



HAL
open science

Étude auto-VTI: évaluation de la concordance entre deux méthodes de mesure échographique de la trace de l'intégrale temps-vitesse sous aortique chez des patients de réanimation en insuffisance circulatoire aiguë

Baptiste Emond

► To cite this version:

Baptiste Emond. Étude auto-VTI: évaluation de la concordance entre deux méthodes de mesure échographique de la trace de l'intégrale temps-vitesse sous aortique chez des patients de réanimation en insuffisance circulatoire aiguë. Médecine humaine et pathologie. 2021. dumas-03521315

HAL Id: dumas-03521315

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03521315v1>

Submitted on 13 Jan 2022

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - ShareAlike 4.0 International License

UNIVERSITE DE MONTPELLIER
FACULTE DE MEDECINE MONTPELLIER-NIMES

THESE

Pour obtenir le titre de
DOCTEUR EN MEDECINE

Présentée et soutenue publiquement par
Baptiste EMOND

Le 01/10/2021

**ETUDE AUTO-VTI : EVALUATION DE LA CONCORDANCE ENTRE
DEUX METHODES DE MESURE ECHOGRAPHIQUE DE LA TRACE
DE L'INTEGRALE TEMPS-VITESSE SOUS AORTIQUE CHEZ DES
PATIENTS DE REANIMATION EN INSUFFISANCE CIRCULATOIRE
AIGUE**

Directrice de thèse : Professeure Claire ROGER

JURY

Président : Pr LEFRANT Jean-Yves

Assesseurs :

Pr Pascal COLSON

Pr Laurent MULLER

Pr Claire ROGER

UNIVERSITE DE MONTPELLIER
FACULTE DE MEDECINE MONTPELLIER-NIMES

THESE

Pour obtenir le titre de
DOCTEUR EN MEDECINE

Présentée et soutenue publiquement par
Baptiste EMOND

Le 01/10/2021

**ETUDE AUTO-VTI : EVALUATION DE LA CONCORDANCE ENTRE
DEUX METHODES DE MESURE ECHOGRAPHIQUE DE LA TRACE
DE L'INTEGRALE TEMPS-VITESSE SOUS AORTIQUE CHEZ DES
PATIENTS DE REANIMATION EN INSUFFISANCE CIRCULATOIRE
AIGUE**

Directrice de thèse : Professeure Claire ROGER

JURY

Président : Pr LEFRANT Jean-Yves

Assesseurs :

Pr Pascal COLSON

Pr Laurent MULLER

Pr Claire ROGER

ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021

PERSONNEL ENSEIGNANT

Professeurs Honoraires

ALBAT Bernard	BRUNEL Michel	HUMEAU Claude	MIRO Luis
ALLIEU Yves	CANAUD Bernard	JAFFIOL Claude	NAVARRO Maurice
ALRIC Robert	CHAPTAL Paul-André	JANBON Charles	NAVRATIL Henri
ARNAUD Bernard	CIURANA Albert-Jean	JANBON François	OTHONIEL Jacques
ASENCIO Gérard	CLOT Jacques	JARRY Daniel	PAGES Michel
ASTRUC Jacques	COSTA Pierre	JOURDAN Jacques	PEGURET Claude
AUSSILLOUX Charles	D'ATHIS Françoise	KLEIN Bernard	PELISSIER Jacques
AVEROUS Michel	DEMAILLE Jacques	LAFFARGUE François	PETIT Pierre
AYRAL Guy	DESCOMPS Bernard	LALLEMANT Jean Gabriel	POUGET Régis
BAILLAT Xavier	DIMEGLIO Alain	LAMARQUE Jean-Louis	PUJOL Henri
BALDET Pierre	DUBOIS Jean Bernard	LAPEYRIE Henri	RABISCHONG Pierre
BALDY-MOULINIER Michel	DUJOLS Pierre	LEROUX Jean-Louis	RAMUZ Michel
BALMES Jean-Louis	DUMAS Robert	LESBROS Daniel	REBOUL Jean
BANSARD Nicole	DUMAZER Romain	LOPEZ François Michel	RIEU Daniel
BAYLET René	ECHENNE Bernard	LORIOT Jean	ROCHEFORT Henri
BILLIARD Michel	FABRE Serge	LOUBATIERES Marie Madeleine	ROUANET DE VIGNE LAVIT Jean Pierre
BLARD Jean-Marie	FREREBEAU Philippe	MAGNAN DE BORNIER Bernard	SAINT AUBERT Bernard
BLAYAC Jean Pierre	GALIFER René Benoît	MARTY ANE Charles	SANCHO-GARNIER Hélène
BLOTMAN Francis	GODLEWSKI Guilhem	MARY Henri	SANY Jacques
BONNEL François	GRASSET Daniel	MATHIEU-DAUDE Pierre	SEGNARBIEUX François
BOURGEOIS Jean-Marie	GUILHOU Jean-Jacques	MEYNADIER Jean	SENAC Jean-Paul
BOUSQUET Jean	GUI TER Pierre	MICHEL François-Bernard	SERRE Arlette
BRUEL Jean Michel	HEDON Bernard	MION Charles	SOLASSOL Claude
BUREAU Jean-Paul	HERTAULT Jean	MION Henri	VIDAL Jacques
			VISIER Jean Pierre

Professeurs Emérites

ARTUS Jean-Claude	LE QUELLEC Alain
BLANC François	MARES Pierre
BONAFE Alain	MAUDELONDE Thierry
BOULENGER Jean-Philippe	MAURY Michèle
BOURREL Gérard	MESSNER Patrick
BRINGER Jacques	MILLAT Bertrand
CLAUSTRES Mireille	MONNIER Louis
DAURES Jean-Pierre	MOURAD Georges
DAUZAT Michel	PREFAUT Christian
DAVY Jean-Marc	PUJOL Rémy
DEDET Jean-Pierre	RIBSTEIN Jean
ELEDJAM Jean-Jacques	SCHVED Jean-François
GROLLEAU RAOUX Robert	SULTAN Charles
GUERRIER Bernard	TOUCHON Jacques
GUILLOT Bernard	UZIEL Alain
JONQUET Olivier	VOISIN Michel
LANDAIS Paul	ZANCA Michel
LARREY Dominique	

Docteurs Emérites

PRAT Dominique
PUJOL Joseph

ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021

PERSONNEL ENSEIGNANT

Professeurs des Universités - Praticiens Hospitaliers

PU-PH de classe exceptionnelle

ALRIC Pierre	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option chirurgievasculaire)
BACCINO Eric	Médecine légale et droit de la santé
BASTIEN Patrick	Parasitologie et mycologie
BEREGI Jean-Paul	Radiologie et imagerie médicale
BLAIN Hubert	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecinegénérale, addictologie
BOULOT Pierre	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
CAPDEVILA Xavier	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
CHAMMAS Michel	Chirurgie orthopédique et traumatologique
COLSON Pascal	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
COMBE Bernard	Rhumatologie
COSTES Valérie	Anatomie et cytologie pathologiques
COTTALORDA Jérôme	Chirurgie infantile
COUBES Philippe	Neurochirurgie
COURTET Philippe	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
CRAMPETTE Louis	Oto-rhino-laryngologie
CRISTOL Jean Paul	Biochimie et biologie moléculaire
CYTEVAL Catherine	Radiologie et imagerie médicale
DE LA COUSSAYE Jean Emmanuel	Médecine d'urgence
DE WAZIERES Benoît	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
DELAPORTE Eric	Maladies infectieuses ; maladies tropicales
DEMOLY Pascal	Pneumologie ; addictologie
DOMERGUE Jacques	Chirurgie viscérale et digestive

DUFFAU Hugues	Neurochirurgie
ELIAOU Jean François	Immunologie
FABRE Jean Michel	Chirurgie viscérale et digestive
FRAPIER Jean-Marc	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
HAMAMAH Samir	Biologie et Médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
HERISSON Christian	Médecine physique et de réadaptation
JABER Samir	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
JEANDEL Claude	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
JORGENSEN Christian	Thérapeutique ; médecine d'urgence ; addictologie
KOTZKI Pierre Olivier	Biophysique et médecine nucléaire
LABAUGE Pierre	Neurologie
LEFRANT Jean-Yves	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
LEHMANN Sylvain	Biochimie et biologie moléculaire
LUMBROSO Serge	Biochimie et Biologie moléculaire
MERCIER Jacques	Physiologie
MEUNIER Laurent	Dermato-vénéréologie
MONDAIN Michel	Oto-rhino-laryngologie
MORIN Denis	Pédiatrie
PAGEAUX Georges-Philippe	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
PUJOL Pascal	Biologie cellulaire
QUERE Isabelle	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option médecine vasculaire)
RENARD Eric	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale
REYNES Jacques	Maladies infectieuses, maladies tropicales
RIPART Jacques	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
ROUANET Philippe	Cancérologie ; radiothérapie
SOTTO Albert	Maladies infectieuses ; maladies tropicales
TAOUREL Patrice	Radiologie et imagerie médicale

TOUITOU Isabelle

Génétique

VANDE PERRE Philippe

Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière

YCHOU Marc

Cancérologie ; radiothérapie

PU-PH de 1^{re} classe

AGUILAR MARTINEZ Patricia

Hématologie ; transfusion

ASSENAT Éric

Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie

AVIGNON Antoine

Nutrition

AZRIA David

Cancérologie ; radiothérapie

BAGHDADLI Amaria

Pédopsychiatrie ; addictologie

BLANC Pierre

Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie

BORIE Frédéric

Chirurgie viscérale et digestive

BOURDIN Arnaud

Pneumologie ; addictologie

CAMBONIE Gilles

Pédiatrie

CAMU William

Neurologie

CANOVAS François

Anatomie

CAPTIER Guillaume

Anatomie

CARTRON Guillaume

Hématologie ; transfusion

CAYLA Guillaume

Cardiologie

CHANQUES Gérald

Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire

CORBEAU Pierre

Immunologie

COULET Bertrand

Chirurgie orthopédique et traumatologique

CUVILLON Philippe

Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire

DADURE Christophe

Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire

DAUVILLIERS Yves

Physiologie

DE TAYRAC Renaud

Gynécologie-obstétrique, gynécologie médicale

DE VOS John

Histologie, embryologie et cytogénétique

DEMARIA Roland	Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
DEREURE Olivier	Dermatologie - vénéréologie
DROUPY Stéphane	Urologie
DUCROS Anne	Neurologie
DUPEYRON Arnaud	Médecine physique et de réadaptation
FESLER Pierre	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
GARREL Renaud	Oto-rhino-laryngologie
GENEVIEVE David	Génétique
GUILLAUME Sébastien	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
GUIU Boris	Radiologie et imagerie médicale
HAYOT Maurice	Physiologie
HOUEDE Nadine	Cancérologie ; radiothérapie
KLOUCHE Kada	Médecine intensive-réanimation
KOENIG Michel	Génétique
KOUYOUMDJIAN Pascal	Chirurgie orthopédique et traumatologique
LAFFONT Isabelle	Médecine physique et de réadaptation
LAVABRE-BERTRAND Thierry	Histologie, embryologie et cytogénétique
LAVIGNE Jean-Philippe	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
LE MOING Vincent	Maladies infectieuses ; maladies tropicales
LECLERCQ Florence	Cardiologie
MARIANO-GOULART Denis	Biophysique et médecine nucléaire
MATECKI Stéfan	Physiologie
MORANNE Olivier	Néphrologie
MOREL Jacques	Rhumatologie
NAVARRO Francis	Chirurgie viscérale et digestive
NOCCA David	Chirurgie viscérale et digestive
PASQUIE Jean-Luc	Cardiologie

PERNEY Pascal	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
PRUDHOMME Michel	Anatomie
PUJOL Jean Louis	Pneumologie ; addictologie
PURPER-OUAKIL Diane	Pédopsychiatrie ; addictologie
ROGER Pascal	Anatomie et cytologie pathologiques
TRAN Tu-Anh	Pédiatrie
VERNHET Hélène	Radiologie et imagerie médicale
<u>PU-PH de 2ème classe</u>	
BOURGIER Céline	Cancérologie; radiothérapie
CANAUD Ludovic	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option chirurgievasculaire)
CAPDEVIELLE Delphine	Psychiatrie d'Adultes ; addictologie
CLARET Pierre-Géraud	Médecine d'urgence
COLOMBO Pierre-Emmanuel	Cancérologie ; radiothérapie
COSTALAT Vincent	Radiologie et imagerie médicale
DAIEN Vincent	Ophtalmologie
DORANDEU Anne	Médecine légale et droit de la santé
FAILLIE Jean-Luc	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
FUCHS Florent	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
GABELLE DELOUSTAL Audrey	Neurologie
GAUJOUX Viala Cécile	Rhumatologie
GODREUIL Sylvain	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
GUILPAIN Philippe	Médecine Interne, gériatrie et biologie du vieillissement; addictologie
HERLIN Christian	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique, brulologie
IMMEDIATO DAIEN Claire	Rhumatologie
JACOT William	Cancérologie ; Radiothérapie
JEZIORSKI Eric	Pédiatrie

JUNG Boris	Médecine intensive-réanimation
KALFA Nicolas	Chirurgie infantile
LACHAUD Laurence	Parasitologie et mycologie
LALLEMANT Benjamin	Oto-rhino-laryngologie
LE QUINTREC DONNETTE Moglie	Néphrologie
LETOUZHEY Vincent	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
LONJON Nicolas	Neurochirurgie
LOPEZ CASTROMAN Jorge	Psychiatrie d'Adultes ; addictologie
LUKAS Cédric	Rhumatologie
MENJOT de CHAMPFLEUR Nicolas	Radiologie et imagerie médicale
MILLET Ingrid	Radiologie et imagerie médicale
MURA Thibault	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de la communication
NAGOT Nicolas	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de la communication
OLIE Emilie	Psychiatrie d'adultes; addictologie
PANARO Fabrizio	Chirurgie viscérale et digestive
PARIS Françoise	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
PELLESTOR Franck	Histologie, embryologie et cytogénétique
PEREZ MARTIN Antonia	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option médecine vasculaire)
POUDEROUX Philippe	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
RIGAU Valérie	Anatomie et cytologie pathologiques
RIVIER François	Pédiatrie
ROSSI Jean François	Hématologie ; transfusion
ROUBILLE François	Cardiologie
SEBBANE Mustapha	Médecine d'urgence
SIRVENT Nicolas	Pédiatrie
SOLASSOL Jérôme	Biologie cellulaire
STOEBNER Pierre	Dermato-vénéréologie

SULTAN Ariane	Nutrition
THOUVENOT Éric	Neurologie
THURET Rodolphe	Urologie
TUAILLON Edouard	Bactériologie-virologie; hygiène hospitalière
VENAIL Frédéric	Oto-rhino-laryngologie
VILLAIN Max	Ophthalmologie
VINCENT Denis	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecinegénérale, addictologie
VINCENT Thierry	Immunologie
WOJTUSCISZYN Anne	Endocrinologie-diabétologie-nutrition

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

1^{re} classe :

COLINGE Jacques (Cancérologie, Signalisation cellulaire et systèmes complexes)

LAOUDJ CHENIVESSE Dalila (Biochimie et biologie moléculaire)

VISIÈRE Laurent (Sociologie, démographie)

PROFESSEURS DES UNIVERSITES - Médecine générale

1^{re} classe :

LAMBERT Philippe

AMOUYAL Michel

PROFESSEURS ASSOCIES - Médecine Générale

CLARY Bernard

DAVID Michel

GARCIA Marc

PROFESSEURS ASSOCIES - Médecine

BESSIS Didier (Dermato-vénérologie)

MEUNIER Isabelle (Ophtalmologie)

MULLER Laurent (Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire)

PERRIGAULT Pierre-François (Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire)

QUANTIN Xavier (Pneumologie)

ROUBERTIE Agathe (Pédiatrie)

VIEL Eric (Soins palliatifs et traitement de la douleur)

ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021

PERSONNEL ENSEIGNANT

Maîtres de Conférences des Universités - Praticiens Hospitaliers

MCU-PH Hors classe - Echelon Exceptionnel

RICHARD Bruno	Médecine palliative
SEGONDY Michel	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière

MCU-PH Hors classe

BADIOU Stéphanie	Biochimie et biologie moléculaire
BOULLE Nathalie	Biologie cellulaire
CACHEUX-RATABOUL Valère	Génétique
CARRIERE Christian	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
CHARACHON Sylvie	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
FABBRO-PERAY Pascale	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
GIANSILY-BLAIZOT Muriel	Hématologie ; transfusion

MCU-PH de 1^{re} classe

BERTRAND Martin	Anatomie
BOUDOUSQ Vincent	Biophysique et médecine nucléaire
BRET Caroline	Hématologie biologique
BROUILLET Sophie	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
COSSEE Mireille	Génétique
GIRARDET-BESSIS Anne	Biochimie et biologie moléculaire
LAVIGNE Géraldine	Hématologie ; transfusion
LESAGE François-Xavier	Médecine et Santé au Travail
MARTRILLE Laurent	Médecine légale et droit de la santé
MATHIEU Olivier	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie

MOUZAT Kévin	Biochimie et biologie moléculaire
PANABIERES Catherine	Biologie cellulaire
RAVEL Christophe	Parasitologie et mycologie
SCHUSTER-BECK Iris	Physiologie
STERKERS Yvon	Parasitologie et mycologie
THEVENIN-RENE Céline	Immunologie

MCU-PH de 2^{ème} classe

BERGOUGNOUX Anne	Génétique
CHIRIAC Anca	Immunologie
DE JONG Audrey	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
DU THANH Aurélie	Dermato-vénéréologie
FITENI Frédéric	Cancérologie ; radiothérapie
GOUZI Farès	Physiologie
HERRERO Astrid	Chirurgie viscérale et digestive
HUBERLANT Stéphanie	Gynécologie-obstétrique ; Gynécologie médicale
KUSTER Nils	Biochimie et biologie moléculaire
MAKINSON Alain	Maladies infectieuses, Maladies tropicales
PANTEL Alix	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
PERS Yves-Marie	Thérapeutique; addictologie
ROUBILLE Camille	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
SZABLEWSKY	Anatomie et cytologie pathologiques

Maîtres de Conférences des Universités - Médecine Générale

MCU-MG de 1^{re} classe

COSTA David

OUDE ENGBERINK Agnès

MCU-MG de 2^{ème} classe

FOLCO-LOGNOS Béatrice

CARBONNEL François

Maîtres de Conférences associés - Médecine Générale

CAMPAGNAC Jérôme

LOPEZ Antonio

MILLION Elodie

PAVAGEAU Sylvain

REBOUL Marie-Catherine

SERAYET Philippe

ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021

PERSONNEL ENSEIGNANT

Maitres de Conférences des Universités

Maîtres de Conférences hors classe

BADIA Eric	Sciences biologiques fondamentales et cliniques
CHAZAL Nathalie	Biologie cellulaire

Maîtres de Conférences de classe normale

BECAMEL Carine	Neurosciences
BERNEX Florence	Physiologie
CHAUMONT-DUBEL Séverine	Sciences du médicament et des autres produits de santé
DELABY Constance	Biochimie et biologie moléculaire
GUGLIELMI Laurence	Sciences biologiques fondamentales et cliniques
HENRY Laurent	Sciences biologiques fondamentales et cliniques
HERBET Guillaume	Neurosciences
LADRET Véronique	Mathématiques appliquées et applications des mathématiques
LAINÉ Sébastien	Sciences du Médicament et autres produits de santé
LE GALLIC Lionel	Sciences du médicament et autres produits de santé
LOZZA Catherine	Sciences physico-chimiques et technologies pharmaceutiques
MAIMOUN Laurent	Sciences physico-chimiques et ingénierie appliquée à la santé
MOREAUX Jérôme	Science biologiques, fondamentales et cliniques
MORITZ-GASSER Sylvie	Neurosciences
MOUTOT Gilles	Philosophie
PASSERIEUX Emilie	Physiologie
RAMIREZ Jean-Marie	Histologie
RAYNAUD Fabrice	Sciences du Médicament et autres produits de santé
TAULAN Magali	Biologie Cellulaire

ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021

PERSONNEL ENSEIGNANT

Praticiens Hospitaliers Universitaires

BARATEAU Lucie	Physiologie
BASTIDE Sophie	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
CAZAUBON Yoann	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
DAGNEAUX Louis	Chirurgie orthopédique et traumatologique
DUFLOS Claire	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de la communication
GOULABCHAND Radjiv	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
LATTUCA Benoit	Cardiologie
MARIA Alexandre	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
MIOT Stéphanie	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
SARRABAY Guillaume	Génétique
SOUICHE François-Régis	Chirurgie viscérale et digestive

ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021

PERSONNEL ENSEIGNANT

PH chargés d'enseignements

ABOUKRAT Patrick	BLANCHET Catherine	COROIAN Flavia-Oana	GINIES Patrick
AKKARI Mohamed	BLATIERE Véronique	COUDRAY Sarah	GRECO Frédéric
ALRIC Jérôme	BOBBIA Xavier	CRANSAC Frédéric	GUEDJ Anne Marie
AMEDRO Pascal	BOGE Gudrun	CUNTZ Danielle	GUYON Gaël
AMOUROUX Cyril	BOURRAIN Jean Luc	DARDALHON Brigitte	HENRY Vincent
ANTOINE Valéry	BOUYABRINE Hassan	DAVID Aurore	JAMMET Patrick
ARQUIZAN Caroline	BRINGER-DEUTSCH Sophie	DE BOUTRAY Marie	JEDRYKA François
ATTALIN Vincent	BRINGUIER BRANCHEREAU Sophie	DE LA TRIBONNIÈRE Xavier	JREIGE Riad
AYRIGNAC Xavier	BRISOT Dominique	DEBIEN Blaise	KINNE Mélanie
BADR Maliha	BRONER Jonathan	DELPONT Marion	LABARIAS Coralie
BAIS Céline	CADE Stéphane	DENIS Hélène	LACAMBRE Mathieu
BARBAR Saber Davide	CAIMMI Davide Paolo	DEVILLE de PERIERE Gilles	LANG Philippe
BASSET Didier	CARR Julie	DJANIKIAN Flora	LAZERGES Cyril
BATIFOL Dominique	CARTIER César	DONNADIEU-RIGOLE Hélène	LE GUILLOU Cédric
BATTISTELLA Pascal	CASPER Thierry	FAIDHERBE Jacques	LEGLISE Marie Suzanne
BAUCHET Luc	CASSINOTTO Christophe	FATTON Brigitte	LOPEZ Régis
BENEZECH Jean-Pierre	CATHALA Philippe	FAUCHERRE Vincent	LUQUIENS Amandine
BENNYS Karim	CAZABAN Michel	FILLERON Anne	MANZANERA Cyril
BERNARD Nathalie	CHARBIT Jonathan	FITENI Frédéric	MARGUERITTE Emmanuel
BERTCHANSKY Ivan	CHEVALLIER Thierry	FOURNIER Philippe	MARTIN Lucille
BIBOULET Philippe	CHEVALLIER-MICHAUD Josyane	GAILLARD Nicolas	MATTATIA Laurent
BIRON-ANDREANI Christine	COLIN Olivier	GALMICHE Sophie	MEROUEH Fadi

BLANC Brigitte	CONSEIL Mathieu	GENY Christian	MEYER Pierre
BLANCHARD Sylvie	CORBEAU Catherine	GERONIMI Laetitia	MILESI Christophe
MORAU Estelle	SEGURET Fabienne	MOSER Camille	SENESSE Pierre
MOUSTY Eve	SKALLI El Medhi	MOUTERDE Gaël	SOLA Christelle
PANSARD Nicole	SOULLIER Camille	PERNIN Vincent	STOEBNER DELBARRE Anne
PERRIGAULT Pierre François	TEOT Luc	PEYRON Pierre-Antoine	THIRION Marina

REMERCIEMENTS

A mon jury de thèse

Professeure Claire ROGER, merci de m'avoir encadré dans la réalisation de ce travail depuis sa conception jusqu'à sa rédaction, ce qui constitue une vraie initiation à la recherche clinique pour moi. Merci pour les qualités qui sont tiennes, qui rendent le travail avec toi agréable et qui sont source d'exemple : ta pédagogie, ta grande rigueur, ta capacité à encadrer sans « faire à la place de » mais en autonomisant, ta bienveillance, ton expertise dans des domaines pourtant très variés.

Professeur Laurent MULLER, merci en premier lieu d'avoir été à l'origine de l'idée initiale et de la conception de cette étude, et de m'avoir proposé ce travail comme thèse d'exercice. Merci pour ta bienveillance, ton accessibilité, ton humanisme, tes qualités pédagogiques incroyables, et le partage de ton expertise à la fois hémodynamique et échographique (entre autres...) grâce auquel j'ai tant appris.

Professeur Jean-Yves LEFRANT, premier et pour le moment dernier PU-PH avec qui j'ai partagé une partie de football... Merci pour ton accessibilité, pour ces quelques gardes partagées, ta capacité à créer des comparaisons, métaphores ou simples anecdotes dont il est peu dire qu'elles sont originales, et pour les désormais célèbres « wagons de l'hémoglobine » et réplique culte « Lefrant comme l'ancienne monnaie ».

Merci à vous équipe Nimoïse pour ces moments passés dans votre service qui reste pour moi un modèle, en particulier dans certains domaines comme la gestion de l'éthique. Merci aussi pour vos enseignements concernant la communication avec les familles dans les situations difficiles, et pour votre capacité à intégrer l'interne à l'équipe et à prendre en compte ses remarques dans les décisions collectives.

Professeur Pascal COLSON, merci d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse, pour vos enseignements en garde au lit du malade, et de me faire confiance pour intégrer l'équipe en tant qu'assistant des hôpitaux au DAR-D.

Aux autres personnes impliquées dans ce projet

A tous ceux ayant participé de près ou de loin aux inclusions des patients : internes (**Cléa, Pierre-Baptiste, Thomas, Marine, Jade, Anaëlle, Charlotte, Chloé...**) et sénior (**Florian, Sylvain, Claire, Laurent, Nicolas, Geoffroy, Stéphanie...**), merci pour le temps pris sur votre activité clinique pour faire avancer ce projet.

A l'ensemble des ARCs et IDEs de recherche des réanimations du CHU de Nîmes impliquées dans cette étude : **Audrey, Sophie, Loubna**, merci pour votre aide précieuse tout au long de l'inclusion des patients, mais aussi pour votre bonne humeur et votre sympathie constantes.

Benjamin, bien que tu n'aies pu t'occuper du projet dans son ensemble, merci pour ton intervention méthodologique dans sa phase finale, qui m'a permis de grandement faire évoluer ma réflexion.

Thibault Mura, merci également pour nos échanges lors de la phase de rédaction de ce travail, qui m'ont permis d'améliorer ma compréhension de certains points méthodologiques et statistiques.

Enfin, **Myriam**, un immense merci et une très grande reconnaissance pour toute l'énergie que tu as dépensée pour m'aider dans ce travail. Merci pour ta disponibilité malgré tes obligations dans ta vie personnelle. Merci d'être allée au bout des choses, merci pour ton amour du travail exact et bien fait.

A ma famille

A mes parents, merci pour votre soutien indéfectible durant toutes ces années d'étude, m'aillant permis d'arriver là où je suis aujourd'hui.

Maman, j'ai conscience du caractère éprouvant de ces longues années, partageant les moments d'anxiété, de doute, de joie, de frustration, de satisfaction... On peut dire que tu es en quelques sortes toi aussi devenue médecin, par procuration, alors félicitations ! J'ai conscience aussi de tous les sacrifices concédés pour la réussite de tes enfants, je pense désormais que tu peux être fière. Enfin, je suis à jamais reconnaissant de l'éducation et des valeurs de droiture, de respect, d'amour des choses bien faites, toujours teinté d'une profonde bienveillance que tu as réussi à transmettre.

Papa, merci pour le support technique couteau-suisse plus qu'utile apporté durant ces années, passant du pit-stop pour changement de pneu de voiture à l'optimisation micro-patrimoniale, jusqu'à l'impression-livraison express de photocopies, sans oublier évidemment les moments de détente d'évasion motorisée.

A mon frère, Adrien, bien qu'un chouilla pénible en tout début de carrière, tu es comme le bon vin tu te bonifies. Merci pour ces fous rires partagés, mais surtout pour les bons moments qui restent à venir.

A tout le reste de ma famille, la vie a fait que l'intervalle séparant chacune de nos retrouvailles s'est peu à peu allongé depuis plusieurs années, à fortiori malheureusement encore plus depuis cet épisode COVID... Sachez que je garde en mémoire tous ces très bons moments partagés ensemble, des rendez-vous annuels sampignolais, aux vacances landaises, au ski, ou encore sous la mousse du Cap d'Agde... Merci.

A mes amis

A mes amis glorious, Thibaut, Pierre-Yves, Gauthier, Jean-Charles, Julien, Jean-Baptiste, les membres fondateurs de la NorthEastRider (j'avoue ne pas assumer l'orthographe original) ne l'oublions pas ! De nombreuses années que l'on se connaît, beaucoup de souvenirs communs. Et bien que nos rencontres soient moins fréquentes désormais, toujours la même simplicité, le même naturel quand l'on se revoit.

Sans oublier **Nicolas**... J'aurais aimé que tu assistes à ce moment, mais la vie en a malheureusement décidé autrement.

A mes amis Bourguignons, co-externes et plus anciens :

Camille, Margot, Julie, Marine et Théo, merci d'avoir mis du relief à ces années de lycée, mais surtout d'avoir été pour la plupart compagnons de galère en P1.

Florentine, merci pour la personne très attentionnée en amitié que tu es, merci de m'avoir aidé à surmonter ces nombreux moments de doutes ponctuant l'externat, merci pour tous ces moments partagés, ces petits thés à l'ambiance so Hygge dont tu as le secret.

Hugo, ta joie de vivre, ton enthousiasme à tout épreuve, et ton optimisme inébranlable me laissent encore rêveur... Merci pour tous ces moments partagés, ce voyage au Vietnam qui restera gravé.

Eve-nini, merci depuis toutes ces années pour ta simplicité, ton ouverture d'esprit, ta tolérance et ta bienveillance, t'es vraiment mon gars-sûr ! Du nouvel an frauduleux à la randonnée israélo-albanaise, merci pour ces moments singuliers.

Clément et Thibault, merci d'abord parce que je dois énormément à mes faisans de compagnons de sous-colle ma réussite à l'examen. Merci ensuite parce que même si c'était une année de galère, je garde un tellement bon souvenir de nos soirées de labeur ensembles, ponctuées de fous rires, de bières, de pizzas et de matchs. Enfin, merci Clément pour ces voyages partagés, surtout en taxi autour Grenoble.

Claire et JB, merci pour ces moments partagés avec toi Claire durant l'externat, et avec vous deux en Afrique du Sud, mais surtout pour les futurs que nous allons vivre ensemble à la Réunion !

A mes amis sudistes, par ordre à peu près chronologique :

Florent, plus connu sous le nom de Dr Le Street, président de l'amicale des joueurs de Gobbit francophones dont il remporte le tournoi chaque année, agaçant ainsi grandement ses petits camarades. Première rencontre de ma vie d'interne, merci pour ton optimisme à toute épreuve, tes capacités d'écoute et tes séances de psychothérapie, ton enthousiasme à la création de nouveaux projets voyage ou aventure. En espérant partager enfin une expérience kitesurfesque heureuse ensemble un jour, et pourquoi pas avec **Chris**, le plus français des Canadiens.

Eddine et Ophélie, merci pour votre activisme tout-terrain au service des causes les plus nobles (en dépit d'un gros penchant pour la kichta) via vos activités de membres permanents du conseil de la Oyster Rider Crew, ou encore de fondateurs du mouvement anti-nachos. Merci pour toutes les aventures vécues ensemble.

Aux autres rencontres perpignanaises : **Laysa**, la gentillesse a désormais un prénom. Merci pour ta grande générosité, et pour tous ces stages passés ensemble au cours desquels travailler avec toi fut toujours un très grand plaisir. **Arnaud**, merci pour ta bonne humeur et pour tes bons conseils grimpe. **Marion**, il est loin le temps du ski catalans et autres grands buffets... sans doute remédierons-nous à cela lors du prochain épisode de la croisière s'amuse aux Antilles ou dans l'océan Indien.

A mes colocataires du SSR du Mas de Mourgues : **Yann**, même si cela m'a coûté un couteau en céramique dont l'absence m'est encore pénible, merci au soutien du grand frère de mes débuts anesthésiologiques, merci aussi pour ces moments partagés ensembles dont je garde un souvenir incroyable, à la voile comme en randonnée espagnole ; **Camille** merci pour ta psychothérapie réconfortante dans les moments de doute des débuts ; **Cyprien**, merci pour ton humour sarcastique pathognomonique égayant nos moments de vie commune ; **Oriane**, à quand une petite soirée ket' !?

Caroline, merci d'avoir accompagné mes premiers pas cardiologiques, merci d'être une personne sur laquelle on peut compter en cas de coup dur, tmtc comme disent les jeunes

Adrien, plus grand ayatollah de l'optimisme actuellement encore en activité, merci pour ces excellents moments partagés sur les spatules, à quand le raid norvégien ? **Lucie**, cette fario reste à ce jour toujours mon plus grand succès halieutique (pas facile de caser ce mot dans une thèse médicale donc plutôt fier j'avoue), merci pour cette initiation. **Maud et Thibault**, tenanciers de la plus hospitalière auberge nîmoise, merci pour ces moments sportifs ou enneigés partagés ensemble.

Julien, merci pour cette collaboration en cuisine qui m'a semblé très fructueuse lors de nos mois de colocation commune, merci aussi d'avoir accompagné mes débuts en escalade.

Chirine, on ne se quitte plus mais wallah j'te jure c'est le hasard je ne t'ai pas mis sur écoute ! L'interchu en plein ère de covidie, c'était mal parti, mais finalement il me semble que nous nous en sommes plutôt bien sortis ! Merci pour tes invitations chaleureuses dans ton antre de la vie alternative grenobloise.

Nico et Aude, merci pour votre accueil spontané et chaleureux à l'occasion de tous nos petits dinées hivernaux post-grimpe

Zahir et Charlotte, merci pour votre accueil toujours à bras ouverts, merci d'avoir été mon deuxième chez moi, ma deuxième famille, celle dans le sud. Merci pour ces nombreuses soirées ~~œnologiques~~ ~~œnologiques~~ petites partagées.

Yasmina, aussi intransigeante avec elle-même qu'avec ceux qui l'encouragent au pied du mur, merci pour ton caractère entier, et aussi bien trempé. Aller, aller, aller ! Bientôt dans le 7 !

A mes amis CAFistes :

Louise, merci pour ta joie de vivre et ta bonne humeur inaltérable au cours de nos nombreuses aventures vers les sommets. Il va quand même falloir remédier un jour à cet échec aux portes du Grand Paradis...

Thierry, merci pour ta grande générosité, ton hospitalité au QG faranchin, ces excellents moments en montagne, à ski ou en alpi, merci de m'avoir fait grandir dans l'activité.

Aux très belles rencontres Grenobloises :

A mes excellentes « colocatrices », militantes du collectif pour la reconnaissance de la qualité de travailleur handicapé de cette bonne vieille Nadine. **Justine**, merci de m'avoir fait découvrir de l'intérieur la vraie vie d'une instagirl, la découverte des flocons d'avoine à l'eau chaude, un merci plus de politesse pour les bières sans alcool, mais merci surtout pour ta positivité inusable et ton côté toujours bonne ambiance sans prise de tête. **Lucie**, merci de toujours mettre un point d'honneur à préciser le contexte exact dans lequel s'inscrivent les histoires que tu t'appêtes à conter, merci aussi de ne jamais confondre le petit déjeuner avec le déjeuner ou le dîner car c'est important. Mais surtout merci pour ton caractère très attentionné, et pour toutes ces incroyables expériences sur les reliefs qui assurément seront encore nombreuses.

Cécile et Vincent, merci pour toutes ces sorties en montagne partagées ensemble, ces moments étaient toujours hyper plaisants en votre compagnie, j'ai hâte de la suite !

Edouard et Lauren, tellement content d'avoir rencontré le couple grenoblois le plus glamour de la ville ! Merci pour votre générosité et votre hospitalité, merci pour les très bons moments et sorties partagées ensemble, bisous sur les 4 joues.

A mes cointernes

Yann, Laysa, Arnaud, Julie, parce que je n'aurais pas pu mieux tomber pour débiter l'internat.

Matteo, Julie, Charlotte, Justin, merci de m'avoir supporté le temps d'un semestre où je n'étais pas des plus épanoui du fait de trop d'incertitude dans ma vie.

Caroline, Alice, Quentin, Romuald, Cédric, merci de m'avoir adopté, intégré et coaché dans le petit microcosme de la cardiologie.

Laysa, Anaïs, Adrien, Chirine, Nicolas, merci à mes excellents camarades de classes pour ce semestre au cours duquel le boulot bien que non négligeable, a toujours été plaisant grâce à vous.

Zahir, Hugo, merci à mes compagnons de voyage, nous y sommes venus à bout de ces trajets en train levé 5h40 !

Matteo, Julie, Pierre, Yann, Thomas, Karim, Carolina, Giuliana, Helene, Nicolas, Stefan : ALR, Offs et bières en terrasse, bien sympa ce petit cocktail « Lapeyronien » en votre compagnie.

Charlotte, Hugues, Yann, Pauline, Yasmina, Caroline, Sophia, Laysa, beaucoup de défis relevés ce semestre : travail avec PS, crise Covid... Merci à mes compagnons de lutte qui m'ont permis de surmonter ces épreuves.

Lorrain, Chirine, une vie en troupe fort agréable, merci pour la simplicité avec laquelle s'est déroulé ce semestre.

Louis, Fanny, Pauline, Antoine, Lauranne, merci d'avoir adouci ma transition au plus mauvais des moments : changement d'hôpital au beau milieu d'une vague covid.

Yohan, Sophie, Lauren, Barbara, Sarah, Chirine, merci pour les pauses café et autres apéros passés ensemble dont je garde un excellent souvenir.

Hugo, Pb, Thomas, Marion, Cléa, Marine, Marwane, Matteo, Ambre, bien que nos rapports soient un peu inhabituels pour des cointernes, semestre séniorisé oblige, travailler ensemble en salle étaient un réel plaisir. Sans oublier nos amis chirurgiens, merci **Alex** pour ton humeur toujours égale et constante, toujours sympa quoi !

Aux membres de ma promo mais aussi aux autres DESARs avec qui je n'ai pas partagé de stage, mais avec qui j'ai travaillé ou que j'ai côtoyé à diverses occasions, ainsi qu'aux amis chirurgiens côtoyés (Yannis, Lucas, Florène, Joris, Chloé, Charlotte, Geoffrey, Ludo, Victor, Jules, Elodie, Martin, Arthur, Aurélien, Blandine, Timothée, Alexandre...) merci pour tous les bons moments partagés.

A tous les services qui m'ont accueilli, à toutes les personnes qui ont marqué mon parcours

Aux équipes Perpignanaises ayant accompagnés mes débuts :

- Au bloc d'abord, merci aux anesthésistes (Vincent, Laurent et Laurent, Arnaud, Anne, Ramzi, Caroline...) et aux IADEs de m'avoir fait débiter l'internat en douceur. Un merci plus spécial à Lauranne pour nous avoir encadré nous autres pioupious.
- Merci à l'équipe paramed et médicale de cette réa paradis (Florence, Sébastien, Pierre-Guy, Sébastien, Jonathan, Philippe, JAT, Aziz...). Tu vois Olivier, je suis resté finalement !

A l'équipe de cardiologie de Nîmes, merci de m'avoir fait découvrir votre spécialité pour laquelle je garde un intérêt tout particulier.

Merci aux réanimations nîmoises dont la réa chir, à leur équipe paramédicale géniale, et à leurs praticiens emblématiques aux compétences impressionnantes dans une ambiance ultra bienveillante. Merci à vous Laurent, Claire, Guillaume, Stéphanie, Pierre, Jean-Yves, Martin, Benjamin, Pablo, Caroline, Aurélien, Rémi, Aurelle...

Merci aux équipes IADE et anesth du bloc de Nîmes pour toutes les compétences transmises, et pour cette ambiance toujours sympathique et bienveillante. Merci plus particulièrement à vous Mathieu, Gauthier, Béa, Pascaline, et Laurent pour ce semestre à la mater à l'ambiance familiale tellement agréable, et à cette équipe de sage-femmes au top.

Merci aux équipes IADE et anesth du bloc Lapeyronie où j'ai énormément appris, et où j'ai commencé à prendre mon envol. Merci pour votre décontraction et votre sympathie au quotidien. Merci à vous Fabien, Adrien, Olivier et Olivier, Benjamin, Thibault.

Aux grenoblois : merci à l'équipe médicale de réanimation neurochirurgicale pour le partage de vos compétences vraiment pointues sur le sujet.

Merci à l'équipe IADE et anesthésiste pédiatrique de l'HCE, ce trimestre était vraiment chouette ! Aussi bien humainement que sur le plan des compétences. Merci à vous Jean-Noël, Noémie, Claire, Cloé, Chantal, Kelly, Julie, Thierry, Jeanne.

A mes futurs collègues du DarD : Marc, Jacob, Helene, Norddine, Pierre, Arthur, Aurélien, Florian, Marine, Rémi, José, Cédric, Cinderella, Timothée, Philippe, Aurore, Alexandre, à toute l'équipe des perfu, des IADEs, IBODEs, IDEs et AS, merci pour tout ce qui vous m'avez apporté jusqu'alors, merci pour l'ambiance excellente de ce service où je me sens bien, intégrer l'équipe est pour moi un plaisir.

TABLE DES MATIERES

RESUME.....	30
ABBREVIATIONS.....	31
INTRODUCTION	32
MATERIEL ET METHODE	35
Population	35
Protocole de l'étude	36
Analyse statistique.....	38
RESULTATS	40
Evaluation de l'outil AUTO-VTI.....	40
<i>Concordance avec la méthode manuelle.....</i>	40
<i>Critères de jugement secondaires.....</i>	40
Concordance de la mesure de la Best-VTI avec la méthode standard	41
Evaluation de l'outil AUTO-IVC®.....	41
DISCUSSION.....	46
CONCLUSION	52
ANNEXES	53
BIBLIOGRAPHIE.....	56
SERMENT D'HIPPOCRATE	60
CERTIFICAT DE CONFORMITE	61

RESUME

Contexte : L'échocardiographie transthoracique est un outil universellement utilisé en soins critiques dans le cadre de l'évaluation et du monitoring des patients en insuffisance circulatoire aiguë. Des applications assistent le praticien lors de la réalisation de l'examen en automatisant certaines mesures existant depuis peu, et n'ont jamais été évaluées en pratique clinique. L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la concordance de la mesure de l'intégrale temps-vitesse (ITV) sous aortique par méthode automatisée avec l'outil auto-VTI®, et par méthode manuelle.

Matériel et méthode : Cette étude prospective à faible niveau d'intervention, monocentrique, inclut des patients de réanimation en insuffisance circulatoire, nécessitant une évaluation échocardiographique. La réalisation de l'examen comprenait d'abord deux mesures successives de l'ITV sous aortique manuellement (moyenne de 3 battements consécutifs en rythme sinusal régulier, et 5 battements et rythme irrégulier), puis une mesure via le logiciel auto-VTI®. Des mesures de la variation respiratoire de diamètre de la veine cave inférieure par méthode manuelle, puis automatisée autoIVC® étaient également réalisées. A l'issue de cette évaluation initiale, lorsqu'un remplissage vasculaire était décidé par le médecin en charge du patient, un second examen analogue était réalisé dans les suites.

Résultats : Soixante-dix patients ont été inclus entre le 19 janvier et le 24 septembre 2020 au CHU de Nîmes. La faisabilité des outils autoVTI et autoIVC était respectivement de 94,3% [86,0% ; 98,4%] et 94,5% [84,9% ; 98,9%]. L'évaluation de la concordance entre autoVTI et mesure manuelle retrouvait un coefficient de Lin de 0,8321 [0,7464 ; 0,8911], et une proportion de concordance au seuil de 15% de différence de 68,2% [56,9% ; 79,4%]. Le biais de l'analyse de Bland Altman était de - 1,89 [-2,51 ; -1,27] cm, les limites de concordance de - 6,84 [-7,97 ; -5,72] cm et 3,06 [1,93 ; 4,18] cm, le pourcentage d'erreur (PE) de 28,9%. La précision et le plus petit changement détectable (PPCD) mesurés de la référence étaient respectivement de 10,5 et 14,9%, et par déduction pour la méthode automatisée de 26,9% et 38,1%.

Conclusions : Les nouveaux outils d'aide à la mesure auto-VTI® et auto-IVC® présentent une faisabilité intéressante en pratique clinique de réanimation, mais une concordance avec les méthodes manuelles standards insuffisante en l'état actuel pour les remplacer.

Mots clefs : Echocardiographie, ITV-sous aortique, intelligence artificielle, insuffisance circulatoire aiguë, diamètre de la veine cave inférieure.

ABBREVIATIONS

ARA2 = antagoniste des récepteurs de l'angiotensine 2

ASE = American society of echocardiography

EACI = European association of cardiovascular imaging

ETT = échographie transthoracique

FA = Fibrillation atriale

FC = Fréquence cardiaque

FEVG = fraction d'éjection du ventricule gauche

ICA = insuffisance circulatoire aiguë

IEC = inhibiteur de l'enzyme de conversion de l'angiotensine

ITV = intégrale temps vitesse

ITV_{ssAo} = ITV sous aortique

ITVman1 = Moyenne des ITV manuelles de la série 1

ITVman2 = Moyenne des ITV manuelles de la série 2

OD = oreillette droite

PAM = pression artérielle moyenne

PAS = pression artérielle systolique

PE = pourcentage d'erreur

PEP = pression expiratoire positive

PPCD = plus petit changement détectable

VCI = veine cave inférieure

VES = volume d'éjection systolique

VM = ventilation mécanique

INTRODUCTION

L'insuffisance circulatoire aiguë (ICA) est une situation clinique fréquente affectant environ 1/3 des patients en service de réanimation (1). L'échocardiographie transthoracique (ETT) est un outil désormais universellement utilisé lors de la prise en charge de patients en ICA (2–7). En effet, cet outil présente l'avantage premièrement de contribuer au diagnostic étiologique de la défaillance circulatoire (tamponnade, dysfonction VG, hypovolémie...). Il permet deuxièmement le monitoring de l'évolution du débit cardiaque (DC) et du volume d'éjection systolique (VES) recommandé chez ce type de patients (8), et indispensable à l'évaluation de la réponse aux différentes thérapeutiques comme le remplissage vasculaire (9,10). En outre, il s'agit d'une technique non invasive, non irradiante, à faible coût, et facilement réalisable au lit du patient.

Bien que la capacité de l'échocardiographie transthoracique à estimer le débit cardiaque (ou le volume d'éjection systolique) en valeur absolue soit sujette à controverse (11–13), la fiabilité de cette méthode a malgré tout été réaffirmée récemment dans l'étude bien conduite de Mercado et al (14). De façon plus intéressante, ce travail démontre en particulier sa bonne aptitude à évaluer les variations de débit cardiaque comparée au gold standard représenté par la méthode de thermodilution.

Dans cet objectif, et afin de s'affranchir des erreurs inhérentes à la mesure du diamètre de la chambre de chasse aortique, le suivi de l'ITV sous aortique (ou de la « minute-distance » = $ITV \times$ Fréquence cardiaque) semble pertinent (13). L'écueil pratique de cette méthode est la nécessité de mesurer de plusieurs battements consécutifs pour obtenir une précision suffisante, en particulier chez les patients arythmiques (15–17), ce qui est chronophage et non réalisé de façon systématique en routine.

Afin de palier à ces problèmes, certains fabricants ont développé des applications intégrant l'intelligence artificielle permettant la mesure automatisée de l'ITV sous aortique (ITV_{ssAo}) moyennée, telle que le logiciel auto-VTI® (General Electrics, Milwaukee, WI, USA). A partir d'une coupe échographique optimale, l'utilisation du programme dédié permet tout d'abord la sélection du site optimal d'échantillonnage à l'aide d'un assistant intelligent utilisant un code couleur. Une fois ce dernier positionné, la mesure est réalisée, permettant d'obtenir automatiquement la valeur de l'ITV sous aortique moyenne obtenue à partir de plusieurs cycles cardiaques consécutifs, sur un temps d'acquisition de 4 secondes (Figure 1, 2 et 3).

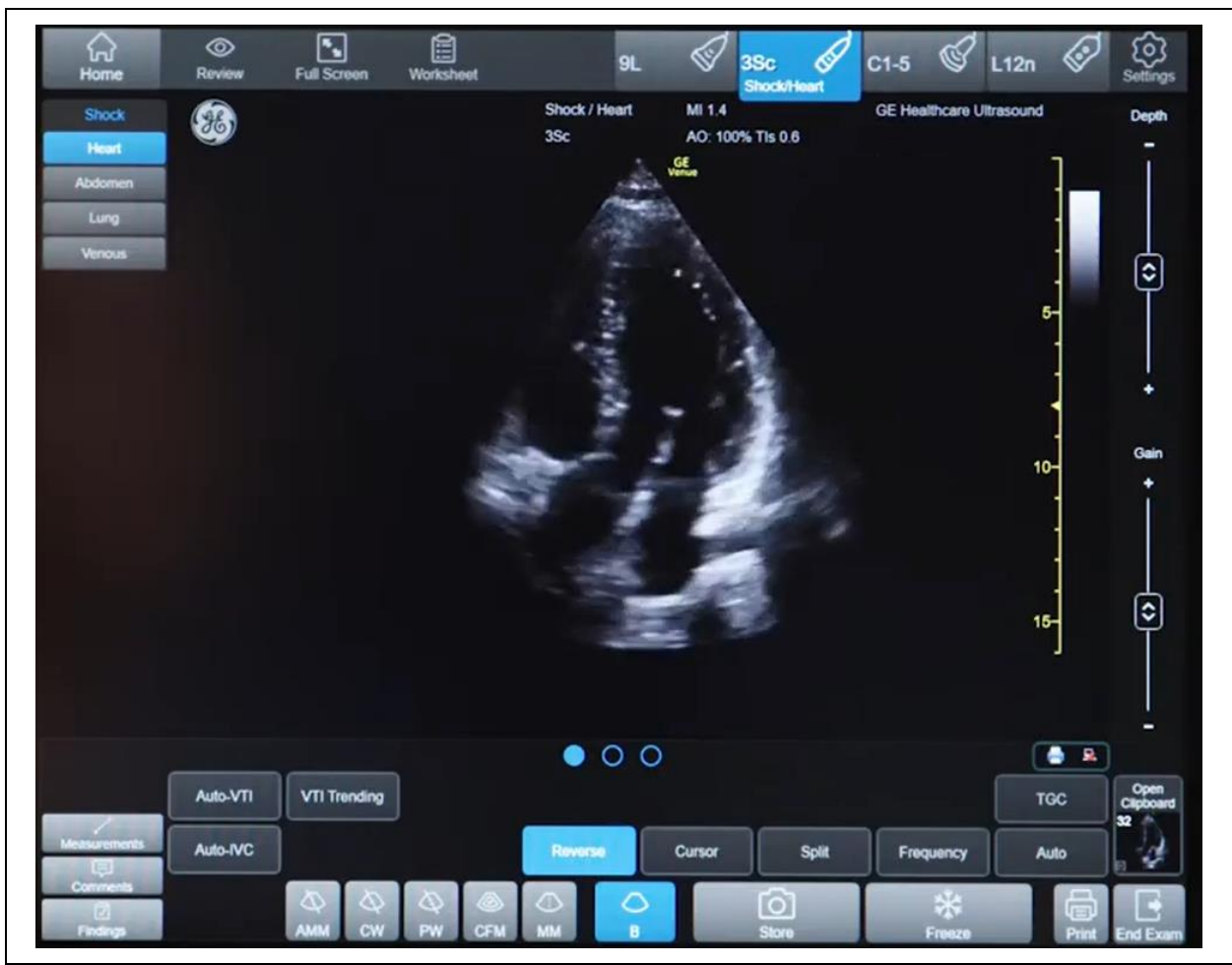


FIGURE 1 : Aperçu général de l'interface de l'échographe Venue™ équipé des logiciels d'intelligence artificielle AutoVTI et AutoIVC

<p>Contour de la région d'intérêt en rouge : image de qualité non acceptable, l'appareil ne parvient à mesurer aucun battement.</p>	<p>Contour de la région d'intérêt en jaune : image de qualité moyenne, l'appareil parvient à mesurer l'ITV sous aortique de quelques battements de façon non exhaustive et pas forcément consécutifs.</p>	<p>Contour de la région d'intérêt en vert : image de bonne qualité, l'appareil parvient à mesurer les ITV sous aortique de tous les battements consécutifs au cours des 4 dernières secondes.</p>
<p>FIGURE 2 : Code couleur utilisé par l'appareil</p>		



FIGURE 3 : Image de l'interface après activation de l'outil AutoVTI (LVOT = *left ventricular outflow tract*, HR = *Heart Rate*, CO = *cardiac Output*, SV = *Stroke Volume*)

Ce-dernier a été testé chez l'animal avec des résultats prometteurs(18). Toutefois, dans cette étude expérimentale, la faisabilité de la mesure de l'ITV_{ssAo} par trace automatisée n'était que de 60%. L'anatomie cardiaque du porcelet étant différente de l'humain, la faisabilité de la mesure pourrait être très différente dans une étude clinique et dans un contexte de défaillance circulatoire. Cependant, aucun de ces systèmes n'a, à ce jour, été testé et validé sur un large échantillon de patients de réanimation en ICA. De plus, l'automatisation des mesures d'ITV_{ssAo} pourrait aboutir à un temps de procédure plus court mais cette donnée n'a pas été évaluée en pratique clinique.

L'objectif principal de cette étude est donc d'évaluer la concordance de cette nouvelle mesure automatisée avec la méthode manuelle de mesure de l'ITV_{ssAo}, lors du bilan hémodynamique de patient de réanimation en ICA. Les objectifs secondaires étaient notamment d'évaluer la faisabilité de ce nouvel outil, la concordance entre la proportion de patients classés précharge-dépendant lors d'un remplissage vasculaire selon les deux méthodes, mais également d'évaluer la concordance entre mesure manuelle standard et ITV_{ssAo} définie comme répondant aux critères qualité d'acquisition, et semblant le plus représentatif de la moyenne de l'ensemble des mesures (BestVTI). Il s'agissait enfin d'estimer la faisabilité et la concordance entre le nouvel outil auto-IVC® de mesure de la veine cave inférieure et la méthode manuelle.

MATERIEL ET METHODE

Cette étude prospective monocentrique à faible niveau d'intervention, a été menée dans les trois services de réanimation du CHU de Nîmes entre janvier et septembre 2020, après approbation du protocole par le comité de protection des personnes OUEST III (2019-A02036-51, ID_RCB 2019-A02036-51, NCT04360304)(19). Le consentement écrit des patients, ou de leur représentant légal le cas échéant, était recueilli avant inclusion. Un consentement différé était obtenu secondairement quand leur état ne le permettait pas au moment de l'inclusion, conformément à la législation française.

POPULATION

Nous avons inclus consécutivement tous les patients adultes admis en réanimation présentant une ICA, et nécessitant une évaluation hémodynamique par ETT.

Les critères d'inclusion étaient :

- Patient âgé de ≥ 18 ans
- Patient affilié ou bénéficiaire d'un régime d'assurance maladie
- Insuffisance circulatoire aiguë définie par la persistance d'une hypotension artérielle (PAS < 90 mmHg ou PAM < 65 mmHg) malgré un remplissage vasculaire de 30ml/kg, ou la nécessité d'un support vasopresseur par catécholamines
- Nécessité d'une évaluation hémodynamique échocardiographique par la présence d'au moins l'un des signes suivants
 - PAS < 90 mmHg
 - Diurèse $< 0,5$ ml/kg/h pendant > 2 H
 - Hyperlactatémie > 2 mmol/L
 - Nécessité d'augmenter les posologies de catécholamines

Les critères de non-inclusion étaient :

- Absence de consentement
- Patient sous mesure de protection juridique
- Grossesse ou allaitement
- Mauvaise échogénicité

PROTOCOLE DE L'ETUDE

Après inclusion, les caractéristiques patient (âge, sexe, taille, poids, antécédents, traitements, diagnostic principal) étaient collectées. Les scores IGS2 et SOFA, les paramètres ventilatoires (type de ventilation, PAO₂/FiO₂, PEP), et la dose d'amines étaient également recueillis à l'inclusion et non modifiés par la suite durant la mesure. Un examen clinique avec le type de rythme (régulier ou irrégulier), la diurèse, la pression artérielle et la fréquence cardiaque étaient enfin consignés avant réalisation de l'échocardiographie.

L'examen ultrasonique était réalisé par un échocardiographe certifiant un niveau de compétence avancé(20), titulaire d'un diplôme universitaire d'échocardiographie et bénéficiant d'un minimum de 3 ans d'expérience. Les patients étaient allongés ou en position proclive 30° sans modification de position durant l'examen. L'appareil utilisé était un échographe General Electric Venue™ (GE medical Systems, Milwaukee, WI, USA).

La mesure de l'ITV_{ssAo} était réalisée en coupe apicale 5 cavités à l'aide d'une sonde sectorielle basse fréquence adaptée à l'échographie cardiaque. L'opérateur débutait l'examen par cette mesure selon la méthode manuelle habituelle, en prenant garde de rechercher le meilleur alignement possible pour obtenir un angle entre signal doppler et flux aortique proche de 0°. Deux mesures consécutives selon cette méthode étaient réalisées, la sonde étant retirée du patient entre les deux acquisitions (ITVman1 et ITVman2). Il était demandé à l'opérateur de recueillir la moyenne de 3 battements consécutifs chez les patients en rythme sinusal régulier, et de 5 battements consécutifs en cas de rythme irrégulier, conformément aux recommandations(15,16) et aux dernières données de la littérature(17). Il devait par ailleurs avant calcul de la moyenne de l'ensemble, mesurer un battement qu'il considérait comme le plus représentatif visuellement de la moyenne (correspondant à la pratique courante), nommé dans cette étude « BestVTI ». La première acquisition était chronométrée : délai entre pose de la sonde sur le patient jusqu'à ce que l'image soit figée, additionné au délai nécessaire pour tracer le contour de l'ensemble des battements requis pour calcul de la moyenne.

Dans un second temps, l'opérateur faisait la mesure du même paramètre en utilisant l'outil auto-VTI®. Une coupe 5 cavités en recherchant les mêmes caractéristiques d'alignement que précédemment était obtenue, puis l'outil était lancé. Le curseur était donc placé automatiquement par l'appareil, et la mesure de l'ITV_{ssAo} issue de la moyenne de battements consécutifs sur 4 secondes était rendue (ITV auto). La mesure était considérée comme valide si elle était obtenue à partir d'une image de bonne qualité avec un contour de la région d'intérêt de

couleur verte, et si la moyenne obtenue était issue de battements strictement consécutifs, dont la trace du contour n'était pas erronée. La nécessité de remplacement manuelle de la position du curseur, du fait d'un placement dans l'espace totalement aberrant par la machine, était consignée. Enfin, le délai entre pose de la sonde sur le thorax et obtention du paramètre, était mesuré.

Une évaluation du reste de la fonction cardiaque était ensuite réalisée : estimation visuelle ou par méthode de Simpson de la FEVG, et mesure de la vitesse de l'onde S en doppler tissulaire à l'anneau mitral en position latérale, pour estimer la fonction systolique du ventricule gauche. Les pressions de remplissages étaient évaluées via le doppler pulsé des flux transmitraux diastoliques (vitesse de l'onde E, de l'onde A le cas échéant) couplé au doppler tissulaire de l'anneau mitral latéral (vitesse de l'onde E'). Concernant le ventricule droit, il était recherché : une dilatation visuelle des cavités cardiaques droites, la présence d'un D-signe ou d'un septum paradoxal en coupe parasternale petit axe. La vitesse de l'onde S à l'anneau tricuspide latéral en doppler tissulaire était mesurée. La présence d'un épanchement péricardique > 10mm en diastole en position latérale au ventricule gauche était consignée le cas échéant.

Pour finir, le protocole comprenait une évaluation de la veine cave inférieure (VCI) en coupe sous costale grand axe après visualisation de la jonction avec l'oreillette droite (OD) afin de différencier la VCI de l'aorte. L'examen était réalisé avec la même sonde que précédemment. Une première mesure des diamètres minimum et maximum (variation au cours d'un seul cycle respiratoire) selon la méthode manuelle habituelle était réalisée. L'évaluation devait se faire 2-3 cm en dessous de l'OD et idéalement juste au-dessus de l'émergence des veines sus-hépatiques, de façon perpendiculaire au grand axe de la VCI. Chez les patients en ventilation spontanée, cette mesure était réalisée en l'absence de tout effort inspiratoire volontaire demandé au patient. Une deuxième mesure était ensuite réalisée en utilisant l'outil auto-IVC®, qui place automatiquement le curseur une fois la coupe adéquate visualisée, et réalise les mesures de façon autonome. La nécessité de replacer le curseur du fait d'une position aberrante était recueillie.

A l'issue de cette évaluation initiale, lorsqu'un remplissage vasculaire était réalisé (indication laissée à la discrétion du médecin en charge du patient), et si ce dernier était $\geq 250\text{mL}$ en moins de 10 min, alors une seconde échographie suivant le même protocole était réalisée. Le type de fluide et le volume précis étaient recueillis. Une augmentation de l'ITV_{SSAo} après remplissage $\geq 15\%$ classait le patient comme précharge dépendant ou répondeur au remplissage (8–10,21).

ANALYSE STATISTIQUE

La normalité des paramètres quantitatifs a été vérifiée par un test de type Shapiro-Wilks, et par le calcul des coefficients d'aplatissement et d'asymétrie, respectivement de Kurtosis et Skewness. Afin de répondre à l'objectif principal qui est d'apprécier la concordance entre les différentes méthodes de mesures de l'ITV_{SSA0}, l'évaluation a été réalisée par calcul du coefficient de concordance de Lin, ainsi que de la proportion de concordance assorti de son intervalle de confiance à 95% (22,23). Les deux mesures étaient considérées comme concordantes, lorsque la différence entre les deux méthodes n'excédait pas le seuil de 15% par rapport à la référence (méthode manuelle). Des variations d'ITV étant considérées comme significatives à partir de 10 à 15% de changement(17), on peut donc espérer que si les deux méthodes de mesures fournissent des résultats moins de 15% différents, alors la nouvelle méthode sera capable de suivre des modifications d'ITV dépassant ce seuil. La même analyse au seuil de 20% de différence a également été réalisée afin de comparer ce résultat à celui fourni par General Electric (issu d'une étude interne au fabricant, non publiée)(24).

Enfin une évaluation par méthode graphique de Bland-Altman était prévue, avec calcul du biais et des limites de concordances(25,26), qui étaient également exprimées sous forme de pourcentage d'erreur (PE) conformément à la méthodologie de Critchley et Critchley (27,28). L'évaluation de la répétabilité de la méthode de référence était estimée grâce aux deux séries de mesures d'ITV manuelles, avec calcul de la précision de la mesure de l'ITV manuelle moyennée, du plus petit changement détectable (PPCD) (également appelé coefficient de répétabilité = $\sqrt{2}$ x précision (26,29)), et de la variabilité intra observateur (17,30). La précision et le PPCD de l'ITV automatisée a ensuite été déduite grâce au PE de l'analyse de Bland-Altman, conformément à la méthode de Cecconi (30).

Pour répondre aux objectifs secondaires, les temps d'acquisition des différentes méthodes ont été comparés à l'aide d'un test des rangs signés de Wilcoxon. La concordance entre les différentes méthodes d'évaluation de la précharge dépendance a été évaluée par calcul du coefficient kappa. Parmi les patients recueillis ayant reçu un remplissage, ces derniers étaient considérés comme précharge-dépendant lorsqu'une augmentation de l'ITV_{SSA0} > 15% après remplissage était observée. Afin d'évaluer l'outil Auto-IVC®, les patients étaient considérés comme précharge dépendant si la variation respiratoire de la VCI était > 40% en ventilation spontanée

$(\frac{\sigma VCI_{max} - \sigma VCI_{min}}{\sigma VCI_{max}})$ (31,32) et >8% dans le cas contraire $(\frac{\sigma VCI_{max} - \sigma VCI_{min}}{\sigma VCI_{min}})$ (32,33).

En se basant sur les données issues de la seule étude publiée à ce jour évaluant cet outil(18), nous avons déterminé que 70 sujets seraient nécessaires en considérant un coefficient de concordance de Lin attendu fixé à 0,65, une borne inférieure de l'intervalle de confiance à 95% fixée à 0,60 pour une puissance de 80%. Une valeur de $p < 0,05$ était considérée comme statistiquement significative. Les analyses statistiques ont été réalisées en utilisant le logiciel SAS version 9.4 (SAS institute Inc).

RESULTATS

Soixante-dix patients ont été inclus entre le 19 janvier et le 24 septembre 2020. Les caractéristiques des patients sont décrites dans le tableau 1, alors que les paramètres cliniques, biologiques et échographiques à l'inclusion sont consignés dans le tableau 2.

EVALUATION DE L'OUTIL AUTO-VTI®

Le logiciel de l'échographe est parvenu à réaliser la mesure automatisée de l'ITV_{ssAo} chez 66 patients sur 70 inclus soit 94% (intervalle de confiance à 95% = [86,0% ; 98,4%]), avec nécessité de replacer le curseur chez 30/66 patients (45%).

Concordance avec la méthode manuelle

La proportion de concordance au seuil de 15% de différence retrouvée est de 68,2% [56,9% ; 79,4%]. Le détail est présenté dans le tableau 3. Au seuil de 20%, la proportion de concordance est de 78,8% [68,9% - 88,7%].

Le coefficient de Lin était de 0.8321 [0.7464 ; 0.8911].

L'évaluation de la concordance entre ITV_{man1} et ITV_{auto} par l'analyse de Bland et Altman, retrouve un biais de - 1,89 [-2,51 ; -1,27] cm, avec des limites de concordance comprises entre - 6,84 [-7,97 ; -5,72] cm et 3,06 [1,93 ; 4,18] cm (Figure 4), correspondant à un pourcentage d'erreur de 28,9%.

Les données concernant la répétabilité de la technique de référence manuelle moyennée retrouvent une précision d[e 10,5%, un PPCD de 14,9%, et une variabilité intraobservateur de 7,6%. Ces données associées à celle du Bland Altman permettent de déduire une précision et une PPCD de l'ITV automatisée respectivement de 26,9%, et 38,1%.

Des résultats complémentaires après correction du biais sont disponibles en annexe 2.

Critères de jugement secondaires

Les temps d'acquisition moyens lors de la mesure de l'ITV manuelle 1 et de l'ITV automatique étaient respectivement de 2min37s et 2min13s, les temps d'acquisition médians étant de 2min08s et 1min00s. La différence des distributions des temps d'acquisition est considérée comme significative ($p=0.0008$).

Concernant l'analyse en sous-groupe parmi les patients ayant une fréquence cardiaque > 90 battements par minute, la mesure de l'ITV par méthode automatisée a été possible chez 35 d'entre eux. La proportion de concordance au seuil de 15% de différence dans cette sous-population était de 71,4% [56,5% ; 86,4%] (tableau 3). Le coefficient de Lin était de 0,8109 [0,6657 ; 0,8969]. L'analyse de la concordance par méthode de Bland et Altman retrouve un biais médian de -1,64 [-2,4 ; -0,87] cm, et des limites d'agrément de -6,01 [-7,32 ; -4,70] cm et 2,73 [1,42 ; 4,04] cm (Annexe 1). La précision déduite de l'auto-VTI dans ce sous-groupe était alors de 26,3%, la PPDC de 37,2%.

Un remplissage répondant aux critères définis précédemment a été administré chez 13/70 patients (18.6%) dont 12 ont pu bénéficier d'une évaluation avec l'outil automatisé. Les résultats de concordance sont présentés dans le tableau 4. La proportion de patients bien classés pour évaluer la précharge dépendance après remplissage par la méthode automatisée est de 7 sur 12 patients soit 58,3% [27,7% ; 84,4%]. Le coefficient kappa est calculé à 0,1667 (IC à 95 % : [-0.3834 ; 0.7167]).

CONCORDANCE DE LA MESURE DE LA BEST-VTI AVEC LA METHODE STANDARD

L'évaluation de la concordance entre Best-VTI et ITVman1 a été réalisée sur un effectif de 69 patients. La proportion de concordance à la méthode de référence au seuil de 15% était de 89,9% [82,7% ; 97%] (tableau3). L'analyse de Bland et Altman retrouve un biais médian de 0,85 [0,48 ; 1,23] cm et des limites de concordance de -2,19 [-2,83 ; -1,55] cm et 3,90 [3,2 ; 4,54] cm (figure 5) soit un PE de 16,9%. La précision mesurée de la BestVTI était de 10,5%, et la LSC déduite de 14,8%. Le coefficient de concordance de Lin est calculé à 0,9578 [0,9336-0,9733]. Des résultats complémentaires après correction du biais sont disponibles en annexe 3.

EVALUATION DE L'OUTIL AUTO-IVC®

La mesure de la variation respiratoire du diamètre de la veine cave inférieure était possible chez 55/70 patients (79%) en méthode manuelle. Dans ce groupe de patient, l'outil auto-IVC est parvenu à fournir une mesure chez 52 patients soit 94,5% [84,9% ; 98,9%] avec l'outil auto-IVC, dont 30 étaient en ventilation spontanée. Le repositionnement du curseur était nécessaire dans 41% des cas.

Les résultats de concordance sont présentés dans le tableau 4. La proportion de patients bien classés comme précharge-dépendants par variation respiratoire de la VCI (variation respiratoire

de la VCI > 40% en ventilation spontanée et >8% dans le cas contraire) par la méthode automatisée est de 37 sur 52 patients soit 71,2% [58.8% ; 83.5%].

Le coefficient kappa est calculé à 0.3829 (IC à 95 % : [0.1344 ; 0.6314]).

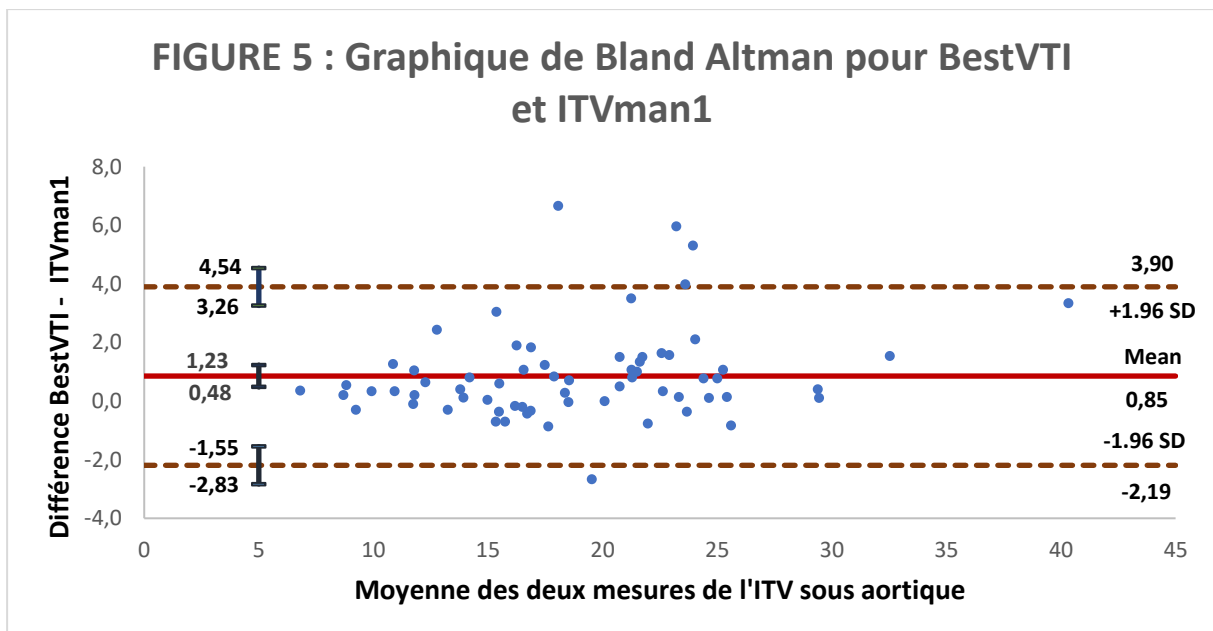
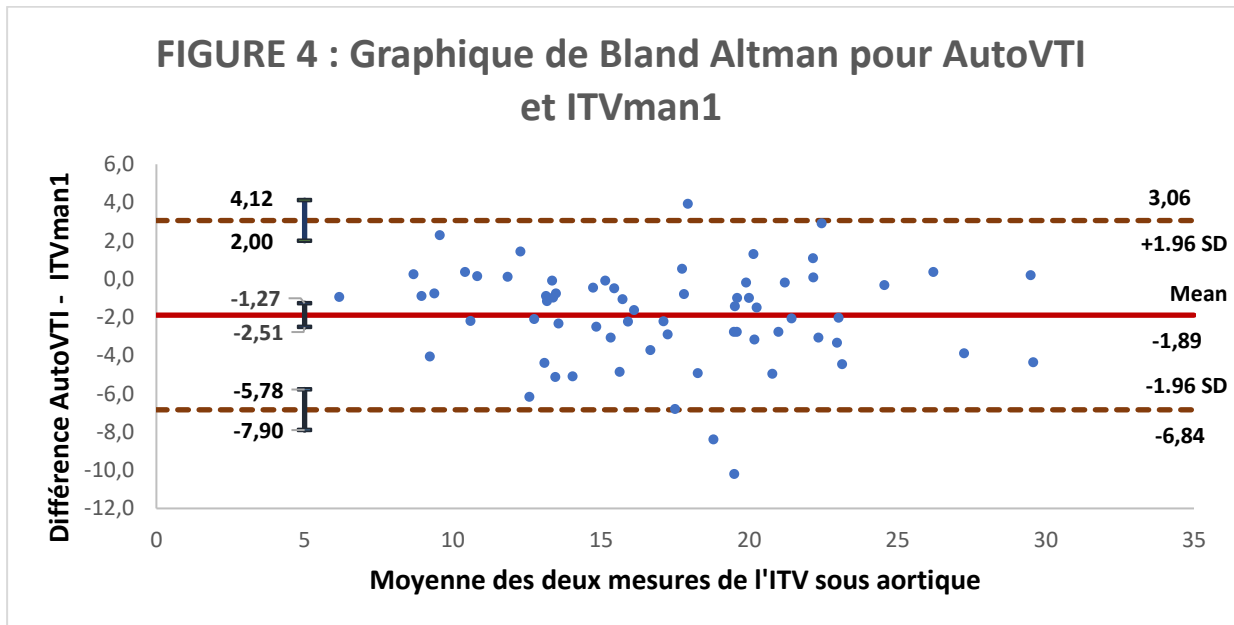


TABLEAU 1. CARACTERISTIQUES PATIENTS (N=70)	
Âge (année)	67 (59-73)
Sexe féminin	32 (45.7)
Poids (kg)	75.5 (65-87)
Taille (cm)	169.5 (160-175)
IMC (kg/m ²)	26.5 (21.7-31.9)
Antécédents	
Diabète	19 (27.1)
Hypertension artérielle	30 (42.9)
Cardiopathie ischémique	18 (25.7)
Insuffisance ventriculaire gauche	8 (11.4)
Valvulopathie connue ou prothèse valvulaire	8 (11.4)
Pacemaker	3 (4.3)
Fibrillation atriale, Flutter, Tachycardie atriale	15 (21.4)
Maladie rénale chronique stade 3 ou plus	6 (8.6)
Bronchopneumopathie obstructive stade 3 ou 4 de GOLD	7 (10.0)
Insuffisance respiratoire sous oxygénothérapie longue durée	0
Tabagisme actif	17 (24.3)
Néoplasie évolutive	11 (15.7)
Traitements	
Bétabloquants	23 (32.9)
IEC ou ARA2	21 (30)
Inhibiteur calcique	16 (22.9)
Diurétique	22 (31.4)
Dérivé nitré	3 (4.3)
Autre traitement antiarythmique de classe I ou III	5 (7.1)
Score de gravité clinique	
IGS II	53.5 (38-64)
Score SOFA	8 (7-11)
Motif initial d'admission en réanimation	
Polytraumatisme	7 (10)
Intoxication	1 (1.4)
Chirurgie programmée	2 (2.9)
Chirurgie urgente	12 (17.1)
Motif médical	48 (68.6)
Type d'insuffisance circulatoire	
Distributif	50 (71.4)
Septique	46 (65.7)
Anaphylactique	0
SIRS (pancréatite aiguë, brûlé...)	4 (5.7)
Spinal (traumatisme médullaire)	0
Hypovolémique (hémorragique, ...)	16 (22.9)
Cardiogénique	10 (14.3)
Mortalité à J28	13 (18,6)
Données exprimées en médiane (écart interquartile) ou n (%)	

TABLEAU 2. PARAMETRES CLINIQUES, BIOLOGIQUES ET ECHOGRAPHIQUES (N=70)	
Constantes cliniques	
Rythme irrégulier	15 (21.4)
Fibrillation atriale	14 (20)
Flutter	1 (1.4)
Fréquence cardiaque (battements par minute)	92 (75 – 107)
Pression artérielle moyenne (mmHg)	78 (70 – 83)
Amines	68 (97.1)
Noradrénaline	68 (97.1)
Dose de noradrénaline (µg/kg/min)	0.3 (0.2 – 0.7)
Dobutamine	3 (4.3)
Dose de Dobutamine (µg/kg/min)	10 (10-10)
Support ventilatoire	47 (67.1)
Ventilation invasive	38 (54.2)
Ventilation assistée contrôlée	28 (40)
Biphasic intermittent airway pressure	5 (7.1)
Ventilation spontanée avec aide inspiratoire	5 (7.1)
Oxygénothérapie haut débit	9 (12.8)
Rapport PaO ₂ /FiO ₂	282 (177-368)
PEP (cmH ₂ O)	6 (5-9)
Critères de SDRA (Berlin 2012)	5 (7.1)
Modéré	2 (2.8)
Sévère	1 (1.4)
Donnée manquante	2 (2.8)
Biologie	
Lactatémie artérielle	2.3 (1.1 – 3.3)
pH	7.4 (7.32 – 7,45)
PaO ₂	88 (70.9 – 124)
PaCO ₂	35 (29 – 40.6)
Hémoglobine	10.4 (8.8 – 12.2)
Paramètres échographiques	
Estimation visuelle de la FEVG (%)	55 (50 – 60)
FE < 40%	11 (15,7)
ITV manuelle moyennée (série 1)	18,1 (13,9-21,5)
ITV automatisée	16,2 (12,6-19,8)
Nombre de battements moyennés (déduit avec la FC)	6 (5-7)
Onde S mitrale (cm/s) (DM = 2)	11 (9 – 13)
Onde E mitrale (m/s)	82 (65 – 100)
Onde A mitrale (m/s) (DM =2 ; n=53)	75 (60 – 89)
Ratio E/A (DM =2 ; n=53)	1 (0.81 – 1.28)
Onde E' mitrale	10 (7 – 13)
Onde S tricuspide (DM = 2)	15 (11 – 17)
Dilatation visuelle des cavités droites	4 (5,7)
Septum paradoxal	1 (1.4)
Epanchement péricardique > 10mm	0
Remplissage	13 (18,6)
Volume (mL)	300 (250-500)
Soluté balancé	10 (76,9)
Albumine 20%	3 (23,1)
Données exprimées en médiane (écart interquartile) ou n (%) // DM = donnée manquante	

TABLEAU 3 : PROPORTION DE CONCORDANCE ENTRE LES DIFFERENTES METHODES DE MESURE DE L'ITV SOUS AORTIQUE				
		Différence avec la moyenne des ITV manuelles de la série 1 (ITVman1)		
		Mesure inférieure de > 15%	Différence < 15%	Mesure supérieure de > 15%
Auto-VTI	Population globale (n=66)	19 (28,8)	45 (68,2)	2 (3)
	Patient ayant une FC > 90bpm (n=35)	9 (25,7)	25 (71,4)	1 (2,9)
Best-VTI		0	62 (89,9)	7 (10,1)
Données exprimées en nombre de patients n (%)				

TABLEAU 4. CONCORDANCE D'ÉVALUATION DE LA PRECHARGE DÉPENDANCE			
		Précharge dépendance évaluée par méthode manuelle (ITV manuelle ou ΔVCI_{respi} manuelle)	
		Répondeurs	Non-répondeurs
Précharge dépendance évaluée par AutoVTI après remplissage	Répondeurs	3	2
	Non répondeurs	3	4
Précharge dépendance prédite par la ΔVCI_{respi} évaluée par AutoIVC	Précharge dépendance	19	11
	Absence de précharge dépendance	4	26
Données exprimées en nombre de patients n			

DISCUSSION

Cette étude, évaluant pour la première fois en pratique clinique un outil d'intelligence artificielle assistant l'opérateur dans son évaluation hémodynamique ultrasonique, montre tout d'abord la faisabilité de l'utilisation des applications auto-VTI® et auto-IVC® (94,3% et 94,5% de réussite respectivement), chez des patients en ICA. L'aptitude de l'outil à faire cette mesure chez l'homme est donc supérieure à ce qui avait été retrouvé sur modèle porcin en choc hémorragique par Bobbia et al(18), où le taux de succès rapporté était de 60% voire 30% en condition critique pour auto-VTI®, après spoliation sanguine induite sévère.

La concordance de l'ITV automatisée avec la méthode standard s'est avérée en revanche assez médiocre, puisque 31,8% des mesures dépassent le seuil jugé cliniquement acceptable de 15% de différence avec la référence. Cette proportion s'élève à 21,2% au seuil de 20% de différence, ce qui est supérieur aux valeurs avancées par l'industriel (10%), basées sur une étude interne non publiée, dont on dispose de peu d'informations (effectif, population d'étude, description du gold standard, etc)(24). La valeur relativement acceptable du coefficient de Lin est expliquée par une variabilité interindividuelle élevée de l'ITV_{ssAo} entre les différents patients de la série (valeurs des ITV_{ssAo} manuelles moyennées allant de 6,6 à 38 cm) au regard des différences de mesures entre les deux techniques(23,34).

Ce manque de concordance s'explique premièrement par une tendance à la sous-estimation systématique de la valeur de l'ITV_{ssAo} par le nouvel outil. En effet, comme en témoigne le tableau 3, la grande majorité des mesures en dehors du seuil retrouvent une valeur plus de 15% inférieure, et non supérieure à la référence. Par ailleurs, le biais moyen de l'analyse de Bland Altman est important, avec une tendance à la sous-estimation significative de la mesure par la nouvelle technique de -1,89 [-2,51 ; -1,27] cm. Mais comme le montre les analyses présentées en annexe 1, la correction de cette erreur systématique par rapport à la référence n'améliore que peu la proportion de concordance au seuil de 15% et le coefficient de Lin.

La deuxième cause est un manque de concordance lié à une erreur aléatoire du nouvel outil par rapport à la référence, comme en témoigne les limites d'agrément que le clinicien perçoit déjà intuitivement comme très larges (comprises entre -6,84 et +3,06 cm, sans compte leur intervalle de confiance), menant potentiellement à des conclusions cliniques très différentes. Exprimées sous forme de PE (28,9%), ce dernier peut sembler à la limite de l'acceptable si l'on extrapole à l'ITV_{ssAo}, les préconisations méthodologiques de Critchley et Critchley concernant les outils de

mesure du débit cardiaque(27). Cependant, comme le soulignent très justement Cecconi et al(30), ces limites ne sont interprétables qu'à la lumière de la précision de la technique de référence, mesurée dans notre étude à 10,5%. Ainsi, dans l'hypothèse où ces deux méthodes seraient concordantes et de précision identique, le PE déduit devrait alors être de 14,8%. La valeur élevée du PE mesurée dans ce travail possède donc deux explications possibles :

- Si les deux méthodes de mesure sont effectivement concordantes, alors autoVTI est une méthode souffrant d'une importante imprécision à l'origine d'une grande variabilité lorsque l'on répète la mesure, en plus d'une tendance à la sous-estimation systématique mentionnée précédemment. Ainsi en suivant la méthodologie de Cecconi et al, la précision d'autoVTI (déduite du PE et de la précision de la méthode de référence) est calculée à 26,9%, soit une PPCD de 38,1%. Ceci rend impossible la détection de variation d' ITV_{ssAo} inférieure à cette valeur, ne permettant pas de remplacer la méthode manuelle.
- L'autre possibilité est une absence ou un manque de concordance entre les deux outils, comme s'ils ne mesuraient pas exactement la même chose.

Une des explications à cette concordance imparfaite peut être une différence de positionnement de la boîte d'acquisition par l'intelligence artificielle par rapport à l'opérateur. Ceci y contribue sans doute assez peu puisqu'il était demandé à l'opérateur de contrôler cette position et d'en effectuer une correction au besoin, ce qui a été réalisé dans 45% des cas. Cependant cela pourrait expliquer cette tendance à la sous-estimation systématique, en particulier si le site de mesure est placé invariablement de façon plus proximale sur le trajet du flux d'éjection. L'autre possibilité est une différence de trace de l'enveloppe du flux doppler sous aortique entre l'automate et l'homme. Enfin, ceci pourrait potentiellement être expliqué par le plus grand nombre de battements moyennés par la machine par rapport à la méthode standard, réalisé sur un laps de temps plus court. Selon cette hypothèse, on peut donc penser que l'estimation de ITV_{ssAo} par méthode automatisée serait un meilleur reflet du volume d'éjection systolique moyen et donc du débit cardiaque, que ne l'est la moyenne d' ITV_{ssAo} consécutives sur un délai court. C'est d'ailleurs l'hypothèse avancée dans l'étude de Bobbia et al (18) pour expliquer la meilleure concordance retrouvée entre les débits cardiaques mesurés par thermodilution et échocardiographie utilisant autoVTI®, comparé à une échocardiographie standard. Ceci semble cependant moins probable dans notre étude, compte tenu de fréquences cardiaques plus basses que sur modèle porcin, et donc un nombre déduit de battements moyennés en mode automatisé qui est assez peu supérieur à celui moyenné en méthode conventionnelle (6 battements en valeur médiane). Le biais, les limites d'agrément, le coefficient de Lin ainsi que la proportion de patients bien classés au seuil

de 15% de différence, sont par ailleurs comparables quel que soit le sous-groupe de FC (> ou < 90bpm). D'autre part, il convient de noter la très bonne concordance entre débit cardiaque mesuré par cathéter de Swan Ganz et échocardiographie (avec acquisition d'ITV_{ssAo} par méthode manuelle moyennée), réaffirmée dans l'étude de Mercado et al, ayant la méthodologie statistique la plus rigoureuse à ce jour, et sur population humaine en réanimation (14). Ainsi, débit cardiaque mesuré échographiquement par méthode manuelle conventionnelle et par thermodilution étant eux-mêmes très concordants, il semble peu probable que sa mesure via l'outil autoVTI présente une meilleure concordance avec l'une ou l'autre des méthodes de référence. Ceci devra cependant être vérifié dans une étude future.

Comme soupçonné avant de débiter l'étude, les délais d'acquisition avec le nouvel outil sont significativement plus courts qu'avec la méthode habituelle. L'absence de normalité de la distribution de cette variable rend les résultats d'interprétation plus difficile. En pratique, on note que dans 65% des cas, l'outil autoVTI fournit une mesure au moins 30s plus rapide que la méthode standard. A l'inverse, dans 17,5% des cas c'est la méthode de référence qui est plus rapide d'au moins 30s. Dans cette situation, la différence est même souvent bien plus conséquente en faveur de la méthode manuelle. Ceci suggère que, chez des patients critiques, la nouvelle méthode est plus rapide dans la majorité des cas, mais que lorsque l'on éprouve des difficultés avec l'outil automatisé, alors les temps de mesures deviennent beaucoup plus élevés qu'en méthode standard.

L'échographie fait partie des outils utilisés en pratique courante pour monitorer les variations de débit cardiaque après mise en place de thérapeutique. Ainsi, dans un travail récent, Jozwiak et al se sont intéressés au PPCD d'ITV_{ssAo} (17). La valeur de PPCD retrouvée dans les conditions de cette étude est de l'ordre de 14,9% (PPCD = précision x $\sqrt{2}$). Bien que globalement concordante avec celle de l'étude susmentionnée (11%), elle est très légèrement supérieure. Ceci s'explique probablement par la plus grande variabilité liée à la respiration, compte tenu de l'absence de consigne dans le protocole de l'étude concernant le moment du cycle respiratoire auquel devait être faite la mesure (fin d'expiration dans l'étude de Jozwiak). Cette valeur reste compatible avec l'évaluation de la précharge dépendance au seuil habituel de 15% de variation d'ITV_{ssAo}.

La concordance d'évaluation de la précharge dépendance du nouvel outil auto-VTI® par rapport à la méthode manuelle a été évaluée dans un sous-groupe de patient ayant bénéficié d'un

remplissage d'au moins 250mL. Celle-ci s'est révélée mauvaise, avec un coefficient de concordance kappa évalué à 0,17 [-0,38 – 0,72] et une proportion de patients bien classés estimée à 58,3% [27,7% ; 84,4%]. Ce résultat est à prendre avec beaucoup de précautions compte tenu du très faible effectif de patients concernés. Néanmoins, il est cohérent avec le manque de concordance et/ou de précision de l'outil retrouvé précédemment, à l'origine d'un PPDC élevé.

Une analyse de concordance entre Best-VTI et ITV manuelle moyennée a également été réalisée. Bien que discutable puisque comparant la valeur d'un battement isolé qu'on sait plus soumis à variation que la moyenne de plusieurs flux d'éjection (17), il s'agit ici d'apprécier si lorsque l'opérateur sélectionne un battement précis semblant être représentatif de la valeur moyenne, il corrige cette tendance et parvient à fournir une mesure concordante à la méthode manuelle recommandée par les sociétés savantes EACI et ASE (16). La mesure de nombreux battements consécutifs chez les patients en FA étant longue et fastidieuse, certains auteurs ont déjà étudié la possibilité de ne mesurer qu'un seul battement index jugé représentatif (35,36). Ainsi, bien que non recommandé pour le moment, la mesure de l'ITV basée sur un battement index dont les deux intervalles RR le précédant immédiatement sont de durée égale (<5% de différence) semble fournir une estimation fiable chez ces patients.

La méthode employée dans notre étude est plus pragmatique, puisqu'il était demandé à l'opérateur de choisir un battement semblant visuellement bien estimer la moyenne de l'ensemble des battements visibles à l'écran. Par ailleurs ceci a été fait pour tous les patients, quel que soit leur rythme sous-jacent, et pas uniquement chez les patients en FA. Ainsi on constate que cette façon de procéder présente une légère inexactitude comparée à la référence, puisqu'il existe une tendance à la surestimation de 0,85 cm qui est significative eut égard à l'intervalle de confiance du biais. Après correction par la valeur du biais, la concordance au seuil de 15% de différence avec la référence s'améliore logiquement (92,8 vs 89,9%) tout comme le coefficient de lin (0,9673 vs 0,9578) (cf annexe 3).

La répétabilité mesurée ici est en revanche similaire à celle de la référence avec une précision de 10,5% soit un PPDC de 14,8%. Jozwiak et al(17) ont utilisé la même méthode afin de juger de l'ITV_{ssAo} chez les patients en FA, et retrouvent des valeurs concordantes, quoique légèrement inférieures, probablement pour les mêmes raisons qu'évoqué précédemment (précision 8%, PPCD 11%).

L'appareil General Electric Venue propose enfin un assistant facilitant la mesure de la variation respiratoire de diamètre de la VCI. La faisabilité de cet outil est bonne puisque l'outil est parvenu à fournir une mesure chez 94,5% des patients pour lesquels une acquisition manuelle était possible. On note cependant la nécessité pour l'opérateur de repositionner le curseur dans 41% des cas afin de respecter les recommandations(16,37) et correspondre au site de mesure consensuellement utilisé dans la littérature(31,38–40).

Avec les seuils utilisés dans cette étude, on note une concordance de classement moyenne avec la méthode manuelle habituelle (coefficient kappa 0.3829, et proportion de biens classés 71,2%). Cette évaluation en demi-teinte, associée aux performances diagnostiques déjà modestes de l'indice quant à la prédiction de la précharge dépendance(32,41), sont des arguments en défaveur de l'intégration de l'outil dans la pratique quotidienne.

Les seuils utilisés pour prédire la précharge dépendance dans cette analyse sont sujets à discussion. Ils sont le témoin d'une littérature très hétérogène ne définissant pas de valeurs consensuellement admises (31–33,40,42–46). Le seuil de 8% retenu ici pour les patients sous ventilation mécanique (VM) est celui de Vignon et al (33), travail ayant le meilleur niveau de preuve, et parmi les plus récents (pratiques ventilatoires plus proches des standards modernes avec réduction des volumes courants). La formule utilisée dans ce cas est celle de distensibilité de la VCI ($\frac{D_{max}-D_{min}}{D_{min}}$) car c'est celle universellement utilisée dans la littérature concernant les patients sous VM. L'inclusion de patients intubés ventilés sous ventilation spontanée avec aide inspiratoire est contestable, puisque ces patients ont été exclus de toutes les études princeps. Cette catégorie a ici été comptée parmi les patients sous VM, car il ne s'agit pas d'évaluer les performances de l'indice, mais la concordance d'un nouvel outil par rapport à la référence.

Pour les patients en ventilation spontanée, les seuils décrits oscillent entre 31 et 42% en utilisant la formule de collapsibilité de la VCI ($\frac{D_{max}-D_{min}}{D_{max}}$) (31,38,39,44). C'est donc cette formule qui a été retenue ici, avec un seuil de 40% correspondant à celui déterminée par Muller et al (31).

Il est important de noter que la mesure de variabilité respiratoire fournie par l'appareil est celle de collapsibilité de la VCI. Dans cette étude, l'opérateur se contentait de relever les diamètres minimums et maximums fournis par l'appareil dans chacune des deux méthodes, la variabilité étant calculé lors de l'analyse statistique.

Cette étude comprend plusieurs limites :

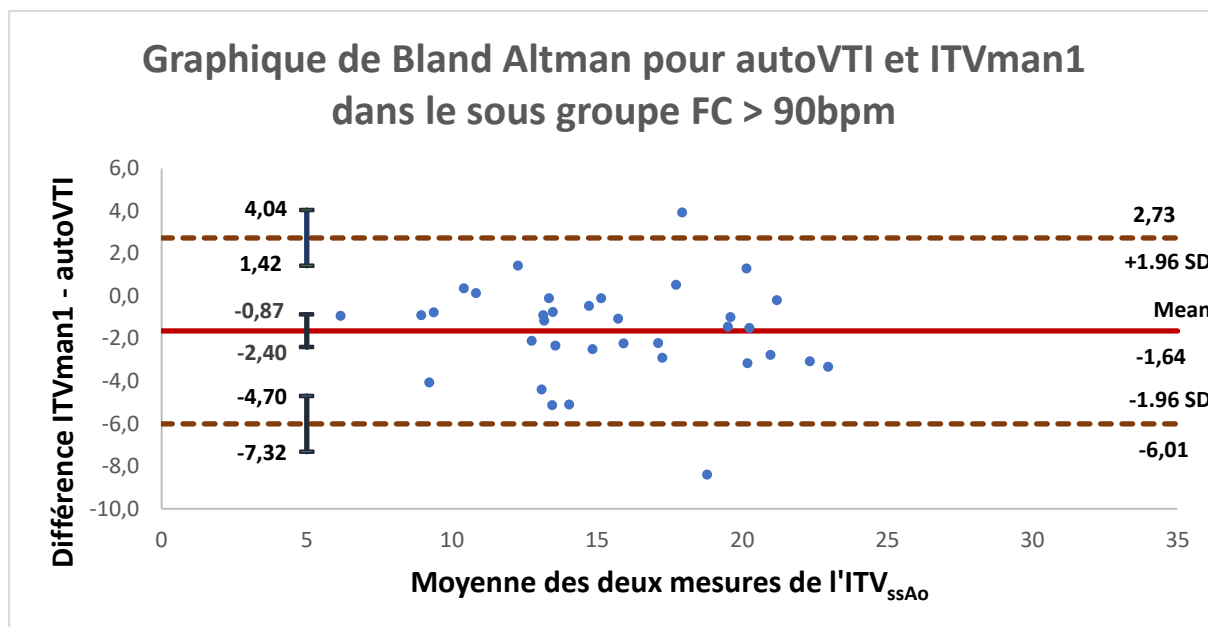
- La mesure automatisée de l'ITV_{SSAO} n'a été réalisée qu'une seule fois par examen. Ainsi aucune donnée de répétabilité (précision, PPCD, variabilité intra-observateur) n'a pu être directement mesurée. Les valeurs fournies à ce sujet sont donc déduites via la méthode de Cecconi et al(30), qui part du postulat selon lequel les deux méthodes sont concordantes, et que la différence aléatoire observée entre les deux méthodes est uniquement expliquée par la variabilité (propre à l'outil) liée à la répétition de la mesure. Ces données de répétabilités devront donc être directement mesurées dans un prochain travail.
- La proportion de patients ayant bénéficié d'un remplissage vasculaire est faible compte tenu de la population recrutée de patients en insuffisance circulatoire aiguë. Ceci est probablement expliqué par l'absence de réévaluation échocardiographique dans le cadre de l'étude d'un certain nombre de patients effectivement remplis. Ceci gêne l'interprétabilité des résultats quant aux capacités de ce nouvel outil auto-VTI® à évaluer la précharge dépendance par rapport à la méthode standard. La concordance moyenne retrouvée pour mesurer l'ITV_{SSAO} (analyse principale) laissant présager des capacités insuffisantes pour évaluer sa variation suite à la mise en place d'une thérapeutique, ceci doit être vérifié en conditions réelles.
- Le recueil du nombre d'ITV tracés par l'intelligence artificielle n'a pas été consignée. Bien que déduite à partir des chiffres de fréquence cardiaque, cette méthodologie reste moins précise.
- Aucune consigne n'était précisée à l'opérateur quant au moment du cycle respiratoire auquel devait être réalisée la mesure de l'ITV_{SSAO}. Ceci rend la précision de la mesure moins bonne, plus variable, du fait du facteur respiratoire.
- Malgré la concordance avec la littérature sur la même thématique(9,10,14,47), la proportion de patients ayant une fréquence cardiaque très rapide ou en FA reste assez faible, rendant les conclusions dans cette sous population spécifique fragiles. Or c'est dans cette population que l'outil présente l'intérêt le plus grand.
- Enfin, ce travail n'incluait pas de patient bénéficiant d'une mesure du débit cardiaque par thermodilution. Le travail préliminaire sur modèle animal de Bobbia et al(18) retrouvait des résultats encourageant en comparant débit cardiaque mesuré à l'aide de ce nouvel outil et par thermodilution. Cette évaluation chez des patients de réanimation en insuffisance circulatoire aiguë pourrait faire l'objet d'études futures.

CONCLUSION

En résumé, les nouveaux outils d'aide à la mesure auto-VTI® et auto-IVC® présentent une faisabilité intéressante en pratique clinique de réanimation, mais une concordance avec les méthodes manuelles standards insuffisante en l'état actuel pour les remplacer. Des études supplémentaires sont nécessaires afin d'évaluer la concordance entre les débits cardiaques mesurés par thermodilution et par échocardiographie utilisant la mesure automatisée de l'ITV sous aortique, ainsi que pour juger de la capacité de l'outil à évaluer la précharge dépendance.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Graphique de Bland Altman de l'analyse de concordance entre autoVTI et mesure manuelle moyenné dans le sous-groupe des patients à la FC > 90bpm



ANNEXE 2 : Coefficient de Lin et proportion de concordance après correction de l'erreur systématique concernant autoVTI et ITVman1

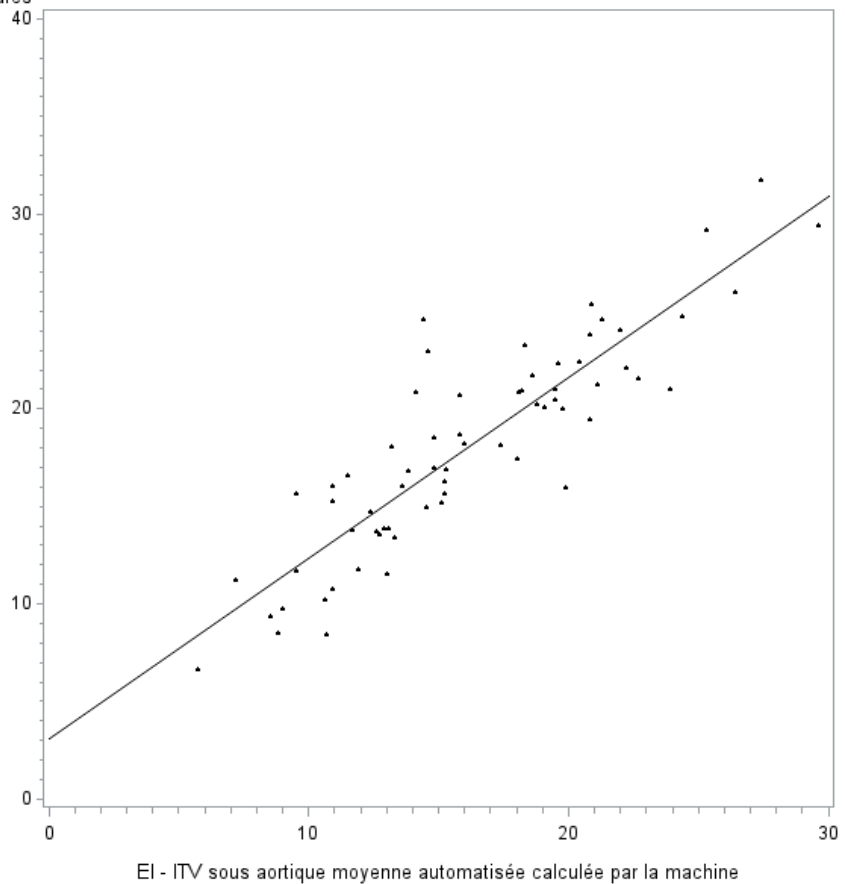
Compte tenu d'une erreur systématique tendant à la sous-estimation de la valeur de l'ITV_{ssAo} par la méthode automatisée comparé à la référence, deux analyses supplémentaires ont été réalisées afin d'évaluer la concordance après correction de ce biais :

- Le biais (ou différence moyenne) représenté sur le graphique de Bland & Altman étant égal à -1.89, la mesure automatisée a été « corrigée » de la valeur de ce biais. Après cette correction :
 - le coefficient de corrélation de concordance de Lin est égal à 0.8858 (IC 95 % = [0.8189 – 0.9290])
 - la proportion de concordance est égale à 72.7 % (IC95% = [62.0 % - 83.5 %], calculé selon la méthode de Wald). En effet, 48 des 66 patients analysés ont une différence entre la mesure manuelle et la mesure automatique corrigée inférieure à 15 %.
- Une régression linéaire de la mesure automatique en fonction de la mesure manuelle a été effectuée, la droite de régression linéaire étant tracées sur le graphique ci-après. En appliquant

l'équation de cette droite de régression à la mesure automatique, on obtient une autre méthode de correction de la valeur de l'ITV automatisée prenant en compte cette erreur systématique, retrouvant :

- Un coefficient de corrélation de concordance de Lin égal à 0.8802 (IC 95 % = [0.8127 – 0.9244])
- Une proportion de concordance égale à 72.7 % (IC95% = [62.0 % - 83.5 %], calculé selon la méthode de Wald). En effet, 48 des 66 patients analysés ont une différence entre la mesure manuelle et la mesure automatique corrigée inférieure à 15 %.

EI - ITV manuelle 1 : moyenne des mesures



ANNEXE 3 : Coefficient de Lin et proportion de concordance après correction du biais concernant BEST-VTI et ITVman1

Le biais (ou différence moyenne) représenté sur le graphique de Bland & Altman étant égal à 0.8539, la Best ITV a été « corrigée » de la valeur de ce biais.

Après cette correction, le coefficient de corrélation de concordance de Lin est égal à 0.9673 (IC 95 % = [0.9481 – 0.9795]) et la proportion de concordance est égale à 92.8 % (IC95% = [86.7 % - 98.9 %], calculé selon la méthode de Wald). En effet, 64 des 60 patients analysés ont une différence entre la Best ITV et la mesure manuelle inférieure à 15 %.

BIBLIOGRAPHIE

1. Sakr Y, Reinhart K, Vincent J-L, Sprung CL, Moreno R, Ranieri VM, et al. Does dopamine administration in shock influence outcome? Results of the Sepsis Occurrence in Acutely Ill Patients (SOAP) Study*. *Critical Care Medicine*. mars 2006;34:589-97.
2. Vincent J-L, De Backer D. Circulatory Shock. Finfer SR, Vincent J-L, éditeurs. *New England Journal of Medicine*. 31 oct 2013;369(18):1726-34.
3. Labovitz AJ, Noble VE, Bierig M, Goldstein SA, Jones R, Kort S, et al. Focused Cardiac Ultrasound in the Emergent Setting: A Consensus Statement of the American Society of Echocardiography and American College of Emergency Physicians. *Journal of the American Society of Echocardiography*. déc 2010;23(12):1225-30.
4. Lancellotti P, Price S, Edvardsen T, Cosyns B, Neskovic AN, Dulgheru R, et al. The use of echocardiography in acute cardiovascular care: recommendations of the European Association of Cardiovascular Imaging and the Acute Cardiovascular Care Association. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care*. févr 2015;4(1):3-5.
5. Vincent J-L, Rhodes A, Perel A, Martin GS, Rocca GD, Vallet B, et al. Clinical review: Update on hemodynamic monitoring - a consensus of 16. *Crit Care*. 2011;15(4):229.
6. 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.
7. Porter TR, Shillcutt SK, Adams MS, Desjardins G, Glas KE, Olson JJ, et al. Guidelines for the Use of Echocardiography as a Monitor for Therapeutic Intervention in Adults: A Report from the American Society of Echocardiography. *Journal of the American Society of Echocardiography*. janv 2015;28(1):40-56.
8. 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 Medicine*. déc 2014;40(12):1795-815.
9. Muller L. An Increase in Aortic Blood Flow after an Infusion of 100 ml Colloid over 1 min Can Predict Fluid Responsiveness. *CRITICAL CARE MEDICINE*.
10. AzuRea Group, Roger C, Zieleskiewicz L, Demattei C, Lakhali K, Piton G, et al. Time course of fluid responsiveness in sepsis: the fluid challenge revisiting (FCREV) study. *Critical Care [Internet]*. déc 2019 [cité 20 avr 2021];23(1). Disponible sur: <https://ccforum.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13054-019-2448-z>
11. Wetterslev M, Møller-Sørensen H, Johansen RR, Perner A. Systematic review of cardiac output measurements by echocardiography vs. thermodilution: the techniques are not interchangeable. *Intensive Care Medicine*. août 2016;42(8):1223-33.
12. Blancas R, Martínez-González Ó, Ballesteros D, Núñez A, Luján J, Rodríguez-Serrano D, et al. Lack of correlation between left ventricular outflow tract velocity time integral and stroke volume index in mechanically ventilated patients. *Medicina Intensiva*. mars 2019;43(2):73-8.

13. Blanco P. Rationale for using the velocity–time integral and the minute distance for assessing the stroke volume and cardiac output in point-of-care settings. *The Ultrasound Journal* [Internet]. déc 2020 [cité 18 avr 2021];12(1). Disponible sur: <https://theultrasoundjournal.springeropen.com/articles/10.1186/s13089-020-00170-x>
14. 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. *Critical Care* [Internet]. déc 2017 [cité 9 déc 2018];21(1). Disponible sur: <http://ccforum.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13054-017-1737-7>
15. Quiñones MA, Otto CM, Stoddard M, Waggoner A, Zoghbi WA. 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. *Journal of the American Society of Echocardiography*. févr 2002;15(2):167-84.
16. 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*. mars 2015;16(3):233-71.
17. Jozwiak M, Mercado P, Teboul J-L, Benmalek A, Gimenez J, Dépret F, et al. What is the lowest change in cardiac output that transthoracic echocardiography can detect? *Critical Care* [Internet]. déc 2019 [cité 18 avr 2021];23(1). Disponible sur: <https://ccforum.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13054-019-2413-x>
18. Bobbia X, Muller L, Claret P-G, Vigouroux L, Perez-Martin A, de La Coussaye JE, et al. A New Echocardiographic Tool for Cardiac Output Evaluation: An Experimental Study. *Shock*. oct 2019;52(4):449-55.
19. Toulouse E, Lafont B, Granier S, Mcgurk G, Bazin J-E. French legal approach to patient consent in clinical research. *Anaesthesia Critical Care & Pain Medicine*. déc 2020;39(6):883-5.
20. Expert Round Table on Echocardiography in ICU. International consensus statement on training standards for advanced critical care echocardiography. *Intensive Care Med*. mai 2014;40(5):654-66.
21. Mahjoub Y, Benoit-Fallet H, Airapetian N, Lorne E, Levrard M, Seydi A-A, et al. Improvement of left ventricular relaxation as assessed by tissue Doppler imaging in fluid-responsive critically ill septic patients. *Intensive Care Med*. sept 2012;38(9):1461-70.
22. Kottner J, Audigé L, Brorson S, Donner A, Gajewski BJ, Hróbjartsson A, et al. Guidelines for Reporting Reliability and Agreement Studies (GRRAS) were proposed. *Journal of Clinical Epidemiology*. janv 2011;64(1):96-106.
23. de Vet HCW, Terwee CB, Knol DL, Bouter LM. When to use agreement versus reliability measures. *Journal of Clinical Epidemiology*. oct 2006;59(10):1033-9.
24. Shiran C, Barjaktarevic I. Venue™ Family Auto Tool for Measuring VTI, White paper

25. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 8 févr 1986;1(8476):307-10.
26. Bland JM, Altman DG. Measuring agreement in method comparison studies. *Stat Methods Med Res*. 1 avr 1999;8(2):135-60.
27. Critchley LAH. A Meta-Analysis of Studies Using Bias and Precision Statistics to Compare Cardiac Output Measurement Techniques. :7.
28. Tibballs J, Hochmann M, Osborne A, Carter B. Accuracy of the BoMED NCCOM3 Bioimpedance Cardiac Output Monitor during Induced Hypotension: An Experimental Study in Dogs. *Anaesth Intensive Care*. 1 août 1992;20(3):326-31.
29. Lorne E, Diouf M, de Wilde RBP, Fischer M-O. Assessment of interchangeability rate between 2 methods of measurements: An example with a cardiac output comparison study. *Medicine*. févr 2018;97(7):e9905.
30. Cecconi M, Rhodes A, Poloniecki J, Della Rocca G, Grounds RM. Bench-to-bedside review: The importance of the precision of the reference technique in method comparison studies – with specific reference to the measurement of cardiac output. *Crit Care*. 2009;13(1):201.
31. Muller L, Bobbia X, Toumi M, Louart G, Molinari N, Ragonnet B, et al. Respiratory variations of inferior vena cava diameter to predict fluid responsiveness in spontaneously breathing patients with acute circulatory failure: need for a cautious use. *Critical Care*. 2012;16(5):R188.
32. Das SK, Choupoo NS, Pradhan D, Saikia P, Monnet X. Diagnostic accuracy of inferior vena caval respiratory variation in detecting fluid unresponsiveness: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Anaesthesiology*. nov 2018;35(11):831-9.
33. Vignon P, Repessé X, Bégot E, Léger J, Jacob C, Bouferrache K, et al. Comparison of Echocardiographic Indices Used to Predict Fluid Responsiveness in Ventilated Patients. *Am J Respir Crit Care Med*. 15 avr 2017;195(8):1022-32.
34. Desquilbet L. Guide pratique de validation statistique de méthodes de mesure : répétabilité, reproductibilité, et concordance [Internet]. 2012 [cité 29 juill 2021]. Disponible sur: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02103716>
35. Sumida T. Single-beat determination of doppler-derived aortic flow measurement in patients with atrial fibrillation. *Journal of the American Society of Echocardiography*. juill 2003;16(7):712-5.
36. Wang C-L, Lin K-H, Luqman N, Ho W-J, Hsu L-A, Chu P-H, et al. Refinement on Single-beat Determination of Left Ventricular Systolic Function in Patients with Atrial Fibrillation. *Journal of the American Society of Echocardiography*. sept 2005;18(9):913-8.
37. Rudski LG, Lai WW, Afilalo J, Hua L, Handschumacher MD, Chandrasekaran K, et al. Guidelines for the Echocardiographic Assessment of the Right Heart in Adults: A Report from the American Society of Echocardiography. *Journal of the American Society of Echocardiography*. juill 2010;23(7):685-713.

38. Airapetian N, Maizel J, Alyamani O, Mahjoub Y, Lorne E, Levrard M, et al. Does inferior vena cava respiratory variability predict fluid responsiveness in spontaneously breathing patients? *Crit Care*. déc 2015;19(1):400.
39. de Valk S, Olgers TJ, Holman M, Ismael F, Ligtenberg JJM, ter Maaten JC. The caval index: an adequate non-invasive ultrasound parameter to predict fluid responsiveness in the emergency department? *BMC Anesthesiol*. déc 2014;14(1):114.
40. Lanspa MJ, Grissom CK, Hirshberg EL, Jones JP, Brown SM. Applying Dynamic Parameters to Predict Hemodynamic Response to Volume Expansion in Spontaneously Breathing Patients With Septic Shock. *Shock*. févr 2013;39(2):155-60.
41. Via G, Tavazzi G, Price S. Ten situations where inferior vena cava ultrasound may fail to accurately predict fluid responsiveness: a physiologically based point of view. *Intensive Care Med*. juill 2016;42(7):1164-7.
42. Barbier C, Loubières Y, Schmit C, Hayon J, Ricôme J-L, Jardin F, et al. Respiratory changes in inferior vena cava diameter are helpful in predicting fluid responsiveness in ventilated septic patients. *Intensive Care Medicine* [Internet]. sept 2004 [cité 15 oct 2019];30(9). Disponible sur: <http://link.springer.com/10.1007/s00134-004-2259-8>
43. Feissel M, Michard F, Faller J-P, Teboul J-L. The respiratory variation in inferior vena cava diameter as a guide to fluid therapy. *Intensive Care Medicine* [Internet]. sept 2004 [cité 15 oct 2019];30(9). Disponible sur: <http://link.springer.com/10.1007/s00134-004-2233-5>
44. Preau S, Bortolotti P, Colling D, Dewavrin F, Colas V, Voisin B, et al. Diagnostic Accuracy of the Inferior Vena Cava Collapsibility to Predict Fluid Responsiveness in Spontaneously Breathing Patients With Sepsis and Acute Circulatory Failure: *Critical Care Medicine*. mars 2017;45(3):e290-7.
45. Charbonneau H, Riu B, Faron M, Mari A, Kurrek MM, Ruiz J, et al. Predicting preload responsiveness using simultaneous recordings of inferior and superior vena cavae diameters. *Crit Care*. oct 2014;18(5):473.
46. Si X, Xu H, Liu Z, Wu J, Cao D, Chen J, et al. Does Respiratory Variation in Inferior Vena Cava Diameter Predict Fluid Responsiveness in Mechanically Ventilated Patients? A Systematic Review and Meta-analysis: *Anesthesia & Analgesia*. nov 2018;127(5):1157-64.
47. Carrera P, Thongprayoon C, Cheungpasitporn W, Iyer VN, Moua T. Epidemiology and outcome of new-onset atrial fibrillation in the medical intensive care unit. *Journal of Critical Care*. déc 2016;36:102-6.

SERMENT D'HIPPOCRATE

En présence des Maîtres de cette école, de mes chers condisciples et devant l'effigie d'Hippocrate, je promets et je jure, au nom de l'Être suprême, 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 n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail.

Admis 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.

Respectueux et reconnaissant 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 couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.

RESUME

Contexte : L'échocardiographie transthoracique est un outil universellement utilisé en soins critiques dans le cadre de l'évaluation et du monitoring des patients en insuffisance circulatoire aiguë. Des applications assistent le praticien lors de la réalisation de l'examen en automatisant certaines mesures existant depuis peu, et n'ont jamais été évalués en pratique clinique. L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la concordance de la mesure de l'intégrale temps-vitesse (ITV) sous aortique par méthode automatisée avec l'outil auto-VTI®, et par méthode manuelle.

Matériel et méthode : Cette étude prospective à faible niveau d'intervention, monocentrique, inclus des patients de réanimation en insuffisance circulatoire, nécessitant une évaluation échocardiographique. La réalisation de l'examen comprenait d'abord deux mesures successives de l'ITV_{SSA0} manuellement (moyenne de 3 battements consécutifs en rythme sinusal régulier, et 5 battements et rythme irrégulier), puis une mesure via le logiciel auto-VTI®. Des mesures de la variation respiratoire de diamètre de la veine cave inférieure par méthode manuelle, puis automatisée autoIVC® étaient également réalisées. A l'issue de cette évaluation initiale, lorsqu'un remplissage vasculaire était décidé par le médecin en charge du patient, un second examen analogue était réalisé dans les suites.

Résultats : Soixante-dix patients ont été inclus entre le 19 janvier et le 24 septembre 2020 au CHU de Nîmes. La faisabilité des outils autoVTI et autoIVC était respectivement de 94.3% [86,0% ; 98,4%] et 94,5% [84,9% ; 98,9%]. L'évaluation de la concordance entre autoVTI et mesure manuelle retrouvait un coefficient de Lin de 0.8321 [0.7464 ; 0.8911], et une proportion de concordance au seuil de 15% de différence de de 68,2% [56,9% ; 79,4%]. Le biais de l'analyse de Bland Altman était de - 1,89 [-2,51 ; -1,27] cm, les limites concordance de - 6,84 [-7,97 ; -5,72] cm et 3,06 [1,93 ; 4,18] cm, le pourcentage d'erreur (PE) de 28,9%. La précision et le plus petit changement détectable (PPCD) mesurés de la référence étaient respectivement de 10,5 et 14,9%, et par déduction pour la méthode automatisée de 26,9% et 38,1%.

Conclusions : Les nouveaux outils d'aide à la mesure auto-VTI® et auto-IVC® présentent une faisabilité intéressante en pratique clinique de réanimation, mais une concordance avec les méthodes manuelles standards insuffisante en l'état actuel pour les remplacer.

Mots clefs : Echocardiographie, ITV-sous aortique, intelligence artificielle, insuffisance circulatoire aiguë, diamètre de la veine cave inférieure.