

**UNIVERSITÉ TOULOUSE III – PAUL SABATIER**  
**FACULTÉS DE MÉDECINE**

---

ANNÉE 2020

2020 TOU3 1657

**THÈSE**

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

Présentée et soutenue publiquement

Par

**Valérie SALEIL**

Le 09 Octobre 2020

**COMPARAISON DE LA MESURE DU DEBIT CARDIAQUE PAR LES**  
**METHODES DE THERMODILUTION TRANSPULMONAIRE ET**  
**ECHOGRAPHIE TRANSTHORACIQUE CHEZ LES PATIENTS DE**  
**REANIMATION EN ETAT DE CHOC : EFFET DU RYTHME**  
**CARDIAQUE**

Directeur de thèse : Dr Antoine ROUGET

**JURY**

Monsieur le Professeur Olivier FOURCADE

Président

Monsieur le Professeur Vincent MINVILLE

Assesseur

Monsieur le Professeur Olivier LAIREZ

Assesseur

Monsieur le Docteur Jean Marie CONIL

Assesseur

Monsieur le Docteur Antoine ROUGET

Suppléant

**TABLEAU du PERSONNEL HOSPITALO-UNIVERSITAIRE**  
des Facultés de Médecine de l'Université Toulouse III - Paul Sabatier  
au 1<sup>er</sup> septembre 2019

**Professeurs Honoraires**

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

**Professeurs Émérites**

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

## FACULTE DE MEDECINE TOULOUSE-PURPAN

37 allées Jules Guesde - 31000 TOULOUSE

Doyen : Didier CARRIE

P.U. - P.H.

P.U. - P.H.

Classe Exceptionnelle et 1<sup>ère</sup> classe

2<sup>ème</sup> classe

M. ADQUE Daniel (C.E.)	Médecine Interne, Gériatrie
M. AMAR Jacques (C.E.)	Thérapeutique
M. ATTAL Michel (C.E.)	Hématologie
M. AVET-LOISEAU Hervé (C.E.)	Hématologie, transfusion
Mme BEYNE-RAUZY Odile	Médecine Interne
M. BIRMES Philippe	Psychiatrie
M. BLANCHER Antoine	Immunologie (option Biologique)
M. BONNEVILLE Paul (C.E.)	Chirurgie Orthopédique et Traumatologie
M. BOSSAVY Jean-Pierre (C.E.)	Chirurgie Vasculaire
M. BRASSAT David	Neurologie
M. BROUCHE Laurent	Chirurgie Thoracique et Cardio-vasculaire
M. BROUSSET Pierre (C.E.)	Anatomie pathologique
M. BUREAU Christophe	Hépatogastro-entéro
M. CALVAS Patrick (C.E.)	Génétique
M. CARPIERE Nicolas	Chirurgie Générale
M. CARRIE Didier (C.E.)	Cardiologie
M. CHAIX Yves	Pédiatrie
Mme CHARPENTIER Sandrine	Médecine d'urgence
M. CHAUVEAU Dominique	Néphrologie
M. CHOLLET François (C.E.)	Neurologie
M. DAHAN Marco (C.E.)	Chirurgie Thoracique et Cardiaque
M. DE BOISSEZON Xavier	Médecine Physique et Réadapt. Fonct.
M. DEGUINE Olivier (C.E.)	Oto-rhino-laryngologie
M. DUCOMMUN Bernard	Cancérologie
M. FERRIERES Jean (C.E.)	Epidémiologie, Santé Publique
M. FOURCADE Olivier	Anesthésiologie
M. FOURNÉ Pierre	Ophthalmologie
M. GAME Xavier	Urologie
M. GEERAERTS Thomas	Anesthésiologie et réanimation
M. IZOPET Jacques (C.E.)	Bactériologie-Virologie
Mme LAMANT Laurence (C.E.)	Anatomie Pathologique
M. LANG Thierry (C.E.)	Biostatistiques et Informatique Médicale
M. LANGIN Dominique (C.E.)	Nutrition
M. LAUWERS Frédéric	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
M. LAUQUE Dominique (C.E.)	Médecine d'urgence
M. LIBLAU Roland (C.E.)	Immunologie
M. MALAVALD Bernard	Urologie
M. MANSAT Pierre	Chirurgie Orthopédique
M. MARCHOU Bruno (C.E.)	Maladies Infectieuses
M. MAZERES Julien	Pneumologie
M. MOLINER Laurent	Epidémiologie, Santé Publique
M. MONTASTRUC Jean-Louis (C.E.)	Pharmacologie
Mme MOYAL Elisabeth	Cancérologie
Mme NOURHASHEMI Fatemeh (C.E.)	Gériatrie
M. OSWALD Eric (C.E.)	Bactériologie-Virologie
M. PARANT Olivier	Gynécologie Obstétrique
M. PARIENTE Jérémie	Neurologie
M. PARINAUD Jean (C.E.)	Biol. Du Dévelop. et de la Reprod.
M. PAUL Cécile	Dermatologie
M. PAYOUX Pierre	Biophysique
M. PAYRASTRE Bernard (C.E.)	Hématologie
M. PERON Jean-Marc	Hépatogastro-entérologie
M. PERRET Bertrand (C.E.)	Biochimie
M. RASCOL Olivier (C.E.)	Pharmacologie
M. RECHER Christian (C.E.)	Hématologie
M. RITSCHMANN Pascal (C.E.)	Urologie
M. RIVIERE Daniel (C.E.)	Physiologie
M. SALES DE GAUZY Jérôme (C.E.)	Chirurgie Infantile
M. SALLES Jean-Pierre (C.E.)	Pédiatrie
M. SANS Nicolas	Radiologie
Mme SELVES Janick	Anatomie et cytologie pathologiques
M. SERRE Guy (C.E.)	Biologie Cellulaire
M. TELMON Norbert (C.E.)	Médecine Légale
M. VINEL Jean-Pierre (C.E.)	Hépatogastro-entérologie

Mme BONGARD Vanina	Epidémiologie
M. BONNEVILLE Nicolas	Chirurgie orthopédique et traumatologique
Mme CASPER Charlotte	Pédiatrie
M. COGNARD Christophe	Neuroradiologie
M. LAREZ Olivier	Biophysique et médecine nucléaire
M. LAROUCHE Michel	Rhumatologie
M. LEOBON Bertrand	Chirurgie Thoracique et Cardiaque
M. LOPEZ Raphaël	Anatomie
M. MARTIN-BONDEL Guillaume	Maladies infectieuses, maladies tropicales
M. MARX Mathieu	Oto-rhino-laryngologie
M. MAS Emmanuel	Pédiatrie
M. OLIVOT Jean-Marc	Neurologie
M. PAGES Jean-Christophe	Biologie Cellulaire et Cytologie
M. PORTIER Guillaume	Chirurgie Digestive
M. RONCALLI Jérôme	Cardiologie
Mme RUYSSSEN-WITRAND Adeline	Rhumatologie
Mme SAVAGNER Frédérique	Biochimie et biologie moléculaire
M. SOL Jean-Christophe	Neurochirurgie
Mme TREMOILLIERES Florence	Biologie du développement
Mme VEZZOSI Delphine	Endocrinologie

**P.U. Médecine générale**

M. MESTHE Pierre
M. OUSTRIC Stéphane (C.E.)

**Professeur Associé Médecine générale**

M. ABITTEBOUL Yves
M. POUTRAIN Jean-Christophe

**Professeur Associé en Neurologie**

Mme PAVY-LE TRACON Anne
-------------------------

**Professeur Associé en Bactériologie - Virologie ; Hygiène Hospitalière**

Mme MALAVALD Sandra
---------------------

**FACULTE DE MEDECINE TOULOUSE-RANGUEIL**

**133, route de Narbonne - 31062 TOULOUSE Cedex**

**P.U. - P.H.**

**Classe Exceptionnelle et 1<sup>ère</sup> classe**

**Doyen : Elie SERRANO**

**P.U. - P.H.**

**2<sup>ème</sup> classe**

M. ARBUS Christophe	Psychiatrie	M. AUSSEL Jérôme	Biochimie et biologie moléculaire
M. ACAR Philippe	Pédiatrie	M. BERRY Antoine	Parasitologie
M. ACCADBLED Franck	Chirurgie Infantile	M. BOUNES Vincent	Médecine d'urgence
M. ALRIC Laurent (C.E)	Médecine Interne	Mme BOURNET Barbara	Gastro-entérologie
Mme ANDREU Sandrine	Epidémiologie	M. CHAPUT Benoit	Chirurgie plastique et des brûlés
M. ARNAL Jean-François	Physiologie	Mme DALENC Florence	Cancérologie
Mme BERRY Isabelle (C.E)	Biophysique	M. DECRAMER Stéphane	Pédiatrie
M. BONNEVILLE Fabrice	Radiologie	Mme FARUCH-BILFELD Marie	Radiologie et Imagerie Médicale
M. BUJAN Louis (C. E)	Urologie-Andrologie	M. FAGUER Stanislas	Néphrologie
Mme BURARIVIERE Alexandra	Médecine Vasculaire	M. FRANCHITTO Nicolas	Addictologie
M. BUSCAIL Louis (C.E)	Hépatogastro-Entérologie	M. GARRIDO-STOWHAS Ignacio	Chirurgie Plastique
M. CANTAGREL Alain (C.E)	Rhumatologie	M. GATIMEL Nicolas	Médecine de la reproduction
M. CARON Philippe (C.E)	Endocrinologie	Mme LAPRUE Anna	Radiothérapie
M. CHAUFOUR Xavier	Chirurgie Vasculaire	M. LAURENT Camille	Anatomie Pathologique
M. CHAYNES Patrick	Anatomie	M. LE CAIGNEC Cédric	Génétique
M. CHIRON Philippe (C.E)	Chirurgie Orthopédique et Traumatologie	M. MARCHEUX Bertrand	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
M. CONSTANTIN Arnaud	Rhumatologie	M. MEYER Nicolas	Dermatologie
M. COURBON Frédéric	Biophysique	M. MUSCARI Fabrice	Chirurgie Digestive
Mme COURTADE SAIDI Monique	Histologie Embryologie	M. REINA Nicolas	Chirurgie orthopédique et traumatologique
M. DAMBRIN Camille	Chirurgie Thoracique et Cardiovasculaire	M. SILVA SIFONTES Sten	Réanimation
M. DELABESSE Eric	Hématologie	M. SOLER Vincent	Ophthalmologie
M. DELOBEL Pierre	Maladies Infectieuses	Mme SOMMET Agnès	Pharmacologie
M. DELORD Jean-Pierre	Cancérologie	Mme SOTO-MARTIN Maria-Eugenia	Gériatrie et biologie du vieillissement
M. DIDIER Alain (C.E)	Préventologie	M. TACK Ivan	Physiologie
Mme DULY-BOUHANICK Béatrice (C.E)	Thérapeutique	M. VERGEZ Sébastien	Oto-rhino-laryngologie
M. ELBAZ Meyer	Cardiologie	M. YSEBAERT Loïc	Hématologie
M. GALINIER Michel (C.E)	Cardiologie		
M. GLOCK Yves (C.E)	Chirurgie Cardio-Vasculaire		
Mme GOMEZ-BROUCHET Anne-Muriel	Anatomie Pathologique		
M. GOURDY Pierre	Endocrinologie		
M. GRAND Alain (C.E)	Epidémiologie, Eco. de la Santé et Prévi.	<b>P.U. Médecine générale</b>	
M. GROLLEAU RAOUX Jean-Louis (C.E)	Chirurgie plastique	Mme ROUGE-BUGAT Marie-Eve	
Mme GUMBAUD Rosine	Cancérologie		
Mme HANARE Héléne (C.E)	Endocrinologie		
M. HUYGHE Eric	Urologie		
M. KAMAR Nassim (C.E)	Néphrologie		
M. LARRUE Vincent	Neurologie		
M. LEVADE Thierry (C.E)	Biochimie		
M. MALECAZE François (C.E)	Ophthalmologie		
M. MARQUE Philippe	Médecine Physique et Réadaptation		
M. MAURY Jean-Philippe	Cardiologie		
Mme MAZEREEUW Juliette	Dermatologie		
M. MINVILLE Vincent	Anesthésiologie Réanimation		
M. OTAL Philippe	Radiologie		
M. RAYNAUD Jean-Philippe (C.E)	Psychiatrie Infantile		
M. RITZ Patrick (C.E)	Nutrition		
M. ROLLAND Yves (C.E)	Généralie		
M. ROUGE Daniel (C.E)	Médecine Légale		
M. ROUSSEAU Hervé (C.E)	Radiologie		
M. ROUX Franck-Emmanuel	Neurochirurgie		
M. SAILLER Laurent	Médecine Interne		
M. SCHMITT Laurent (C.E)	Psychiatrie		
M. SENARD Jean-Michel (C.E)	Pharmacologie		
M. SERRANO Elie (C.E)	Oto-rhino-laryngologie		
M. SOULAT Jean-Marc	Médecine du Travail		
M. SOLLE Michel (C.E)	Urologie		
M. SUC Bertrand	Chirurgie Digestive		
Mme TAUSER Marie-Thérèse (C.E)	Pédiatrie		
Mme URO-COSTE Emmanuelle	Anatomie Pathologique		
M. VAYSSIERE Christophe	Gynécologie Obstétrique		
M. VELLAS Bruno (C.E)	Généralie		

**M.C.U. - P.H.**

M. ASSO Olivier	Chirurgie infantile
M. APOÏL Poi Andra	Immunologie
Mme ARNAUD Catherine	Epidémiologie
Mme AUSSEL-TRUDEL Stéphanie	Biochimie et Biologie Moléculaire
Mme BELLERE-FABRE Julie	Néphrologie
Mme BERTOLI Sarah	Hématologie, transfusion
M. BIETH Eric	Génétique
Mme CASPAR BAUGUIL Sylvie	Nutrition
Mme CASSAGNE Myriam	Ophthalmologie
Mme CASSANG Sophie	Parasitologie
M. CAVAIGNAC Etienne	Chirurgie orthopédique et traumatologie
Mme CHANTALAT Elodie	Anatomie
M. CONGY Nicolas	Immunologie
Mme COURBON Christine	Pharmacologie
Mme DAMASE Christine	Pharmacologie
Mme de GLISEZENSKY Isabelle	Physiologie
Mme DE MAS Véronique	Hématologie
M. DUBOIS Damien	Bactériologie Virologie Hygiène
Mme FILLAUX Judith	Parasitologie
M. GANTET Pierre	Biophysique
Mme GENNERO Isabelle	Biochimie
Mme GENOUX Annelise	Biochimie et biologie moléculaire
M. HAMDJ Salouane	Biochimie
Mme HITZEL Anne	Biophysique
M. IRIART Xavier	Parasitologie et mycologie
Mme JONCA Nathalie	Biologie Cellulaire
M. KIRZIN Sylvain	Chirurgie générale
Mme LAPEYRE-MESTRE Maryse	Pharmacologie
M. LHERMUSIER Thibault	Cardiologie
M. LHOMME Sébastien	Bactériologie-virologie
Mme MONTASTIER Emilie	Nutrition
Mme MOREAU Marion	Physiologie
Mme NOGUEIRA M.L.	Biologie Cellulaire
Mme PERROT Aurora	Hématologie ; Transfusion
M. PILLARD Fabien	Physiologie
Mme PUISSANT Bénédicte	Immunologie
Mme RAYMOND Stéphanie	Bactériologie Virologie Hygiène
Mme SABOURDY Frédérique	Biochimie
Mme SALINE Karine	Bactériologie Virologie
M. TAFANI Jean-André	Biophysique
M. TREINER Emmanuel	Immunologie
Mme VAYSSE Charlotte	Cancérologie
M. VIDAL Fabien	Gynécologie obstétrique

**M.C.U. Médecine générale**

M. BRILLAC Thierry  
Mme DUPOUY Julie

**M.C.U. - P.H.**

Mme ABRAVANEL Florence	Bactériologie Virologie Hygiène
Mme BASSET Céline	Cytologie et histologie
Mme CAMARE Caroline	Biochimie et biologie moléculaire
M. CAMBUS Jean-Pierre	Hématologie
Mme CANTERO Anne-Valérie	Biochimie
Mme CARFAGNA Luana	Pédiatrie
Mme CASSOL Emmanuelle	Biophysique
Mme CAUSSE Elizabeth	Biochimie
M. CHASSANG Nicolas	Génétique
M. CLAVEL Cyril	Biologie Cellulaire
Mme COLOMBAT Magali	Anatomie et cytologie pathologiques
Mme CORRE Jil	Hématologie
M. DE BONNECAZE Guillaume	Anatomie
M. DEOULIT Fabrice	Médecine Légale
M. DEGBOE Yannick	Rhumatologie
M. DELPLA Pierre-André	Médecine Légale
M. DESPAS Fabien	Pharmacologie
M. EDOUARD Thomas	Pédiatrie
Mme ESQUIROL Yolande	Médecine du travail
Mme EVRARD Solène	Histologie, embryologie et cytologie
Mme FLOCH Pauline	Bactériologie-Virologie; Hygiène Hospt.
Mme GALNER Anne	Nutrition
Mme GALLINI Adeline	Epidémiologie
Mme GARDETTE Virginie	Epidémiologie
M. GASO David	Physiologie
M. GATMEL Nicolas	Médecine de la reproduction
Mme GRARE Marion	Bactériologie Virologie Hygiène
M. GUBERT Nicolas	Pneumologie ; Addictologie
Mme GUILBEAU-FRUGIER Céline	Anatomie Pathologique
M. GUILLEMINAULT Laurent	Pneumologie
Mme GUYONNET Sophie	Nutrition
M. HERIN Fabrice	Médecine et santé au travail
Mme INGJENEAU Cécile	Biochimie
M. LEANDRI Roger	Biologie du dével. et de la reproduction
M. LEPAGE Benoit	Bioinformatique et Informatique médicale
Mme MAUPAS SCHWALM Françoise	Biochimie
M. MEUSSET Roger	Biologie du dével. et de la reproduction
M. MOULIS Guillaume	Médecine interne
Mme NASR Nathalie	Neurologie
Mme QUELVEN Isabelle	Biophysique et Médecine Nucléaire
M. RIMALHO Jacques	Anatomie et Chirurgie Générale
M. RONGIERES Michel	Anatomie - Chirurgie orthopédique
Mme VALLET Marion	Physiologie
M. VERGEZ François	Hématologie
M. YRONDI Antoine	Psychiatrie d'Adultes ; Addictologie

**M.C.U. Médecine générale**

M. BISMUTH Michel  
Mme ESCOURROU Brigitte

**Maîtres de Conférences Associés de Médecine Générale**

Dr CHICOLAA Bruno  
Dr FREYENS Anne  
Dr FUECH Marcella

Dr BIREBENT Jordan  
Dr BOUNGEOIS Odile  
Dr LATROUS Laïla  
Dr. BOUSSIER Nathalie

## REMERCIEMENTS AUX MEMBRES DU JURY

### **A Monsieur le Professeur Olivier FOURCADE,**

Vous me faites l'honneur de présider mon jury de thèse. Je vous remercie pour votre accueil au sein du pôle anesthésie-réanimation toulousain, et pour l'énergie que vous déployez à défendre notre belle spécialité.  
Veuillez trouver dans ce travail le témoignage de ma gratitude et d'un profond respect.

### **A Monsieur le Professeur Vincent MINVILLE,**

Vous me faites l'honneur d'évaluer mon travail. Merci pour votre investissement dans la recherche et dans l'encadrement universitaire des internes.  
Soyez assuré de ma profonde considération.

### **A Monsieur le Professeur Olivier LAIREZ,**

Vous me faites l'honneur d'avoir accepté de participer à ce jury et d'évaluer ce travail en apportant votre expertise sur le sujet.  
Veuillez trouver ici l'expression de mes remerciements les plus sincères.

### **A Monsieur le Docteur Jean Marie CONIL,**

Vous me faites l'honneur de juger ce travail, pour lequel vous avez été l'un des acteurs essentiels. Vos connaissances sur le plan statistique sont intarissables, vous m'avez apporté une aide précieuse. Je vous remercie encore une fois pour votre patience.  
Soyez assuré de ma profonde reconnaissance.

### **A Monsieur le Docteur Antoine ROUGET,**

Merci de m'avoir fait confiance dans la réalisation de ce travail.  
Ton soutien pendant ces deux années m'a été indispensable pour ne jamais douter que je rendrais cette thèse à temps ... Les moments à discuter autour de ce travail ainsi que mes deux semestres en réanimation Rangueil, ont été pour moi l'occasion de découvrir un médecin passionné ainsi qu'une personne attachante.  
Avec toute mon estime.

## TABLE DES MATIERES

<b>LISTE DES ABREVIATIONS .....</b>	<b>8</b>
<b>I. INTRODUCTION.....</b>	<b>9</b>
1. ETAT ACTUEL DES CONNAISSANCES.....	9
A. <i>Sur la pathologie</i> .....	9
B. <i>Sur les traitements, stratégies, procédures de référence</i> .....	10
2. PROBLEMATIQUE .....	12
<b>II. MATERIELS ET METHODES.....</b>	<b>13</b>
1. POPULATION .....	13
2. PROTOCOLE .....	13
3. ANALYSE STATISTIQUE.....	16
A. <i>Statistiques descriptives</i> .....	16
B. <i>Comparaison des méthodes de mesure du débit cardiaque</i> .....	16
4. CRITERES DE JUGEMENT .....	18
<b>III. RESULTATS.....</b>	<b>19</b>
1. POPULATION.....	19
2. COMPARAISON DES MESURES DE DEBIT CARDIAQUE .....	20
A. <i>Population globale</i> .....	20
B. <i>Comparaison groupes RS et FA</i> .....	21
C. <i>Analyse en sous-groupes</i> .....	23
<b>IV. DISCUSSION.....</b>	<b>25</b>
1. CONCORDANCE DC ETT - DC TDTP.....	25
2. IMPACT DE L'ARYTHMIE .....	26
3. AUTRES FACTEURS .....	27
4. LIMITES ET POINTS FORTS .....	29
5. PERSPECTIVES.....	30
<b>V. CONCLUSION .....</b>	<b>32</b>
<b>VI. BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>33</b>
<b>VII. ANNEXES .....</b>	<b>36</b>
1. FIGURES ET TABLEAUX.....	36
2. VALIDATION COMITE DE PROTECTION DES PERSONNES .....	38

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

DC : Débit cardiaque

ETT : Echographie transthoracique

TDTP : Thermodilution transpulmonaire

TDAP : Thermodilution artérielle pulmonaire

DC ETT : Débit cardiaque mesuré par échographie transthoracique

DC TDTP : Débit cardiaque mesuré par thermodilution transpulmonaire

DC TDAP : Débit cardiaque mesuré par thermodilution artérielle pulmonaire

FA : Fibrillation auriculaire

RS : Rythme sinusal

CHU : Centre Hospitalier Universitaire

ITV : Intégrale temps vitesse

CCVG : Chambre de chasse du ventricule gauche

Sao : Surface aortique

D : Diamètre

VES : Volume d'éjection systolique

FC : Fréquence cardiaque

CE : Coefficient d'erreur

CV : Coefficient de variation

DS : Déviation standard

PE : Pourcentage d'erreur

SDRA : Syndrome de détresse respiratoire aigue

RV : Remplissage vasculaire

V : Volume

Ttm : Temps de transit moyen

# I. INTRODUCTION

## 1. ETAT ACTUEL DES CONNAISSANCES

### A. Sur la pathologie

L'état de choc se définit par une insuffisance circulatoire aboutissant à une hypoxie tissulaire par inadéquation entre les apports et les besoins cellulaires en oxygène.

D'un point de vue physiopathologique, ce défaut de perfusion tissulaire peut être dû à :

- une diminution du retour veineux due à une perte de volume circulant : hypovolémie absolue ou relative par vasoplégie,
- une défaillance initiale de la pompe cardiaque comme c'est le cas lors d'un choc cardiogénique,
- une obstruction secondaire à une embolie pulmonaire, un pneumothorax sous tension ou une tamponnade cardiaque.
- une perte de tonus vasculaire et un trouble de la microcirculation,

Les caractéristiques de chacun de ces quatre types de choc (hypovolémique, cardiogénique, obstructif et distributif) sont intriquées.

Un tiers des patients admis en réanimation est en état de choc dont 62% de choc septique, 17% de choc cardiogénique et 16% de choc hypovolémique (SOAP II trial).

L'état de choc est une urgence vitale, grevé d'un mauvais pronostic, justifiant un diagnostic rapide basé sur une association de signes cliniques. Les examens paracliniques permettent d'apprécier le retentissement du choc et l'efficacité du traitement, de dépister les complications et de confirmer les hypothèses diagnostiques. Le traitement est avant tout étiologique mais les mesures symptomatiques sont à mettre en place sans délai afin d'améliorer la perfusion tissulaire. A cette fin, il est recommandé de mettre en place un cathéter veineux central ainsi qu'un cathéter artériel dans tous les états de choc ne répondant pas au traitement initial (1-3).

Selon les conférences de consensus internationales de 2006 et de 2014, il est recommandé de réaliser une évaluation hémodynamique approfondie avec évaluation de la fonction cardiaque par échographie transthoracique lorsque l'étiologie de l'état de choc n'est pas évidente (1,2). En effet des études ont montrées que les variations de débit cardiaque (DC) ne peuvent être monitorées de manière fiable, avec la fréquence cardiaque ou la mesure de la pression artérielle (4,5). De plus, chez les patients complexes, il est suggéré d'utiliser le

cathétérisme de l'artère pulmonaire ou la thermodilution transpulmonaire pour déterminer le type de choc.

Il est recommandé de mesurer le débit cardiaque par échographie transthoracique (ETT) ou thermodilution transpulmonaire (TDTP) en cas d'état de choc réfractaire et thermodilution transpulmonaire en cas d'état de choc complexe ou associé à un syndrome de détresse respiratoire aiguë. La mesure du débit cardiaque dans ces situations où les patients ne répondent pas au traitement initial, est un outil indispensable à la gestion du remplissage vasculaire ainsi que des catécholamines.

La fibrillation auriculaire est l'arythmie la plus fréquente en réanimation. Une étude suggère qu'un quart des patients de 65 ans admis en réanimation ayant un sepsis va présenter une fibrillation auriculaire (6). Celle-ci peut être permanente ou survenir pendant l'hospitalisation en réanimation. La fibrillation auriculaire est caractérisée par des variations importantes de fréquence cardiaque et de volume d'éjection systolique, donc de débit cardiaque.

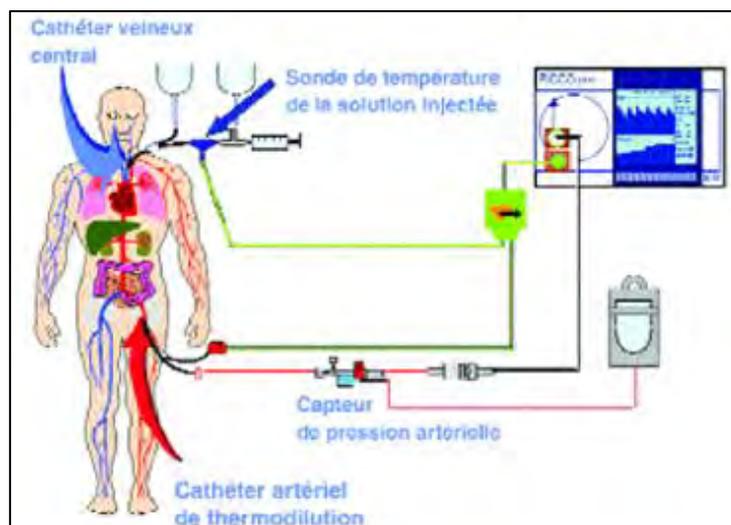
#### B. Sur les traitements, stratégies, procédures de référence

La thermodilution artérielle pulmonaire (TDAP) intermittente est considérée depuis des années comme le gold standard en matière de mesure du débit cardiaque en unité de soins critiques. Cependant, sa réalisation implique la mise en place d'un cathéter artériel pulmonaire qui est un acte invasif, difficile à réaliser, coûteux et associé à un taux de complication non négligeable (7-9). La tendance de ces dernières années est en faveur de nouveaux moyens de monitoring moins invasifs, tels que l'échographie transthoracique et la thermodilution transpulmonaire, désormais quotidiennement utilisés dans les services de réanimation.

L'échographie transthoracique est un moyen de monitoring hémodynamique non invasif, fiable et accessible, couramment utilisé en réanimation (10,11). Cependant, sa principale limite est liée à la faible échogénicité de certains patients, notamment sous ventilation mécanique. La littérature présente de nombreuses études validant la mesure du débit cardiaque par échographie transthoracique en comparaison au gold standard (12,13). Mercado et al, dans leur étude de 2017 mettent en évidence une bonne concordance de l'échographie transthoracique par rapport à la thermodilution artérielle pulmonaire dans la mesure du débit cardiaque, avec un faible biais et des limites de concordance étroites (biais médian 0.2 L/min,

limites d'agrément -1.3 à 1.8 L/min) ainsi qu'un pourcentage d'erreur acceptable de 25%. De plus, ils retrouvent une bonne capacité à suivre les variations de débit cardiaque pour l'échographie transthoracique (94% de concordance avec la thermodilution artérielle pulmonaire pour des variations de DC > 10%). Cela en fait une méthode précise pour mesurer le débit cardiaque.

La thermodilution transpulmonaire permet de mesurer le débit cardiaque de manière intermittente mais aussi d'évaluer la quantité d'eau intrapulmonaire extravasculaire et d'apporter des indices évaluant la précharge, la contractilité du myocarde et la perméabilité des capillaires pulmonaires. Son utilisation requiert la pose d'une voie veineuse centrale en territoire cave supérieur et d'un cathéter artériel. C'est donc une méthode peu invasive et accessible. Plusieurs études retrouvent une concordance entre la mesure du débit cardiaque par thermodilution artérielle pulmonaire et thermodilution transpulmonaire (14–16). ØStergaard et al, retrouvent un biais médian à 0,46L/min, et des limites d'agrément de 1,56 à -0,64 L/min ainsi qu'un pourcentage d'erreur à 21,2%.



*Schéma d'utilisation de la thermodilution transpulmonaire.  
Source : revmed.ch*

Cependant, les études de validation de ces méthodes de mesures du débit cardiaque ont largement exclu de leurs effectifs les patients arythmiques.

Une étude menée en 2017 dans notre service étudiait la concordance des mesures de débit cardiaque par thermodilution transpulmonaire et échographie transthoracique chez les patients en fibrillation auriculaire : elle retrouvait un biais médian de -0,7 L/min et des limites de concordances entre 1,6 et -2,9 l/min, ainsi qu'un pourcentage d'erreur de 40%. La méthode de

référence utilisée était l'échographie transthoracique, comme cela est recommandé chez le patient en arythmie (17). Nous en avons conclu que les deux méthodes de mesure n'étaient pas interchangeables chez les patients en fibrillation auriculaire.

Bien que l'échographie transthoracique et la thermodilution transpulmonaire soient les techniques les plus couramment utilisées en réanimation, il n'y a, à ce jour, que l'étude sus-citée qui les a comparés dans une sous population de patients arythmiques.

## **2. PROBLEMATIQUE**

L'échographie transthoracique est un outil de mesure non invasif et accessible, mais présente certaines limites notamment liées à l'échogénicité des patients et au caractère opérateur dépendant de son utilisation. La thermodilution transpulmonaire permet de s'affranchir de certaines de ces limites et d'apporter des informations supplémentaires à l'évaluation hémodynamique des patients mais c'est un outil plus invasif.

L'objectif de cette étude était de préciser la comparabilité de l'échographie transthoracique et de la thermodilution transpulmonaire dans la mesure du débit cardiaque chez les patients en état de choc, afin d'évaluer si elles pouvaient être utilisées de manière interchangeable pour s'adapter aux changements de disponibilité et aux limites de l'une ou de l'autre des techniques.

Nous avons fait l'hypothèse que les mesures de débit cardiaque par thermodilution transpulmonaire étaient concordantes à celles réalisées par échographie transthoracique chez les patients de réanimation.

Dans un second temps, nous avons comparé les données retrouvées chez les patients en rythme sinusal à celles obtenues chez les patients en fibrillation auriculaire afin d'évaluer l'impact du rythme cardiaque sur la mesure du débit cardiaque.

## **II. MATERIELS ET METHODES**

### **1. POPULATION**

Nous avons réalisé une étude observationnelle descriptive analytique monocentrique et prospective dans l'unité de réanimation du CHU Rangueil à Toulouse entre février et août 2020. Ce travail a reçu un avis favorable du Comité de Protection des Personnes « CPP Est II ». Le patient (ou son représentant) a été informé de l'étude, et sa non opposition a été systématiquement recherchée.

Tous les patients majeurs hospitalisés pour un état de choc et nécessitant un monitoring hémodynamique par thermodilution transpulmonaire ont été inclus. L'indication du monitoring par thermodilution transpulmonaire était laissée à l'appréciation du clinicien en charge du patient.

Les critères d'exclusion comprenaient les patients mineurs ou majeurs protégés et les patients porteurs d'une affection qui fausserait les mesures (insuffisance aortique sévère, rétrécissement aortique ou sous aortique serré, shunt intracardiaque sévère, tamponnade).

Tous les patients étaient sédatisés et ventilés en ventilation assistée contrôlée, leur rythme cardiaque était sinusal. Les données cliniques et biologiques suivantes étaient relevées : antécédents, motif d'hospitalisation, paramètres vitaux, thérapeutiques en cours, paramètres ventilatoires, gazométrie artérielle.

Concernant les patients en fibrillation auriculaire, nous avons utilisé les données de l'étude réalisée en 2017 dans cette même réanimation.

### **2. PROTOCOLE**

Pour chaque patient inclus, nous avons mesuré le débit cardiaque par échographie transthoracique et thermodilution transpulmonaire de manière simultanée. Les mesures de débit cardiaque échographiques ont été réalisées par des médecins réanimateurs en aveugle des mesures par thermodilution réalisées par des infirmiers de réanimation formés.

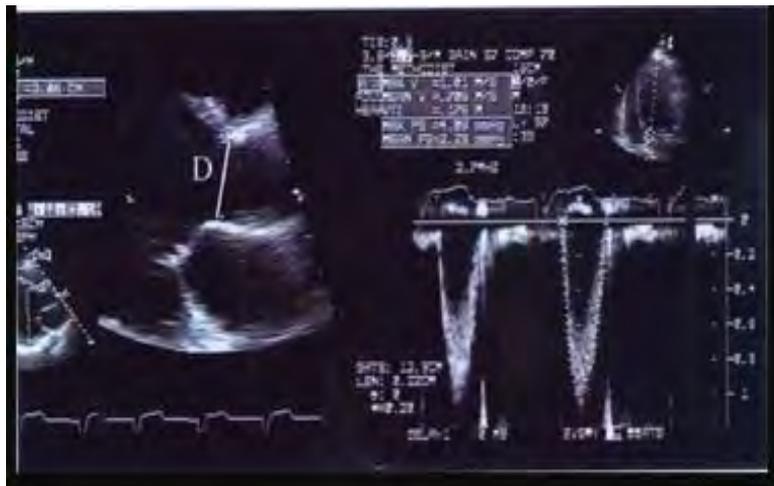
- Mesure par échographie transthoracique :

La mesure du débit cardiaque par échographie transthoracique a été réalisée avec un échographe ViVID-i de General Electric selon les recommandations des Sociétés Européenne et Américaine d'Échocardiographie (17,18).

Elle nécessite :

- la mesure de la vitesse du flux sanguin appelée Intégrale Temps Vitesse (ITV), à l'aide d'une technique doppler pulsé au niveau de la chambre de chasse du ventricule gauche, en coupe apicale 5 cavités à 5mm de la valve aortique. L'ITV était moyennée sur 10 mesures consécutives ; afin de se mettre dans les mêmes conditions de mesure que celles réalisées chez les patients en fibrillation auriculaire.

- la mesure du diamètre (D) de la chambre de chasse du ventricule gauche (CCVG), diamètre de la base de la valve aortique en systole en coupe parasternale long axe, permettant de calculer la Surface (Sao) de la valve aortique :  $Sao = (\pi \times D/2)^2$ .



*A gauche : mesure du diamètre de la CCVG.  
A droite : mesure de l'ITV en coupe apicale 5 cavités*

Le débit cardiaque était calculé selon la formule suivante :

$$DC = VES (ml) \times FC (min)$$

$$\text{Avec VES, le volume d'éjection systolique} = Sao (cm^2) \times ITV (cm)$$

- Mesure par thermodilution transpulmonaire :

Elle nécessite la pose d'un cathéter artériel fémoral de thermodilution « PICCO Catheter 5F, 20cm » et d'un cathéter veineux central en territoire cave supérieur. Le moniteur utilisé était un PICCO<sub>2</sub> Pulsion Medical Systems. La mesure du débit cardiaque par thermodilution transpulmonaire requiert la réalisation de trois thermodilutions pour une précision optimale (19,20).

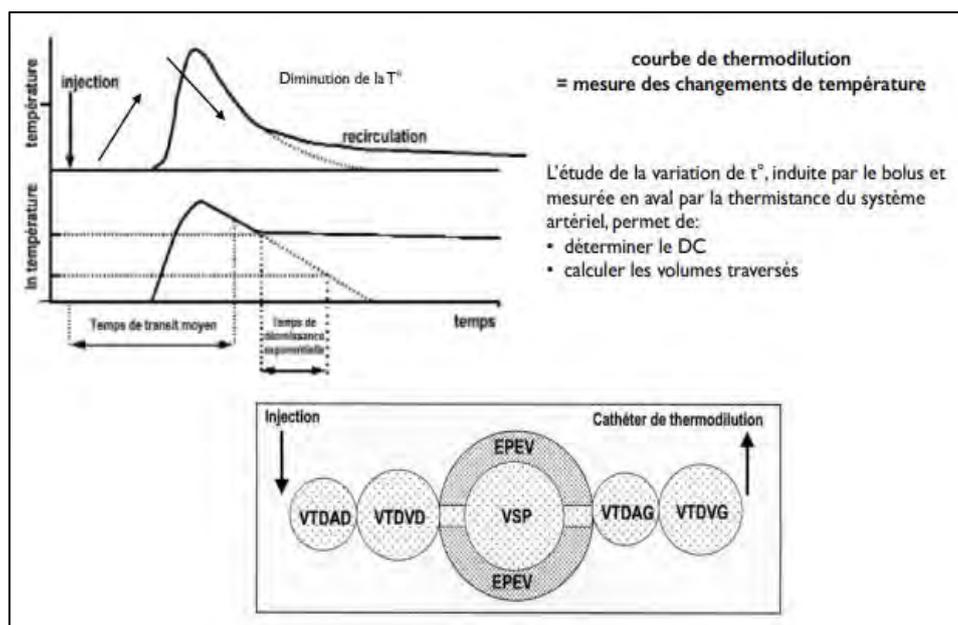
L'indicateur thermique utilisé était un bolus de 20 ml de NaCl 0.9% à 6°C, injecté par le cathéter veineux central, permettant d'enregistrer une courbe de thermodilution par la thermistance du cathéter artériel fémoral.

L'estimation du débit cardiaque est similaire au cathéter artériel pulmonaire selon la méthode de Stewart-Hamilton :

$$DC = \frac{(T_b - T_i) \cdot V_i \cdot K}{\int \Delta T_b \cdot dt}$$

( $T_b$  : température corporelle,  $T_i$  : température de l'injectat,  $V_i$  : volume de l'injectat,  $K$  : constante de calcul,  $\int \Delta T_b \cdot dt$  : aire sous la courbe de thermodilution)

Le débit cardiaque est inversement proportionnel à la surface de l'aire sous la courbe de température en fonction du temps.



Principe de calcul du DC par la technique de TDTP  
Source : ferronfred.eu

### 3. ANALYSE STATISTIQUE

#### A. Statistiques descriptives

Après une première étape de statistique descriptive et vérification de la distribution des valeurs (test de Shapiro-Wilk), la population étudiée a été séparée en deux groupes « patients en rythme sinusal » (RS) et « patients en fibrillation auriculaire » (FA).

Les résultats ont été exprimés en moyenne, DS, ou médiane et interquartiles pour les variables quantitatives et en nombre et pourcentage pour les variables qualitatives.

Les caractéristiques des patients ont été définies pour l'ensemble de la population puis comparées en utilisant pour les variables continues soit des tests paramétriques (test t non appariés) soit des tests non paramétriques (test de Mann-Whitney). Les variables nominales de chacun des deux groupes ont été comparées par un test du chi<sup>2</sup> ou un test exact de Fischer.

Pour chacune des mesures du débit cardiaque par échographie transthoracique (DC ETT) et par thermodilution transpulmonaire (DC TDTP), des mesures répétées (en conditions stables) ont été réalisées. Leur coefficient de variation ( $CV = \sigma/\text{moy}$ ), et leur coefficient d'erreur ( $CE = CV/\sqrt{n}$ ) ont été calculés et la précision de la technique considérée égale à deux fois le CE (21).

#### B. Comparaison des méthodes de mesure du débit cardiaque

Les valeurs de DC ETT et DC TDTP chez chaque patient ont été comparées, s'agissant de données appariées, par un test de Wilcoxon.

Le degré d'agrément des DC TDTP et DC ETT a été évalué en utilisant l'analyse de régression de Passing & Bablok et la représentation graphique de Bland et Altman (22). Ces deux méthodes ont été réalisées pour la population totale, puis dans chacun des groupes RS et FA.

La régression de Passing & Bablok permet de vérifier que la relation entre deux méthodes de mesure est stable et de les comparer, en s'affranchissant des hypothèses de la régression linéaire simple classique où les valeurs extrêmes peuvent fortement influencer le modèle engendrant des conclusions fausses. Le Passing & Bablok est une méthode non paramétrique d'estimation de la pente de la relation entre les deux mesures comparées et de l'ordonnée à l'origine de cette relation. Si l'intervalle de confiance à 95 % de la pente de la relation inclut un et celui de l'intercept à l'abscisse zéro, on considère qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux méthodes.

La méthode graphique de Bland et Altman consiste à réaliser un graphe comportant en ordonnée la différence entre les valeurs obtenues par les deux méthodes et en abscisse, la moyenne de ces mêmes valeurs (23). Le biais est ainsi défini comme étant la moyenne des différences ( $m$ ), sachant qu'il représente la moyenne de l'écart systématique d'une série de valeurs par rapport à l'autre et indique si une des deux méthodes tend à produire des valeurs systématiquement plus basses ou plus élevées que l'autre. Les limites de concordance (appelées aussi limites d'agrément) sont définies par les intervalles de confiance du biais :  $m \pm 1.96 DS$ . La précision de la mesure par thermodilution transpulmonaire par rapport à l'échographie transthoracique se définit quant à elle, comme la moyenne des valeurs absolues des différences entre les deux méthodes ; alors que le biais peut être compensé par la cohabitation de différences tantôt positives, tantôt négatives, la précision tient compte de tous les écarts, quel que soit leur sens. La précision est ainsi numériquement toujours supérieure ou égale au biais, c'est à dire « moins bonne » ou « équivalente » au biais, dans la mesure où ces grandeurs ont intérêt à être les plus faibles possibles. Pour interpréter cette représentation graphique nous avons tenu compte de l'homoscédasticité des données.

Dans une dernière étape le pourcentage d'erreur a été estimé selon la méthode de Critchley d'après l'équation :

$$PE = \text{limites d'agrément du biais } (\approx 2 DS) / \text{moyenne des mesures du DC par les 2 techniques}$$

En rappelant que selon Critchley le seuil d'acceptabilité du pourcentage d'erreur est 30% (24).

Ces différentes approches des relations entre les deux techniques de mesure, de leur précision respective, de leur concordance et la précision de la thermodilution transpulmonaire par rapport à l'échographie transthoracique ont été également comparées pour chacun des groupes de l'échantillon ainsi que des sous-groupes (choc septique par exemple).

L'étude statistique a été réalisée sur le logiciel MedCalc® statistical software version 15 (Mariakerke, Belgique). Medcalc. Une valeur de  $p \leq 0.05$  était considérée comme statistiquement significative.

#### 4. CRITERES DE JUGEMENT

Le critère de jugement principal était l'évaluation de la précision et de la concordance de la mesure du débit cardiaque par thermodilution transpulmonaire par rapport à celle par échographie transthoracique.

Les critères d'évaluation secondaires comprenaient :

- L'évaluation de la précision et du pourcentage d'erreur des mesures de débit cardiaque pour chacune des techniques, dans la population globale et dans chaque sous-groupe.

- L'évaluation de la précision et de la concordance de la mesure du débit cardiaque par thermodilution transpulmonaire par rapport à l'échographie transthoracique dans chacun des groupes de patient FA et RS.

- L'évaluation de la précision et de la concordance de la mesure du débit cardiaque par thermodilution transpulmonaire par rapport à l'échographie transthoracique dans chacun des sous-groupes « choc septique » et « DC < 6.76L/min ».

### III. RESULTATS

#### 1. POPULATION

Soixante-quatre patients sédatisés, ventilés en état de choc ont été inclus dans l'étude : 34 patients dans le groupe RS inclus entre février et août 2020 et 30 patients dans le groupe FA inclus dans l'étude précédente de 2017. Dans la population globale, 50 patients étaient de sexe masculin (78.1%), l'âge médian était de 65 ans (55 à 72), le score SAPS2 médian était de 63 (51 à 75). L'étiologie principale des états de choc était septique (51.6%). Le taux de mortalité était de 36.2%. On retrouvait dans le groupe RS un âge moins élevé, un meilleur score SAPS2, une température inférieure, une fréquence cardiaque plus basse, un taux de lactate plus élevé ainsi qu'une proportion plus importante de patients en sepsis, en SDRA et en post opératoire avec une différence statistiquement significative. Les paramètres cliniques et biologiques des 64 patients de l'étude ainsi que des 2 groupes (RS et FA) sont représentés dans le tableau 1.

	Population globale n=64		Rythme sinusal n=34		Fibrillation auriculaire n=30		p
	Médiane	25 - 75 P	Médiane	25 - 75 P	Médiane	25 - 75 P	
Age	65	55 - 72	61	53 - 66	69,5	64 - 79	<b>0,0010*</b>
IMC	27,7	24,9 - 33,3	27,4	23,8 - 33	28,6	25,3 - 33,6	0,4800
SAPS 2	63	51 - 75	59	42 - 68	72	57 - 84	<b>0,0026*</b>
IGS	65	52 - 82	60	50 - 79	68	55 - 83	0,3463
Vt	450	420 - 475	450	425 - 475	450	420 - 480	0,5130
Vt (ml/kg)	6,7	6,4 - 7,3	6,55	6,2 - 7,3	6,91	6,46 - 7,46	0,1371
FR	22	20 - 25	24	18 - 26	22	20 - 25	0,9139
FiO2	0,40	0,35 - 0,60	0,50	0,35 - 0,60	0,40	0,30 - 0,50	0,1065
PaO2	77,6	70 - 91	78,4	66,2 - 96,7	76,15	69,9 - 90	0,9839
P/F	209	132 - 254	169	128 - 250	221	173 - 266	0,2445
T°C	37,2	36,4 - 37,7	36,8	36,1 - 37,2	37,6	37,2 - 38,1	<b>0,0002*</b>
PAS	114	99 - 126	119	103 - 129	106	96 - 121	0,1170
PAD	56	49,5 - 61	54	48 - 60	57	53 - 65	0,0924
PAM	73,5	68 - 82	73,5	68 - 81	73,5	68 - 83	0,9839
FC	103	84 - 124	94	77 - 105	119	100 - 145	<b>0,0001*</b>
NAD (mg/h)	1,5	0,6 - 2,95	1,65	1 - 3,7	1,43	0 - 2,5	0,1234
Lactates	1,75	1,2 - 3,75	2,5	1,4 - 4,2	1,4	1,1 - 2,4	<b>0,0324*</b>
DC ETT	5,18	4,02 - 6,80	5,51	4,08 - 7,30	5	3,94 - 6,54	0,4758
DC TDTP	5,84	4,63 - 7,15	5,95	4,91 - 7,23	5,62	4,27 - 6,30	0,2788
F / H	14 (21,9%) / 50 (78,1%)		8 (23,5%) / 26 (76,5%)		6 (20%) / 24 (80%)		0,7352
Pancréatite aigue	4 (6,2%)		3 (8,8%)		1 (3,3%)		0,61592
Choc septique	33 (51,6%)		23 (67,6%)		10 (33,3%)		<b>0,0065*</b>
Choc cardiogénique	8 (12,5%)		5 (14,7%)		3 (10%)		0,5730
Choc vasoplégique	5 (7,8%)		5 (14,7%)		0 (0%)		0,05519
Choc hémorragique	3 (4,7%)		2 (5,9%)		1 (3,3%)		0,99999
ACR	10 (15,6%)		3 (8,8%)		7 (23,3%)		0,16891
SDRA	13 (20,3%)		11 (32,4%)		2 (6,7%)		<b>0,01336*</b>
Post-opératoire	23 (35,9%)		17 (50%)		6 (20%)		<b>0,018585*</b>
Décès à J28	21 (36,2%)		9 (32,1%)		12 (40%)		0,59252

Tableau 1 : Paramètres cliniques et biologiques.

## 2. COMPARAISON DES MESURES DE DEBIT CARDIAQUE

### A. Population globale

Au total, 64 paires de mesures de débit cardiaque ont été comparées (Tableau 2). Le niveau de débit cardiaque évalué par échographie transthoracique et thermodilution transpulmonaire ne semble pas équivalent : DC ETT médian 5.18 IC95% (4.58-5.93) et DC TDTP médian 5.84 IC95% (5.49-6.14)  $p=0.0049$ .

	DC ETT	DC TDTP	p
Taille de l'échantillon	64	64	<b>0,0049*</b>
Valeur la plus basse	<u>2,3861</u>	<u>2,8033</u>	
Valeur la plus haute	<u>11,4884</u>	<u>11,1667</u>	
Médiane	5,18	5,84	
IC 95% de la médiane	4,58 - 5,93	5,49 - 6,14	
Rang de l'interquartile	4,02 - 6,80	4,63 - 7,15	
Nombre de différences positives	42		
Nombre de différences négatives	22		

Tableau 2 : Comparaison des mesures de débit cardiaque chez chaque patient.

Les données de la relation entre les DC TDTP et DC ETT évaluée par la régression de Passing & Bablok sont représentées dans la figure 1. On retrouve une relation mathématique entre les mesures de débit cardiaque réalisée en ETT et en TDTP définie par  $Y = 0.65 + 0.98X$ .

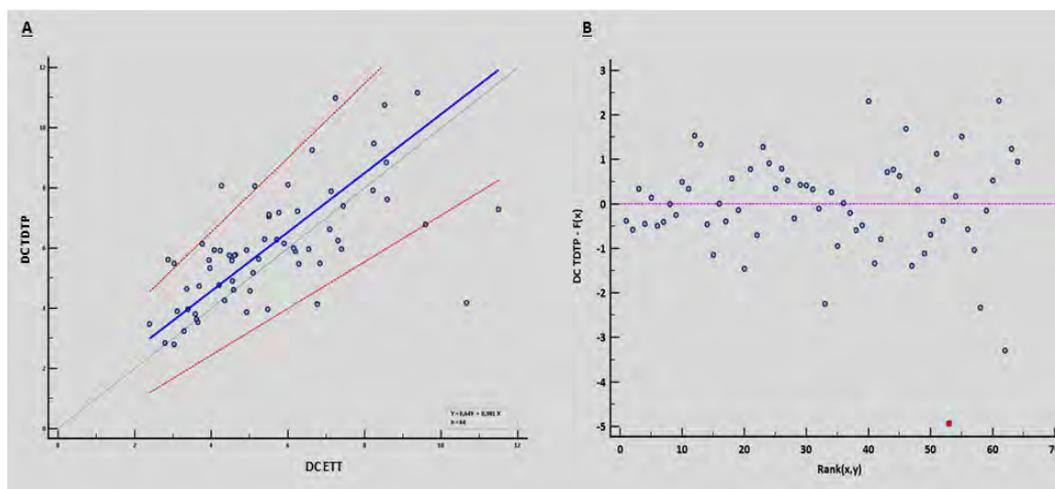


Figure 1 : Régression de Passing & Bablok (A) et résidus (B) DC TDTP en fonction du DC ETT.

L'analyse de Bland et Altman met en évidence un biais médian à 0.57 L/min avec des limites de concordance +3.8 L/min et -2.9 L/min (Tableau 3, Figure 2). La précision de la mesure de débit cardiaque est de 7% pour l'ETT et 8.4% pour la TDTP. La précision de la TDTP par rapport à l'ETT est de 1.05 L/min, le pourcentage d'erreur est de 58.9%.

64 Patients	Médiane	Min	Max	IQ
DC ETT	5,18	2,39	11,49	4,02 - 6,80
Précision de la méthode ETT	0,07	0,01	0,26	0,04 - 0,10
DC TDTP	5,84	2,80	11,17	4,63 - 7,15
Précision de la méthode TDTP	0,084	0,01	0,27	0,06 - 0,12
Biais entre DC TDTP et ETT	0,57	-6,47	3,81	-0,26 - 1,4
DC moyen des 2 méthodes	5,44	2,82	10,27	4,54 - 6,76
Précision de la mesure du DC TDTP /DC ETT	1,05	0,02	6,47	0,38 - 1,68
PE			58,9%	

Tableau 3 : Mesure de la précision du DC par les deux méthodes, analyse de leur concordance et de leur pourcentage d'erreur.

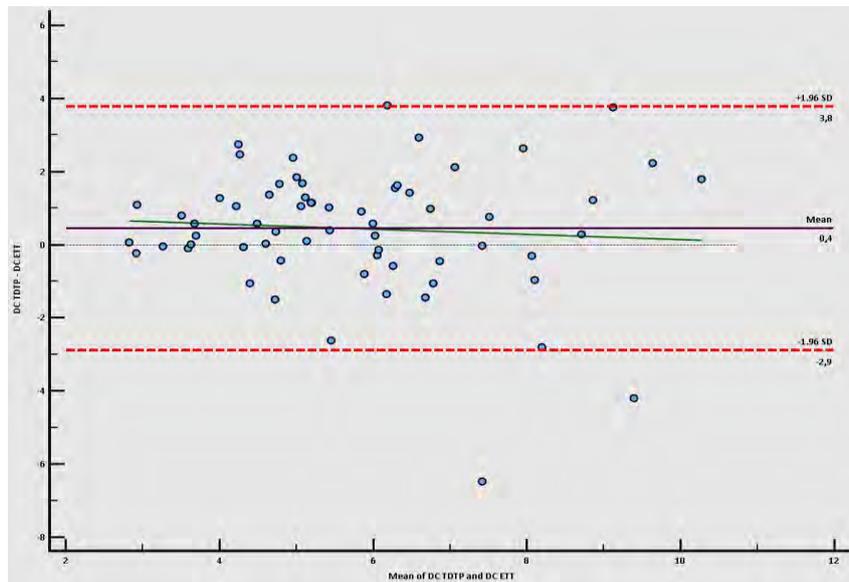


Figure 2 : Représentation graphique de Bland et Altman des DC TDTP et DC ETT.

### B. Comparaison groupes RS et FA

La comparaison de la valeur de DC ETT et DC TDTP chez chaque patient (tableau 4) retrouve une différence significative dans le groupe RS (DC ETT médian 5.51 IC95% (4.49-6.35), DC TDTP médian 5.95 IC95% (5.49-7.07),  $p=0.0362$ ) mais pas dans le groupe FA (DC ETT médian 5.0 IC95% (4.37-6.12), DC TDTP médian 5.62 IC95% (4.75-5.99),  $p=0.0687$ ).

Les données de la relation entre les DC TDTP et DC ETT évaluées par la régression de Passing & Bablok chez les patients en RS comparés à ceux en FA sont représentées dans la figure 3. On retrouve une relation entre les DC ETT et DC TDTP dans chacun des deux groupes selon l'équation  $Y=1.07 + 0.95X$  et  $Y = 0.58 + 0.94X$  respectivement en RS et en FA.

	Patients en RS n=34		p	Patients en FA n=34		p
	DC ETT	DC TDTP		DC ETT	DC TDTP	
Taille de l'échantillon	34	34	<b>0,0362*</b>	30	30	<b>0,0687</b>
Valeur la plus basse	2,39	2,80		2,79	2,85	
Valeur la plus haute	11,49	11,17		8,59	9,47	
Médiane	5,51	5,95		5,0	5,62	
IC 95% de la médiane	4,49 - 6,35	5,49 - 7,07		4,37 - 6,12	4,75 - 5,99	
Rang de l'interquartile	4,08 - 7,30	4,91 - 7,23		3,94 - 6,54	4,27 - 6,30	
Nombre de différences positives	22			20		
Nombre de différences négatives	12		10			

Tableau 4 : Comparaison des mesures de DC dans chacun des deux groupes RS et FA (test de Wilcoxon).

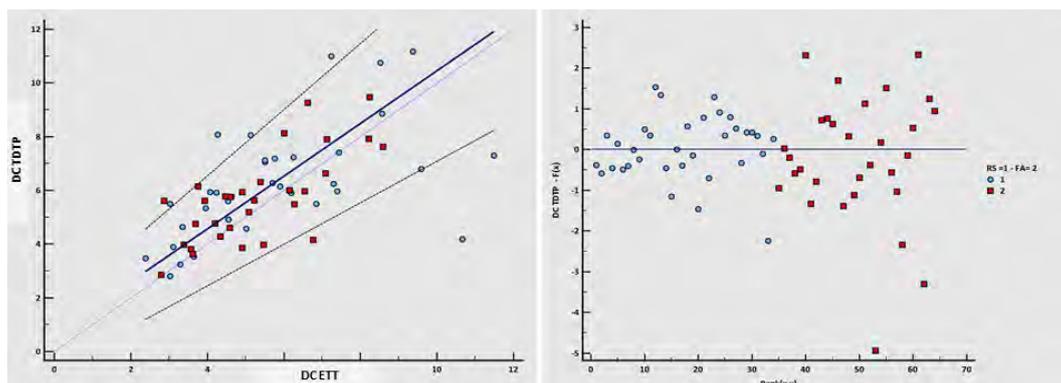


Figure 3: Régression de Passing Bablok (A) et résidus (B) : DC TDTP en fonction du DC ETT chez les patients en RS et en FA

Dans le groupe RS, le biais est de 0.47 L/min, la précision de la TDTP par rapport à l'ETT est évaluée à 1.55 L/min, avec un pourcentage d'erreur à 68.2% (tableau 5, figure 4). Dans le groupe FA, le biais est de 0.42 L/min, la précision de la TDTP par rapport à l'ETT est évaluée à 0.98 L/min avec un pourcentage d'erreur à 44.8%. Il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes.

La précision du DC ETT est meilleure dans le groupe RS par rapport au groupe FA (4% vs 13% respectivement), de manière statistiquement significative ( $p < 0.0001$ ). La précision du DC TDTP est similaire dans les deux groupes (8% en RS et 9% en FA).

	Rythme sinusal				Fibrillation auriculaire				p
	Moyenne	SD	Médiane	25 - 75 P	Moyenne	SD	Médiane	25 - 75 P	
CCVG (cm)	2,09	0,19	2,07	1,99 - 2,20	2,10	0,23	2,10	1,90 - 2,30	0,6423
SAo (cm2)	3,45	0,61	3,35	3,11 - 3,80	3,50	0,76	3,46	2,84 - 4,16	0,6423
DC ETT	5,81	2,32	5,51	4,08 - 7,30	5,28	1,61	5	3,94 - 6,54	0,4758
Précision mesure par ETT	0,04	0,02	0,04	0,03 - 0,05	0,13	0,06	0,10	0,08 - 0,18	<b>&lt; 0,0001*</b>
DC TDTP	6,28	2,08	5,95	4,91 - 7,23	5,7	1,67	5,62	4,27 - 6,30	0,2788
Précision mesure par TDTP	0,08	0,05	0,065	0,05 - 0,11	0,09	0,035	0,088	0,07 - 0,12	0,1186
Biais entre DC TDTP et ETT	0,47	2,06	0,89	-0,23 - 1,62	0,42	1,23	0,32	-0,3 - 1,16	0,4195
Précision du DC TDTP / ETT	1,55	1,40	1,31	0,44 - 1,85	0,98	0,83	0,85	0,3 - 1,30	0,0758
PE	0,682				0,448				

Tableau 5 : Mesure de la précision du DC par les 2 méthodes, analyse de leur concordance et de leur pourcentage d'erreur dans chaque groupe RS et FA.

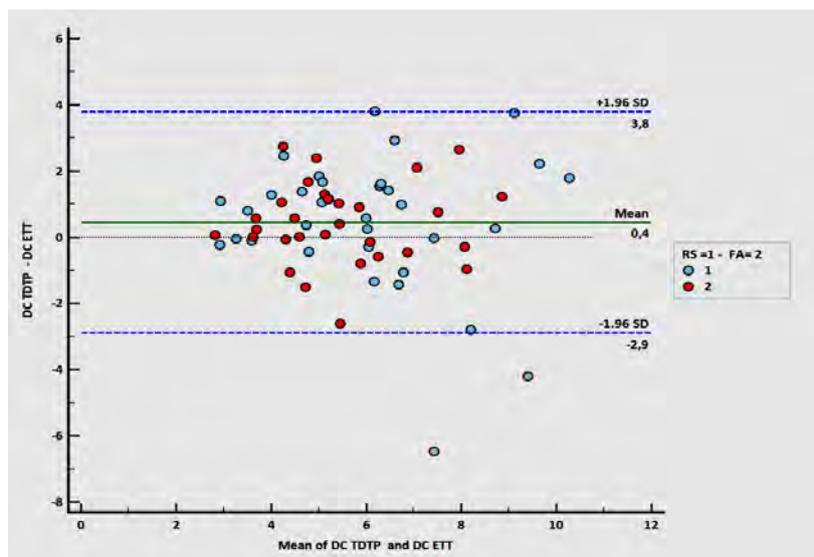


Figure 4 : Représentation graphique de Bland et Altman DC TDTP et DC ETT mesurés au même temps chez les patients en RS et en FA.

### C. Analyse en sous-groupes

L'analyse visuelle du graphe de Bland & Altman en prenant pour repère la valeur du 3ième quartile soit DC = 6,76 L/min est représentée dans la figure 5. On met en évidence une dispersion des données plus importante pour les DC > 6.76 L/min.

Devant le nombre important de patients en choc septique (n=33), notamment dans le groupe RS (n=23), une analyse dans le sous-groupe « choc septique » a été réalisée (tableau 6 et figure 6). On retrouve une précision et un pourcentage d'erreur moins bons avec respectivement 1.88 L/min (p=0,0046) et 79.1% pour le DC TDTP par rapport au DC ETT dans le sous-groupe de patient « choc septique en RS ». Ce résultat conforte l'analyse visuelle qui montre des limites d'agrément très larges notamment pour certains patients de ce même sous-groupe.

	Pas de choc septique n=31				Choc septique n=33				p
	Moyenne	DS	Médiane	25 - 75 P	Moyenne	DS	Médiane	25 - 75 P	
DC ETT	5,43	1,63	5,50	3,87 - 6,48	5,69	2,34	5,01	4,05 - 7,252	0,9197
DC TDTP	5,94	1,81	5,94	4,176 - 7,17	6,07	2,02	5,63	4,72 - 7,12	0,9038
DC moyen des 2 méthodes	5,68	1,62	5,85	4,35 - 6,67	5,88	1,914	5,20	4,64 - 6,94	0,7934
Biais entre DC TDTP et ETT	0,51	1,16	0,57	-0,14 - 1,28	0,38	2,11	0,57	-0,57 - 1,58	0,7421
Précision DC TDTP et ETT	0,96	0,82	0,79	0,26 - 1,48	1,59	1,41	1,16	0,54 - 2,01	0,0539
Pourcentage d'erreur	0,408				0,711				
	Non septique ou septique en FA n=41				Choc septique en RS n=23				
DC ETT	5,33	1,62	5,23	3,89 - 6,34	5,98	2,57	5,14	4,13 - 7,37	0,4712
DC TDTP	5,84	1,8	5,77	4,24 - 7,14	6,31	2,09	5,93	5,02 - 7,24	0,4669
DC moyen des 2 méthodes	5,58	1,61	5,43	4,37 - 6,54	6,14	2	6,17	4,75 - 7,26	0,2720
Biais entre DC TDTP et ETT	0,51	1,14	0,399	-0,12 - 1,25	0,321	2,43	1,05	-0,898 - 1,73	0,7004
Précision DC TDTP et ETT	0,95	0,81	0,79	0,25 - 1,44	1,882	1,53	1,38	1,05 - 2,72	0,0046*
Pourcentage d'erreur	0,408				0,791				

Tableau 6 : Mesure de la précision du DC par les deux méthodes, analyse de leur concordance et de leur pourcentage d'erreur dans le sous-groupe « choc septique »

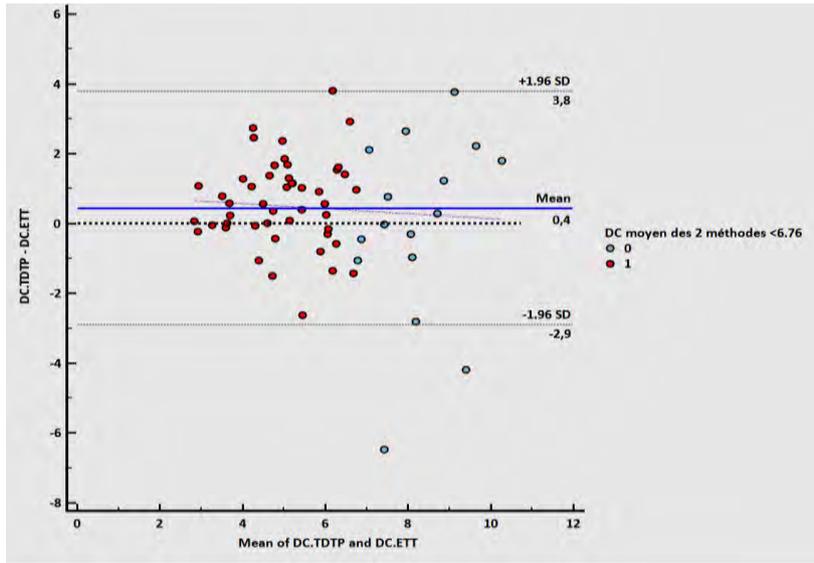


Figure 5 : Représentation graphique de Bland et Altman DC TDTP et DC ETT mesurés au même temps chez les patients avec un DC < 6,76 L/min (3ième quartile) (points rouges) et ceux ayant un DC > 6,76 L/min (points bleus).

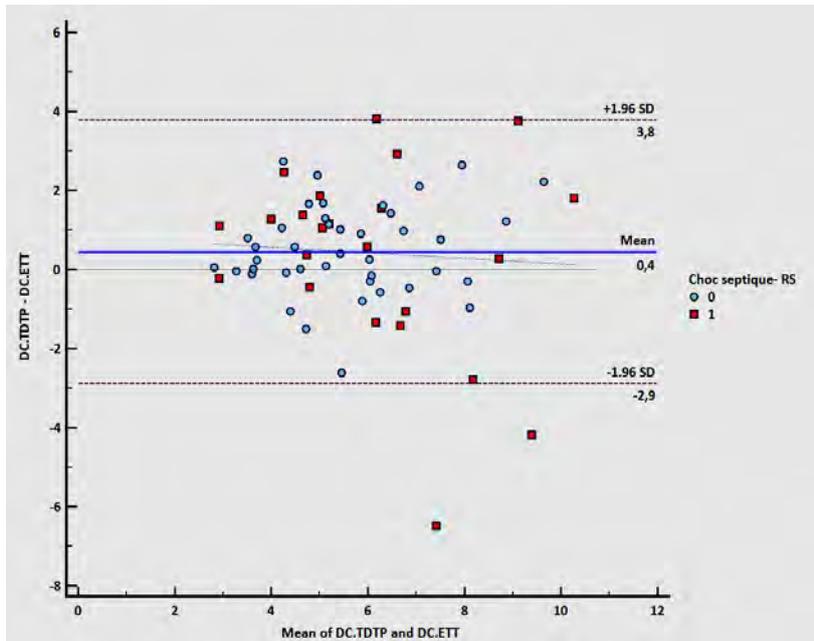


Figure 6 : Représentation graphique de Bland et Altman DC TDTP et DC ETT mesurés au même temps chez les patients en choc septique et en RS (points rouges) vs les autres patients (points bleus).

## IV. DISCUSSION

### 1. CONCORDANCE DC ETT - DC TDTP

Dans notre étude menée chez 64 patients sédatisés ventilés en réanimation, l'analyse comparative des débits cardiaques par les deux méthodes de mesure retrouve un biais faible mais des limites d'agrément très larges.

La validation d'un outil de mesure du débit cardiaque repose sur sa concordance avec la méthode de référence. Compte tenu de la distribution non gaussienne des valeurs de débit cardiaque et de la coexistence de valeurs extrêmes, il est nécessaire de mettre en évidence une relation mathématique entre les deux méthodes de mesure par l'analyse de régression de Passing & Bablok (25). Le graphique de Bland et Altman est un moyen simple et graphique d'illustrer le biais entre les différences moyennes et d'estimer une proportion d'accord pour les deux méthodes de mesure. Un biais proche de zéro et des limites d'agrément étroites décrivent un nouvel outil de mesure avec une grande précision par rapport à la méthode de référence (22).

L'interprétation clinique des limites d'agrément est complexe, des limites à  $\pm 1.5$  L/min peuvent être acceptables pour les chocs septiques mais pas pour les états de choc cardiogénique qui présentent un bas débit. Critchley et al suggèrent que ce problème peut être résolu en utilisant le pourcentage d'erreur des limites d'agrément avec une limite fixée à 30% (24), qui est le pourcentage d'erreur de la technique de référence, à savoir la thermodilution artérielle pulmonaire.

Dans notre étude, nous retrouvons des limites d'agrément larges et un pourcentage d'erreur élevé à 58.9%. Les deux techniques de mesure n'apparaissent donc pas interchangeables : l'intervalle d'agrément en valeur absolue étant très large, cela pose le problème de la valeur prédictive individuelle du débit cardiaque en thermodilution transpulmonaire par rapport à celui mesuré en échographie transthoracique. Hammoudi dans son étude comparant l'échographie transoesophagienne à la thermodilution transpulmonaire chez 15 patients retrouvait de la même façon un biais faible mais des limites d'agrément larges (*bias 0.38 L/min, limits of agreement -1.97 to 2.74 L/min, percentage error 44%*) (26).

Les mesures de débit cardiaque réalisées par thermodilution transpulmonaire sont plus élevées que celles réalisées par échographie transthoracique. ØStergaard et al, dans leur étude comparant la thermodilution transpulmonaire à la thermodilution artérielle pulmonaire font le même constat (biais 0.46 L/min IC95% 0.11 L/min). Cette surestimation du débit cardiaque en

thermodilution transpulmonaire pourrait être secondaire à la perte du signal froid liée au passage transpulmonaire ou à un niveau d'eau pulmonaire extravasculaire élevé. L'augmentation du taux de recirculation du signal en lien avec la distance à parcourir plus importante pour la thermodilution transpulmonaire que pour la thermodilution artérielle pulmonaire serait aussi un facteur de surestimation du débit cardiaque.

Les deux méthodes de mesure ne sont pas concordantes. Il n'est donc pas opportun de changer de moyen de monitoring du débit cardiaque en cours de prise en charge, la valeur absolue des mesures n'étant pas comparable.

## **2. IMPACT DE L'ARYTHMIE**

L'étude précédemment menée dans le service chez le patient en fibrillation auriculaire mettait en évidence un manque de concordance de la thermodilution transpulmonaire par rapport à l'échographie transthoracique pour la mesure du débit cardiaque. Lorsque l'on compare les mesures de débit cardiaque en thermodilution transpulmonaire par rapport à l'échographie transthoracique dans les deux groupes de patients RS et FA, on retrouve une précision inférieure avec un pourcentage d'erreur plus élevé dans le groupe RS. L'arythmie ne semble pas être la cause de ce défaut de concordance entre les deux techniques de mesure. Les deux populations de patient diffèrent sur plusieurs points, notamment le type d'état de choc (moindre part de choc septique et proportion plus importante d'arrêt cardiorespiratoire dans le groupe FA). Cette donnée est à l'origine d'un biais mais représente aussi le reflet de la pratique courante.

La précision d'une technique de mesure est évaluée à travers plusieurs mesures, une méthode précise est celle pour laquelle des mesures répétées donnent des valeurs proches les unes des autres.

En échographie transthoracique, la précision est moins bonne dans le groupe FA que dans le groupe RS, ceci s'explique aisément par l'irrégularité du rythme en fibrillation auriculaire entraînant des variations de volume d'éjection systolique d'un battement à l'autre se caractérisant par des variations importantes de mesure de l'ITV sous aortique en échocardiographie.

La précision de la thermodilution transpulmonaire est similaire dans les deux groupes de patients, l'arythmie n'aurait pas d'impact sur la précision de la mesure du débit cardiaque en

thermodilution transpulmonaire. Cette donnée, nouvelle, s'avère très intéressante, et rejoint les résultats de l'étude de Monnet (19). Il retrouvait, dans une population de 91 patients dont 20% présentaient une fibrillation auriculaire, une précision de 8% pour la thermodilution transpulmonaire, précision qui était similaire après exclusion des 18 patients en fibrillation auriculaire. Dans son étude de 2005, où il comparait un groupe de patients en fibrillation auriculaire et un groupe de patients en rythme sinusal, Østergaard retrouvait une moins bonne précision de la thermodilution artérielle pulmonaire dans le groupe en fibrillation auriculaire (27).

Chaque thermodilution transpulmonaire englobant plusieurs cycles cardiaques et chaque mesure de débit cardiaque comprenant 3 thermodilutions, autant d'éléments permettant de gommer les variations de débit cardiaque battement par battement présentes en fibrillation auriculaire. Le temps de transit plus long avec la technique de thermodilution transpulmonaire par rapport à la technique de thermodilution artérielle pulmonaire, est peut-être un facteur améliorant sa précision en contexte de fibrillation auriculaire. De la même façon, la mesure du débit cardiaque en échographie transthoracique en moyennant sur 10 ITV permet d'améliorer la précision chez le patient arythmique ; Dubrey retrouvait une variation inférieure à 2% avec une mesure du débit cardiaque moyennée sur 13 ITV pour les patients en fibrillation auriculaire et 4 ITV pour les patients en rythme sinusal (28).

### **3. AUTRES FACTEURS**

L'analyse visuelle du Bland et Altman amène à poser la question de l'influence des débits cardiaque élevés sur l'interprétation des limites d'agrément. La dispersion plus marquée des valeurs de DC > 3ème quartile est en faveur d'une diminution de la concordance des deux méthodes de mesure dans ce sous-groupe de patients. Le même constat étant fait dans le sous-groupe de patients sinusaux en choc septique, on peut penser que les patients en rythme sinusal et en choc septique ont probablement un débit cardiaque majoré. Ceci est conforté par la distribution des résidus (écart entre la valeur observée et la valeur prédite), qui tendent à augmenter lorsque la valeur de débit cardiaque augmente (Figure 9 annexes).

La phase initiale du choc septique est marquée par une insuffisance circulatoire aigue secondaire à une hypovolémie relative par vasoplégie artérielle compensée par un état cardiaque hyperkinétique : il en résulte une augmentation du débit cardiaque.

Le principe de fonctionnement de la thermodilution transpulmonaire repose sur la mesure de l'aire sous la courbe de thermodilution. Selon le principe de Stewart et Hamilton, le

volume (V) dans lequel se dilue un indicateur injecté dans la circulation sanguine est proportionnel au débit cardiaque et au temps de transit moyen (T<sub>tm</sub>) mesuré sur la courbe de dilution, selon la formule :  $V = DC * T_{tm}$ .

La courbe de thermodilution représente la variation de température sanguine dans le temps enregistrée dans le réseau artériel après injection d'un bolus plus froid que la température sanguine dans le système veineux central. Le temps de mesure est influencé par l'indicateur, le système vasculaire et le flux sanguin. L'indicateur utilisé étant constant, on pourrait supposer que la vasodilatation artérielle induite par la vasoplégie liée au sepsis, est à l'origine d'un biais de mesure.

ØStergaard dans son étude qui comparait la thermodilution transpulmonaire à la thermodilution artérielle pulmonaire chez 25 patients, retrouvait une bonne concordance entre les deux techniques. Seulement, la population étudiée était des patients en post opératoire de chirurgie cardiaque, non représentative de nos patients de réanimation. De plus, les débits cardiaques médians (4.2 et 4.6 L/min pour la thermodilution artérielle pulmonaire et la thermodilution transpulmonaire respectivement) sont moins élevés que ceux retrouvés dans notre étude, il en est de même pour la fréquence cardiaque (médiane à 58/min) (16).

Sakka en 1999, concluait aussi à une bonne concordance entre la thermodilution artérielle pulmonaire et la thermodilution transpulmonaire chez 37 patients dont 34 en choc septique : peu de données sont présentées sur la population de l'étude, notamment on ne connaît pas le débit cardiaque médian, et sur la méthode statistique utilisée (15).

Mercado retrouvait une bonne concordance entre les mesures de débit cardiaque en échographie transthoracique et en thermodilution artérielle pulmonaire chez 38 patients de réanimation. Leur population semble similaire à celle de notre étude, le débit cardiaque médian était de 5,8L/min pour les deux techniques, la fréquence cardiaque médiane était à 102/min, et on retrouvait 50% de choc septique (13).

Le manque de concordance mis en évidence entre l'échographie transthoracique et la thermodilution transpulmonaire dans la mesure du débit cardiaque pourrait donc être dépendant du niveau de débit cardiaque et du type d'état de choc plus que du rythme cardiaque.

#### 4. LIMITES ET POINTS FORTS

Nous avons choisi d'utiliser l'échographie transthoracique comme méthode de référence. Elle est couramment utilisée en réanimation, lorsqu'elle est comparée à la thermodilution artérielle pulmonaire, la littérature rapporte constamment un biais faible mais des limites d'agrément assez larges (29). Une étude récente à la méthodologie rigoureuse fait état d'une méthode précise dans le monitoring du débit cardiaque en comparaison à la thermodilution artérielle pulmonaire (13).

Cependant, l'échographie est une technique soumise à de nombreuses limites dont la première est l'échogénicité des patients. Afin d'avoir une population représentative de la pratique quotidienne, nous n'avons pas sélectionné nos patients et ils n'étaient pas systématiquement curarisés, comme cela peut être le cas dans d'autres études (13). Autant de facteurs pouvant altérer la qualité des mesures (asynchronie patient ventilateur, mauvaise fenêtre avec alignement imparfait de la fenêtre d'échantillonnage doppler).

L'évaluation du débit cardiaque en échographie transthoracique s'appuie en pratique courante sur la simple valeur de l'ITV, notamment pour le suivi de ses variations. Dans notre étude afin de comparer des grandeurs comparables, il était nécessaire de calculer un débit cardiaque en échographie transthoracique impliquant de mesurer le diamètre de la chambre de chasse du ventricule gauche, source d'erreurs de mesures supplémentaires. Virtos et al, retrouvent une sous-estimation du diamètre de la chambre de chasse du ventricule gauche en réanimation par rapport à son calcul par l'équation de Leye utilisée par les cardiologues (30,31). La surface aortique étant proportionnelle au carré du diamètre de la chambre de chasse du ventricule gauche, une erreur de 10% entraîne une erreur de 20% sur la surface et donc sur le débit cardiaque (32). Afin de s'affranchir de ce biais de mesure en échographie, il serait intéressant d'évaluer la comparabilité des deux techniques dans la mesure des variations de débit cardiaque.

Dans le groupe RS, les mesures de débit cardiaque en échographie transthoracique ont été réalisées en moyennant sur 10 ITV afin de se mettre dans les mêmes conditions de mesure que pour les patients du groupe FA. L'acquisition sur un temps plus long, soumise à plusieurs cycles respiratoires, représente une source d'erreur de mesure.

Les précisions retrouvées concernant l'échographie transthoracique et la thermodilution transpulmonaire sont  $< 10\%$ , en accord avec celles mesurées par Mercado ou encore Østergaard. D'après les travaux menés par Squarra et al, la précision acceptable en pratique clinique pour une méthode de mesure est  $< 10\%$  (33).

La précision de l'échographie transthoracique dans le groupe RS est excellente (4%) signe d'une évaluation échographique bien menée malgré des conditions non optimales. La mesure du diamètre de la chambre de chasse du ventricule gauche reste probablement un point à améliorer : l'étude des variations de débit cardiaque permettrait de s'affranchir de cette mesure.

Concernant la population de notre étude, elle se veut représentative de la pratique clinique, ce sont des patients graves, en état de choc, le taux de mortalité retrouvé est de 36.2% en accord avec la mortalité globale en réanimation.

L'effectif de notre étude est comparable à celui des autres études qui comparent les outils de mesure de débit cardiaque. Cependant, le manque de concordance mis en évidence est peut-être lié à un manque de puissance. Il serait nécessaire de mener une étude à plus grande échelle.

## **5. PERSPECTIVES**

En pratique clinique, plus que la simple mesure du débit cardiaque, c'est le suivi et la variation de cette mesure dans le temps qui sont pertinents, aboutissant à l'adaptation des thérapeutiques. Une méthode de mesure satisfaisante doit donc avoir une bonne capacité à détecter les variations de débit cardiaque au cours du temps, après remplissage vasculaire notamment. Concernant l'échographie transthoracique, Mercado a montré une bonne concordance des variations de débit cardiaque après remplissage vasculaire dans sa population comparé à la méthode de référence, la thermodilution artérielle pulmonaire. Pour la thermodilution transpulmonaire, il n'y a aucune étude, à ce jour qui évalue sa capacité à suivre les variations de débit cardiaque. L'étude précédemment réalisée dans le service chez les patients en fibrillation auriculaire, ne retrouve pas de relation statistiquement significative entre la thermodilution transpulmonaire et l'échographie transthoracique concernant leur capacité à détecter des variations de débit cardiaque. Une des limites de l'étude avancée est la proportion importante de patients non répondeurs au remplissage vasculaire.

Il faudrait comparer la capacité de la thermodilution transpulmonaire à détecter les variations de débit cardiaque en direction et en amplitude après remplissage vasculaire, par rapport à l'échographie transthoracique chez le patient en rythme sinusal en état de choc. Dans un second temps, il serait intéressant de comparer cette capacité à détecter les variations de débit cardiaque par les deux techniques dans les sous-groupes de population en rythme sinusal et en fibrillation auriculaire.

La précision de la mesure du débit cardiaque par thermodilution transpulmonaire par rapport à l'échographie transthoracique semble influencée par le niveau de débit cardiaque, lui-même corrélé au type d'état de choc. Il serait judicieux de comparer les deux techniques de mesure pour des groupes de patients par rang de débit cardiaque par exemple.

## V. CONCLUSION

La thermodilution transpulmonaire et l'échographie transthoracique ne sont pas interchangeables dans la mesure du débit cardiaque chez les patients de réanimation en état de choc. On ne retrouve pas de concordance entre les mesures de débit cardiaque en thermodilution transpulmonaire par rapport à l'échographie transthoracique. Il paraît donc opportun de ne pas changer de méthode de mesure au cours du temps pour le suivi du débit cardiaque chez un même patient.

La précision de la mesure du débit cardiaque en thermodilution transpulmonaire par rapport à l'échographie transthoracique ne semble pas influencée par le rythme cardiaque qu'il soit régulier ou non.

*Vu permis d'imprimer*  
Le Doyen de la Faculté  
de Médecine Toulouse - Purpan



Didier CARRIÉ

Bon jour impression  
le 18/09/20  
O. FOURCADE

Professeur Olivier FOURCADE  
Chef de Pôle  
Département Anesthésie & Réanimation  
Centre Hospitalo-Universitaire de Toulouse  
TSA 40031 - 31059 TOULOUSE Cedex 9  
Tél. : 05-61-77-74-43 / 05-61-77-92-67

## VI. BIBLIOGRAPHIE

1. Cecconi M, De Backer D, Antonelli M, Beale R, Bakker J, Hofer C, et al. Consensus on circulatory shock and hemodynamic monitoring. Task force of the European Society of Intensive Care Medicine. *Intensive Care Med.* 1 déc 2014;40(12):1795-815.
2. Prise en charge hémodynamique du sepsis grave (nouveau-né exclu) - La SFAR. <https://sfar.org/prise-en-charge-hemodynamique-du-sepsis-grave-nouveau-ne-exclu/>
3. Antonelli M, Levy M, Andrews PJD, Chastre J, Hudson LD, Manthous C, et al. Hemodynamic monitoring in shock and implications for management. *Intensive Care Med.* 1 avr 2007;33(4):575-90.
4. Pierrakos C, Velissaris D, Scolletta S, Heenen S, De Backer D, Vincent J-L. Can changes in arterial pressure be used to detect changes in cardiac index during fluid challenge in patients with septic shock? *Intensive Care Med.* 1 mars 2012;38(3):422-8.
5. Monnet X, Letierce A, Hamzaoui O, Chemla D, Anguel N, Osman D, et al. Arterial pressure allows monitoring the changes in cardiac output induced by volume expansion but not by norepinephrine\*. *Critical Care Medicine.* 1 juin 2011;39(6):1394-9.
6. Klein Klouwenberg PMC, Frencken JF, Kuipers S, Ong DSY, Peelen LM, van Vught LA, et al. Incidence, Predictors, and Outcomes of New-Onset Atrial Fibrillation in Critically Ill Patients with Sepsis. A Cohort Study. *Am J Respir Crit Care Med.* 15 2017;195(2):205-11.
7. Monnet X, Lefrant J, Teboul J. Sécurisation des procédures « circulatoires » (administration des drogues vasoactives, utilisation des cathéters artériels, veineux centraux et artériels pulmonaires). *Réanimation.* sept 2008;17(6):548-56.
8. Connors AF, Speroff T, Dawson NV, Thomas C, Harrell FE, Wagner D, et al. The Effectiveness of Right Heart Catheterization in the Initial Care of Critically Ill Patients. *JAMA.* 18 sept 1996;276(11):889-97.
9. Rajaram SS, Desai NK, Kalra A, Gajera M, Cavanaugh SK, Brampton W, et al. Pulmonary artery catheters for adult patients in intensive care. *Cochrane Database Syst Rev.* 28 févr 2013;(2):CD003408.
10. Zieleskiewicz L, Muller L, Lakhal K, Meresse Z, Arbelot C, Bertrand P-M, et al. Point-of-care ultrasound in intensive care units: assessment of 1073 procedures in a multicentric, prospective, observational study. *Intensive Care Med.* 1 sept 2015;41(9):1638-47.
11. 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.* 1 janv 2015;28(1):40-56.
12. McLean AS, Needham A, Stewart D, Parkin R. Estimation of cardiac output by noninvasive echocardiographic techniques in the critically ill subject. *Anaesth Intensive Care.* juin 1997;25(3):250-4.
13. Mercado P, Maizel J, Beyls C, Titeca-Beauport D, Joris M, Kontar L, et al. Transthoracic echocardiography: an accurate and precise method for estimating cardiac output in the critically ill patient. *Crit Care.* 9 juin 2017;21(1):136.
14. Sakka SG, Reuter DA, Perel A. The transpulmonary thermodilution technique. *J Clin Monit Comput.* 1 oct 2012;26(5):347-53.
15. Sakka SG, Reinhart K, Meier-Hellmann A. Comparison of pulmonary artery and arterial thermodilution cardiac output in critically ill patients. *Intensive Care Medicine.* 19 août 1999;25(8):843-6.

16. ØStergaard M, Nielsen J, Rasmussen JP, Berthelsen PG. Cardiac output – pulse contour analysis vs. pulmonary artery thermodilution. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*. 2006;50(9):1044-9.
17. 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*. 1 févr 2002;15(2):167-84.
18. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, Afilalo J, Armstrong A, Ernande L, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr*. janv 2015;28(1):1-39.e14.
19. Monnet X, Persichini R, Ktari M, Jozwiak M, Richard C, Teboul J-L. Precision of the transpulmonary thermodilution measurements. *Crit Care*. 27 août 2011;15(4):R204.
20. Giraud R, Siegenthaler N, Merlani P, Bendjelid K. Reproducibility of transpulmonary thermodilution cardiac output measurements in clinical practice: a systematic review. *J Clin Monit Comput*. 1 févr 2017;31(1):43-51.
21. 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.
22. Odor PM, Bampoe S, Cecconi M. Cardiac Output Monitoring: Validation Studies– how Results Should be Presented. *Curr Anesthesiol Rep*. 2017;7(4):410-5.
23. Bland JM, Altman D. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet*. 8 févr 1986;327(8476):307-10.
24. Critchley LAH, Critchley JAJH. A Meta-Analysis of Studies Using Bias and Precision Statistics to Compare Cardiac Output Measurement Techniques. *J Clin Monit Comput*. 1 févr 1999;15(2):85-91.
25. Bilić-Zulle L. Comparison of methods: Passing and Bablok regression. *Biochem Med*. 15 févr 2011;21(1):49-52.
26. Hammoudi N, Hékimian G, Laveau F, Achkar M, Isnard R, Combes A. Three-dimensional transoesophageal echocardiography for cardiac output in critically ill patients: A pilot study of ultrasound versus the thermodilution method. *Archives of Cardiovascular Diseases*. 1 janv 2017;110(1):7-13.
27. Østergaard M, Nilsson LB, Nilsson JC, Rasmussen JP, Berthelsen PG. Precision of bolus thermodilution cardiac output measurements in patients with atrial fibrillation. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*. 2005;49(3):366-72.
28. Dubrey SW, Falk RH. Optimal number of beats for the Doppler measurement of cardiac output in atrial fibrillation. *Journal of the American Society of Echocardiography*. janv 1997;10(1):67-71.
29. 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 Med*. 1 août 2016;42(8):1223-33.
30. Virtos M., Vardon F., Rouget A., Seguin T. et al. Concordance entre débit cardiaque estimé et débit cardiaque mesuré par échographie transthoracique en réanimation Anesthésie & Réanimation September 2015 Volume 1, Supplement 1 Pages a135-a136
31. Leye M, Brochet E, Lepage L, Cueff C, Boutron I, Detaint D, et al. Size-Adjusted Left Ventricular Outflow Tract Diameter Reference Values: A Safeguard for the Evaluation of the Severity of Aortic Stenosis. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 1 mai 2009;22(5):445-51.

32. Huang SJ, McLean AS. Appreciating the strengths and weaknesses of transthoracic echocardiography in hemodynamic assessments. *Cardiol Res Pract.* 2012;2012:894308.
33. Squara P, Cecconi M, Rhodes A, Singer M, Chiche J-D. Tracking changes in cardiac output: methodological considerations for the validation of monitoring devices. *Intensive Care Med.* oct 2009;35(10):1801-8.

## VII. ANNEXES

### 1. Figures et tableaux

Equation de régression : $Y = 0,65 + 0,98 X$	
<b>Différences systématiques</b>	
Intercept A	0,65
IC 95%	-0,65 à 1,61
<b>Différences proportionnelles</b>	
Pente B	0,98
IC 95%	0,77 à 1,23
<b>Différences aléatoires</b>	
Déviat ion Standard des Résidus (DSR)	1,22
Intervalle $\pm 1.96$ DSR	-2,38 à 2,38
<b>Validité du modèle linéaire</b>	
Test de Cusum pour la linéarité	Aucun écart significatif par rapport à la linéarité (P=0,81)

Tableau 7(annexe) : Régression de Passing & Bablok DC TDTP (y) fonction DC ETT (x)

Patients en RS $Y = 1,07 + 0,95 X$		Patients en FA $Y = 0,58 + 0,94 X$	
<b>Différences systématiques</b>		<b>Différences systématiques</b>	
Intercept A	1,07	Intercept A	0,58
IC 95%	-0,89 à 2,85	IC 95%	-1,26 à 1,75
<b>Différences proportionnelles</b>		<b>Différences proportionnelles</b>	
Pente B	0,95	Pente B	0,94
IC 95%	0,60 à 1,29	IC 95%	0,70 à 1,33
<b>Différences aléatoires</b>		<b>Différences aléatoires</b>	
Déviat ion Standard des Résidus (DSR)	1,49	Déviat ion Standard des Résidus (DSR)	0,89
Intervalle $\pm 1.96$ DSR	-2,91 à 2,91	Intervalle $\pm 1.96$ DSR	-1,76 à 1,76
<b>Validité du modèle linéaire</b>		<b>Validité du modèle linéaire</b>	
Test de Cusum pour la linéarité	Aucun écart significatif par rapport à la linéarité (P=0,94)	Test de Cusum pour la linéarité	Aucun écart significatif par rapport à la linéarité (P=0,91)

Tableau 8 (annexe) : Régression de Passing & Bablok DC TDTP (y) fonction DC ETT (x) dans chacun des groupes RS et FA

	DC ETT	DC TDTP	p
Taille de l'échantillon	45	45	0,0030*
Valeur la plus basse	<u>2,39</u>	<u>2,803</u>	
Valeur la plus haute	<u>7,09</u>	<u>7,18</u>	
Médiane	4,55	5,49	
IC 95% de la médiane	4,02 - 5,05	4,69 - 5,77	
Rang de l'interquartile	3,64 - 5,50	4,10 - 5,93	
<b>Test de Wilcoxon</b>			
Nombre de différences positives	31		
Nombre de différences négatives	14		

Tableau 9 (annexe) : Comparaison des mesures de débit cardiaque chez chaque patient en excluant les valeurs de DC supérieures à leur 3ième quartile

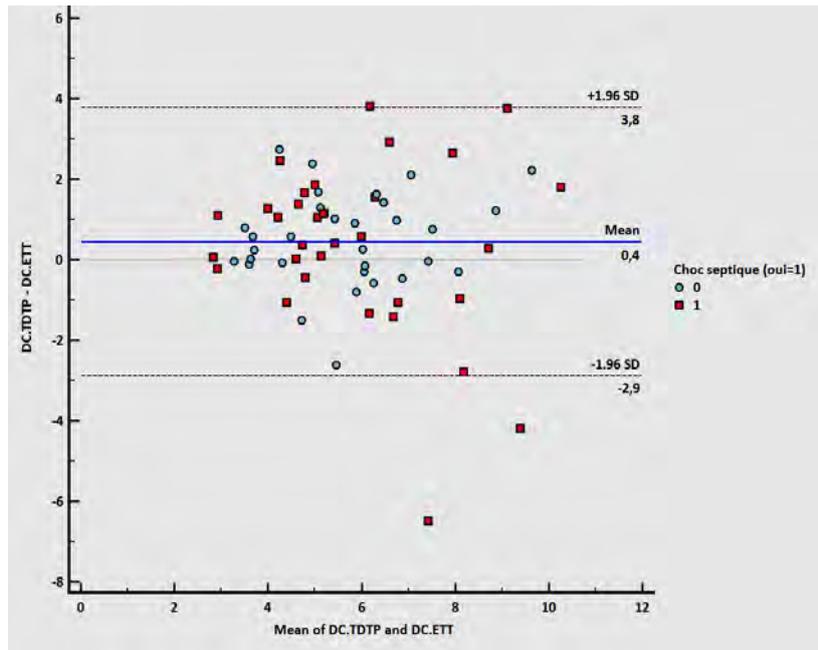


Figure 7 (annexe) : Représentation graphique de Bland et Altman DC TDTP et DC ETT mesurés au même temps chez les patients non en choc septique (points bleus) et en choc septique (points rouges)

Dependent Y	DC.TDTP				
Independent X	DC.ETT				
Least squares regression					
Sample size	64				
Coefficient of determination R <sup>2</sup>	0,3886				
Residual standard deviation	1,5009				
Regression Equation					
y = 2,7318 + 0,5885 x					
Parameter	Coefficient	Std. Error	95% CI	t	P
Intercept	2,7318	0,5543	1,6242 to 3,8394	4,9302	<0,0001
Slope	0,5885	0,09374	0,4011 to 0,7759	6,2781	<0,0001
Analysis of Variance					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square		
Regression	1	88,7690	88,7690		
Residual	62	139,6886	2,2527		
F-ratio	39,4142				
Significance level	P<0,0001				
Residuals					
Shapiro-Wilk test for Normal distribution	W=0,9736 Accept normality (P=0,1861)				

Tableau 10 (annexe) : Equation de régression.

La distribution des résidus suit une loi normale. Il y a donc une homoscedasticité.

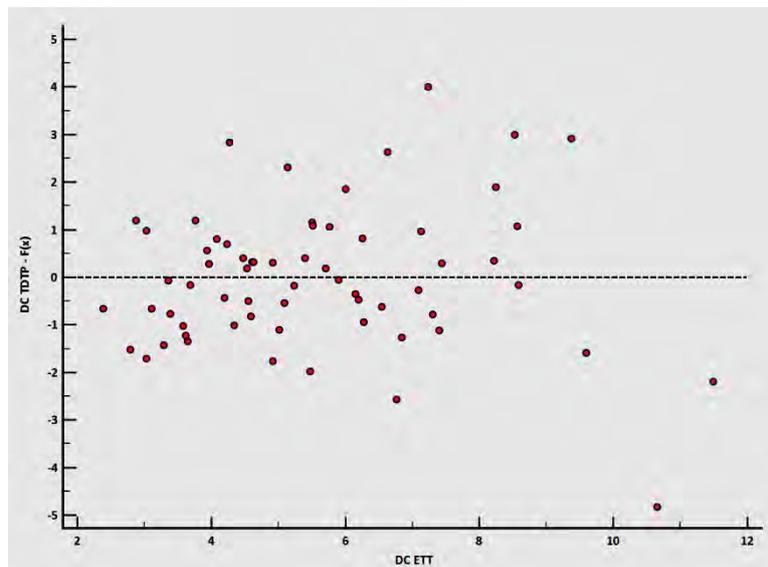


Figure 8 (annexe) : Répartition des résidus selon les niveaux de débits cardiaque (RL)

## 2. Validation Comité de Protection des Personnes

### Comité de Protection des Personnes Est-II

Siège : CHRU – Hôpital Saint Jacques  
2 place Saint Jacques  
25030 Besançon Cedex  
Tel : 03-81-21-93-12  
Fax : 03-81-21-93-13  
Email : cpp@chu-besancon.fr

Besançon, le 06 février 2020

Le Président,

**CHU DE TOULOUSE**  
**Madame Odile SECHOY-BALUSSOU**  
Hôtel Dieu  
2 Rue Viguerie - TSA 80035  
31059 TOULOUSE

JMC/KJ

Réf protocole CNRIPH : 19.12.13.65954

Vos réf : « Comparaison de la mesure du débit cardiaque par les méthodes de thermodilution transpulmonaire et échographie transthoracique chez les patients de réanimation en état de choc en rythme sinusal » - Etude TDTP ETT RS

(référence à rappeler impérativement dans toute correspondance)

Copie : CHU DE TOULOUSE – Hôpital Rangueil

Docteur Antoine ROUGET  
Service de Réanimation Polyvalente  
1 Avenue Jean Poulhès – TSA 50032  
31059 TOULOUSE Cedex 4

Madame,

Le Comité lors de la session du Lundi 20 janvier 2020 a examiné l'étude (cat.3 HPS) intitulée :

« Comparaison de la mesure du débit cardiaque par les méthodes de thermodilution transpulmonaire et échographie transthoracique chez les patients de réanimation en état de choc en rythme sinusal » - Etude TDTP ETT RS.

Par vos réponses du 04/02/20 : les modifications apportées au protocole répondent à l'ensemble des questions soulevées par le CPP lors de la séance.

Le CPP Est-II fonctionne en conformité avec les Bonnes Pratiques Cliniques (ICH-GCP).

Vu le courrier de demande d'avis initial du 13/12/19, le formulaire de demande d'avis (version 1 du 13/12/19), le protocole et le résumé amendés (version 3.1 du 03/02/20), les notes d'information pour les « représentants du patient » et celle pour la « poursuite dans la recherche après situation d'urgence » (version 1.1 du 03/02/20), le formulaire d'inclusion en urgence (version 1 du 09/12/19), la liste investigateur (version 3.1 du 03/02/20) avec le CV du Dr Rouget (coordonnateur principal) – Hôpital Rangueil à Toulouse, le cahier d'observation fourni (CRF version 1 du 09/12/19), le récépissé CNIL n° 2038025 v0 du 22/02/17, le comité donne un **AVIS FAVORABLE** à l'unanimité.

#### PRESENCE DES MEMBRES

CATEGORIE	TITULAIRES	FONCTION	PRESENT	SUPPLEANTS	FONCTION	PRESENT
I. RECHERCHE BIOMEDICALE	Dr M.B VALNET RABIER	Praticien Hospitalier CHRU Besançon	x	Dr C. GUILLERMET- FROMENTIN	Pédiatre CHRU de Besançon	x

	Pr J.M. CHALOPIN (Président)	Néphrologue Consultant CHRU Besançon	x	Mme L. VETTORETTI	Ingénieur Recherche Clinique CHRU Besançon	x
	Pr E. MONNET	Médecin épidémiologiste CHRU Besançon		Dr G. BESH	PH Anesthésiste CHRU de Besançon	
II. MEDECINE GENERALE						
III. PHARMACIEN(NE)	Mme S. PERRIN	Praticien Hospitalier CHRU de Besançon	x	Mme P. DEMOLY- POURET	Praticien Hospitalier GCS Pharmacie de Bavilliers	x
IV. INFIRMIER(E)	Mme K. MOUGEY- CHEMETT	Infirmière Direction des Soins – CHRU de Besançon	x			
V. ETHIQUE	Mr A. DIRAND	Doctorant en philosophie à l'UFC	x			
VI. SOCIAL	Mme A. BOURGE	Assistante sociale CHBM	x			
VII. PSYCHOLOGIE	Mme M. BONNET LLOMPART	Maître de Conférences en Psychologie Clinique à l'UFR SLHS de Besançon	x	Mme L. BARTHOD	Psychologue Clinicienne Clinique CHRU de Besançon	
VIII. JURISTE	Mlle S. DEPIERRE (Vice-Présidente)	Responsable Unité Réglementaire DRCI CHRU Besançon		Mr A. CHAUSSY	CPAM du DOUBS Service juridique et contentieux	
IX. REPRESENTANTS D'ASSOCIATION AGREE DE MALADES OU D'USAGERS DU SYSTEME DE LA SANTE	Mr M. COTTINY	Administrateur du Grand Besançon Habitat et de l'UDAF 25		Mme B. LANQUETIN	Retraîtée de l'Education Nationale	
	Mme E. TROCME	Cadre supérieure infirmier retraitée ARUCAH		Mr R. MARTINEZ	Retraité Assurance Maladie (membre de l'ARUCAH)	x

Les membres titulaires (ou suppléant en l'absence du titulaire) ont participé au vote. **A noter que les membres impliqués dans le projet ne participent pas à la délibération.**

Professeur Jean-Marc CHALOPIN



---

**COMPARAISON DE LA MESURE DU DEBIT CARDIAQUE PAR LES  
METHODES DE THERMODILUTION TRANSPULMONAIRE ET  
ECHOGRAPHIE TRANSTHORACIQUE CHEZ LES PATIENTS DE  
REANIMATION EN ETAT DE CHOC : EFFET DU RYTHME  
CARDIAQUE**

---

**RESUME EN FRANÇAIS :**

Il est recommandé de mesurer le débit cardiaque par échographie transthoracique ou thermodilution transpulmonaire chez les patients en état de choc. Ces deux techniques ont été validées par rapport à la méthode de référence, mais n'ont jamais été comparées entre elles. L'objectif de l'étude est de comparer la mesure du débit cardiaque par thermodilution transpulmonaire à l'échographie transthoracique chez les patients de réanimation en état de choc et d'analyser l'impact du rythme cardiaque. Soixante-quatre patients sédatisés, ventilés ont été inclus. Ils ont bénéficié de la mesure du débit cardiaque par les deux techniques simultanément. Soixante-quatre paires de mesures ont été comparées. Le biais médian est de 0.57L/min, les limites d'agrément sont de -2.9 à 3.8 L/min et le pourcentage d'erreur est de 58.9%. On ne retrouve pas de différence entre le groupe sinusal et le groupe fibrillation auriculaire.

En conclusion, chez 64 patients de réanimation en état de choc, les mesures de débit cardiaque par thermodilution transpulmonaire et échographie transthoracique ne sont pas concordantes. La fibrillation auriculaire ne semble pas être un facteur confondant.

---

**TITRE EN ANGLAIS:** Comparison between transpulmonary thermodilution and transthoracic echocardiography in cardiac output measurement in critically ill patient: impact of cardiac rhythm.

---

**DISCIPLINE ADMINISTRATIVE :** Médecine spécialisée clinique

---

**MOTS-CLÉS :** Débit cardiaque, Echographie transthoracique, thermodilution transpulmonaire, fibrillation auriculaire, réanimation, état de choc.

---

**INTITULÉ ET ADRESSE DE L'UFR OU DU LABORATOIRE :**

Université Toulouse III-Paul Sabatier  
Faculté de médecine Toulouse-Purpan,  
37 Allées Jules Guesde 31000 Toulouse

---

Directeur de thèse : Antoine ROUGET