

Faculté de Médecine

Année 2021

Thèse N°

Thèse pour le diplôme d'État de docteur en Médecine

Présentée et soutenue publiquement

le 15 octobre 2021

Par BARUCCHI Cédric

Né(e) le 4 décembre 1992 à Marseille (France)

Comparaison du volume d'éjection systolique ventriculaire gauche en échocardiographie transoesophagienne par méthode tridimensionnelle, bidimensionnelle et doppler chez les patients ventilés

Thèse dirigée par Marine GOUDELIN

Examineurs :

M. le Professeur Philippe VIGNON, Professeur Universitaire en Médecine Intensive Réanimation, CHU Limoges

Président

M. le Professeur Victor ABOYANS, Professeur Universitaire en Cardiologie, CHU Limoges

Juge

M. le Docteur Sami HRAIECH, Maître de Conférence Universitaire en Médecine Intensive Réanimation, CHU Marseille

Juge

Mme. le Docteur Marine GOUDELIN, Praticien Hospitalier, CHU Limoges

Directrice de Thèse



Faculté de Médecine

Année 2020

Thèse N°

Thèse pour le diplôme d'État de docteur en Médecine

Présentée et soutenue publiquement

Le 15 octobre 2021

Par BARUCCHI Cédric

Né(e) le 4 décembre 1992 à Marseille (France)

**Comparaison du volume d'éjection systolique ventriculaire gauche
en échocardiographie transoesophagienne par méthode
tridimensionnelle, bidimensionnelle et doppler chez les patients
ventilés**

Thèse dirigée par Marine GOUDELIN

Examineurs :

M. le Professeur Philippe VIGNON, Professeur Universitaire en Médecine Intensive
Réanimation, CHU Limoges

Président

M. le Professeur Victor ABOYANS, Professeur Universitaire en Cardiologie, CHU
Limoges

Juge

M. le Docteur Sami HRAIECH, Maitre de Conférence Universitaire en Médecine
Intensive Réanimation, CHU Marseille

Juge

Mme. le Docteur Marine GOUDELIN, Praticien Hospitalier, CHU Limoges

Directrice de Thèse



Professeurs des Universités - praticiens hospitaliers

Le 7 septembre 2020

ABOYANS Victor	CARDIOLOGIE
ACHARD Jean-Michel	PHYSIOLOGIE
AJZENBERG Daniel	PARASITOLOGIE et MYCOLOGIE
ALAIN Sophie	BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE
AUBARD Yves	GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE
AUBRY Karine	O.R.L.
BERTIN Philippe	THERAPEUTIQUE
CAIRE François	NEUROCHIRURGIE
CHARISSOUX Jean-Louis	CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE et TRAUMATOLOGIQUE
CLAVERE Pierre	RADIOTHERAPIE
CLEMENT Jean-Pierre	PSYCHIATRIE d'ADULTES
CORNU Elisabeth	CHIRURGIE THORACIQUE et CARDIOVASCULAIRE
COURATIER Philippe	NEUROLOGIE
DARDE Marie-Laure	PARASITOLOGIE et MYCOLOGIE
DAVIET Jean-Christophe	MEDECINE PHYSIQUE et de READAPTATION
DESCAZEAUD Aurélien	UROLOGIE
DES GUETZ Gaëtan	CANCEROLOGIE
DESSPORT Jean-Claude	NUTRITION
DRUET-CABANAC Michel	MEDECINE et SANTE au TRAVAIL
DURAND-FONTANIER Sylvaine	ANATOMIE (CHIRURGIE DIGESTIVE)
FAUCHAIS Anne-Laure	MEDECINE INTERNE
FAUCHER Jean-François	MALADIES INFECTIEUSES
FAVREAU Frédéric	BIOCHIMIE et BIOLOGIE MOLECULAIRE

FEUILLARD Jean	HEMATOLOGIE
FOURCADE Laurent	CHIRURGIE INFANTILE
GAUTHIER Tristan	GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE
GUIGONIS Vincent	PEDIATRIE
HANTZ Sébastien	BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE
HOUETO Jean-Luc	NEUROLOGIE
JACCARD Arnaud	HEMATOLOGIE
JAUBERTEAU-MARCHAN M. Odile	IMMUNOLOGIE
JESUS Pierre	NUTRITION
LABROUSSE François	ANATOMIE et CYTOLOGIE PATHOLOGIQUES
LACROIX Philippe	MEDECINE VASCULAIRE
LAROCHE Marie-Laure	PHARMACOLOGIE CLINIQUE
LIENHARDT-ROUSSIE Anne	PEDIATRIE
LOUSTAUD-RATTI Véronique	HEPATOLOGIE
LY Kim	MEDECINE INTERNE
MABIT Christian	ANATOMIE
MAGY Laurent	NEUROLOGIE
MARIN Benoît	EPIDEMIOLOGIE, ECONOMIE de la SANTE et PREVENTION
MARQUET Pierre	PHARMACOLOGIE FONDAMENTALE
MATHONNET Muriel	CHIRURGIE DIGESTIVE
MELLONI Boris	PNEUMOLOGIE
MOHTY Dania	CARDIOLOGIE
MONTEIL Jacques	BIOPHYSIQUE et MEDECINE NUCLEAIRE
MOUNAYER Charbel	RADIOLOGIE et IMAGERIE MEDICALE
NATHAN-DENIZOT Nathalie	ANESTHESIOLOGIE-REANIMATION
NUBUKPO Philippe	ADDICTOLOGIE

OLLIAC Bertrand	PEDOPSYCHIATRIE
PARAF François	MEDECINE LEGALE et DROIT de la SANTE
PLOY Marie-Cécile	BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE
PREUX Pierre-Marie	EPIDEMIOLOGIE, ECONOMIE de la SANTE et PREVENTION
ROBERT Pierre-Yves	OPHTALMOLOGIE
SALLE Jean-Yves	MEDECINE PHYSIQUE et de READAPTATION
STURTZ Franck	BIOCHIMIE et BIOLOGIE MOLECULAIRE
TCHALLA Achille	GERIATRIE ET BIOLOGIE DU VIEILLISSEMENT
TEISSIER-CLEMENT Marie-Pierre	ENDOCRINOLOGIE, DIABETE et MALADIES METABOLIQUES
TOURE Fatouma	NEPHROLOGIE
VALLEIX Denis	ANATOMIE
VERGNENEGRE Alain	EPIDEMIOLOGIE, ECONOMIE de la SANTE et PREVENTION
VERGNE-SALLE Pascale	THERAPEUTIQUE
VIGNON Philippe	REANIMATION
VINCENT François	PHYSIOLOGIE
YARDIN Catherine	CYTOLOGIE et HISTOLOGIE

PROFESSEUR ASSOCIE DES UNIVERSITES A MI-TEMPS DES DISCIPLINES MEDICALES

BRIE Joël	CHIRURGIE MAXILLO-FACIALE ET STOMATOLOGIE
KARAM Henri-Hani	MEDECINE D'URGENCE
MOREAU Stéphane	EPIDEMIOLOGIE CLINIQUE

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS

BALLOUHEY Quentin	CHIRURGIE INFANTILE
BARRAUD Olivier	BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE
BOURTHOUMIEU Sylvie	CYTOLOGIE et HISTOLOGIE

COUVE-DEACON Elodie	BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE
DURAND Karine	BIOLOGIE CELLULAIRE
ESCLAIRE Françoise	BIOLOGIE CELLULAIRE
JACQUES Jérémie	GASTRO-ENTEROLOGIE ; HEPATOLOGIE
LE GUYADER Alexandre	CHIRURGIE THORACIQUE et CARDIOVASCULAIRE
LIA Anne-Sophie	BIOCHIMIE et BIOLOGIE MOLECULAIRE
RIZZO David	HEMATOLOGIE
TERRO Faraj	BIOLOGIE CELLULAIRE
WOILLARD Jean-Baptiste	PHARMACOLOGIE FONDAMENTALE

P.R.A.G.

GAUTIER Sylvie	ANGLAIS
-----------------------	---------

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES ASSOCIES A MI-TEMPS

SALLE Laurence	ENDOCRINOLOGIE (du 01-09-2020 au 31-08-2021)
-----------------------	---

PROFESSEUR DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE

DUMOITIER Nathalie	(Responsable du département de Médecine Générale)
---------------------------	--

MAITRE DE CONFERENCES ASSOCIE A MI-TEMPS DE MEDECINE GENERALE

HOUDARD Gaëtan	(du 01-09-2019 au 31-08-2022)
LAUCHET Nadège	(du 01-09-2020 au 31-08-2023)
PAUTOUT-GUILLAUME Marie-Paule	(du 01-09-2018 au 31-12-2020)
SEVE Léa	(du 01-09-2020 au 31-08-2023)

PROFESSEURS EMERITES

ADENIS Jean-Paul	du 01-09-2017 au 31-08-2021
ALDIGIER Jean-Claude	du 01.09.2018 au 31.08.2020
BESSEDE Jean-Pierre	du 01-09-2018 au 31-08-2020

BUCHON Daniel	du 01-09-2019 au 31-08-2021
MERLE Louis	du 01.09.2017 au 31.08.2020
MOREAU Jean-Jacques	du 01-09-2019 au 31-08-2021
TREVES Richard	du 01-09-2020 au 31-08-2021
TUBIANA-MATHIEU Nicole	du 01-09-2018 au 31-08-2021
VALLAT Jean-Michel	du 01.09.2019 au 31.08.2022
VIROT Patrice	du 01.09.2018 au 31.08.2021

Assistants Hospitaliers Universitaires – Chefs de Clinique

Le 12 juin 2020

ASSISTANTS HOSPITALIERS UNIVERSITAIRES

AUDITEAU Emilie	EPIDEMIOLOGIE (CEBIMER)
DAURIAT Benjamin	HISTOLOGIE, EMBRIOLOGIE ET CYTOGENETIQUE
DERBAL Sophiane	CHIRURGIE ANATOMIE
DOUCHEZ Marie	ANESTHESIOLOGIE-REANIMATION
DUPONT Marine	HEMATOLOGIE BIOLOGIQUE
DURIEUX Marie-Fleur	PARASITOLOGIE
GUYOT Anne	LABORATOIRE ANAPATHOLOGIE
HERMINEAUD Bertrand	LABORATOIRE ANAPATHOLOGIE
HUMMEL Marie	ANESTHESIOLOGIE-REANIMATION
LABRIFFE Marc	PHARMACOLOGIE
LEFEBVRE Cyrielle	ANESTHESIE REANIMATION
LOPEZ Stéphanie	MEDECINE NUCLEAIRE
PASCAL Virginie	IMMUNOLOGIE CLINIQUE
PIHAN Franck	ANESTHESIOLOGIE-REANIMATION
RIVAILLE Thibaud	CHIRURGIE-ANATOMIE
SANSON Amandine	ANESTHESIE REANIMATION
TCHU HOI NGNO Princia	BIOPHYSIQUE ET MEDECINE NUCLEAIRE

CHEFS DE CLINIQUE - ASSISTANTS DES HOPITAUX

ALBOUYS Jérémie	HEPATO GASTRO ENTEROLOGIE
ARMENDARIZ-BARRIGA Matéo	CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE
AUBLANC Mathilde	GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE
BAÏSSE Arthur	REANIMATION POLYVALENTE

BEEHARRY Adil	CARDIOLOGIE
BLOSSIER Jean-David	CHIRURGIE THORACIQUE et CARDIOVASCULAIRE
BRISSET Josselin	MALADIES INFECTIEUSES ET TROPICALES
CHASSANG-BRUZEAU Anne-Hélène	RADIOLOGIE
CHAUVET Romain	CHIRURGIE VASCULAIRE
CISSE Fatou	PSYCHIATRIE
COMPAGNAT Maxence	MEDECINE PHYSIQUE et de READAPTATION
DE POUILLY-LACHATRE Anaïs	RHUMATOLOGIE
DESCHAMPS Nathalie	NEUROLOGIE
DEVAUX Edouard	MEDECINE GERIATRIQUE
DUVAL Marion	NEPHROLOGIE
EL OUAFI Zhour	NEPHROLOGIE
FAURE Bertrand	PSYCHIATRIE d'ADULTES
FAYEMENDY Charlotte	RADIOLOGIE et IMAGERIE MEDICALE
FROGET Rachel	CENTRE D'INVESTIGATION CLINIQUE (pédiatrie)
GEYL Sophie	GASTROENTEROLOGIE
GHANEM Khaled	ORL
GILBERT Guillaume	REANIMATION POLYVALENTE
GUTTIEREZ Blandine	MALADIES INFECTIEUSES
HANGARD Pauline	PEDIATRIE
HARDY Jérémy	CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE
HESSAS-EBELY Miassa	GYNECOLOGIE OBSTETRIQUE
LALOZE Jérôme	CHIRURGIE PLASTIQUE
LEGROS Maxime	GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE
MAURIANGE TURPIN Gladys	RADIOTHERAPIE

MEUNIER Amélie	ORL
MICLE Liviu-Ionut	CHIRURGIE INFANTILE
MOWENDABEKA Audrey	PEDIATRIE
PARREAU Simon	MEDECINE INTERNE ET POLYCLINIQUE
PELETTE Romain	CHIRURGIE UROLOGIE et ANDROLOGIE
PEYRAMAURE Clémentine	ONCOLOGIE MEDICALE
PLAS Camille	MEDECINE INTERNE B
QUILBE Sébastien	OPHTALMOLOGIE
SIMONNEAU Yannick	PNEUMOLOGIE
SURGE Jules	NEUROLOGIE
TRICARD Jérémy	CHIRURGIE THORACIQUE et CARDIOVASCULAIRE MEDECINE VASCULAIRE
VAIDIE Julien	HEMATOLOGIE CLINIQUE
VERLEY Jean-Baptiste	PSYCHIATRIE ENFANT ADOLESCENT
VIDAL Thomas	OPHTALMOLOGIE

CHEF DE CLINIQUE – MEDECINE GENERALE

BERTRAND Adeline

SEVE Léa

PRATICIEN HOSPITALIER UNIVERSITAIRE

Néant

Remerciements

Remerciements aux membres de mon jury de thèse :

Professeur Philippe Vignon,

Merci de me faire l'honneur de présider mon jury de thèse. Merci de m'avoir accompagné durant cet internat avec l'avènement de cette nouvelle spécialité et de m'avoir donné goût à l'échographie cardiaque.

Soyez assuré de ma sincère considération.

Professeur Victor Aboyans,

Merci d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse avec enthousiasme. Merci de m'avoir accueilli durant ces 3 semestres dans votre service où l'apprentissage sur le plan humain et professionnel y fut grand.

Soyez assuré de mon plus profond respect.

Docteur Sami Hraiech,

Merci de me faire l'honneur de participer à mon jury de thèse même si tu es à distance, encore merci pour ce semestre marseillais riche en enseignements et en ECMO. J'espère garder pour ma pratique future une partie de ta rigueur médicale.

Sois assuré de ma sincère considération.

Docteur Marine Goudelin,

Ma chère directrice de thèse, merci de m'avoir encadré et plus qu'aidé pour ce travail. Les régressions linéaires à 1h du matin n'ont maintenant plus aucun secret pour nous. Merci pour ta gentillesse, ta patience et ton écoute. Reste comme tu es avec ta joie de vivre.

Sois assurée de mon amitié.

Remerciements aux membres de ma famille :

A mes parents que j'aime, merci papa et maman, merci pour tout, merci de m'avoir fait découvrir tant de choses depuis petit, merci de m'avoir accompagné et soutenu durant ces études, les 6 mois à la maison sont passés hyper vite !

Merci Claire, ma sœur, merci d'avoir toujours cru en moi et d'être là pour moi. Merci de me faire l'honneur d'être tonton et bientôt une deuxième fois. Merci à toi aussi Yoann, d'épauler ma sœur.

Merci ma Flo, mon bébé, avec qui on partage un bout de chemin depuis un moment maintenant. Merci pour tous ces voyages et de m'avoir mis au triathlon. Bientôt une nouvelle étape dans notre vie commune avec notre nouveau chez nous... On a encore tant de chose à voir et faire ensemble.

A mes grands-parents, piliers de la famille, qui représentent pour nous tous l'élégance, la réussite et la durée.

A mamie Simone, je sais que tu aurais aimé être là, malheureusement ce n'était pas possible.

A papy Marcel, de là-haut j'espère que tu es fier.

A mes beaux-parents, merci de nous épauler bien plus qu'il ne le faut, le Yatze et le Sjoelbak n'ont maintenant plus de secret pour moi.

A tonton Gilbert, Tatie Sonia, et à ma cousine Olivia, merci pour tous les moments passés autour d'un petit volant.

A tonton Olivier et Tatie Nathalie, merci pour toutes ces pizzas partagées devant les matchs de l'OM.

A mes cousins, Thomas et Romain, merci pour l'enfance partagée à vos côtés.

A Eline et Romain, merci de votre gentillesse et d'avoir fait le déplacement avec votre petit Axel.

Remerciements à mes amis :

A Anaël, quasi horloger suisse pour fêter des évènements... ou pas, heureusement que Rox' est là pour organiser les choses haha, tant d'années qu'on partage tant de chose ensemble, que ça continue mon poto !!!

A Clémence et Aurore, mes fratés marseillaises acolytes inconditionnelles de la BU.

A Emeline, cadavrologue bretonne en herbe.

A mes anciens voisins préférés, Justine et Maël alias les pandous qui iront bientôt voir le pays du soleil levant.

A Momo, ma blonde pulpeuse limousine spécialiste en enculoscopie toujours la première pour rire et sortir et à venir squatter à la zon-zon avec mes zlips.

A Noëlie triathlète inconditionnelle, Ugo et leur petit dernier.

A la team vélo bière, Nico avec son look inimitable en camelback et son traditionnel « eh bob ! », Valentin celui qui ferait acheter un vélo à 4000 balles à la première personne croisée, Ben' toujours plus affuté qu'une lame de rasoir en haut de la première colline venue et à Barth' le Kipchoge du vélo.

A mes co internes actuels, mention spéciale à mes deux acolytes d'USIC Enrico et son fin palais en matière de relai H sale et de vinasse et Floflo et ses vrillages complets et sa mise au Tri contraint et forcé. A Pierro bientôt recherché par Interpopol, Jess' toujours prête à mettre un Ipon, Yanis spécialiste en radiales, Valentine la rythmologue, Mariam #Forxiga, Amandine et son « miam miam ».

A Eline, pour ton organisation et pour avoir essayé de refiler jusqu'au bout ta garde de ce soir.

A Florence, triplement co interne et chef maintenant bientôt en passe de trouver tes repères en réa.

A la team COVID sa mère by Marseille, merci à tous mes co internes et chefs pour ce semestre, et notamment à Lucie qui m'a permis d'aller à la Run'.

Aux chefs de la réa, au Dr Daix, grâce à qui les hiéroglyphes n'ont plus de secrets pour personne en réa. Au Dr Fedou et à sa gentillesse et bienveillance. Au Dr Evrard futur grand roi du strain de toute chose qui se contracte. Au Dr François et son traditionnel « non mais, au secours ». Au Dr Vaidie le traieur de l'extrême, au Dr Gilbert et son bloc du serratus, au Dr Sanson pour sa gentillesse.

Aux chefs de cardio, le Dr Rousselle et son « vous ne savez pas ce qui m'est encore arrivé », aux explications rythmiques du Dr BGM et de Rim et aux autres.

A toutes les personnes (co-interne, infirmier(e)s, AS) qui ont contribué à mon internat. MERCI.

Droits d'auteurs

Cette création est mise à disposition selon le Contrat :

« **Attribution-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de modification 3.0 France** »

disponible en ligne : <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>



Table des matières

Introduction.....	21
I. Matériel et méthode	23
1.1. Type d'étude.....	23
1.2. Population d'étude.....	23
1.2.1. Critères d'inclusion	23
1.2.2. Caractéristiques de la population d'étude.....	23
1.2.2.1. Paramètres cliniques :	23
1.2.2.2. Paramètres hémodynamiques et biologiques :.....	23
1.2.3. Echocardiographie transoesophagienne.....	24
1.3. Critères de jugement	25
1.4. Analyse statistique.....	25
II. Résultats.....	26
2.1. Caractéristiques de la population.....	26
2.2. Analyses des critères de jugement	26
III. Discussion	28
Conclusion.....	32
Références bibliographiques	33
Serment d'Hippocrate	45

Table des illustrations

Figure 1 : Diagramme de flux.....	38
Figure 2 : Diagramme en boîte des mesures des VES par méthode RT3D, bidimensionnelle et doppler.....	39
Figure 3 : Régression linéaire entre les valeurs de VES du VG mesurées en ETO RT3D et par méthode doppler appliquée à la CCVG et entre les valeurs de VES mesurée à partir des volumes de la cavité VG en ETO conventionnelle (bidimensionnelle) et en ETO RT3D	40
Figure 4 : Analyse de Bland et Altman pour l'agrément entre les mesures de VES du VG en ETO RT3D et par méthode doppler appliquée à la CCVG, et entre les valeurs de VES mesurée à partir des volumes de la cavité VG en ETO conventionnelle (bidimensionnelle) et en ETO RT3D.....	41
Figure 5 : Courbes de régression linéaire en fonction du remodelage ventriculaire entre les différentes méthodes de mesure du volume d'éjection systolique du ventricule gauche dans le sous-groupe n'ayant pas de remodelage ventriculaire.....	42
Figure 6 : Courbe de régression linéaire entre les différentes méthodes de mesure du volume d'éjection systolique du ventricule gauche dans le sous-groupe de patients ayant un remodelage ventriculaire.....	43

Table des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques de la population.....	35
Tableau 2 : Paramètres hémodynamiques, respiratoires et biologiques	36
Tableau 3 : Mesures échocardiographiques.....	37

Introduction

La mesure et le monitoring du débit cardiaque chez les patients de réanimation présentant une insuffisance circulatoire aiguë est indispensable afin d'adapter au mieux les interventions thérapeutiques et de suivre leurs effets et leur tolérance (1)(2). Historiquement, ce monitoring hémodynamique était invasif et effectué à l'aide d'un cathéter de Swan-Ganz placé dans l'artère pulmonaire afin de mesurer les pressions, la saturation veineuse en oxygène et le débit cardiaque par thermodilution (3). La thermodilution reste la technique de référence pour la mesure du débit cardiaque au lit du patient (4)(5). Néanmoins, le cathétérisme droit est de moins en moins utilisé depuis plusieurs années étant donné son caractère invasif et l'absence d'impact favorable sur le pronostic des patients. Il a été supplanté par des méthodes de monitoring moins invasives telles que la thermodilution transpulmonaire et l'échocardiographie (5)(6)(7).

Progressivement, l'utilisation de l'échocardiographie s'est généralisée dans les services réanimation et l'échocardiographie transoesophagienne (ETO) est devenu un mode de monitoring hémodynamique de première ligne chez les patients ventilés ayant une insuffisance circulatoire aiguë (8). Elle permet en effet une évaluation globale de la fonction cardiaque en temps réel et une mesure peu invasive du débit cardiaque (9). En ETO, plusieurs méthodes sont possibles pour la mesure du débit cardiaque. La plus répandue et la plus reproductible est la méthode doppler avec la mesure de l'intégrale temps-vitesse dans la chambre de chasse du ventricule gauche (10)(11).

L'avènement des nouvelles techniques échocardiographiques et notamment de l'évaluation tridimensionnelle des structures cardiovasculaires en temps réel ont changé les pratiques en cardiologie, notamment dans l'évaluation des valvulopathies et le suivi de certaines cardiopathies (12). Néanmoins, l'échocardiographie tridimensionnelle en temps réel (RT3D) est encore peu utilisée en réanimation, notamment pour la mesure du débit cardiaque (13). Pourtant, la mesure du volume de la cavité ventriculaire gauche en ETO 3D pourrait être

plus précise que son évaluation en ETO bidimensionnelle pour la mesure du volume d'éjection systolique (VES) et donc permettant une estimation du débit cardiaque plus précise.

L'objectif principal de cette étude était donc d'évaluer l'agrément entre la mesure du VES par ETO RT3D comparée à la méthode doppler utilisée comme référence. L'objectif secondaire était d'évaluer l'agrément entre la mesure du VES par la méthode des volumes VG en imagerie bidimensionnelle conventionnelle et en ETO RT3D.

I. Matériel et méthode

1.1. Type d'étude

Il s'agit d'une étude observationnelle, rétrospective, monocentrique, conduite dans le service de Réanimation Polyvalente du CHU de Limoges de janvier 2010 à décembre 2020.

1.2. Population d'étude

1.2.1. Critères d'inclusion

Les patients étaient étudiés s'ils présentaient l'ensemble des critères suivants : (I) adultes (≥ 18 ans) sous ventilation mécanique ayant bénéficié d'une évaluation par ETO quelle qu'en soit l'indication ; (II) acquisitions d'images en RT3D sur le ventricule gauche stockées sous format numérique (III) acquisitions nécessaires pour calculer le VES par la méthode doppler conventionnelle ; (IV) affiliation à un régime de la Sécurité Sociale ; (V) absence d'opposition du patient ou de son représentant légal à participer à l'étude.

1.2.2. Caractéristiques de la population d'étude

1.2.2.1. Paramètres cliniques :

Pour chaque patient, les caractéristiques suivantes étaient recueillies : âge, sexe, indice de masse corporelle (IMC), indice de Gravité Simplifié (IGS2) à l'admission (14), motif d'admission, antécédents médicaux (cardiopathie, hypertension artérielle, insuffisance respiratoire chronique, insuffisance rénale chronique, traitement habituel), ainsi que le statut vital à la sortie de l'hospitalisation.

1.2.2.2. Paramètres hémodynamiques et biologiques :

Les paramètres suivants étaient recueillis au plus près de la réalisation de l'ETO : fréquence cardiaque (FC), pression artérielle systolique (PAS), diastolique (PAD), moyenne (PAM), pression veineuse centrale (PVC), variation respiratoire de la pression pulsée (VPP), volume courant (V_t), FiO_2 , fréquence respiratoire (FR), pression télé-expiratoire positive totale

(PEP_{totale}), pression de plateau (P_{plat}). Concernant la biologie, on enregistrait les paramètres gazométriques, la lactatémie, le bilan hépatique, la créatininémie, la numération formule sanguine et la coagulation au plus près de l'ETO.

1.2.3. Echocardiographie transoesophagienne

L'ETO était réalisée par un médecin expérimenté avec un échographe EPIQ (Philips) équipé d'une sonde d'ETO RT3D (X7-2t) et les images étaient enregistrées en format DICOM sur un serveur dédié. Les mesures étaient réalisées de manière indépendante *à posteriori* par un opérateur expérimenté sur une plateforme Xcelera (Philips), sans avoir accès au dossier médical du patient.

Pour chaque examen, les mesures suivantes étaient réalisées selon les recommandations actuelles (15)(16): le diamètre de la chambre de chasse du ventricule gauche (CCVG) à partir d'une coupe transoesophagienne basse à 120°, l'intégrale temps-vitesse (ITV) sous-aortique à partir d'une coupe transgastrique à 120°, le volume télédiastolique du VG (VTDVG) et le volume télésystolique du VG (VTSVG) mesurés en imagerie bidimensionnelle à l'aide de la méthode de Simpson modifiée à partir d'une coupe œsophagienne quatre cavités, la vitesse maximale (Vmax) de l'onde E et de l'onde A mitrale et le rapport E/A.

Par méthode doppler appliquée à la CCVG, le VES était obtenu par la formule suivante (10)(11):

$$\text{VES (mL)} = \text{Surface CCVG (cm}^2\text{)} \times \text{ITV CCVG (cm)} \quad \text{avec Surface CCVG} = \pi \times D^2/4$$

D : diamètre de la CCVG (cm)

Par la méthode des volumes VG en imagerie bidimensionnelle et en RT3D, le VES était obtenu à l'aide de la formule suivante :

$$\text{VES (mL)} = \text{VTDVG} - \text{VTSVG (mL)}$$

Les mesures des volumes en RT3D (VTDVG et VTSVG) étaient réalisées avec le logiciel 3DQ sur Qlab (ISCV, Philips).

Chaque fois que des acquisitions en échocardiographie transthoracique (ETT) étaient disponibles, les paramètres suivantes étaient mesurés à partir d'une vue apicale quatre cavités : vitesse maximale de l'onde E' et S' mesurées à l'anneau mitral latéral et septal en doppler tissulaire pulsé, gradient de pression systolique entre l'oreillette droite et le ventricule droit calculée à partir de la vitesse maximale de l'insuffisance tricuspide (V_{max} de l'IT) avec l'équation de Bernoulli simplifiée (17), l'excursion systolique du plan de l'anneau tricuspide (TAPSE). De plus, le diamètre télé-expiratoire de la veine cave inférieure (VCI) était alors mesuré en vue sous-costale.

1.3. Critères de jugement

Le critère de jugement principal était l'agrément entre les valeurs de VES mesurées avec l'ETO RT3D et celles dérivées de la méthode doppler appliquée à la CCVG.

Le critère de jugement secondaire était l'agrément entre les valeurs de VES mesurées avec l'ETO RT3D et celles dérivées de la méthode de Simpson monoplan modifiée en ETO bidimensionnelle conventionnelle.

1.4. Analyse statistique

Les données quantitatives étaient exprimées en médiane avec les 25^{ème} et 75^{ème} percentiles. L'agrément entre les valeurs de VES fournies par les différentes méthodes a été évalué par analyse de Bland-Altman et par régression linéaire avec l'évaluation du coefficient de détermination linéaire de Pearson r^2 . Une valeur de $p < 0,05$ était considérée comme statistiquement significative. Une analyse de sensibilité a été réalisée pour la comparaison des méthodes fondées sur la mesure des volumes de la cavité VG en excluant les patients qui avaient une cardiopathie avec remodelage VG. L'analyse a été effectuée avec le logiciel SPSS (IBM, Chicago, IL, USA).

II. Résultats

2.1. Caractéristiques de la population

Durant la période d'étude, 260 patients ont bénéficié d'une ETO avec acquisition et sauvegarde d'images sous format numérique en RT3D. Parmi ceux-ci, 139 avaient eu des acquisitions en RT3D centrées sur le ventricule gauche (VG). Vingt-trois patients n'ont pas pu être étudiés devant des données non exploitables en raison d'une qualité d'image insuffisante (Figure 1). Finalement, 116 patients ont été étudiés (âge : 60 ans [46-69] ; hommes : 70 % ; IGS2 : 41 [32-50] ; IMC : 30 [26-34]). Le motif d'admission était principalement médical (86 %) avec une prédominance de syndrome de détresse respiratoire aiguë (SDRA) et de sepsis pour respectivement 34% et 25% des cas. La principale comorbidité était l'hypertension artérielle dans 37% des cas (Tableau 1). Plus d'un tiers des patients nécessitaient un support vasopresseur. La lactatémie médiane était de 1,86 mmol/L (Tableau 2). La mortalité en réanimation atteignait 36%.

2.2. Analyses des critères de jugement

Le VES médian mesuré par la méthode doppler était de 38 mL (30 - 45), et la valeur médiane du VES mesuré avec la méthode des volumes bidimensionnelle et en RT3D était de 39mL (31 - 47) et de 42mL (34 - 50,7), respectivement (Figure 2). Les valeurs de VES obtenues en RT3D étaient significativement corrélées avec celles dérivées de la méthode doppler (r^2 : 0,678 ; $p < 0,001$). De la même façon, les valeurs de VES obtenues en RT3D étaient significativement corrélées avec celles dérivées de la méthode des volumes monoplan en imagerie bidimensionnelle (r^2 : 0,628 ; $p < 0,001$) (Figure 3).

Le biais moyen entre les valeurs de VES obtenues en ETO RT3D et par méthode doppler appliquée à la CCVG était de 3,11 mL (intervalle de confiance à 95% [IC] : 1,7 - 4,5 mL), avec un écart-type de 7,6 mL, des limites d'agrément de -11,9 à 18,12 mL et un pourcentage d'erreur de 71%. Le biais moyen entre les valeurs de VES obtenues en RT3D et en imagerie bidimensionnelle était de 1,58 mL (IC 95% : -0,15 – 3,31 mL), avec un écart-type de 9,3 mL, des limites d'agrément de -16,76 à 19,92 mL, et un pourcentage d'erreur à 87% (Figure 4).

Vingt et un patients de notre cohorte présentaient un remodelage du VG en raison d'une cardiomyopathie ischémique (CMI) (n = 17), d'une cardiomyopathie dilatée (CMD) (n = 3), et d'une insuffisance mitrale sévère (n = 1). Lorsque l'on s'affranchissait des mesures des patients présentant un remodelage ventriculaire l'agrément était similaire à celui de la population d'étude (r^2 à 0,676 avec $p < 0,001$ entre RT3D et la méthode doppler et r^2 à 0,625 avec $p < 0,001$ entre RT3D et l'évaluation bidimensionnelle) (Figure 5). Dans le sous-groupe de patients ayant une cardiopathie avec remodelage du VG, l'agrément pour la mesure du VES du VG était moins bon entre les différentes méthodes utilisées ($r^2 = 0,479$ entre VES en RT3D et doppler à la CCVG ; $r^2 = 0,461$ entre VES en RT3D et en imagerie bidimensionnelle) (Figure 6). Chez le patient qui avait une insuffisance mitrale sévère, le VES en ETO RT3D était à 49mL, en imagerie bidimensionnelle à 46 mL, et par méthode doppler appliquée à la CCVG à 25 mL.

Les autres mesures échocardiographiques sont listées dans le tableau 3. Les patients présentaient une FEVG médiane à 54% (42-63) avec un VTDVG médian à 80mL (63-97), une ITV CCVG à 18,2 cm (14,0-21,3), une Vmax de l'onde E mitrale à 66cm/s (52-86) et un rapport E/E' moyenné à 8,9 (7,5-11,3).

III. Discussion

Les résultats de cette étude trouvent un agrément entre l'ETO RT3D et la méthode doppler et entre l'ETO RT3D et la méthode bidimensionnelle en ETO pour la mesure du VES du VG. En présence d'un remodelage VG, cette corrélation est plus lâche. Le biais moyen est faible donc acceptable, mais la précision de la mesure reste moyenne, sans augurer pour autant de la fiabilité de la mesure pour quantifier les variations de VES sous l'effet d'interventions thérapeutiques qui n'a pas été évaluée dans cette étude.

Il s'agit de la première étude menée en réanimation visant à comparer les trois méthodes de mesure du VES, donc du débit cardiaque, en ETO chez des patients ventilés. L'ETO est actuellement recommandée en première intention pour l'évaluation hémodynamique des patients de réanimation ayant une défaillance circulatoire aiguë (1). L'intérêt de l'ETO par rapport à l'ETT réside dans sa meilleure résolution spatiale en raison d'une fréquence d'émission des ultrasons supérieure qui permet une analyse morphologique plus fine des structures anatomiques et des courants sanguins par l'effet Doppler (9), notamment chez les patients en état critique sous ventilation mécanique dont les fenêtres acoustiques en ETT sont souvent suboptimales. La mesure du VES chez les patients de réanimation en défaillance circulatoire aiguë est un élément central de l'évaluation hémodynamique puisque le débit cardiaque est un pilier fondamental de la perfusion tissulaire et du transport en oxygène (18).

Nos résultats sont comparables à ceux rapportés dans la littérature (13)(19). En effet, dans l'étude de Hammoudi et al. (13) qui a été réalisée chez quinze patients de réanimation sous ventilation mécanique admis principalement pour cause médicale (73 %), les auteurs ont évalué la faisabilité de l'ETO RT3D pour le monitoring du débit cardiaque en prenant comme référence la thermodilution transpulmonaire. Ils ont rapporté un bon agrément entre les techniques (r^2 à 0,78 ; $p < 0,0001$) avec un biais moyen estimé sur le débit cardiaque à 0,38 L/min (écart type à : +2DS : 2,74 ; -2DS : -1,97 L/min). Dans l'étude de Canty et al. (19) réalisée sur une cohorte prospective de 82 patients de chirurgie cardiaque, les auteurs cherchaient à comparer l'agrément du débit cardiaque mesuré en ETO RT3D et par méthode

doppler d'une part avec la thermodilution transpulmonaire. Les auteurs rapportaient une corrélation significative entre l'ETO RT3D et la thermodilution transpulmonaire et un biais moyen à -1,84 L/min (-3,99 / -0,23) entre ETO doppler et thermodilution, et 0,04 L/min (-2,35 / +2,42) entre ETO RT3D et thermodilution. En prenant en compte la fréquence cardiaque de chacun de nos patients, nous obtenons un biais moyen entre l'ETO RT3D et la méthode doppler et entre l'ETO RT3D et l'évaluation bidimensionnelle de 0,28 L/min (-1,58 / +2,14) et de 0,14 L/min (-1,72 / +2), respectivement. En réanimation, seule une étude a cherché à comparer l'ETT RT3D, l'ETT bidimensionnelle et la méthode doppler sur une population de 92 patients (20). A l'inverse de notre étude et de la littérature, les auteurs rapportaient une tendance à une sous-estimation du VES par la méthode ETT RT3D avec un biais moyen à -2,6 mL et -2,8 mL entre respectivement l'ETT RT3D et la méthode doppler et le l'ETT RT3D et la méthode bidimensionnelle. Une étude animale sur le porc (21) comparant la thermodilution transpulmonaire à l'échocardiographie trouvait une meilleure corrélation entre thermodilution transpulmonaire et RT3D (biais = -1,6mL ; IC 95% : -4,3mL / -1,1mL ; p=0,22) qu'entre thermodilution transpulmonaire et méthode bidimensionnelle (biais = 6,5 mL ; IC 95% : 3,9 - 9,0mL ; p<0,001).

Historiquement, en cardiologie, l'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) cardiaque constitue la référence pour la mesure des volumes des cavités cardiaques, et notamment des ventricules (22). Initialement, l'ETT RT3D a été validée contre l'IRM, avec un meilleur agrément que l'ETT bidimensionnelle puisqu'elle ne nécessite pas d'assomptions géométriques pour la mesure du volume de la cavité VG (23)(24). Plus récemment, une étude a montré une bonne corrélation entre ETO RT3D et ETT RT3D pour l'estimation des volumes VG (25) validant donc indirectement l'ETO RT3D contre l'IRM. Néanmoins, la sous-estimation du volume de la cavité VG en imagerie bidimensionnelle, qu'il s'agisse de l'ETT ou de l'ETO n'a que peu de répercussion sur l'évaluation de la sévérité de la dilatation cavitaire du VG (26). De plus, cette sous-estimation touche proportionnellement aussi bien le volume cavitaire en télédiastole qu'en télésystole. Pas conséquence, le calcul du VES est peu impacté tout comme

celui de la fraction d'éjection du VG car les imprécisions de mesures s'annulent. La sous-estimation des volumes est plus importante avec l'ETO qu'avec l'ETT bidimensionnelle, mais les mêmes constatations concernant le calcul du VES s'appliquent. Ces constatations expliquent probablement pourquoi l'ETO RT3D ne semble pas apporter de précision supplémentaire à l'ETO bidimensionnelle pour la mesure du VES lorsqu'on la compare à la méthode Doppler dans notre population d'étude. En effet, la corrélation significative était légèrement supérieure, mais sans pertinence clinique (r^2 à 0,678 contre 0,626) et le biais moyen était comparable.

Chez les malades présentant un remodelage du VG en lien avec une cardiopathie sous-jacente (n=21), l'agrément entre les techniques de mesure du VES était inférieur à celui du reste de la population. L'évaluation géométrique du volume de la cavité VG peut être mis en défaut en cas de remodelage important rendant donc moins opérant la méthode bidimensionnelle par rapport à l'ETO RT3D. De plus, la méthode doppler peut être prise en défaut avec la problématique d'alignement du doppler pulsé mais surtout la difficulté de mesurer précisément la chambre de chasse du VG dont l'erreur est élevée à la puissance quatre (11). Le patient qui présentait une insuffisance mitrale importante dans la cohorte présente confirme l'invalidité de la méthode Doppler dans le contexte de valvulopathie pertinente (28).

Dans l'étude présente, 23 patients n'ont pas pu être inclus en raison d'un défaut de qualité d'image en ETO, soit une faisabilité de 83 p.100. L'évaluation hémodynamique par ETO RT3D est une nouvelle technique qui nécessite une formation supplémentaire, mais pour laquelle la courbe d'apprentissage est rapide (29). De plus avec l'apparition de nouveaux logiciels performants directement disponibles sur la plupart des échographes haut de gamme, la mesure peut être automatisée. Hammoudi et al. (13) rapportaient une faisabilité de l'ETO RT3D de 97 p.100, mais sur une population d'étude sélectionnée avec uniquement quinze patients. En ETT (20), la faisabilité de l'analyse par RT3D a été évaluée à 72 p.100. L'utilisation de l'ETO RT3D pour la mesure du VES du VG chez certains patients ayant un remodelage du

VG ou une valvulopathie pertinente semble pertinente. En revanche, la technique ne semble pas avoir d'avantage pertinent par rapport à la méthode doppler notamment dans la population générale des patients ventilés en réanimation. Enfin, plus que la précision de mesure d'une valeur isolée du VES, la pertinence clinique concerne principalement la capacité de mesurer de manière fiable l'évolution de la valeur du VES sous l'effet d'interventions thérapeutiques (ex, remplissage vasculaire, introduction d'inotropes positifs), ce qui reste à déterminer par une future étude prospective.

Cette étude est limitée par son caractère rétrospectif et monocentrique et s'expose donc à un biais de sélection. De plus, l'analyse volumétrique a été réalisée par des experts a posteriori et ne reflète pas son utilisation pratique au lit du malade. Néanmoins, de plus en plus de médecins réanimateurs se forment à cette technique rendant donc son applicabilité possible à l'avenir (30). Néanmoins, il s'agit de la seule étude s'intéressant à comparer ces trois méthodes de mesure du VES en ETO dans une cohorte représentative des patients de réanimation renforçant sa validité externe.

Conclusion

L'ETO RT3D est réalisable chez une majorité de patients ventilés en réanimation. La mesure du VES du VG en ETO RT3D, bidimensionnelle et avec la méthode doppler appliquée à la chambre de chasse du VG est significativement corrélée. En présence d'un remodelage VG, cette corrélation est moins bonne. Le biais moyen entre ces techniques de mesure est faible mais la précision n'est pas optimale pour la détermination d'une valeur absolue et isolée de VES du VG. L'ETO RT3D pourrait être utilisée pour la mesure du VES en présence d'un remodelage du VG ou d'une valvulopathie pertinente.

Une étude prospective est nécessaire pour confirmer ces résultats préliminaires et surtout évaluer chez des patients ventilés consécutifs qui sont évalués hémodynamiquement par ETO la précision des mesures répétées du VES afin de juger l'efficacité des interventions thérapeutiques ayant pour but d'augmenter le débit cardiaque, en la comparant avec d'autres techniques comme la thermodilution transpulmonaire.

Références bibliographiques

1. Cecconi M, De Backer D, Antonelli M, Beale R, Bakker J, Hofer C, et al. Consensus on circulatory shock and hemodynamic monitoring. Task force of the European Society of Intensive Care Medicine. *Intensive Care Med.* déc 2014;40(12):1795-815.
2. Rhodes A, Evans LE, Alhazzani W, Levy MM, Antonelli M, Ferrer R, et al. Surviving Sepsis Campaign: International Guidelines for Management of Sepsis and Septic Shock: 2016. *Intensive Care Med.* mars 2017;43(3):304-77.
3. Ganz W, Donoso R, Marcus HS, Forrester JS, Swan HJ. A new technique for measurement of cardiac output by thermodilution in man. *Am J Cardiol.* avr 1971;27(4):392-6.
4. De Backer D, Bakker J, Cecconi M, Hajjar L, Liu DW, Lobo S, et al. Alternatives to the Swan-Ganz catheter. *Intensive Care Med.* 2018;44(6):730-41.
5. Teboul J-L, Saugel B, Cecconi M, De Backer D, Hofer CK, Monnet X, et al. Less invasive hemodynamic monitoring in critically ill patients. *Intensive Care Med.* sept 2016;42(9):1350-9.
6. Mercado P, Maizel J, Beyls C, Titeca-Beauport D, Joris M, Kontar L, et al. Transthoracic echocardiography: an accurate and precise method for estimating cardiac output in the critically ill patient. *Crit Care Lond Engl.* 9 juin 2017;21(1):136.
7. Thiele RH, Bartels K, Gan TJ. Cardiac output monitoring: a contemporary assessment and review. *Crit Care Med.* janv 2015;43(1):177-85.
8. Vignon P, Merz TM, Vieillard-Baron A. Ten reasons for performing hemodynamic monitoring using transesophageal echocardiography. *Intensive Care Med.* juill 2017;43(7):1048-51.
9. Boissier F, Bagate F, Mekontso Dessap A. Hemodynamic monitoring using trans esophageal echocardiography in patients with shock. *Ann Transl Med.* juin 2020;8(12):791.
10. Quiñones MA, Otto CM, Stoddard M, Waggoner A, Zoghbi WA, Doppler Quantification Task Force of the Nomenclature and Standards Committee of the American Society of Echocardiography. Recommendations for quantification of Doppler echocardiography: a report from the Doppler Quantification Task Force of the Nomenclature and Standards Committee of the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr Off Publ Am Soc Echocardiogr.* févr 2002;15(2):167-84.
11. 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. *J Am Soc Echocardiogr Off Publ Am Soc Echocardiogr.* janv 2015;28(1):1-39.e14.
12. Houck RC, Cooke JE, Gill EA. Live 3D echocardiography: a replacement for traditional 2D echocardiography? *AJR Am J Roentgenol.* oct 2006;187(4):1092-106.
13. Hammoudi N, Hékimian G, Laveau F, Achkar M, Isnard R, Combes A. Three-dimensional transoesophageal echocardiography for cardiac output in critically ill patients: A pilot study of ultrasound versus the thermodilution method. *Arch Cardiovasc Dis.* 1 janv 2017;110(1):7-13.
14. SFAR - Société Française d'Anesthésie et de Réanimation [Internet]. [cité 8 sept 2021]. Disponible sur: <https://sfar.org/scores/igs2.php>
15. Huang S, Sanfilippo F, Herpain A, Balik M, Chew M, Clau-Terré F, et al. Systematic review and literature appraisal on methodology of conducting and reporting critical-care echocardiography studies: a report from the European Society of Intensive Care Medicine PRICES expert panel. *Ann Intensive Care.* 25 avr 2020;10(1):49.
16. Sanfilippo F, Huang S, Herpain A, Balik M, Chew MS, Clau-Terré F, et al. The PRICES statement: an ESICM expert consensus on methodology for conducting and reporting critical care echocardiography research studies. *Intensive Care Med.* janv 2021;47(1):1-13.
17. Brault C, Marc J, Mercado P, Diouf M, Tribouilloy C, Zerbib Y, et al. Estimation of

Pulmonary Artery Occlusion Pressure Using Doppler Echocardiography in Mechanically Ventilated Patients. *Crit Care Med.* oct 2020;48(10):e943-50.

18. McLean AS. Echocardiography in shock management. *Crit Care Lond Engl.* 20 août 2016;20:275.
19. Cauty DJ, Kim M, Guha R, Pham T, Royse AG, Errey-Clarke S, et al. Comparison of Cardiac Output of Both 2-Dimensional and 3-Dimensional Transesophageal Echocardiography With Transpulmonary Thermodilution During Cardiac Surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* janv 2020;34(1):77-86.
20. Orde S, Slama M, Stanley N, Huang S, Mclean A. Feasibility of biventricular 3D transthoracic echocardiography in the critically ill and comparison with conventional parameters. *Crit Care Lond Engl.* 19 août 2018;22(1):198.
21. Shimada YJ, Ishikawa K, Kawase Y, Ladage D, Tilemann L, Shiota T, et al. Comparison of Left Ventricular Stroke Volume Assessment by Two- and Three-Dimensional Echocardiography in a Swine Model of Acute Myocardial Infarction Validated by Thermodilution Method. *Echocardiography.* 2012;29(9):1091-5.
22. Seraphim A, Knott KD, Augusto J, Bhuva AN, Manisty C, Moon JC. Quantitative cardiac MRI. *J Magn Reson Imaging JMRI.* mars 2020;51(3):693-711.
23. Jacobs LD, Salgo IS, Goonewardena S, Weinert L, Coon P, Bardo D, et al. Rapid online quantification of left ventricular volume from real-time three-dimensional echocardiographic data. *Eur Heart J.* févr 2006;27(4):460-8.
24. Chuang ML, Hibberd MG, Salton CJ, Beaudin RA, Riley MF, Parker RA, et al. Importance of imaging method over imaging modality in noninvasive determination of left ventricular volumes and ejection fraction: assessment by two- and three-dimensional echocardiography and magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol.* févr 2000;35(2):477-84.
25. Saha SK, Kiotsekoglou A, Gopal AS. P306 Left ventricular volumes during 3D transesophageal echocardiography in comparison to those obtained by 3D transthoracic echocardiogram. A feasibility study. *Eur Heart J - Cardiovasc Imaging [Internet].* 1 janv 2020 [cité 6 sept 2021];21(Supplement_1). Disponible sur: <https://doi.org/10.1093/ehjci/jez319.159>
26. Meris A, Santambrogio L, Casso G, Mauri R, Engeler A, Cassina T. Intraoperative three-dimensional versus two-dimensional echocardiography for left ventricular assessment. *Anesth Analg.* 1 avr 2014;118(4):711-20.
27. Cowie B, Kluger R, Kalpokas M. Left ventricular volume and ejection fraction assessment with transoesophageal echocardiography: 2D vs 3D imaging. *Br J Anaesth.* févr 2013;110(2):201-6.
28. Thavendiranathan P, Liu S, Datta S, Rajagopalan S, Ryan T, Igo SR, et al. Quantification of chronic functional mitral regurgitation by automated 3-dimensional peak and integrated proximal isovelocity surface area and stroke volume techniques using real-time 3-dimensional volume color Doppler echocardiography: in vitro and clinical validation. *Circ Cardiovasc Imaging.* 1 janv 2013;6(1):125-33.
29. Ujvári A, Lakatos BK, Tokodi M, Fábíán A, Merkely B, Kovács A. Evaluation of Left Ventricular Structure and Function using 3D Echocardiography. *J Vis Exp JoVE.* 28 oct 2020;(164).
30. Vignon P. What is new in critical care echocardiography? *Crit Care.* 22 févr 2018;22:40.

Tableau 1 : Caractéristiques de la population

Variables	Valeurs
Age (années)	60 (46 - 69)
Sexe (homme) (%)	82 (70)
IMC (kg/m²)	30 (26 - 34)
IGS2	41 (32-50)
Motif d'admission	
<u>Médical</u>	100 (86)
SDRA	40 (34)
Sepsis / Choc septique	29 (25)
Arrêt cardiaque	9 (8)
Neurologie	6 (5)
Choc cardiogénique	5 (4)
Embolie pulmonaire	3 (3)
Pathologies respiratoires	3 (3)
Intoxication	3 (3)
Choc hémorragique	1 (1)
Cirrhose	1 (1)
<u>Chirurgical</u>	16 (14)
Polytraumatisme	7 (6)
Neurochirurgie	4 (3,5)
Chirurgie vasculaire	3 (2,5)
Chirurgie digestive	2 (2)
Antécédents	
Cardiopathie (%)	13 (11)
Ischémique	11 (9)
Hypertrophique	1 (1)
Dilatée	1 (1)
Hypertension artérielle (%)	43 (37)
Insuffisance respiratoire (%)	12 (10)
Insuffisance rénale (%)	4 (3)
Traitements habituels	
Béta bloquant (%)	17 (15)
IEC (%)	13 (11)
Inhibiteurs calciques (%)	14 (12)
Diurétiques (%)	13 (11)
Mortalité de toute cause en réanimation (%)	42 (36)

Tableau 2 : Paramètres hémodynamiques, respiratoires et biologiques

Variables	Valeurs
Paramètres hémodynamiques	
FC	101 (85-113)
PAS	127 (110-144)
PAD	70 (62-78)
PAM	87 (78-100)
PVC	9 (7-11)
Delta PP	7 (4-13)
Vasopresseurs (%)	43 (37)
Paramètres respiratoires	
Volume courant (mL)	450 (422-475)
PEP _{totale} (cmH ₂ O)	8 (6-10)
Fréquence respiratoire (cpm)	22 (20-24)
Paramètres biologiques	
pH	7,33 (7,25-7,42)
PaCO ₂ (mmHg)	42,5 (35-51)
PaO ₂ (mmHg)	89,5 (70-122)
Bicarbonates (mmol/L)	22,5 (19,5-24,8)
ScVO ₂ (%)	75 (71-81)
PvCO ₂ (mmHg)	52,9 (43,9-60,4)
SaO ₂ (%)	95,7 (92,5-98,3)
Troponine (ng/L)	36,5 (15-368)
Bilirubine totale (μmol/L)	11 (5,7-24,6)
ASAT (UI/L)	66 (31,7-146)
ALAT (UI/L)	42 (21-107)
Créatinine (μmol/L)	86,5 (58,7-164,5)
Lactate (mmol/L)	1,86 (1,18-3,8)
INR	1,22 (1,18-1,51)
TP (%)	73 (54-84)
GB (G/L)	10 (7,5-16,4)
Hb (g/dL)	11,5 (10-13,1)
Plaquettes (G/L)	203 (117-285)

Abréviations : FC=fréquence cardiaque, PAS=Pression artérielle systolique, PAD=Pression artérielle diastolique, PAM=Pression artérielle moyenne, PVC=Pression veineuse centrale, PEP_{totale}=Pression télé-expiratoire positive

Tableau 3 : Mesures échocardiographiques

Mesures échocardiographiques	Valeurs
CCVG (cm)	2,1 (1,9-2,3)
ITV CCVG (cm)	18,2 (14,0-21,3)
FEVG (%)	54 (42-63)
VTDVG 2D (mL)	80 (63-97)
VTSVG 2D (mL)	35 (25-50)
VTDVG 3D (mL)	83 (68-104)
VTSVG 3D (mL)	40 (28-55)
VES par méthode doppler (mL)	38,1 (30,1-44,7)
VES par méthode Simpson monoplan (mL)	39,0 (31,0-47,0)
VES par méthode RT3D (mL)	42,0 (34,0-50,7)
Vmax E mitrale (cm/s)	66 (52-86)
Vmax A mitrale (cm/s)	69 (57-88)
E/A	0,9 (0,73-1,29)
Vmax E' latérale (cm/s)	9,6 (7,8 (7,8-12,4)
Vmax E' médiale (cm/s)	7,5 (6,3-9,5)
E/E' moyenné	8,9 (7,5-11,3)
Vmax S' VG latérale (cm/s)	11,6 (8,9-14,1)
Surface télédiastolique VD (cm ²)	19 (16-22)
Surface télédiastolique VG (cm ²)	28 (23-30)
Rapport des surfaces télédiastoliques VD/VG	0,64 (0,53-0,75)
TAPSE (mm)	21 (18-24)
Onde S' VD (cm/s)	15,1 (12-17,5)
Vmax IT (cm/s)	3,2 (2,8-3,6)
Diamètre télé-expiratoire de la VCI (mm)	22 (18,5-25)

Abréviations : CCVG=Chambre de chasse du ventricule gauche, FEVG=Fraction d'éjection ventriculaire gauche, VTDVG= Volume télédiastolique du ventricule gauche, VTSVG=Volume télésystolique du ventricule gauche, TAPSE=Excursion systolique de l'anneau tricuspide

Figure 1 : Diagramme de flux

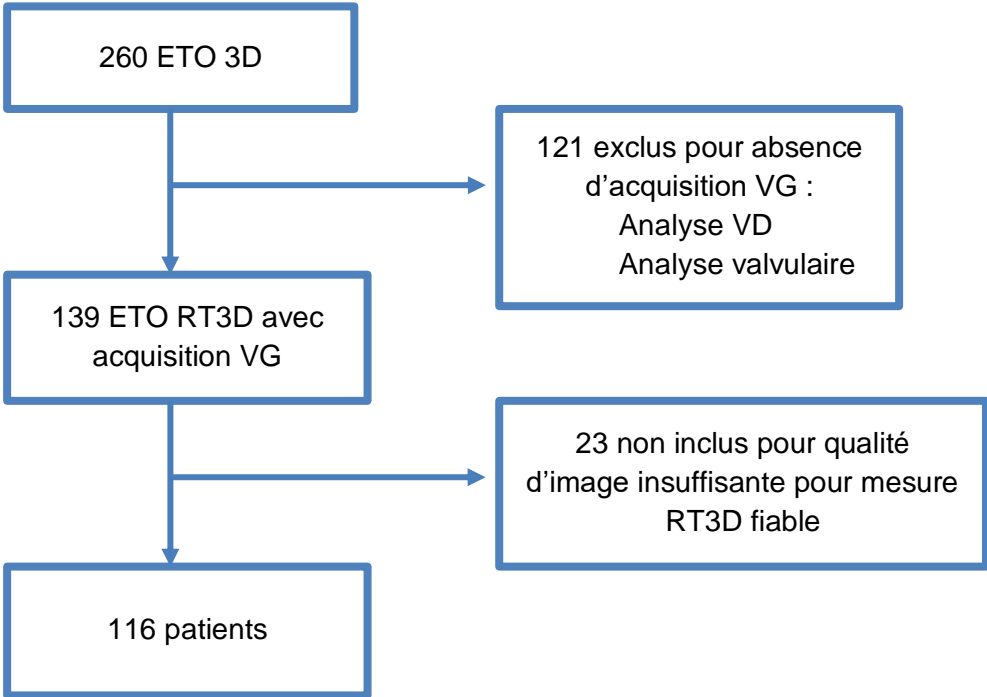


Figure 2 : Diagramme en boîte des mesures des VES par méthode RT3D, bidimensionnelle et doppler

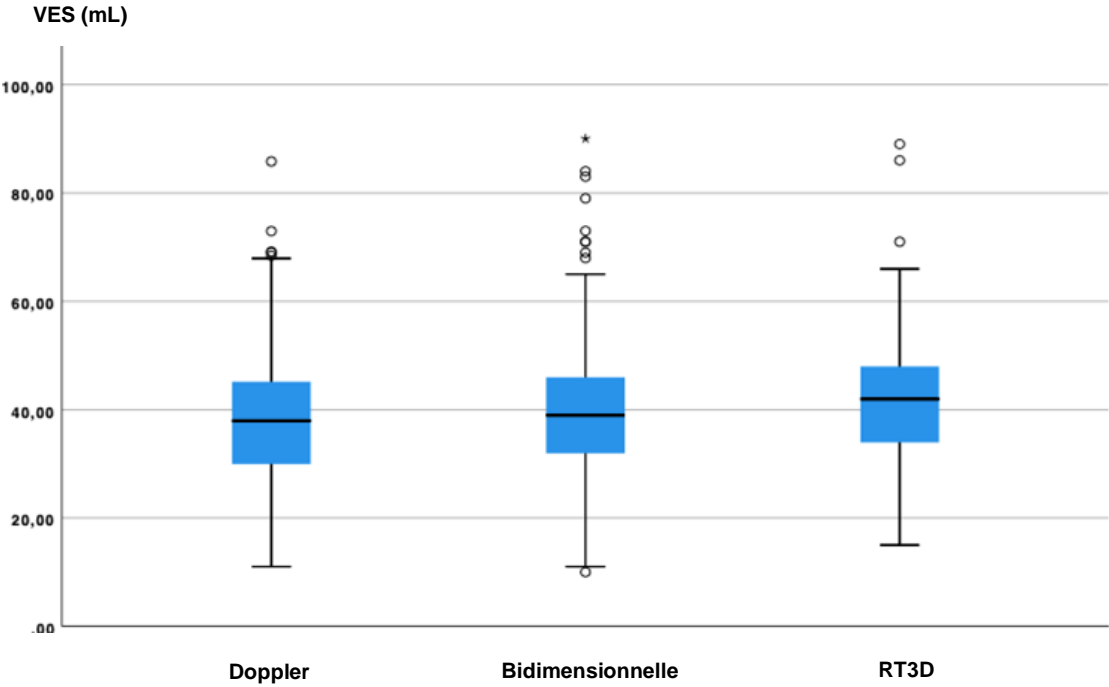


Figure 3 : Régression linéaire entre les valeurs de VES du VG mesurées en ETO RT3D et par méthode doppler appliquée à la CCVG et entre les valeurs de VES mesurée à partir des volumes de la cavité VG en ETO conventionnelle (bidimensionnelle) et en ETO RT3D

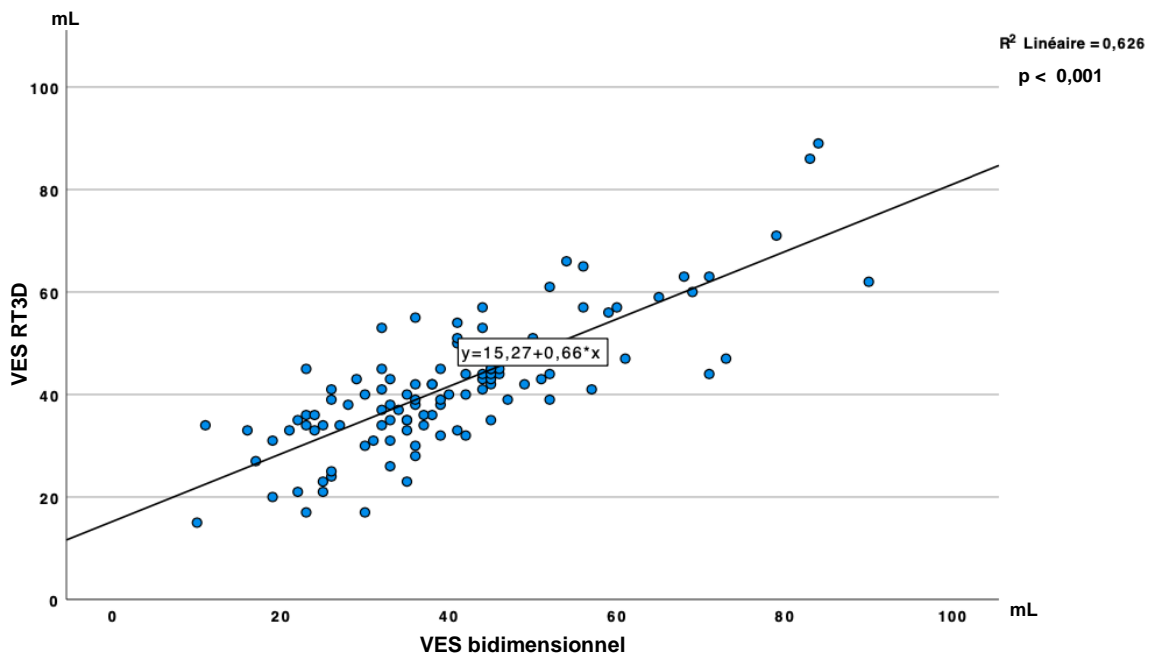
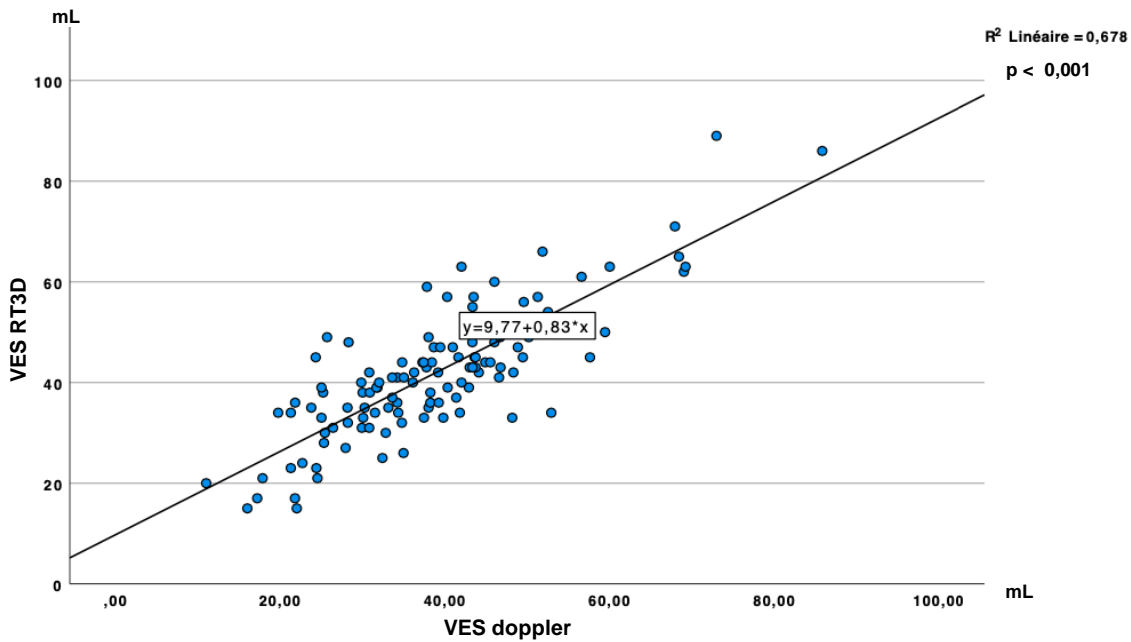


Figure 4: Analyse de Bland et Altman pour l'agrément entre les mesures de VES du VG en ETO RT3D et par méthode doppler appliquée à la CCVG, et entre les valeurs de VES mesurée à partir des volumes de la cavité VG en ETO conventionnelle (bidimensionnelle) et en ETO RT3D

Chaque point représente un patient et chaque point est proportionnel à la valeur du VTDVG (mL)

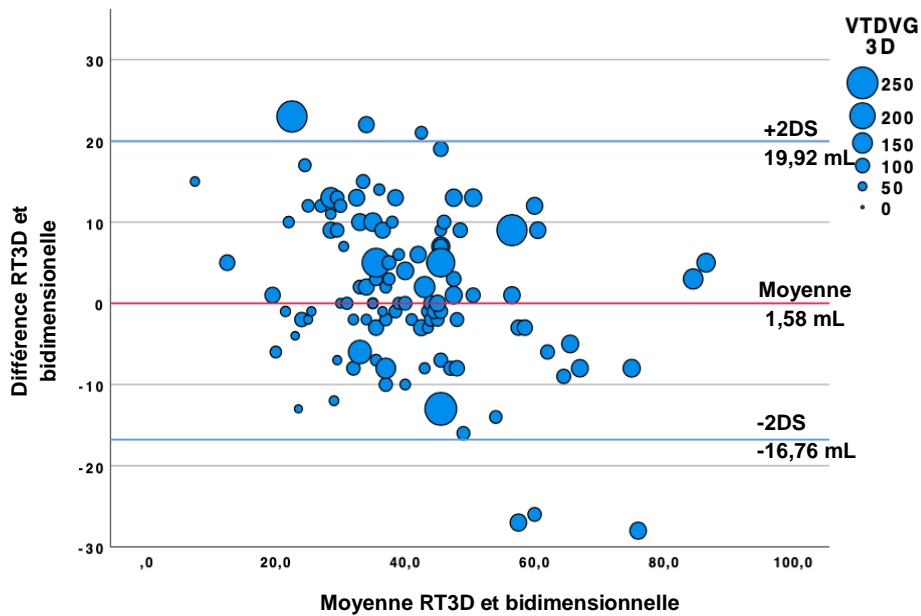
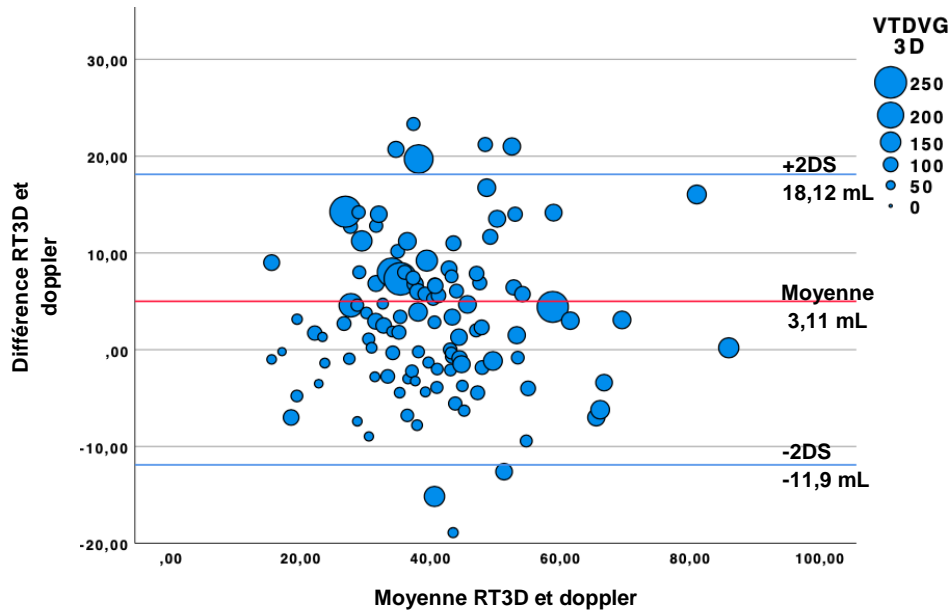


Figure 5 : Courbes de régression linéaire en fonction du remodelage ventriculaire entre les différentes méthodes de mesure du volume d'éjection systolique du ventricule gauche dans le sous-groupe n'ayant pas de remodelage ventriculaire

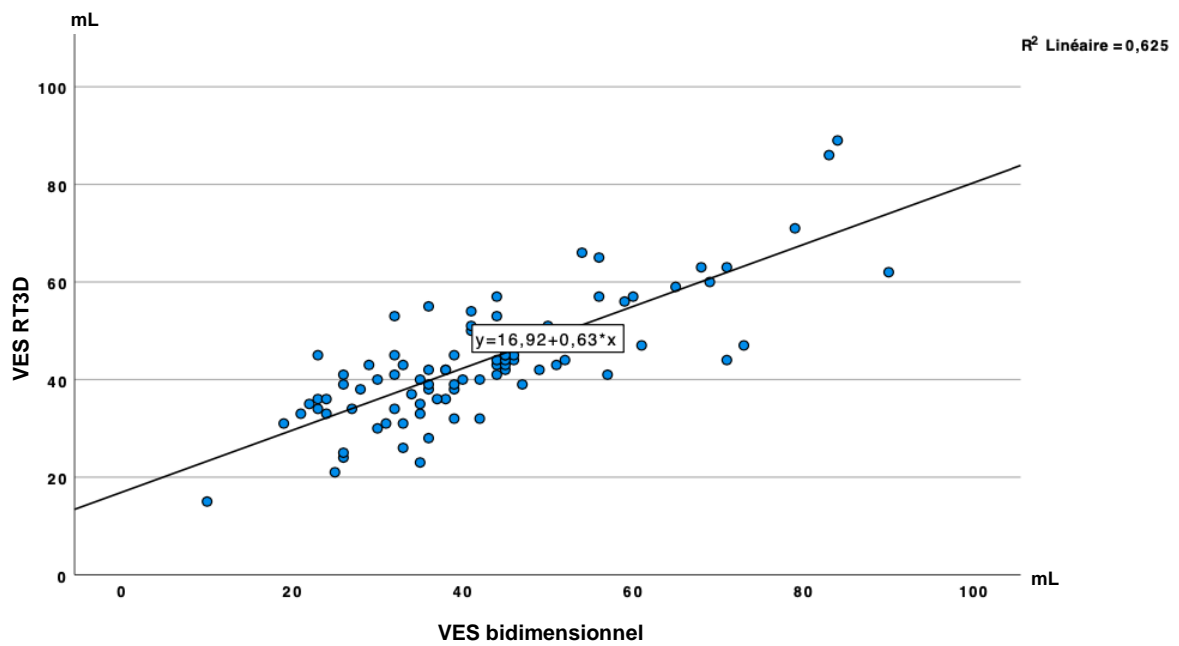
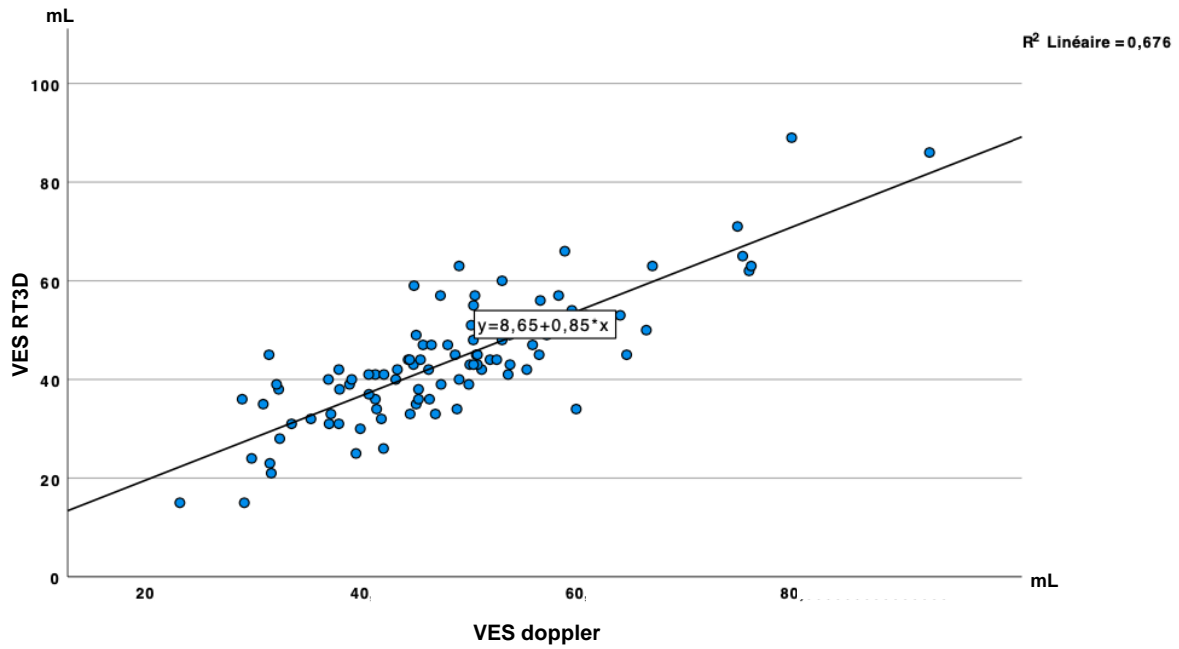
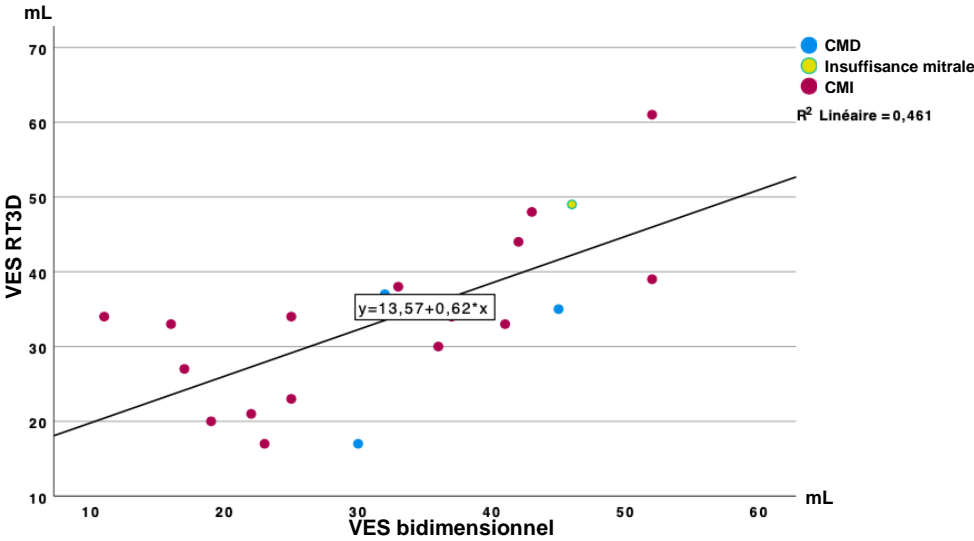
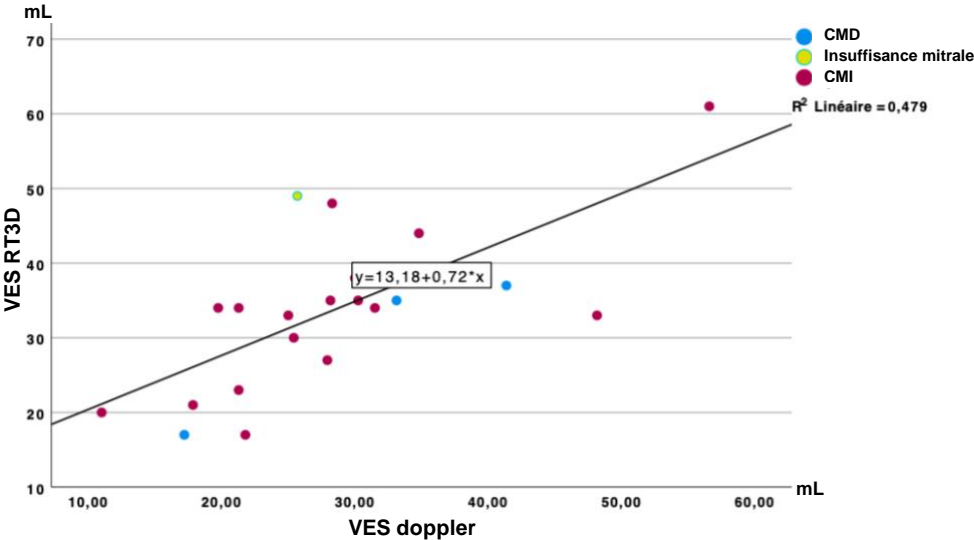


Figure 6 : Courbe de régression linéaire entre les différentes méthodes de mesure du volume d'éjection systolique du ventricule gauche dans le sous-groupe de patients ayant un remodelage ventriculaire



Serment d'Hippocrate

En présence des maîtres de cette école, de mes 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 dispenserai mes soins sans distinction de race, de religion, d'idéologie ou de situation sociale.

Admis à 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 les crimes.

Je serai reconnaissant envers mes maîtres, et solidaire moralement de mes confrères. Conscient de mes responsabilités envers les patients, je continuerai à perfectionner mon savoir.

Si je remplis ce serment sans l'enfreindre, qu'il me soit donné de jouir de l'estime des hommes et de mes condisciples, si je le viole et que je me parjure, puissé-je avoir un sort contraire.

[Comparaison du volume d'éjection systolique ventriculaire gauche en échocardiographie transoesophagienne par méthode tridimensionnelle, bidimensionnelle et doppler chez les patients ventilés]

Introduction : L'échocardiographie transoesophagienne (ETO) est un outil de monitoring hémodynamique de première ligne chez nos patients de réanimation. De nouvelles techniques telles que l'analyse tridimensionnelle en temps réel (RT3D) pourraient permettre une estimation plus précise pour la mesure du volume d'éjection systolique (VES). L'objectif principal de cette étude était donc d'évaluer l'agrément entre la mesure du VES par ETO RT3D comparée à la méthode doppler. **Patients et méthodes :** Il s'agit d'une étude rétrospective, observationnelle, monocentrique réalisée de janvier 2010 à décembre 2020 dans le service de Réanimation Polyvalente du CHU de Limoges. Les patients éligibles étaient ceux sous ventilation mécanique et ayant bénéficié d'ETO avec acquisition en RT3D. Le critère de jugement principal était l'agrément entre les valeurs de VES entre ETO RT3D et par méthode doppler. Le critère de jugement secondaire était l'agrément entre VES en ETO RT3D et par la méthode bidimensionnelle avec analyse chez les patients présentant un remodelage ventriculaire gauche. **Résultats :** Entre janvier 2010 et décembre 2020, 260 patients ont bénéficié d'une ETO avec analyse en RT3D. Parmi eux, 139 avaient eu des acquisitions centrées sur le ventricule gauche (VG) ; 116 patients ont finalement été retenus dans notre étude avec une faisabilité évaluée à 92%. Les VES mesurés par méthode doppler, RT3D et bidimensionnelle étaient respectivement de 38,1mL, 39mL et 42mL. L'agrément entre RT3D et doppler était retrouvé (r^2 : 0,678 ; $p < 0,001$) de même qu'entre RT3D et par méthode bidimensionnelle (r^2 : 0,628 ; $p < 0,001$). L'agrément n'était plus retrouvé entre les techniques en présence d'un remodelage ventriculaire. Le biais moyen entre les valeurs de VES par ETO RT3D et par méthode doppler était de 3,11mL (IC à 95% : 1,7-4,5 mL) et de 1,58mL entre ETO RT3D et méthode bidimensionnelle (IC à 95% : -0,15-3,31 mL). **Conclusion :** L'ETO RT3D est réalisable chez nos patients de réanimation. Elle semble permettre une meilleure analyse volumétrique ventriculaire gauche. Une étude prospective semble nécessaire pour confirmer ces résultats en fonction des interventions thérapeutiques.

Mots-clés : échocardiographie transoesophagienne, volume d'éjection systolique

Comparison of left ventricular stroke volume in transesophageal echocardiography using three- dimensional, two-dimensional and doppler methods in ventilated patients

Introduction: Transesophageal echocardiography (TEE) is a first-line hemodynamic monitoring tool in our intensive care patients. New techniques such as real-time three-dimensional analysis (RT3D) could allow more precise estimation for the measurement of stroke volume (SV). The main objective of this study was therefore to assess the agreement between the SV measurement by TEE RT3D compared to the doppler method. **Patients and methods:** This is a retrospective, observational, single-center study carried out from January 2010 to December 2020 in the Intensive care unit (ICU) of Limoges University Hospital. Eligible patients were those on mechanical ventilation who had received TEE with RT3D acquisition. The primary outcome was SV values agreement between TEE RT3D and by doppler method. The secondary endpoint was agreement between SV in TEE RT3D and by two-dimensional (2D) method with analysis in patients with left ventricular remodeling. **Results:** Between January 2010 and December 2020, 260 patients underwent RT3D TEE analysis. Among them, 139 had acquired acquisitions centered on the left ventricle (LV); 116 patients were finally retained in our study with a feasibility at 92%. The SV measured by doppler, RT3D and 2D were 38,1 mL, 39mL and 42mL respectively. Agreement between RT3D and doppler was found (r^2 : 0,678 ; $p < 0,001$) as well as between RT3D and 2D (r^2 : 0,628 ; $p < 0,001$). Agreement was no longer found between techniques in the presence of ventricular remodeling. The mean bias between SV values by RT3D and doppler method was 3,11mL (95% CI: 1,7-4,5mL) and 1,58mL between RT3D and 2D (95% CI : -0,15-3,31 mL) **Conclusion:** RT3D TEE is feasible in mechanically ventilated patients. It seems to allow a better left ventricular volumetric analysis. A prospective study seems necessary to confirm these results depending on the therapeutic interventions.

Keywords : Transesophageal echocardiography, stroke volume

