales afin que la ligne d'intersection correspondante à tous les plans soit placée au milieu de la cavité cardiaque en passant par l'apex et le centre de la valve mitrale, ceci sur les trois coupes apicales. Puis le logiciel détectait automatiquement la frontière endocardique et calculait les volumes ventriculaires gauches. Sur le logiciel Q-Station, la détection de l'endocarde et le calcul du volume se réalisaient automatiquement après le marquage des trois points anatomiques. Si la frontière endocardique détectée automatiquement n'était pas satisfaisante, il était possible d'ajuster manuellement pour que celle-ci corresponde au mieux à la position de l'endocarde. Dans les deux logiciels, les muscles papillaires sont inclus dans la cavité ventriculaire gauche.

Cette analyse 3D nécessite une qualité d'image échographique optimale. A défaut de celle-ci, le patient est exclu de l'analyse 3D.

Variabilité intra-observateur et inter-observateur :

Pour l'étude de la variabilité intra-observateur, cinq patients ont été donnés aléatoirement pour une nouvelle analyse par le même investigateur. Pour la variabilité inter-observateur, les mêmes patients et les mêmes boucles ont été analysées par un second investigateur. Nous avons évalué la variabilité du SLG, du SCG, du strain longitudinal segmentaire (SLS) et du strain circonférentiel segmentaire (SCS) et de la FEVG-3D.

Analyses statistiques :

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel Stata (version 13, StataCorp, College Station, USA). Les données catégorielles sont exprimées en effectifs et fréquences tandis que les données quantitatives sont présentées par la moyenne \pm écart-type, au regard de la distribution statistique. La normalité a été étudiée par le test de Shapiro-Wilk. Les différentes études de la reproductibilité ont été réalisées par estimation du coefficient de concordance de Lin. L'interprétation a été réalisée au regard des recommandations rapportées habituellement dans la littérature à savoir : <0.2 (concordance négligeable), $0.2-0.4$ (concordance faible), de 0.4 à 0.6 (concordance modérée), $0.6-0.8$ (concordance bonne) et ≥ 0.8 (concordance excellente) (30)(31). Les comparaisons en situation appariée ont considéré les tests de Student ou de Wilcoxon le cas échéant. Tous les tests statistiques ont été considérés pour un risque d'erreur de 1^{ière} espèce bilatérale de 5%

Résultats :

Caractéristiques de la population :

Soixante-six sujets ont été inclus dans l'étude, 31 femmes (47%) et 35 hommes (53%). L'âge moyen est de $41,9 \pm 14,7$ ans. La pression artérielle systolique moyenne est de $128,5 \pm 13,3$ mmHg et l'IMC moyen est de $24,3 \pm 3,6$ kg/m². Les caractéristiques cliniques et échographiques de la population sont résumées dans le **Tableau I**.

Caractéristiques	Valeurs
Age (ans)	$41,9 \pm 14,7$
IMC (kg/m ²)	$24,3 \pm 3,6$
PAS (mmHg)	$128,5 \pm 13,3$
DTDVG (mm)	$47,0 \pm 6,0$
SIV (mm)	$8,2 \pm 2,1$
Diamètre sinus de Valsalva (mm)	$28,5 \pm 4,9$
Surface indexée de l'OG (cm ² /m ²)	$8,2 \pm 2,3$
TAPSE (mm)	$22,5 \pm 3,2$
Onde S tricuspide (cm/sec)	$12,7 \pm 2,5$
VTSVG indexé (mL/m ²)	$16,4 \pm 4,5$
VTDVG indexé (mL/m ²)	$46,2 \pm 10,6$
FEVG (%)	$61,3 \pm 4,7$
E/Ea	$6,1 \pm 1,8$
ITV sous-aortique (cm)	$21,1 \pm 3,2$
Index cardiaque (L/m ²)	$2,3 \pm 0,5$
Pression artérielle pulmonaire systolique (mmHG)	$21,4 \pm 6,1$
Temps d'accélération pulmonaire (ms)	$126,7 \pm 6,1$

Tableau I – Caractéristiques cliniques et échographiques de la population de l'étude

Comparaison du strain longitudinal global :

Le SLG moyen sur l'échographe GE Vivid E9 est de $-19,7 \pm 2,7\%$, et sur l'échographe Philips Epiq 7 est de $-19,3 \pm 2,4\%$, avec une différence moyenne de $-0,4 \pm 2,5\%$. Le coefficient de concordance est de 0,52 (IC95%= 0,35 – 0,7), soit une concordance modérée (**Figure 1**).

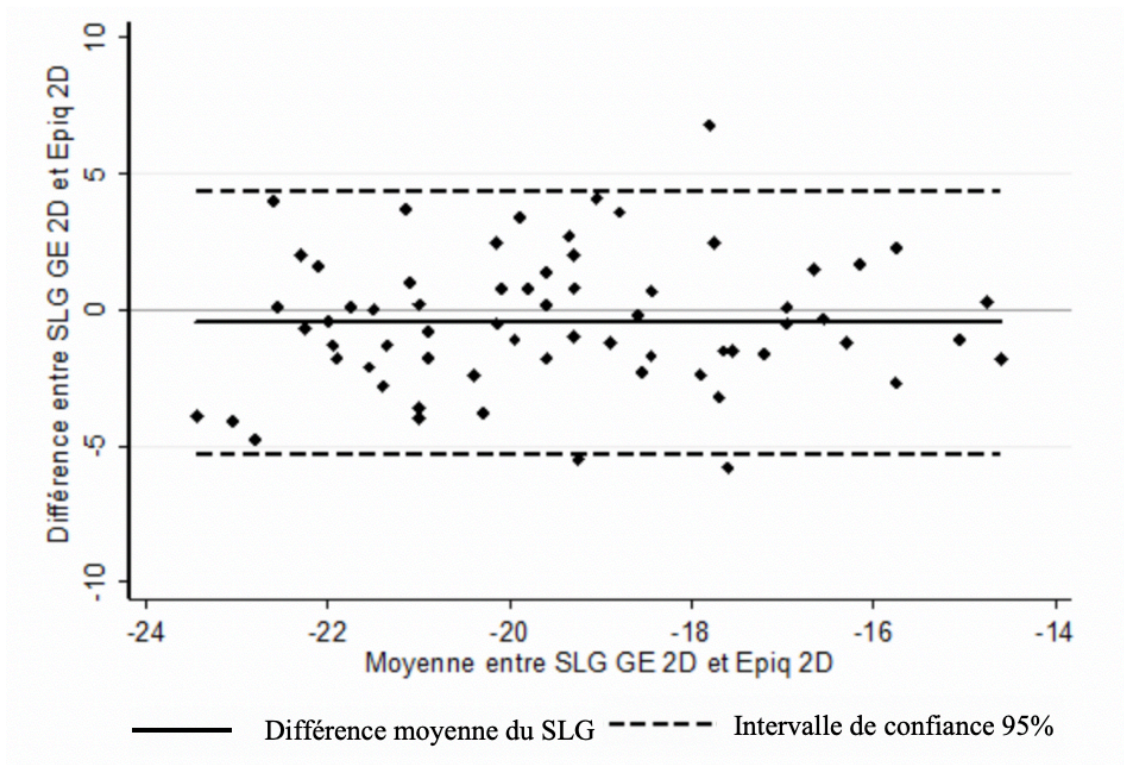


Figure 1 – Comparaison du strain longitudinal global entre l'échographe GE Vivid E9 et l'échographe Philips Epiq 7

Comparaison du strain circonférentiel global :

Le SCG moyen sur l'échographe GE Vivid E9 est de $-23,3 \pm 5,3\%$, et sur l'échographe Philips Epiq 7 est de $-21,1 \pm 3,8\%$, avec une différence moyenne de $-2,3 \pm 6,1\%$. Le coefficient de concordance est de 0,14 (IC95%= -0,1 – 0,3), soit une absence de concordance (**Figure 2**).

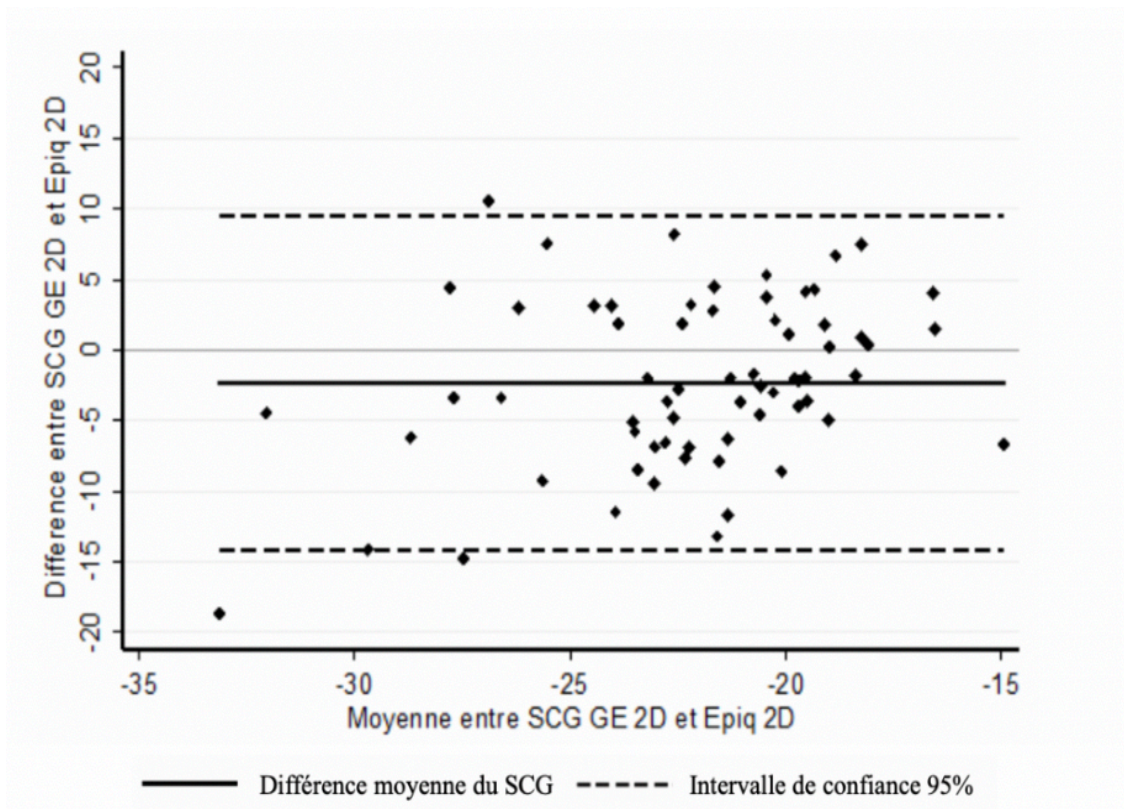


Figure 2 – Comparaison du strain circonférentiel global entre l'échographe GE Vivid E9 et l'échographe Philips Epiq 7

Faisabilité du strain longitudinal segmentaire et du strain circonférentiel segmentaire :

Le SLS est mesurable pour $59,7 \pm 3,5\%$ des segments sur l'échographe GE Vivid E9 dans notre cohorte, et de $60,3 \pm 4,9\%$ des segments sur l'échographe Philips Epiq 7, sans différence significative entre les deux échographes ($p=0,63$). Le détail de la faisabilité de SLS est rapporté dans le **Tableau II**.

Segments	Faisabilité GE Vivid E9 (%)	Faisabilité Philips Epiq 7 (%)
Inféro-basal	59	60
Antéro-septo-basal	56	50
Antéro-basal	54	56
Antéro-latéro-basal	62	62
Inféro-septo-basal	59	52
Inféro-latéro-basal	52	58
Inféro-médian	65	60
Antéro-septo-médian	61	55
Antéro-médian	60	57
Antéro-latéro-médian	64	64
Inféro-septo-médian	65	61
Inféro-latéro-médian	59	64
Apical	59	66
Inféro-apical	60	64
Antéro-apical	59	65
Latéro-apical	60	66
Septo-apical	61	65

Tableau II – Faisabilité du strain longitudinal segmentaire sur l'échographe GE Vivid E9 et l'échographe Philips Epiq 7

Le SCS est mesurable pour $51,7 \pm 12,3\%$ des segments pour GE Vivid E9 et de $63,8 \pm 1,8\%$, sans différence significative entre les deux échographes ($p=0,06$). Le détail de la faisabilité de SCS est rapporté dans le **Tableau III**.

Segments	Faisabilité GE Vivid E9 (%)	Faisabilité Philips Epiq 7 (%)
Inféro-médian	45	65
Antéro-septo-médian	66	65
Antéro-médian	61	62
Antéro-latéro-médian	43	61
Inféro-septo-médian	60	65
Inféro-latéro-médian	35	65

Tableau III – Faisabilité du strain longitudinal segmentaire sur l'échographe GE Vivid E9 et l'échographe Philips Epiq 7

Comparaison du strain longitudinal segmentaire et du strain circonférentiel segmentaire :

Les valeurs moyennes du SLS pour les deux échographes, leur différence moyenne et leur coefficient de concordance sont disponibles dans le **Tableau IV**. La concordance est modérée pour les segments : apical et septo-apical ; et faible pour les segments : antéro-latéro-basal, inféro-septo-basal, inféro-médian, antéro-septo-médian, antéro-médian, antéro-latéro-médian, antéro-apical et latéro-apical.

Les valeurs moyenne du SCS pour les deux échographes, la différence moyenne entre celles-ci et leur coefficient de concordance sont disponibles dans le **Tableau V**. Il n'y a pas de concordance du SCS sauf pour les segments : inféro-septo-médian et antéro-septo-médian où la concordance est faible.

Segments	SLS GE Vivid E9	SLS Philips Epiq 7	Différence moyenne	Facteur de concordance
Inféro-basal	-18,4 ± 4,5%	-15,9 ± 5,4%	-2,1 ± 7,4%	0,04
Antéro-septo-basal	-15,9 ± 5,9%	-15,5 ± 3,7%	-0,5 ± 7,3%	0,05
Antéro-basal	-16,2 ± 2,5%	-16,8 ± 5,5%	1,1 ± 5,7%	0,12
Antéro-latéro-basal	-18,4 ± 3,7%	-19,6 ± 4,1%	1,5 ± 4,8%	0,25
Inféro-septo-basal	-16,1 ± 2,8%	-16,5 ± 2,6%	0,2 ± 3,4%	0,20
Inféro-latéro-basal	-18,4 ± 4,2%	-16,1 ± 3,6%	-2,1 ± 5,9%	0,11
Inféro-médian	-19,9 ± 3,5%	18,4 ± 3,9%	-1,8 ± 2,2%	0,27
Antéro-septo-médian	-20,3 ± 2,4%	-17,0 ± 3,9%	-3,3 ± 4,3%	0,22
Antéro-médian	-18,3 ± 6,3%	-17,1 ± 4,4%	-1,5 ± 6,5%	0,26
Antéro-latéro-médian	-19,0 ± 3,4%	-17,8 ± 3,7%	-1,3 ± 4,5%	0,23
Inféro-septo-médian	-19,2 ± 3,2%	-18,2 ± 3,4%	-0,9 ± 4,2%	0,14
Inféro-latéro-médian	-19,7 ± 3,4%	-18,7 ± 3,8%	-0,7 ± 4,7%	0,16
Apical	-23,5 ± 3,2%	-23,1 ± 4,9%	-0,4 ± 3,3%	0,48
Inféro-apical	-24,3 ± 3,8%	-22,2 ± 4,9%	-1,8 ± 5,7%	0,10
Antéro-apical	-23,9 ± 7,8%	-23,5 ± 4,5%	-0,5 ± 8,0%	0,21
Latéro-apical	-23,9 ± 4,0%	-21,4 ± 3,3%	-2,3 ± 4,3%	0,26
Septo-apical	-24,7 ± 3,8%	-26,0 ± 4,9%	1,6 ± 4,6%	0,42

Tableau IV - Comparaison du strain longitudinal segmentaire entre l'échographe GE Vivid E9 et l'échographe Philips Epiq 7

Segments	SCS GE Vivid E9	SCS Philips Epiq 7	Différence moyenne	Facteur de concordance
Inféro-médian	-19,3 ± 6,8%	-21,1 ± 5,0%	2,7 ± 8,0%	0,03
Antéro-septo-médian	-27,2 ± 10,2%	-23,3 ± 5,3%	-3,9 ± 11,7%	0,01
Antéro-médian	-22,8 ± 8,7%	-20,1 ± 5,1%	-2,1 ± 9,9%	0,04
Antéro-latéro-médian	-18,4 ± 8,2%	-22,0 ± 5,7%	3,9 ± 8,7%	0,18
Inféro-septo-médian	-25,5 ± 8,6%	-22,2 ± 5,0%	-3,3 ± 8,5%	0,26
Inféro-latéro-médian	-16,4 ± 6,4%	-21,3 ± 5,3%	-4,6 ± 6,7%	0,25

Tableau V - Comparaison du strain circonférentiel segmentaire entre l'échographe GE Vivid E9 et l'échographe Philips Epiq 7

Comparaison des volumes ventriculaires gauches et de la fraction d'éjection ventriculaire gauche en 3D :

La comparaison des volumes ventriculaires gauches 3D et de la FEVG-3D a été réalisé sur 44 sujets parmi les 66 inclus. Vingt-deux ont été exclus dû fait d'une qualité d'image insuffisante rendant impossible la mesure des volumes et de la FEVG en 3D. La faisabilité de la FEVG-3D et des volumes ventriculaires 3D est donc de 66,7% dans notre population.

La FEVG-3D moyenne sur l'échographe GE Vivid E9 est de $60,2 \pm 4,5\%$ et sur l'échographe Philips Epiq 7 de $58,3 \pm 3,9\%$, soit une différence moyenne de $1,9 \pm 0,9\%$. La concordance entre les deux échographes pour la FEVG-3D est bonne (coefficient de concordance est de 0,68) (**Figure 3**).

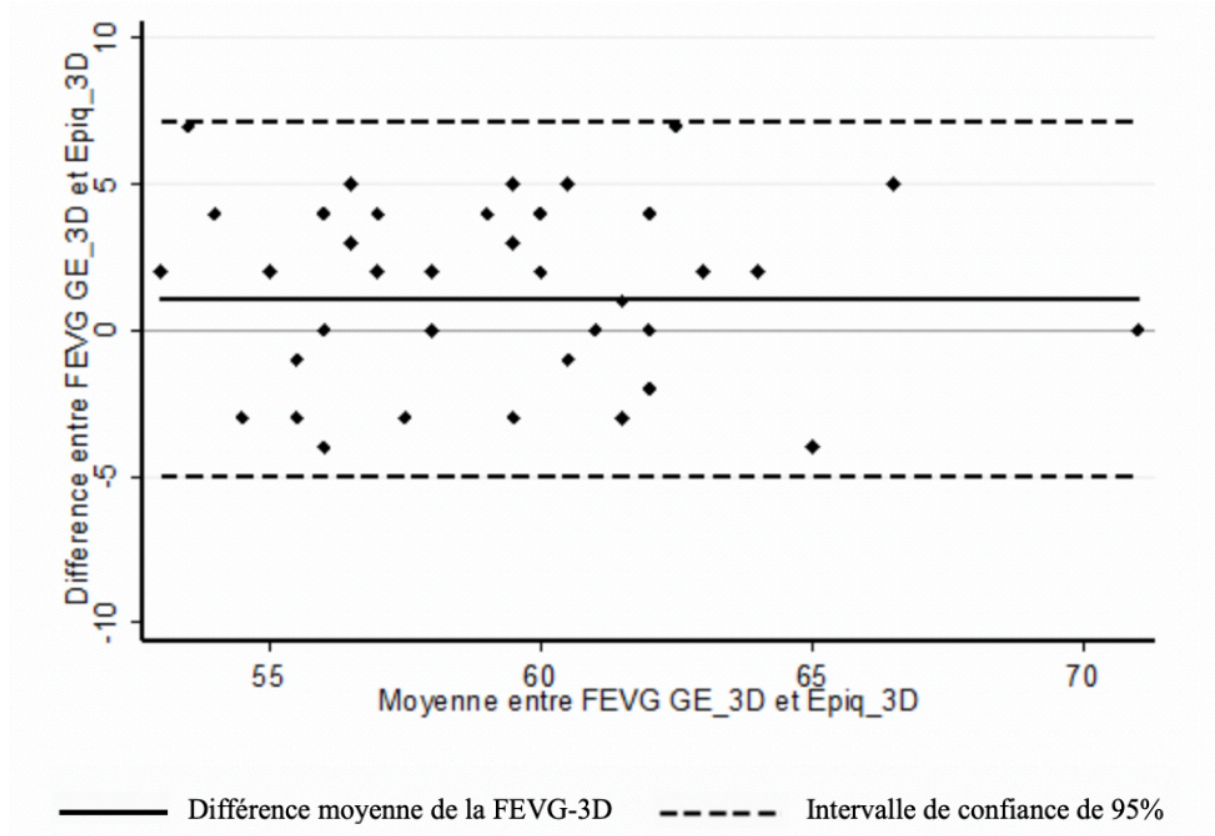


Figure 3 – Comparaison de la FEVG-3D entre l'échographe GE Vivid E9 et l'échographe Philips Epiq 7

La concordance entre les deux échographes est bonne pour le VTDVG et VTSVG avec un facteur de concordance de 0,76. Elle est également bonne pour le VES avec un coefficient de concordance de 0,74. L'étude 3D des volumes ventriculaires gauches est détaillée dans le **Tableau VI**.

	GE Vivid E9	Philips Epiq 7	Différence moyenne	Facteur de concordance
FEVG-3D (%)	60,2 ± 4,5	58,3 ± 3,9	1,9 ± 0,9	0,68
VTDVG (mL)	114,6 ± 26,6	107,3 ± 28,2	7,3 ± 18,4	0,76
VTSVG (mL)	46,5 ± 12	44,3 ± 10,9	2,2 ± 7,8	0,76
VES (mL)	68,1 ± 16,4	63,0 ± 18,6	5,0 ± 12,0	0,76

Tableau VI - Comparaison des volumes ventriculaires gauches et de la FEVG-3D entre l'échographe GE Vivid E9 et l'échographe Philips Epiq 7

Comparaison de la fraction d'éjection ventriculaire gauche en 2D et en 3D :

La corrélation entre la FEVG en 2D et la FEVG en 3D est bonne (facteur de concordance=0,72). La différence moyenne de mesure entre les deux techniques de mesure de la FEVG est de $1,9 \pm 9\%$.

Reproductibilité intra-observateur et inter-observateur :

On retrouve une excellente concordance intra-observateur pour le SLG, le SCG et la FEVG-3D sur l'appareil GE Vivid E9 avec respectivement un facteur de concordance de 0,94, de 0,92 et de 0,88; et sur l'appareil Philips Epiq 7 avec respectivement un facteur de concordance de 0,89, de 0,84 et de 0,99 (**Tableau VII**). Le détail de la reproductibilité intra-observateur du SLS et du SCS est rapporté en Annexe II pour l'échographe GE Vivid E9 et en Annexe III pour l'échographe Philips Epiq 7.

On retrouve une excellente concordance inter-observateur pour le SLG, le SCG et la FEVG-3D sur l'appareil GE Vivid E9 avec respectivement un facteur de concordance de 0,84, de 0,91 et de 0,80; et sur l'appareil Philips Epiq 7 avec respectivement un facteur de concordance de 0,89, de 0,84 et de 0,97 (**Tableau VIII**). Le détail de la reproductibilité inter-

observateur du SLS et du SCS est rapporté en Annexe IV pour l'échographe GE Vivid E9 et en Annexe V pour l'échographe Philips Epiq 7.

Le détail de la reproductibilité intra-observateur et inter-observateur de le FEVG-3D, VTDVG, VTSVG et VES est rapporté en Annexe VI pour l'échographe GE Vivid E9 et en Annexe VII pour l'échographe Philips Epiq 7.

	Variabilité	Différence moyenne	Facteur de concordance
SLG	GE Vivid E9	1,0 ± 1,9%	0,94
	Philips Epiq 7	1,0 ± 1,0%	0,89
SCG	GE Vivid E9	1,0 ± 2,2%	0,92
	Philips Epiq 7	1,1 ± 3,8%	0,84
FEVG-3D	GE Vivid E9	1,0 ± 3,9%	0,88
	Philips Epiq 7	1,0 ± 3,4%	0,99

Tableau VII – Variabilité intra-observateur du SLG, SCG et FEVG-3D sur l'échographe GE Vivid E9 et l'échographe Philips Epiq 7

	Variabilité	Différence moyenne	Facteur de concordance
SLG	GE Vivid E9	1,0 ± 1,8%	0,84
	Philips Epiq 7	1,0 ± 2,5%	0,89
SCG	GE Vivid E9	1,0 ± 1,7%	0,91
	Philips Epiq 7	1,1 ± 3,8%	0,84
FEVG-3D	GE Vivid E9	1,0 ± 4,0%	0,80
	Philips Epiq 7	1,0 ± 4,7%	0,97

Tableau VIII – Variabilité inter-observateur du SLG, SCG et FEVG-3D sur l'échographe GE Vivid E9 et l'échographe Philips Epiq 7

Discussion :

Notre étude montre une corrélation modérée du SLG entre les échographes GE Vivid E9 et Philips Epiq 7, mais celle-ci n'est pas retrouvée pour le SCG. Lors de l'analyse segmentaire du myocarde, nous ne retrouvons pas de différence significative entre les deux échographes pour la faisabilité du SLS et SCS ; mais il n'y a pas ou peu de concordance entre les deux appareils pour les deux types de strain. Concernant l'étude 3D des volumes ventriculaires gauches et de la FEVG, la concordance est bonne entre l'échographe GE Vivid E9 et Philips Epiq 7, tout comme la corrélation entre la FEVG en 2D et en 3D.

Strain ventriculaire gauche 2D :

Les mesures de la fonction myocardique sont sujettes à des variations physiologiques liées à l'inotropisme, au volume sanguin circulant et à de nombreux autres facteurs (32)(33). Elles dépendent de la qualité d'image obtenue lors de l'échographie, d'autant pour le *speckle tracking*, qui varie en fonction du patient et de l'échographe utilisé (34). La variation des valeurs de strain échographique peut être minimisée lors de l'acquisition des boucles échographiques par la formation des échographistes, mais aussi par la normalisation des protocoles d'acquisition et des plans de coupes, mais d'autres éléments nécessitent une standardisation technique.

Différentes causes de variations des valeurs de strain entre les constructeurs peuvent être avancées. En premier lieu, les caractéristiques de l'image échographique ne sont pas identiques entre les échographes liées à des différences de résolution spatiale, des paramètres de filtrage et d'autres éléments de post-traitement (19). Néanmoins, il est impossible de connaître dans quelle proportion ces différences sont impliquées dans les variations du strain. De plus, les logiciels spécifiques à chaque constructeurs disposent d'algorithmes de *speckle tracking* différents et sont un facteur déterminant dans la variabilité du strain (13). De même,

l'interaction entre l'échographiste et le système d'analyse semi-automatique peut avoir un impact sur la variabilité de la mesure (35). Leurs effets ont été évalués en comparant leur résultats (13)(14)(16)(36). Ainsi, dans la pratique quotidienne, il convient de prendre en compte cette différence de mesure du SLG et SCG des images acquises sur différents échographes et analysées par différents logiciels. Idéalement, un même équipement doit être utilisé pour le suivi d'un patient, les échographes ne sont pas interchangeables pour le suivi longitudinal des patients.

Comme notre étude, d'autres auteurs se sont astreints à comparer les valeurs de strains entre les échographes GE et Philips avec des résultats différents, répertoriés dans le **Tableau IX** (12)(13)(14)(15)(16)(17)(18)(19)(20). Farsalinos et al. ont retrouvé une corrélation du SLG pauvre entre les deux appareils avec un coefficient de corrélation de Person de 0,87 (14) ; alors que la corrélation est modérée dans l'étude de Shiino et al. (15) et de Risum et al. (19). Dans leur étude respective, Castel et al, et Costa et al., ont mis en évidence une excellente concordance du SLG entre les échographes GE Vivid E9 et Philips iE33 avec un coefficient de concordance respectivement de 0,95 (18) et de 0,96 (20). Mais cette concordance n'a pas été retrouvée dans l'étude de Negishi et al. (13). D'autres auteurs ont comparé les échographes GE Vivid 7 et Philips iE33 (12)(16)(17). Quand on s'intéresse uniquement aux différences moyennes du SLG, rapportées dans le **Tableau IX**, ces dernières ne sont pas éloignées de la différence moyenne du SLG de notre étude : $-0,4 \pm 2,5\%$.

Concernant les SCG, seulement trois études ont comparé les échographes GE et Philips. Sun et al. ont retrouvé une différence moyenne de SCG entre les échographes GE Vivid E7 et Philips iE33 de $-3,0 \pm 7,2\%$ (12), alors qu'elle est de 1,6% (IC95%= $-4,6 - 7,7\%$) dans l'étude de Takigiku et al. (17). Quant à Risum et al, leur étude met en évidence une différence moyenne de SCG de $6,5 \pm 4,2\%$ ($p < 0,001$) en comparant les échographes GE Vivid E9 et Philips iE33 (19). Aucune de ces études n'ont apprécié la concordance ou la corrélation des valeurs de SCG.

Étude	Échographes comparés	Différence moyenne de SLG	Facteur de concordance	Facteur de corrélation
Sun et al (12)	GE Vivid E7 vs. Philips iE33	-2,4 ± 2,9%		
Negishi et al. (13)	GE Vivid E9 vs. Philips iE33		0,35	
Farsalinos et al. (14)	GE Vivid E9 vs. Philips iE33	2,1% (IC95%= -1,6 – 5,8%)		0,87
Shiino et al. (15)	GE Vivid E9 vs. Philips iE33	-1,3% (IC95%= -4,8 – 2,2%, p<0,001)		0,94
Nagata et al. (16)	GE Vivid E7 vs. Philips iE33	-0,8% (IC95%= -3,41 – 1,81%, p=0,006)		0,72
Takigiku et al. (17)	GE Vivid E7 vs. Philips iE33	-1,9% (IC95% = -5,0 – 1,1%, p<0,0001)	0,63	
Castel et al. (18)	GE Vivid E9 vs. Philips iE33		0,95	
Risum et al. (19)	GE Vivid E9 vs. Philips iE33	0,6 ± 2,0% (p=0,12)		0,92
Costa et al. (20)	GE Vivid E9 vs. Philips iE33		0,96	

Tableau IX – Résultats des études comparant le strain longitudinal global entre les échographes GE et Philips

Pour le SLS, Castel et al. retrouvent une concordance faible voire une absence de concordance pour les segments basaux, alors qu'elle est modérée à excellente pour les segments médiaux et apicaux (18). Alors que Shiino et al. retrouvent une excellente corrélation dans les segments basaux et médiaux, et une corrélation modérée pour les segments apicaux (15). Ces

résultats sont très discordants entre eux et ne permettent pas de juger de la validité de notre conclusion sur le SLS.

Certaines études précédemment citées et d'autres ont comparé les valeurs de strain obtenues avec des échographes différents de notre étude (14)(16)(37)(38)(39).

Le but de notre étude était de comparer la concordance du SGL et SCG entre deux échographes, dans des conditions représentant la pratique clinique. Mais, nous avons, tout de même, essayé de réduire l'impact du facteur humain par l'acquisition de l'ensemble des images et des mesures de strain par un seul échographiste. L'impact des variations physiologique de la fonction cardiaque a été limité en incluant les sujets au cours d'une seule consultation.

A notre connaissance, il s'agit de la première étude comparant le SLG et SCG, mais aussi le SLS et le SCS entre les échographes GE Vivid E9 et Philips Epiq 7. Ce travail peut donc constituer une base de travail pour les efforts de normalisation des valeurs de strain entre les différents constructeurs (4)(21).

Volumes et FEVG 3D :

Au cours des dernières années, l'échographie 3D est devenue une technique d'évaluation volumétrique en temps réel du VG (40). Les améliorations techniques comme les nouveaux logiciels d'analyse et les nouvelles sondes ont permis une amélioration de la faisabilité et de la précision de l'évaluation morphologique et volumétrique du VG (41). L'échographie 3D présente une meilleure précision et une reproductibilité supérieure pour la quantification des volumes et de la FEVG à celle de l'échographie 2D (42). Cependant, l'identification de valeurs de référence normatives et sa validation est une condition indispensable à l'application de cette technique en pratique clinique (43).

On retrouve peu d'études dans la littérature s'intéressant à la variabilité des volumes et de la FEVG 3D entre les différents constructeurs. En effets, seules les études de Yuda et al. et

Badano et al. comparent directement les valeurs volumétriques ventriculaires 3D et ils n'ont pas mis en évidence de différence significative entre le VTDTV, le VTSVG et la FEVG en 3D entre les échographes GE Vivid E9 et Artida Toshiba (27)(23). Une méta-analyse incluant des études déterminant les normes des volumes ventriculaires gauches 3D ne retrouve pas de différence significative des volumes VG et de la FEVG entre différents échographes (GE Vivid E9, Philips iE33, Sonos 7500 et Artida Toshiba) (26).

A notre connaissance, notre étude est la première comparant les volumes ventriculaires gauches 3D et la FEVG-3D entre les échographes GE Vivid E9 et Philips Epiq 7. Nous avons montré une concordance modérée de la FEVG-3D entre les deux échographes qui peuvent donc être utilisés de manière interchangeable.

Limites :

La première limite de notre étude est la taille de sa population : 66 sujets pour le strain et 44 pour l'étude 3D, ce qui est relativement faible. Nous avons inclus uniquement les sujets avec des images échographiques de bonne qualité, car nous estimions qu'il s'agissait d'une prérogative indispensable à une analyse fiable du strain longitudinal et circonférentiel. Cette sélection des sujets inclus était indispensable pour comparer de manière fiable le strain entre les échographes, mais elle limite le caractère concluant de notre étude en ce qui concerne l'influence de la qualité d'image sur les valeurs de strain. Une question intéressante est de savoir dans quelle proportion la qualité des images contribue à la variabilité du strain; celle-ci pourra être traitée dans de futures études. De plus, nous savons que certains segments, notamment inférieurs et antérieurs, sont techniquement plus difficiles à analyser notamment à cause des structures non myocardiques comme l'anneau mitral. Ceci a peut-être contribué aux résultats obtenus sur l'analyse segmentaire du strain longitudinal et circonférentiel. De plus, l'analyse du strain n'était pas entièrement automatisée. Les deux logiciels, GE et Philips, utilisaient un

algorithme semi-automatique nécessitant des ajustements manuels de la région d'intérêt et du *tracking* afin d'obtenir un résultat satisfaisant. D'autre part, nous n'avons pas étudié la déformation myocardique radiale entre les deux échographes car elle ne peut être obtenue avec le logiciel Philips Q-Station version 3.5. Concernant l'étude volumétrique 3D du VG, nous n'avons pas utilisé la modalité de référence 3D qui est l'IRM pour la validation de nos résultats. Les valeurs de SLG et SCG, et les volumes 3D ont été obtenues chez des patients sains. Par conséquent, nos résultats ne peuvent pas être extrapolés aux patients présentant une dysfonction VG. Pour finir, nous avons évalué l'accord entre les deux échographes les plus largement utilisés dans notre laboratoire d'échographie, GE Vivid E9 et Philips Epiq 7 avec leur logiciel dédié, respectivement ECHOPAC PC version 201 et Q-Station version 3.5. Nos résultats ne peuvent donc pas être extrapolés à d'autres versions ni à d'autres échographes.

Notre étude est la première comparant les valeurs de strain et des volumes ventriculaires gauches 3D entre les échographes GE Vivid E9 et Philips Epiq 7. Elle constitue une base de travail pour la normalisation de ces nouvelles techniques d'évaluation de la fonction myocardique entre les constructeurs incité par l'EACVI et l'ASE . D'autres études seront nécessaires pour obtenir une standardisation du strain et de l'étude 3D ventriculaire gauche, afin d'introduire plus largement leur utilisation dans nos pratiques cliniques.

Conclusion :

La concordance du strain longitudinal global entre l'échographe GE Vivid E9 et l'échographe Philips Epiq 7 est modérée, mais il n'y a pas de concordance pour le strain circonférentiel global. La faisabilité du strain longitudinal et circonférentiel segmentaire n'est pas différente entre les deux échographes, mais on ne retrouve pas de concordance de leurs valeurs entre les deux appareils. Concernant l'étude 3D des volumes ventriculaires gauches et de la FEVG, la concordance est bonne entre l'échographe GE Vivid E9 et Philips Epiq 7.

Le Doyen de l'UFR de Médecine,

Pierre CLAVELOU



Le Président de Jury,

Bernard CITRON

A handwritten signature in black ink that reads "CITRON" followed by a stylized flourish.

Bibliographie:

1. Voigt J-U, Pedrizzetti G, Lysyansky P, Marwick TH, Houle H, Baumann R, et al. Definitions for a common standard for 2D speckle tracking echocardiography: consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging. *European Heart Journal - Cardiovascular Imaging*. 2015 Jan 1;16(1):1–11.
2. Woo JS, Kim W-S, Yu T-K, Ha SJ, Kim SY, Bae J-H, et al. Prognostic Value of Serial Global Longitudinal Strain Measured by Two-Dimensional Speckle Tracking Echocardiography in Patients With ST-Segment Elevation Myocardial Infarction. *The American Journal of Cardiology*. 2011 Aug;108(3):340–7.
3. Oleynikov VE, Galimskaya VA, Kupriyanova SN, Burko NV. Use of the Speckle tracking method for determining global parameters of heart contractility in healthy individuals. *MethodsX*. 2018;5:125–35.
4. Mor-Avi V, Lang RM, Badano LP, Belohlavek M, Cardim NM, Derumeaux G, et al. Current and Evolving Echocardiographic Techniques for the Quantitative Evaluation of Cardiac Mechanics: ASE/EAE Consensus Statement on Methodology and Indications Endorsed by the Japanese Society of Echocardiography. *European Journal of Echocardiography*. 2011 Mar 1;12(3):167–205.
5. Amzulescu M.S., De Craene M., Langet H., Pasquet A., Vancraeynest D., Pouleur A.C., et al. Myocardial strain imaging: review of general principles, validation, and sources of discrepancies. *European Heart Journal - Cardiovascular Imaging*. 2009;0:1–15.
6. Dandel M, Lehmkuhl H, Knosalla C, Suramelashvili N, Hetzer R. Strain and strain rate imaging by echocardiography: basic concepts and clinical applicability. *Current cardiology reviews*. 2009;5(2):133–148.

7. Feigenbaum H, Mastouri R, Sawada S. A Practical Approach to Using Strain Echocardiography to Evaluate the Left Ventricle. *Circulation Journal*. 2012;76(7):1550–1555.
8. Carasso S., Agmor Y., Rogiun A., Keidar Z., Isreal O., Hammerman H., et al. Left ventricular function and functional recovery early and late after myocardial infarction: a prospective pilot study comparing two-dimensional strain, conventional echocardiography, and radionuclide myocardial perfusion imaging. *J Am Soc Echocardiogr*. 2013; 26(11):1235-44
9. Delgado V., Tops LF, van Bommel RJ, van der Kley F, Marsan NA, Klautz RJ, et al. Strain analysis in patients with severe aortic stenosis and preserved left ventricular ejection fraction undergoing surgical valve replacement. *Eur Heart J*. 2009;30:3037–47.
10. Fernandes FP, Manlhiot C., Roche SL, Grosse-Wortmann L., Slorach C., McCrindle BW, et al. Impaired left ventricular myocardial mechanics and their relation to pulmonary regurgitation, right ventricular enlargement and exercise capacity in asymptomatic children after repair of tetralogy of Fallot. *J Am Soc Echocardiogr*. 25:494–503.
11. Plana JC, Galderisi M, Barac A, Ewer MS, Ky B, Scherrer-Crosbie M, et al. Expert Consensus for Multimodality Imaging Evaluation of Adult Patients during and after Cancer Therapy: A Report from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2014 Sep;27(9):911–39.

12. Sun JP, Lee AP-W, Wu C, Lam Y-Y, Hung M-J, Chen L, et al. Quantification of left ventricular regional myocardial function using two-dimensional speckle tracking echocardiography in healthy volunteers — A multi-center study. *International Journal of Cardiology*. 2013 Jul;167(2):495–501.
13. Negishi K, Lucas S, Negishi T, Hamilton J, Marwick TH. What is the Primary Source of Discordance in Strain Measurement Between Vendors: Imaging or Analysis? *Ultrasound in Medicine & Biology*. 2013 Apr;39(4):714–20.
14. Farsalinos KE, Daraban AM, Ünlü S, Thomas JD, Badano LP, Voigt J-U. Head-to-Head Comparison of Global Longitudinal Strain Measurements among Nine Different Vendors: The EACVI/ASE Inter-Vendor Comparison Study. *J Am Soc Echocardiogr*. 2015 Oct;28(10):1171–81.
15. Shiino K, Yamada A, Ischenko M, Khandheria BK, Hudaverdi M, Speranza V, et al. Intervendor consistency and reproducibility of left ventricular 2D global and regional strain with two different high-end ultrasound systems. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2016 Jun; 18(6):707-716.
16. Nagata Y, Takeuchi M, Mizukoshi K, Wu VC-C, Lin F-C, Negishi K, et al. Intervendor variability of two-dimensional strain using vendor-specific and vendor-independent software. *J Am Soc Echocardiogr*. 2015 Jun;28(6):630–41.
17. Takigiku K, Takeuchi M, Izumi C, Yuda S, Sakata K, Ohte N, et al. Normal Range of Left Ventricular 2-Dimensional Strain. *Circulation Journal*. 2012;76(11):2623–32.
18. Castel A-L, Szymanski C, Delelis F, Levy F, Menet A, Mailliet A, et al. Prospective comparison of speckle tracking longitudinal bidimensional strain between two vendors. *Archives of Cardiovascular Diseases*. 2014 Feb;107(2):96–104.

19. Risum N, Ali S, Olsen NT, Jons C, Khouri MG, Lauridsen TK, et al. Variability of Global Left Ventricular Deformation Analysis Using Vendor Dependent and Independent Two-Dimensional Speckle-Tracking Software in Adults. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2012 Nov;25(11):1195–203.
20. Costa SP, Beaver TA, Rollor JL, Vanichakarn P, Magnus PC, Palac RT. Quantification of the Variability Associated with Repeat Measurements of Left Ventricular Two-Dimensional Global Longitudinal Strain in a Real-World Setting. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2014 Jan;27(1):50–4.
21. Thomas JD, Badano LP. EACVI-ASE-industry initiative to standardize deformation imaging: a brief update from the co-chairs. *European Heart Journal - Cardiovascular Imaging*. 2013 Nov 1;14(11):1039–40.
22. Shimada YJ, Shiota T. A Meta-Analysis and Investigation for the Source of Bias of Left Ventricular Volumes and Function by Three-Dimensional Echocardiography in Comparison With Magnetic Resonance Imaging. *The American Journal of Cardiology*. 2011 Jan;107(1):126–38.
23. Badano LP, Boccacini F, Muraru D, Bianco LD, Peluso D, Bellu R, et al. Current Clinical Applications of Transthoracic Three-Dimensional Echocardiography. *J Cardiovasc Ultrasound*. 2012;20(1):1-22.
24. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, Afilalo J, Armstrong A, Ernande L, et al. Recommendations for Cardiac Chamber Quantification by Echocardiography in Adults: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *European Heart Journal - Cardiovascular Imaging*. 2015 Mar 1;16(3):233–71.

25. Badano LP, Cucchini U, Muraru D, Al Nono O, Sarais C, Iliceto S. Use of three-dimensional speckle tracking to assess left ventricular myocardial mechanics: inter-vendor consistency and reproducibility of strain measurements. *European Heart Journal - Cardiovascular Imaging*. 2013 Mar 1;14(3):285–93.
26. Buccheri S, Costanzo L, Tamburino C, Monte I. Reference Values for Real Time Three-Dimensional Echocardiography-Derived Left Ventricular Volumes and Ejection Fraction: Review and Meta-Analysis of Currently Available Studies. *Echocardiography*. 2015 Dec;32(12):1841–50.
27. Yuda S, Sato Y, Abe K, Kawamukai M, Kouzu H, Muranaka A, et al. Inter-Vendor Variability of Left Ventricular Volumes and Strains Determined by Three-Dimensional Speckle Tracking Echocardiography. *Echocardiography*. 2014 May;31(5):597–604.
28. Institut national de la statistique et des études économiques. [www.insee.fr/statistiques/bilan démographique2016](http://www.insee.fr/statistiques/bilan%20d%C3%A9mographique2016).
29. Heimdal A. 4D strain: advanced research application for quantitative echography. GE White paper, www.vividchocclub.net/emea/whitepaper&id=417. 2011;
30. Altman DG. Some common problems in medical research. *Practical Statistics for Medical Research* Chapman & Hall, London. 1991;pp.:396–439.
31. Terwee CB., Bot SD., de Boer MR., van der Windt DA., Knol DL., Dekker J., et al. Quality criteria were proposed for measurement properties of health status questionnaires. *J Clin Epidemiol*. 2007;60(1):34–42.

32. Kass DA., Maughan WL., Sunagawa K., Guo ZM., Kono A., Sagawa K. Comparative influence of load versus inotropic states on indexes of ventricular contractility: experimental and theoretical analysis based on pressure-volume relationships. *Circulation*. 1987;76:1422–36.
33. Marwick TH. Will standardization make strain a standard measurement? *2008;25:1318–25*.
34. Marwick TH. Measurement of strain and strain rate by echography: ready for prime time? *J Am Soc Echocardiogr*. 2012;25:1195–203.
35. Mada RO., Lysyansky P., Daraban AM., Duchenne J., Voigt JU. How to define end-diastole and end-systole? Impact of timing on strain measurements. *J A Coll Cardiol Img*. 2015;8(2):148-57
36. Nelson MR, Hurst RT, Raslan SF, Cha S, Wilansky S, Lester SJ. Echocardiographic Measures of Myocardial Deformation by Speckle-Tracking Technologies: The Need for Standardization? *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2012 Nov;25(11):1189–94.
37. Manóvil A., Dawson D., Smith B., Nihoyannopoulos P. Assessment of left ventricular function by different speckle-tracking software. *Eur J Echocardiogr*. 2010;5:417–21.
38. Yang H, Marwick TH, Fukuda N, Oe H, Saito M, Thomas JD, et al. Improvement in Strain Concordance between Two Major Vendors after the Strain Standardization Initiative. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2015 Jun;28(6):642-648.

39. Biaggi P, Carasso S, Garceau P, Greutmann M, Gruner C, Tsang W, et al. Comparison of Two Different Speckle Tracking Software Systems: Does the Method Matter?: Differences between Speckle Tracking Software Systems. *Echocardiography*. 2011 May;28(5):539–47.
40. Hung J., Lang R., Flachskampf F., et al. 3D echocardiography: A review of the current status and futur directions. *J Am Soc Echocardiogr*. 2007;20:213–33.
41. Lang R., Badano LP., Tsang W., et al. EAA/ASE recommendations for image acquisition and display using three-dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2012;25:3–46.
42. Dorosz JL., Lezotte DC., Weitzenkamp DA., et al. Performance of 3D-dimensional echocardiography in measuring left ventricular volumes and ejection fraction: A systematic review and meta-analysis. *J A Coll Cardiol*. 2012;59:1799–808.
43. Marwik TH. Application of 3D echocardiography to everyday practice: Development of normal ranges is strep 1. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2012;5:1198–200.

Annexes :

Annexe I - Protocole d'échographie cardiaque transthoracique

Annexe II - Reproductibilité intra-observateur du strain longitudinal segmentaire et du strain circonférentiel segmentaire de l'échographe GE Vivid E9

Annexe III - Reproductibilité intra-observateur du strain longitudinal segmentaire et du strain circonférentiel segmentaire de l'échographe Philips Epiq 7

Annexe IV - Reproductibilité inter-observateur du strain longitudinal segmentaire et du strain circonférentiel segmentaire de l'échographe GE Vivid E9

Annexe V - Reproductibilité inter-observateur du strain longitudinal segmentaire et du strain circonférentiel segmentaire de l'échographe Philips Epiq 7

Annexe VI - Reproductibilité intra-observateur et inter-observateur des volumes ventriculaires gauches 3D et de la FEVG 3D de l'échographe GE Vivid E9

Annexe VII - Reproductibilité intra-observateur et inter-observateur des volumes ventriculaires gauches 3D et de la FEVG 3D de l'échographe Philips Epiq 7

Annexe I - Protocole d'échographie cardiaque transthoracique

Parasternale grand axe :

- Mesure du diamètre télédiastolique du ventricule droit (DTDVD), diamètre télédiastolique (DTDVG) et télésystolique du VG (DTSVG)
- Mesure de l'épaisseur du septum interventriculaire (SIV) et de la paroi postérieure (PP) en diastole et en systole
- Mesure du diamètre de la chambre de chasse du VG (CCVG), de l'anneau aortique, du sinus de Valsalva et de la jonction sino-tubulaire
- Mesure du diamètre de l'oreillette gauche (OG)
- Étude morphologique bidimensionnelle (2D) de la valve mitrale et aortique : recherche d'un prolapsus, d'une restriction, d'une dystrophie ou d'une calcification
- Étude en Doppler couleur de la valve mitrale et aortique : recherche d'une insuffisance valvulaire modérée à sévère
- Étude de la cinétique myocardique ventriculaire gauche : recherche de troubles de la cinétique segmentaire

Parasternale petit axe :

- Étude de la cinétique myocardique ventriculaire gauche et droite : recherche de troubles de la cinétique segmentaire
- Étude morphologique 2D de la valve mitrale et aortique : recherche d'un prolapsus, d'une restriction, d'une dystrophie ou d'une calcification
- Étude en Doppler couleur de la valve mitrale et aortique : recherche d'une insuffisance valvulaire modérée à sévère

- Étude en Doppler continu de la valve pulmonaire : recherche d'un rétrécissement pulmonaire, d'une insuffisance pulmonaire avec calcul de la pression pulmonaire systolique en cas d'insuffisance pulmonaire
- Étude en Doppler pulsé de la valve pulmonaire avec mesure du temps d'accélération pulmonaire

Apicale quatre cavités :

- Mesure des volumes télédiastolique (VTDVG) et télésystolique du VG (VTDVG) et calcul de la fraction d'éjection ventriculaire gauche (FEVG) biplan
- Mesure de la surface télédiastolique et du diamètre de l'OG
- Mesure du *Tricuspid annular plane systolic excursion* = TAPSE
- Étude de la cinétique myocardique ventriculaire gauche et droite : recherche de trouble de la cinétique segmentaire
- Étude morphologique 2D de la valve mitrale, aortique et tricuspide : recherche d'un prolapsus, d'une restriction, d'une dystrophie, d'une calcification ; du VG et ventricule droit (VD), et de l'OG pour rechercher une anomalie structurelle
- Étude en Doppler couleur de la valve mitrale, aortique et tricuspide : recherche d'une insuffisance valvulaire modérée à sévère
- Étude en Doppler tissulaire avec mesure de l'onde Ea de l'anneau mitral dans sa partie latérale et septale pour évaluer les pressions de remplissage ventriculaire gauche ; mesure de l'onde S à la partie latérale de l'anneau tricuspide pour évaluer la fonction systolique du VD

- Étude en Doppler pulsé du flux de remplissage mitrale avec mesure de l'onde E, de l'onde A, du temps de décélération de l'onde E et durée de l'onde A pour évaluer la fonction diastolique ventriculaire gauche ; du flux de la CCVG pour mesure de l'ITV sous-aortique et calcul du débit cardiaque
- Étude en Doppler continu du flux trans-mitral avec mesure du gradient moyen OG – VG pour rechercher une sténose mitrale ; du flux trans-aortique avec mesure du gradient moyen VG – aorte pour rechercher une sténose aortique ; du flux trans-tricuspidé pour mesure de la vitesse maximale d'une éventuelle fuite tricuspide pour l'évaluation de la pression pulmonaire

Apicale trois cavités :

- Étude de la cinétique myocardique ventriculaire gauche et droite : recherche de trouble de la cinétique segmentaire
- Étude morphologique 2D du VG et VD, et de l'OG pour rechercher une anomalie structurelle

Apicale deux cavités :

- Étude de la cinétique myocardique VG et VD : recherche de trouble de la cinétique segmentaire
- Étude morphologique 2D du VG et VD, et de l'OG pour rechercher une anomalie structurelle
- Mesure du VTDVG et du VTDVG et calcul de la FEVG biplan
- Mesure de la surface télédiastolique et du diamètre de l'OG

Acquisition des images échographiques cardiaques pour mesure du strain et calcul de la FEVG en 3D sur les deux échographes, GE Vivid E9 et Philips Epiq 7, sur quatre cycles cardiaques en apnée en fin d'inspiration en :

- Parasternale grand axe en 2D
- Parasternale petit axe en 2D
- Apicale 4cavités en 2D
- Apicale 3 cavités en 2D
- Apical 2 cavités en 2D
- Apicale en 3D

**Annexe II - Reproductibilité intra-observateur du strain longitudinal
segmentaire et du strain circonférentiel segmentaire de l'échographe GE**

Vivid E9

Strain longitudinal segmentaire		
Segments	Différence moyenne	Facteur de concordance
Inféro-basal	0,9 ± 5,1%	1,00
Antéro-septo-basal	1,0 ± 1,1%	0,83
Antéro-basal	1,0 ± 1,5%	0,93
Antéro-latéro-basal	0,9 ± 3,9%	0,91
Inféro-septo-basal	1,0 ± 2,2%	0,89
Inféro-latéro-basal	1,0 ± 2,6%	0,85
Inféro-médian	1,0 ± 2,0%	0,76
Antéro-septo-médian	1,0 ± 1,6%	0,86
Antéro-médian	1,0 ± 3,1%	0,92
Antéro-latéro-médian	1,1 ± 3,5%	0,79
Inféro-septo-médian	0,9 ± 2,5%	0,95
Inféro-latéro-médian	0,9 ± 2,7%	0,92
Apical	1,0 ± 2,9%	0,73
Inféro-apical	1,0 ± 2,4%	0,98
Antéro-apical	1,1 ± 3,7%	0,90
Latéro-apical	1,0 ± 4,2%	0,83
Septo-apical	1,0 ± 4,4%	0,94
Strain circonférentiel segmentaire		
Segments	Différence moyenne	Facteur de concordance
Inféro-médian	0,9 ± 2,6%	0,91
Antéro-septo-médian	1,0 ± 4,5%	0,83
Antéro-médian	0,9 ± 5,7%	0,93
Antéro-latéro-médian	1,5 ± 5,0%	0,80
Inféro-septo-médian	1,0 ± 5,3%	0,92
Inféro-latéro-médian	1,0 ± 3,6%	0,86

Annexe III - Reproductibilité intra-observateur du strain longitudinal segmentaire et du strain circonférentiel segmentaire de l'échographe

Philips Epiq 7

Strain longitudinal segmentaire		
Segments	Différence moyenne	Facteur de concordance
Inféro-basal	1,0 ± 2,0%	0,72
Antéro-septo-basal	1,0 ± 4,8%	0,89
Antéro-basal	1,0 ± 2,8%	0,74
Antéro-latéro-basal	1,0 ± 1,5%	0,95
Inféro-septo-basal	1,0 ± 1,3%	0,82
Inféro-latéro-basal	0,8 ± 2,8%	0,79
Inféro-médian	1,0 ± 3,6%	0,88
Antéro-septo-médian	0,9 ± 3,3%	0,85
Antéro-médian	1,0 ± 2,3%	0,92
Antéro-latéro-médian	0,9 ± 4,1%	0,78
Inféro-septo-médian	1,0 ± 1,3%	0,91
Inféro-latéro-médian	1,0 ± 2,6%	0,80
Apical	0,9 ± 3,6%	0,91
Inféro-apical	1,0 ± 5,2%	0,97
Antéro-apical	0,9 ± 4,9%	0,78
Latéro-apical	0,9 ± 4,1%	0,87
Septo-apical	0,9 ± 4,3%	0,99
Strain circonférentiel segmentaire		
Segments	Différence moyenne	Facteur de concordance
Inféro-médian	1,1 ± 6,1%	0,90
Antéro-septo-médian	1,1 ± 3,5%	0,92
Antéro-médian	1,1 ± 4,2%	0,84
Antéro-latéro-médian	1,1 ± 6,1%	0,97
Inféro-septo-médian	1,0 ± 3,5%	0,78
Inféro-latéro-médian	1,1 ± 4,0%	0,90

Annexe IV - Reproductibilité inter-observateur du strain longitudinal segmentaire et du strain circonférentiel segmentaire de l'échographe GE

Vivid E9

Strain longitudinal segmentaire		
Segments	Différence moyenne	Facteur de concordance
Inféro-basal	1,0 ± 2,0%	0,72
Antéro-septo-basal	1,0 ± 4,8%	0,89
Antéro-basal	1,0 ± 2,8%	0,74
Antéro-latéro-basal	1,0 ± 1,5%	0,95
Inféro-septo-basal	1,0 ± 1,3%	0,82
Inféro-latéro-basal	0,8 ± 2,8%	0,79
Inféro-médian	1,1 ± 3,6%	0,88
Antéro-septo-médian	0,9 ± 3,3%	0,85
Antéro-médian	1,0 ± 2,3%	0,92
Antéro-latéro-médian	0,9 ± 4,1%	0,78
Inféro-septo-médian	1,0 ± 1,3%	0,91
Inféro-latéro-médian	1,0 ± 2,6%	0,80
Apical	0,9 ± 3,6%	0,91
Inféro-apical	1,0 ± 5,2%	0,97
Antéro-apical	0,9 ± 4,9%	0,78
Latéro-apical	0,9 ± 4,1%	0,87
Septo-apical	0,9 ± 4,3%	0,99
Strain circonférentiel segmentaire		
Segments	Différence moyenne	Facteur de concordance
Inféro-médian	1,1 ± 6,1%	0,90
Antéro-septo-médian	1,1 ± 3,5%	0,92
Antéro-médian	1,1 ± 4,2%	0,84
Antéro-latéro-médian	1,1 ± 6,1%	0,97
Inféro-septo-médian	1,0 ± 3,5%	0,78
Inféro-latéro-médian	1,1 ± 4,0%	0,90

Annexe V - Reproductibilité inter-observateur du strain longitudinal segmentaire et du strain circonférentiel segmentaire de l'échographe

Philips Epiq 7

Strain longitudinal segmentaire		
Segments	Différence moyenne	Facteur de concordance
Inféro-basal	1,0 ± 2,5%	0,80
Antéro-septo-basal	1,1 ± 2,3%	0,83
Antéro-basal	1,0 ± 3,8%	0,90
Antéro-latéro-basal	1,0 ± 2,1%	0,73
Inféro-septo-basal	1,0 ± 1,3%	0,76
Inféro-latéro-basal	1,0 ± 1,7%	0,83
Inféro-médian	1,0 ± 4,8%	0,77
Antéro-septo-médian	1,0 ± 2,8%	0,72
Antéro-médian	1,0 ± 2,5%	0,84
Antéro-latéro-médian	1,0 ± 4,3%	0,93
Inféro-septo-médian	1,1 ± 3,1%	0,80
Inféro-latéro-médian	1,0 ± 2,4%	0,75
Apical	1,0 ± 4,0%	0,80
Inféro-apical	1,0 ± 5,9%	0,92
Antéro-apical	1,0 ± 4,6%	0,85
Latéro-apical	1,0 ± 4,0%	0,90
Septo-apical	0,9 ± 4,5%	0,97
Strain circonférentiel segmentaire		
Segments	Différence moyenne	Facteur de concordance
Inféro-médian	1,0 ± 5,5%	0,90
Antéro-septo-médian	1,0 ± 4,5%	0,93
Antéro-médian	1,0 ± 3,5%	0,94
Antéro-latéro-médian	1,0 ± 6,6%	0,96
Inféro-septo-médian	1,0 ± 3,1%	0,80
Inféro-latéro-médian	0,9 ± 3,2%	0,85

Annexe VI - Reproductibilité intra-observateur et inter-observateur des volumes ventriculaires gauches 3D et de la FEVG 3D de l'échographe GE

Vivid E9

Intra-observateur		
	Différence moyenne	Facteur de concordance
FEVG (%)	1,0 ± 3,7	0,88
VTSVG (en mL)	1,0 ± 6,7	0,76
VTDVG (en mL)	0,9 ± 18,3	0,83
VES (en mL)	0,9 ± 13,5	0,96
Inter-observateur		
FEVG (%)	1,0 ± 4,0	0,80
VTSVG (en mL)	1,0 ± 7,0	0,76
VTDVG (en mL)	0,9 ± 19,9	0,78
VES (en mL)	0,9 ± 14,9	0,96

Annexe VII - Reproductibilité intra-observateur et inter-observateur des volumes ventriculaires gauches 3D et de la FEVG 3D de l'échographe

Philips Epiq 7

Intra-observateur		
	Différence moyenne	Facteur de concordance
FEVG (%)	1,8 ± 4,5	0,99
VTSVG (en mL)	1,1 ± 8,2	0,82
VTDVG (en mL)	0,8 ± 21,2	0,81
VES (en mL)	1,0 ± 14,2	0,98
Inter-observateur		
FEVG (%)	1,0 ± 4,7	0,97
VTSVG (en mL)	0,8 ± 9,9	0,92
VTDVG (en mL)	0,9 ± 22,9	0,89
VES (en mL)	1,0 ± 17,9	0,87

Serment d'Hippocrate :

En présence des Maîtres de cette faculté et de mes chers condisciples, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine.

Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et je n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail. Admise dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime.

Respectueuse et reconnaissante envers mes maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couverte d'opprobre et méprisée de mes confrères si j'y manque.

Conseil de l'ordre des médecins Serment d'Hippocrate

Au moment d'être admise 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.

Admise dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçue 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 déshonorée et méprisée si j'y manque.