

Année 2022/2023

N°

Thèse

Pour le

DOCTORAT EN MEDECINE

Diplôme d'État

par

Sophie LANGEARD

Née le 24 avril 1995 à Caen (14)

Évaluation du débit cardiaque par bioréactance en transplantation hépatique : Starling Monitoring System® versus Swan Ganz

Présentée et soutenue publiquement le **13 septembre 2023** devant un jury composé de :

Président du Jury : Professeur Francis REMÉRAND, Anesthésiologie et réanimation,
Faculté de Médecine - Tours

Membres du Jury :

Professeur Fabien ESPITALIER, Anesthésiologie et réanimation, Faculté de Médecine -
Tours

Professeur Marc LAFFON, Anesthésiologie et réanimation, Faculté de Médecine - Tours

Professeur Éric LEVESQUE, Anesthésiologie et réanimation, Faculté de Médecine - Tours

Professeur Ephrem SALAMÉ, Chirurgie digestive, Faculté de Médecine - Tours

**Directeur de thèse : Docteur Raphaël DENHAUT, Anesthésiologie et
réanimation, PHC, CHRU - Tours**

**Évaluation du débit cardiaque par bioréactance
en transplantation hépatique :
Starling Monitoring System[®] versus Swan Ganz**

RESUME

Introduction :

Lors d'une transplantation hépatique orthotopique (THO), le monitoring du débit cardiaque par cathéter de Swan Ganz (DCSG) est la technique de référence, mais elle est à l'origine d'une morbi-mortalité importante. Nous proposons d'évaluer un autre monitoring récent et totalement non invasif, le moniteur Starling®, qui évalue le débit cardiaque (DCSTAR) par bioréactance.

Matériel et méthodes :

Étude prospective observationnelle monocentrique menée au CHU de Tours de juillet à décembre 2022, incluant des patients opérés pour THO, évaluant la concordance du sens des variations des DCSG et DCSTAR par analyse des sensibilités, spécificités, courbe ROC et aire sous la courbe (AUC).

Une analyse de corrélation des DCSG et DCSTAR a été effectuée par la méthode de Bland et Altman avec détermination du biais, limites d'agrément et pourcentage d'erreur. Les données ont été analysées toutes les minutes, en analyse globale et par sous-groupes (par Child, par phase opératoire et par débit cardiaque basal).

Résultats :

20 patients ont été inclus. 6989 couples de mesures ont été analysés. Pour détecter une diminution du DCSG $> 10\%$, la sensibilité du Starling était de 45%, la spécificité de 71%, l'AUC était de 0.51.

Le biais moyen entre le DCSG et DCSTAR était de 0,38 L/min/m², les limites d'agréments étaient de - 2,8 L/min/m² et +3,6 L/min/m² avec un pourcentage d'erreur à 73%. Le coefficient de détermination est de 0,14.

L'analyse en sous-groupe n'a pas permis de montrer que les deux techniques de monitoring étaient interchangeables.

Conclusion :

Les performances du Starling® sont insuffisantes pour pouvoir recommander son utilisation en alternative au cathéter de Swan Ganz lors de THO.

Mots clés : transplantation hépatique – débit cardiaque - Swan Ganz - bioréactance

**Assessment of cardiac output by bioreactance during liver
transplantation: Starling Monitoring System®
versus Swan Ganz**

ABSTRACT

Introduction:

During an orthotopic liver transplantation (OLT), the monitoring of the cardiac output with a Swan Ganz catheter (DCSG) is the gold standard, nevertheless is also responsible of a significant number of morbidity and mortality. We propose to assess another new noninvasive cardiac output monitoring device, the Starling®, which determines cardiac output (DCSTAR) with bioreactance.

Methods:

Prospective observational single-center study, led in university hospital of Tours between July 2022 and December 2022, enrolling patients who underwent OLT, assessing the agreement of DCSG and DCSTAR's variation direction with sensitivity and specificity analyses, ROC curve and area under the curve (AUC).

The correlation analysis of DCSG and DCSTAR was carried out, using the Bland and Altman method with the determination of the bias, the limits of agreement and percentage error. The data were analysed minutely, following an overall analysis and following subgroups analysis (according to Child's classification, surgery time and initial cardiac output).

Results:

20 patients were enrolled. 6989 binary measurements were analysed. In order to detect a decrease in DCSG > 10%, Starling's sensitivity was 45%, specificity was 71%, AUC was 0,51.

The mean difference between the DCSG and DCSTAR was 0,38 L/min/m², the limits of agreements were -2,8 L/min/m² and +3,6 L/min/m² with a percentage error of 73%. The coefficient of determination was 0,14.

The subgroup analysis couldn't bring out that these two monitoring techniques were interchangeable.

Conclusion:

The Starling's performances are insufficient to recommend its usage as a replacement for the Swan Ganz's catheter during an OLT.

Key words: liver transplantation – cardiac output - bioreactance - Swan Ganz

LISTE DES ABREVIATIONS

ACFL : Acute on Chronic Liver Failure

APC : anastomose porto-cave

AUC : Area Under Curve

CNIL : Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés

CSG : cathéter de Swan Ganz

DCSG : débit cardiaque Swan Ganz

DCSTAR : débit cardiaque Starling

IC : index cardiaque

MELD : Mayo End-stage Liver Disease

PAM : pression artérielle moyenne

PAPO : pression artérielle pulmonaire d'occlusion

PE : pourcentage d'erreur

PVC : pression veineuse centrale

R^2 : coefficient de détermination

ROC : Receiver Operating Characteristic

RPTI : résistance périphérique totale indexée

RVSI : résistance vasculaire systémique indexée

SvO₂ : saturation d'oxygène du sang veineux mêlé

THO : transplantation hépatique orthotopique

UNIVERSITE DE TOURS
FACULTE DE MEDECINE DE TOURS

DOYEN
Pr Patrice DIOT

VICE-DOYEN
Pr Henri MARRET

ASSESSEURS
Pr Denis ANGOULVANT, *Pédagogie*
Pr Mathias BUCHLER, *Relations internationales*
Pr Theodora BEJAN-ANGOULVANT, *Moyens – relations avec l'Université*
Pr Clarisse DIBAO-DINA, *Médecine générale*
Pr François MAILLOT, *Formation Médicale Continue*
Pr Patrick VOUREC'H, *Recherche*

RESPONSABLE ADMINISTRATIVE
Mme Carole ACCOLAS

DOYENS HONORAIRES
Pr Emile ARON (†) – 1962-1966
Directeur de l'Ecole de Médecine - 1947-1962
Pr Georges DESBUQUOIS (†) – 1966-1972
Pr André GOUAZE (†) – 1972-1994
Pr Jean-Claude ROLLAND – 1994-2004
Pr Dominique PERROTIN – 2004-2014

PROFESSEURS EMERITES
Pr Daniel ALISON
Pr Gilles BODY
Pr Philippe COLOMBAT
Pr Etienne DANQUECHIN-DORVAL
Pr Luc FAVARD
Pr Bernard FOUQUET
Pr Yves GRUEL
Pr Gérard LORETTE
Pr Loïc VAILLANT

PROFESSEURS HONORAIRES
P. ANTHONIOZ – P. ARBEILLE – A. AUDURIER – A. AUTRET – C. BARTHELEMY – J.L. BAULIEU – C. BERGER – JC. BESNARD – P. BEUTTER – C. BONNARD – P. BONNET – P. BOUGNOUX – P. BURDIN – L. CASTELLANI – J. CHANDENIER – A. CHANTEPIE – B. CHARBONNIER – P. CHOUTET – T. CONSTANS – C. COUET – L. DE LA LANDE DE CALAN – P. DUMONT – J.P. FAUCHIER – F. FETISSOF – J. FUSCIARDI – P. GAILLARD – G. GINIES – D. GOGA – A. GOUDEAU – J.L. GUILMOT – O. HAILLOT – N. HUTEN – M. JAN – J.P. LAMAGNERE – F. LAMISSE – Y. LANSON – O. LE FLOCH – Y. LEBRANCHU – E. LECA – P. LECOMTE – AM. LEHR-DRYLEWICZ – E. LEMARIE – G. LEROY – M. MARCHAND – C. MAURAGE – C. MERCIER – J. MOLINE – C. MORAINÉ – J.P. MUH – J. MURAT – H. NIVET – D. PERROTIN – L. POURCELOT – R. QUENTIN – P. RAYNAUD – D. RICHARD-LENOBLE – A. ROBIER – J.C. ROLLAND – P. ROSSET – D. ROYERE – A. SAINDELLE – E. SALIBA – J.J. SANTINI – D. SAUVAGE – D. SIRINELLI – J. WEILL

PROFESSEURS DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS

ANDRES Christian.....	Biochimie et biologie moléculaire
ANGOULVANT Denis	Cardiologie
APETOH Lionel	Immunologie
AUPART Michel.....	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
BABUTY Dominique	Cardiologie
BACLE Guillaume.....	Chirurgie orthopédique et traumatologique
BAKHOS David.....	Oto-rhino-laryngologie
BALLON Nicolas.....	Psychiatrie ; addictologie
BARBIER François.....	Médecine intensive et réanimation
BARILLOT Isabelle	Cancérologie ; radiothérapie
BARON Christophe	Immunologie
BEJAN-ANGOULVANT Théodora	Pharmacologie clinique
BERHOUE Julien	Chirurgie orthopédique et traumatologique
BERNARD Anne	Cardiologie
BERNARD Louis	Maladies infectieuses et maladies tropicales
BLANCHARD-LAUMONNIER Emmanuelle	Biologie cellulaire
BLASCO Hélène.....	Biochimie et biologie moléculaire
BONNET-BRILHAULT Frédérique	Physiologie
BOURGUIGNON Thierry	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
BRILHAULT Jean.....	Chirurgie orthopédique et traumatologique
BRUNEREAU Laurent	Radiologie et imagerie médicale
BRUYERE Franck.....	Urologie
BUCHLER Matthias.....	Néphrologie
CAILLE Agnès	Biostat., informatique médical et technologies de communication
CALAIS Gilles.....	Cancérologie, radiothérapie
CAMUS Vincent	Psychiatrie d'adultes
CORCIA Philippe.....	Neurologie
COTTIER Jean-Philippe	Radiologie et imagerie médicale
DEQUIN Pierre-François.....	Thérapeutique
DESMIDT Thomas	Psychiatrie
DESOUBEAUX Guillaume.....	Parasitologie et mycologie
DESTRIEUX Christophe	Anatomie
DI GUISTO Caroline	Gynécologie obstétrique
DIOT Patrice.....	Pneumologie
DU BOUEXIC de PINIEUX Gonzague	Anatomie & cytologie pathologiques
DUCLUZEAU Pierre-Henri.....	Endocrinologie, diabétologie, et nutrition
EHRMANN Stephan	Médecine intensive – réanimation
EL HAGE Wissam.....	Psychiatrie adultes
ELKRIEF Laure.....	Hépatologie – gastroentérologie
ESPITALIER Fabien.....	Anesthésiologie et réanimation, médecine d'urgence
FAUCHIER Laurent	Cardiologie
FOUGERE Bertrand	Gériatrie
FRANCOIS Patrick.....	Neurochirurgie
FROMONT-HANKARD Gaëlle	Anatomie & cytologie pathologiques
GATAULT Philippe.....	Néphrologie
GAUDY-GRAFFIN Catherine.....	Bactériologie-virologie, hygiène hospitalière
GOUPILLE Philippe	Rhumatologie
GUERIF Fabrice.....	Biologie et médecine du développement et de la reproduction
GUILLON Antoine.....	Médecine intensive – réanimation
GUILLON-GRAMMATICO Leslie.....	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
GUYETANT Serge	Anatomie et cytologie pathologiques
GYAN Emmanuel.....	Hématologie, transfusion
HALIMI Jean-Michel.....	Thérapeutique
HANKARD Régis.....	Pédiatrie
HERAULT Olivier	Hématologie, transfusion
HERBRETEAU Denis	Radiologie et imagerie médicale
HOURIOUX Christophe.....	Biologie cellulaire
IVANES Fabrice	Physiologie
LABARTHE François.....	Pédiatrie
LAFFON Marc	Anesthésiologie et réanimation chirurgicale, médecine d'urgence
LARDY Hubert.....	Chirurgie infantile
LARIBI Saïd.....	Médecine d'urgence
LARTIGUE Marie-Frédérique.....	Bactériologie-virologie
LAURE Boris.....	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
LECOMTE Thierry.....	Gastroentérologie, hépatologie

LEGRAS Antoine.....	Chirurgie thoracique
LESCANNE Emmanuel.....	Oto-rhino-laryngologie
LEVESQUE Éric.....	Anesthésiologie et réanimation chirurgicale, médecine d'urgence
LINASSIER Claude	Cancérologie, radiothérapie
MACHET Laurent	Dermato-vénéréologie
MAILLOT François	Médecine interne
MARCHAND-ADAM Sylvain	Pneumologie
MARRET Henri	Gynécologie-obstétrique
MARUANI Annabel	Dermatologie-vénéréologie
MEREGHETTI Laurent	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
MITANCHEZ Delphine	Pédiatrie
MOREL Baptiste	Radiologie pédiatrique
MORINIERE Sylvain.....	Oto-rhino-laryngologie
MOUSSATA Driffa	Gastro-entérologie
MULLEMAN Denis.....	Rhumatologie
ODENT Thierry.....	Chirurgie infantile
OUAISSI Mehdi	Chirurgie digestive
OULDAMER Lobna.....	Gynécologie-obstétrique
PAINTAUD Gilles	Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique
PATAT Frédéric	Biophysique et médecine nucléaire
PERROTIN Franck	Gynécologie-obstétrique
PISELLA Pierre-Jean.....	Ophtalmologie
PLANTIER Laurent.....	Physiologie
REMERAND Francis	Anesthésiologie et réanimation, médecine d'urgence
ROINGEARD Philippe.....	Biologie cellulaire
RUSCH Emmanuel.....	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
SAINT-MARTIN Pauline.....	Médecine légale et droit de la santé
SALAME Ephrem.....	Chirurgie digestive
SAMIMI Mahtab	Dermatologie-vénéréologie
SANTIAGO-RIBEIRO Maria	Biophysique et médecine nucléaire
SAUTENET-BIGOT Bénédicte.....	Thérapeutique
THOMAS-CASTELNAU Pierre	Pédiatrie
TOUTAIN Annick.....	Génétique
VELUT Stéphane	Anatomie
VOURC'H Patrick.....	Biochimie et biologie moléculaire
WATIER Hervé	Immunologie
ZEMMOURA Ilyess	Neurochirurgie

PROFESSEUR DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE

DIBAO-DINA Clarisse
LEBEAU Jean-Pierre

PROFESSEURS ASSOCIES

MALLET Donatien.....Soins palliatifs
ROBERT Jean.....Médecine Générale

PROFESSEUR CERTIFIE DU 2ND DEGRE

MC CARTHY Catherine.....Anglais

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS

AUDEMARD-VERGER Alexandra.....Médecine interne
BISSON Arnaud Cardiologie (CHRO) || BRUNAUT Paul | Psychiatrie d'adultes, addictologie |
CARVAJAL-ALLEGRIA Guillermo.....	Rhumatologie (au 01/10/2021)
CLEMENTY Nicolas.....	Cardiologie
DOMELIER Anne-Sophie	Bactériologie-virologie, hygiène hospitalière
DUFOUR Diane	Biophysique et médecine nucléaire
FOUQUET-BERGEMER Anne-Marie.....	Anatomie et cytologie pathologiques
GARGOT Thomas	Physiologie
GOUILLEUX Valérie.....	Immunologie

HOARAU Cyrille	Immunologie
KERVARREC Thibault	Anatomie et cytologie pathologiques
LE GUELLEC Chantal	Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique
LEDUCQ Sophie	Dermatologie
LEFORT Bruno	Pédiatrie
LEJEUNE Julien	Hématologie, transfusion
LEMAIGNEN Adrien	Maladies infectieuses
MACHET Marie-Christine	Anatomie et cytologie pathologiques
MOUMNEH Thomas	Médecine d'urgence
PARE Arnaud	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
PIVER Éric	Biochimie et biologie moléculaire
ROUMY Jérôme	Biophysique et médecine nucléaire
STANDLEY-MIQUELESTORENA Elodie	Anatomie et cytologie pathologiques
STEFIC Karl	Bactériologie
TERNANT David	Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique
VAYNE Caroline	Hématologie, transfusion
VUILLAUME-WINTER Marie-Laure	Génétique

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

AGUILLON-HERNANDEZ Nadia	Neurosciences
NICOGLOU Antonine	Philosophie – histoire des sciences et des techniques
PATIENT Romuald	Biologie cellulaire
RENOUX-JACQUET Cécile	Médecine Générale

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES

AUMARECHAL Alain	Médecine Générale
BARBEAU Ludivine	Médecine Générale
CHAMANT Christelle	Médecine Générale
ETTORI-AJASSE Isabelle	Médecine Générale
PAUTRAT Maxime	Médecine Générale
RUIZ Christophe	Médecine Générale
SAMKO Boris	Médecine Générale

CHERCHEURS INSERM - CNRS - INRAE

BECKER Jérôme	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253
BOUAKAZ Ayache	Directeur de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253
BOUTIN Hervé	Directeur de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253
BRIARD Benoit	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1100
CHALON Sylvie	Directrice de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253
DE ROCQUIGNY Hugues	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1259
ESCOFFRE Jean-Michel	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253
GILOT Philippe	Chargé de Recherche Inrae – UMR Inrae 1282
GOMOT Marie	Chargée de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253
GOUILLEUX Fabrice	Directeur de Recherche CNRS – EA 7501 - ERL CNRS 7001
GUEGUINO Maxime	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1069
HEUZE-VOURCH Nathalie	Directrice de Recherche Inserm – UMR Inserm 1100
KORKMAZ Brice	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1100
LATINUS Marianne	Chargée de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253
LAUMONNIER Frédéric	Directeur de Recherche Inserm - UMR Inserm 1253
LE MERRER Julie	Directrice de Recherche CNRS – UMR Inserm 1253
MAMMANO Fabrizio	Directeur de Recherche Inserm – UMR Inserm 1259
MEUNIER Jean-Christophe	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1259
PAGET Christophe	Directeur de Recherche Inserm – UMR Inserm 1100
RAOUL William	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1069
SECHER Thomas	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1100
SI TAHAR Mustapha	Directeur de Recherche Inserm – UMR Inserm 1100
SUREAU Camille	Directrice de Recherche émérite CNRS – UMR Inserm 1259
TANTI Arnaud	Chargé de Recherche Inserm - UMR Inserm 1253
WARDAK Claire	Chargée de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253

CHARGES D'ENSEIGNEMENT

Pour l'Ethique Médicale

BIRMELE Béatrice	Praticien Hospitalier
------------------------	-----------------------

SERMENT D'HIPPOCRATE

En présence des enseignants et enseignantes
de cette Faculté,
de mes chers condisciples
et selon la tradition d'Hippocrate,
je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de
la probité dans l'exercice de la Médecine.

Je donnerai mes soins gratuits aux indigents,
et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail.

Admis(e) 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(euse) et reconnaissant(e) envers mes Maîtres,
je rendrai à leurs enfants
l'instruction que j'ai reçue de leurs parents.

Que les hommes et les femmes m'accordent leur estime
si je suis fidèle à mes promesses.
Que je sois couvert(e) d'opprobre
et méprisé(e) de mes confrères et consœurs
si j'y manque.

REMERCIEMENTS

*Au président du jury, **Monsieur le Professeur Francis REMÉRAND,***

Merci de me faire l'honneur de présider ce jury. Merci pour vos enseignements tout au long de cet internat. Permettez-moi de vous exprimer toute ma reconnaissance et l'expression de mon profond respect.

*A mon directeur de thèse, **Monsieur le Docteur Raphaël DENHAUT,***

Merci d'avoir accepté d'encadrer ce travail de thèse avec patience, rigueur et bienveillance. Ce sera un plaisir de travailler avec toi en tant que docteur junior. Reçois ici le témoignage de ma sincère reconnaissance.

Aux membres du jury,

Monsieur le Professeur Fabien ESPITALIER,

Merci de me faire l'honneur de juger ce travail. Merci pour ta patience, pédagogie en réanimation CCV et ton partage d'expériences professionnelles. Permets-moi de t'exprimer toute ma reconnaissance et l'expression de mon profond respect.

Monsieur le Professeur Marc LAFFON,

Merci de me faire l'honneur de juger ce travail. Merci pour votre accompagnement durant cet internat avec ce dynamisme, investissement et altruisme qui vous caractérisent. Permettez-moi de vous exprimer toute ma reconnaissance et l'expression mon profond respect.

Monsieur le Professeur Éric LEVESQUE,

Merci de me faire l'honneur de juger ce travail. Merci pour vos enseignements théoriques et pratiques en transplantation hépatique. Permettez-moi de vous exprimer toute ma reconnaissance et l'expression de mon profond respect.

Monsieur le Professeur Ephrem SALAMÉ,

Merci de me faire l'honneur de juger ce travail. Merci d'apporter votre expertise et regard de chirurgien à ce travail. Permettez-moi de vous exprimer toute ma reconnaissance et l'expression de mon profond respect.

A tous ceux qui m'ont permis de réaliser cette thèse,

Merci aux médecins anesthésistes d'avoir permis l'inclusion des patients et de m'avoir fait partager leur expérience en transplantation hépatique. Merci aux IADE d'avoir facilité le recueil des données, et ce, en m'appelant à toute heure. Merci à Pierre-Emmanuel d'avoir pris le temps de m'expliquer tous les fondements et particularités du Starling.

A l'équipe de la maternité du CHRU de Tours et à l'équipe du bloc de Bretonneau,

Vous m'avez vu faire mes premiers pas dans cette si belle spécialité. Une pensée particulière aux Dr Vecten et Abidi qui ont su rendre ces gardes à la maternité enrichissantes et toujours dans la joie et bonne humeur. Merci aux Dr Bouly, Bensenouci, Dergham, Peru pour votre pédagogie, bienveillance et autonomisation progressive. Merci aux IADE avec qui j'ai pris plaisir à travailler.

A l'équipe du bloc de Trousseau,

Aux Dr Le Page, Pavie, Larousse, Pujol, Villéger, Tricoche, Lucas, Palud, Caro, Guillem. Merci pour votre encadrement, vos partages d'expérience, mon autonomisation progressive. Merci aux IADE avec qui j'ai pris plaisir à travailler.

A l'équipe du bloc de Clocheville,

Aux Dr Lengellé, Tartrat, Zebouchi, Lebrin, Michaud, Bissières, Crenn, Soulier, Marot. Merci pour la transmission de votre passion pour l'anesthésie pédiatrique et pour votre bienveillance dans ce (ré)apprentissage de l'anesthésie. Merci aux IADE avec qui j'ai pris plaisir à travailler.

A l'équipe de réanimation médicale du CHRO,

À Alexandre, Fanny, Marie, Céline, Clara, Camélia, Marc, mes co-internes, pour ce stage, pour l'entraide et la bonne humeur malgré les difficultés traversées pendant cette période compliquée.

A l'équipe de réanimation chirurgicale et d'USCC du CHU,

Aux Dr Breteau, Barbaz, Tellier, Abback, Ferrandière, Retoret, Di Vittorio. Merci pour vos enseignements à la fois théoriques et pratiques, d'avoir poussé ma réflexion toujours plus loin. A ma team de co-internes : Fanny, Elodie, Sonia, Gatien, Clément (qui a vu la lumière en AR).

A l'équipe de réanimation neurochirurgicale,

Aux Dr Elaroussi, Badaire, Godat. Merci de m'avoir accompagnée et fait confiance pour mes premières gardes séniorisées. A mon binôme de choc, Carimalof.

A l'équipe de réanimation CCV,

Aux Dr Chetouane, Cailloce, Lallemand, Morisseau, Rouault, Jouan, Bailleul, Mirguet. Merci pour cette immersion dans le monde du cœur, pour votre pédagogie.

Un grand merci à Christèle, Corinne et Sylvie pour votre disponibilité, aide et soutien durant cet internat. On ne vous le dit probablement pas assez : sans vous, tout serait plus compliqué.

A mes co-internes, pour certains devenus chefs : Stéphane, Sonia, Gatien, Alexandre, Fanny, Ourielle, Pierre, Elodie, Jonas, Léo, Lucas, Karole, Lucie, Amir, Laurent, Jean, Axelle, Victor, Alexandra, Gaïane, Inès, Valentin S, Valentin V, Florentine

A mes amis,

A Alex et Valou, deux belles rencontres pendant cet internat. Et dire que tout a commencé par nos soirées balcon à Orléans. Merci pour votre spontanéité et soutien sans faille. Ne changez pas !

A Karole, Fanny, Elodie. Cet internat m'a permis de vous rencontrer. Merci pour cette amitié qui ne fait que commencer, pour votre enthousiasme, pour votre soutien, pour ces terrasses ou verres partagés en lendemain de garde en mode YOLO.

A la team caennaise « Au pays des Minous » : Adèle, Alex, Charlotte, Clara, Élise, Mélanie, Pauline, Quentin, Rose, Thomas. On a réussi à vaincre l'externat tous ensemble, à défier les vigiles de la Fac pour terminer des conférences dehors en plein hiver. Merci pour ces moments partagés avec vous, ces soirées et pauses révision qui ont rendu l'externat plus agréable. C'est toujours un plaisir de vous revoir, que ce soit à Caen ou Tours.

A Christophe, pour ton amitié sincère depuis le lycée, jalonnée de fous rires et discussions sérieuses sans fin sur les sujets d'actualité. Tu es une véritable bouffée d'oxygène à toi seul.

A Camélia, Magnotte et Nabintou, pour votre authenticité sans demi-mesure, pour votre joie de vivre, pour cette amitié depuis le collège. Nous avons pris des chemins différents mais nos retrouvailles sont toujours aussi spontanées. N'attendons pas 10 ans pour se réunir de nouveau.

À ma famille,

À mes parents Christian et Martine, sans qui je ne serais pas là aujourd'hui. Merci de m'avoir accompagnée, encouragée et soutenue durant ces études de médecine. Vous m'avez transmis le goût de l'effort et la persévérance. Je ne vous remercierai jamais assez pour tout ce que vous avez fait pour moi.

À mon grand-frère Stéphane, ma belle-sœur Joy et leurs enfants Noémie et Kiên. Merci pour votre soutien. Les moments passés avec vous me sont précieux.

À Obiwan, petite boule de poils affectueuse, présent en toute circonstance.

« Guérir parfois, soulager souvent, écouter toujours »

Louis Pasteur

TABLES DES MATIÈRES

RESUME	3
ABSTRACT	5
LISTE DES ABREVIATIONS	6
REMERCIEMENTS	12
TABLES DES MATIÈRES	16
INTRODUCTION	17
MATERIEL ET METHODES	18
1. METHODOLOGIE, CRITERE D'INCLUSION ET INFORMATION DES PATIENTS	18
2. CRITERES DE NON-INCLUSION ET D'EXCLUSION	18
3. PROTOCOLE	19
3.1. <i>Monitoring de référence : le cathéter de Swan Ganz</i>	19
3.2. <i>Monitoring spécifique à l'étude : le Starling®</i>	20
4. RECUEIL DES DONNEES	21
4.1. <i>Paramètres du scope</i>	21
4.2. <i>Paramètres du moniteur HemoSphere® (CSG)</i>	22
4.3. <i>Paramètres du Starling®</i>	22
4.4. <i>Évènements hémodynamiques</i>	22
4.5. <i>Autres données recueillies à partir du Dossier Patient Partagé et du dossier d'anesthésie</i>	23
5. ANALYSES STATISTIQUES	23
RESULTATS.....	25
1. CONCORDANCE DU SENS DE VARIATION DCSG ET DCSTAR	25
2. CORRELATION DCSG ET DCSTAR	25
DISCUSSION	32
CONCLUSION	35
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	36
ANNEXE 1 : LETTRE D'INFORMATION ET FORMULAIRE D'OPPOSITION	40
ANNEXE 2 : PARAMÈTRES DU SCOPE.....	43
ANNEXE 3 : PARAMÈTRES DE L'HEMOSPHERE®	44
ANNEXE 4 : PARAMÈTRES DU STARLING®	45
ANNEXE 5 : SCORES ET CLASSIFICATION	46
ANNEXE 6 : EXEMPLE COURBES DCSTAR ET DCSG EN FONCTION DU TEMPS LORS DU DÉCLAMPAGE.....	47

INTRODUCTION

La transplantation hépatique est une chirurgie pourvoyeuse d'importantes variations du débit cardiaque en raison des effets des pertes sanguines, des clampages vasculaires, et du degré de vasoplégie. Un management hémodynamique optimal est indispensable pour assurer le meilleur pronostic possible^{1,2,3,4}.

Le monitoring du débit cardiaque par cathéter de Swan Ganz (CSG) est la technique de référence^{1,4,5,6}, bien qu'elle entraîne parfois des complications graves voire létales : rupture de l'artère pulmonaire, anévrysme de l'artère pulmonaire, troubles du rythme ventriculaire, bloc auriculo-ventriculaire, infarctus pulmonaire, lésions valvulaires^{7,10-13}. En contrepartie et par nature, ce type de monitoring fournit des paramètres hémodynamiques dont la valeur n'est pas contestable.

D'autres techniques de monitoring hémodynamique moins invasives n'ont pas pu être validées en transplantation hépatique^{3,8,9}, notamment celles utilisant l'analyse du contour de l'onde de pouls (PulsioFlex®/Vigileo®)⁸.

Nous avons évalué une nouvelle technique de monitoring totalement non invasive : le Starling® de Baxter, basée sur le principe physique de la bioréactance¹⁴. Le principe est d'induire un courant électrique depuis des électrodes émettrices jusqu'à des électrodes réceptrices situées sur la peau du patient. Un algorithme calcule le débit cardiaque (DCSTAR) en mesurant le décalage de phase du signal électrique induit par le flux sanguin aortique.

Le Starling® a pu être validé pour certaines situations en réanimation¹⁵⁻²⁰ et en anesthésie^{18,21-25}. En particulier, son utilisation a été validée en chirurgie colorectale²² mais pas en transplantation hépatique.

L'objectif de cette étude était d'évaluer la fiabilité de la mesure du débit cardiaque du Starling® en comparaison au CSG au cours d'une transplantation hépatique.

MATERIEL ET METHODES

1. Méthodologie, critère d'inclusion et information des patients

Étude monocentrique prospective observationnelle menée au CHRU de Tours du 1^{er} juillet 2022 au 31 décembre 2022.

Tout patient opéré d'une transplantation hépatique orthotopique (THO) était inclus. Le recrutement des patients était effectué en visite pré-anesthésique. Une information orale ainsi qu'une lettre d'information (**annexe 1**) étaient remises aux patients lors de cette visite. Les patients pouvaient s'opposer à l'étude en signant un formulaire d'opposition à l'utilisation des données pour la recherche (**annexe 1**). L'étude est en conformité vis-à-vis de la CNIL. Elle a été enregistrée dans le registre des traitements informatiques du CHRU sous le n°2022_093.

2. Critères de non-inclusion et d'exclusion

Les critères de non-inclusion étaient :

- le refus de participer à l'étude
- patient mineur
- l'impossibilité de recueil du consentement (patient sédaté ou encéphalopathie hépatique sévère)
- les contre-indications formelles à la mise en place du CSG (allergie au latex, bloc de branche gauche, trouble du rythme ventriculaire grave connu, remplacement de valve tricuspide ou pulmonaire, communication interauriculaire, communication interventriculaire, présence de sondes de stimulation endocardiques)
- l'hépatite fulminante
- l'hypertension artérielle pulmonaire

Le critère d'exclusion était :

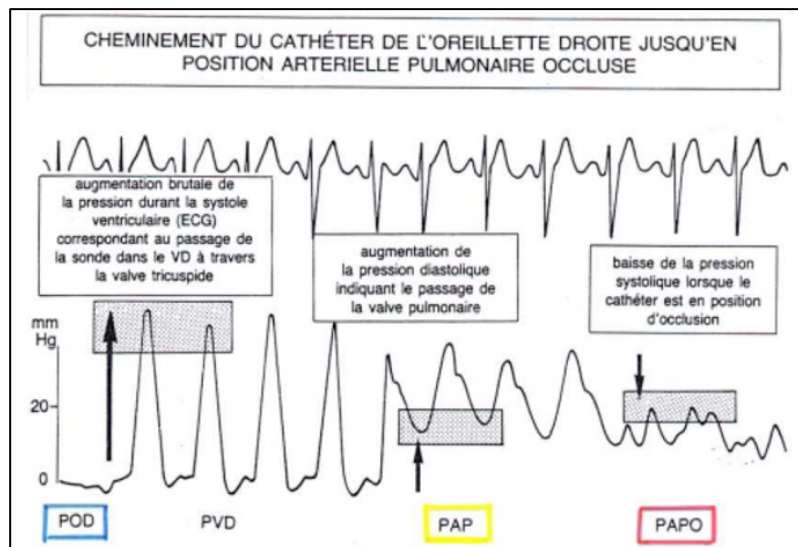
- l'échec de la mise en place du cathéter de Swan Ganz

3. Protocole

Après monitoring anesthésique standard et pré-oxygénation, l'anesthésie était induite par l'injection intraveineuse de sufentanil 0,2µg/kg, de propofol 2 à 3mg/kg et d'atracurium 0,5mg/kg. Après intubation orotrachéale, l'anesthésie était entretenue par inhalation de sévoflurane. L'analgésie et curarisation étaient entretenues par une perfusion continue de sufentanil et d'atracurium. Une perfusion continue d'acide tranexamique était instaurée sauf en cas de thrombose porte connue. Un cathéter artériel radial était mis en place dans le bras gauche pour monitorer la pression artérielle en continu. Un cathéter veineux central était positionné dans la veine jugulaire interne droite (échoguidé). La stratégie anesthésique hémodynamique peropératoire était basée sur les données fournies par le CSG.

3.1. *Monitoring de référence : le cathéter de Swan Ganz*

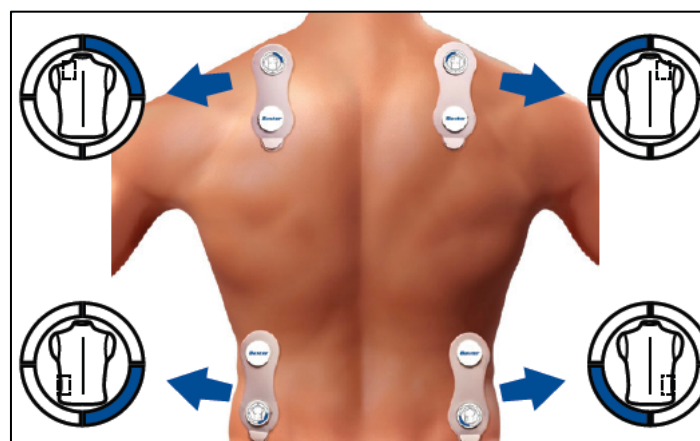
Le CSG (CCOmbo 744F75, Edwards Lifesciences, Irvine, USA) utilisé était un cathéter (7,5F) de thermodilution avec mesure continue du débit cardiaque et de l'oxygénation du sang veineux mêlé (SvO₂). Avant insertion, le CSG était calibré *in vitro* sur le moniteur HemoSphere® (Edwards Lifesciences). Puis, le CSG inséré à travers le désilet préalablement posé, était, au-delà de l'oreillette droite, avancé ballonnet gonflé. La progression était ensuite guidée par l'analyse des courbes de pression : successivement auriculaire droite, ventriculaire droite, artérielle pulmonaire et artérielle pulmonaire occluse. La bonne position du cathéter était confirmée par l'obtention, ballonnet gonflé, d'une courbe auriculaire avec l'onde « a » de systole auriculaire et l'onde « v » correspondant au remplissage veineux passif de l'oreillette gauche caractéristiques d'une courbe de pression d'occlusion (PAPO), et ballonnet dégonflé, d'une courbe de pression d'artère pulmonaire³⁶. La bonne position du cathéter était contrôlée radiologiquement en post-opératoire.



3.2. *Monitoring spécifique à l'étude : le Starling®*

Quatre capteurs étaient placés verticalement, en respectant la latéralité et le positionnement indiqué, avec un espace minimal entre chaque capteur de 15cm, sur le corps du patient : les deux capteurs supérieurs au niveau du muscle trapèze gauche et droit, les deux capteurs inférieurs au niveau du muscle grand dorsal gauche et droit. Puis, les connecteurs étaient branchés au moniteur.

Les paramètres âge/sexe/poids/taille étaient renseignés afin de permettre le calcul de facteur de calibration nécessaire aux mesures. Un étalonnage d'une durée de 30 secondes était ensuite nécessaire avant le début du monitoring.



Positionnement des électrodes du STARLING

Grâce au facteur de calibration élaboré par le constructeur et à la détermination du maximum de la dérivée du signal de bioréactance par rapport au temps ($dX/dt_{\max}$) à chaque cycle cardiaque, le débit cardiaque était calculé selon la formule¹⁴ :

$$DC = FC \cdot \frac{CF}{Z_o^2} \cdot VET \cdot \frac{dX}{dt} \max$$

Avec

DC : débit cardiaque (L/min)

FC : fréquence cardiaque (battement/min)

CF : facteur de calibration

Z_o : impédance thoracique à l'état stable (ohms)

VET : temps total de l'éjection ventriculaire (s)

$dX/dt_{\max}$: maximum de la dérivée de la bioréactance par rapport au temps (ohms/s)

4. Recueil des données

Le recueil des données était effectué par un investigateur indépendant du médecin anesthésiste en charge du patient. La base des données ne contenait aucune donnée nominative. Les patients étaient identifiés grâce à un numéro d'inclusion, afin que toute donnée soit anonymisée.

Avant toute mesure, une synchronisation temporelle était effectuée entre l'heure du scope, celle du moniteur HemoSphere® et celle du moniteur Starling®. Le débit cardiaque indexé était mesuré toutes les minutes sur les deux moniteurs, de l'induction jusqu'à la fin de l'anastomose des voies biliaires.

4.1. Paramètres du scope

Les paramètres suivants étaient recueillis toutes les minutes et disponibles en fin d'intervention sur un support imprimé (**annexe 2**) :

- fréquence cardiaque, pression artérielle systolique/diastolique/moyenne
- pression artérielle pulmonaire systolique/diastolique/moyenne
- pression veineuse centrale
- saturation pulsée en oxygène
- index bispectral

- paramètres du respirateur (volume courant, pression expiratoire positive, fréquence respiratoire, fraction expirée en CO₂, fraction inspirée en O₂, fraction expirée en sévoflurane)

4.2. Paramètres du moniteur HemoSphere® (CSG)

Les paramètres suivants étaient recueillis sur clé USB (**annexe 3**) :

- débit cardiaque indexé (DCSG) toutes les minutes
- résistances vasculaires systémiques indexées (RVSI) toutes les 15 minutes
(RVSI = (PAM-PVC) x 80 / IC)
- SvO₂
- température centrale

4.3. Paramètres du Starling®

Les paramètres suivants étaient recueillis sur clé USB (**annexe 4**) :

- débit cardiaque indexé (DCSTAR) toutes les minutes
- résistances périphériques totales indexées (RPTI) toutes les minutes
(RPTI = PAM x 80 / IC)

4.4. Évènements hémodynamiques

Les données suivantes étaient collectées sur la feuille de surveillance d'anesthésie :

- expansion volémique (cristalloïdes, colloïdes, produits sanguins labiles, volume sanguin éventuellement retransfusé par le CellSaver)
- pertes liquidiennes (pertes sanguines, ascite, liquide gastrique, diurèse horaire)
- horaires des clampages et déclampages des veines porte et cave
- l'utilisation de vasopresseurs (dose ou concentration et vitesse d'administration)

4.5. Autres données recueillies à partir du Dossier Patient Partagé et du dossier d'anesthésie

- sexe, âge, poids, taille
- étiologie de l'hépatopathie, classe Acute on Chronic Liver Failure (ACLF), score de Child-Pugh et score Mayo End-stage Liver Disease (MELD) (scores détaillés en **annexe 5**)
- temps d'ischémie froide, présence ou non de thrombose porte, réalisation ou non d'une anastomose porto-cave temporaire

5. Analyses statistiques

Prise en compte du biais de mesure

Le CSG affichait un débit cardiaque avec un retard d'une minute par rapport à la mesure réelle *in vivo* (donnée fournie par le constructeur), tandis que la mesure du DCSTAR était lissée sur les 24 derniers cycles cardiaques, fournissant une valeur instantanée. Ainsi, les couples de mesure étaient $[DCSTAR_{(t)} ; DCSG_{(t+1min)}]$ où t désigne le temps. Compte tenu du nombre de mesures important, chaque couple de mesures a été ensuite moyenné par tranche de 5 minutes.

Le critère de jugement principal évaluait la concordance du sens de variation des DCSG et DCSTAR, en calculant les sensibilités, spécificités, courbe ROC et aire sous la courbe et calcul du taux de concordance clinique = (vrai positifs + vrai négatifs) / échantillon total).

Le critère de jugement secondaire évaluait la corrélation entre DCSG et DCSTAR. Cette corrélation a été évaluée selon la méthode Bland et Altman²⁹ avec mesure du biais et des limites d'agrément. La précision de la mesure³⁰ a été déterminée par le pourcentage d'erreur (PE) selon la formule $PE = (2 \times \text{écart-type du biais}) / DCSG \text{ moyen}$. Un $PE < 30\%$ était un critère d'interchangeabilité³⁰. Une analyse par régression linéaire a été effectuée par le test de corrélation de Pearson.

Une analyse en sous-groupe a ensuite été réalisée sur le critère de jugement secondaire :

- selon la classification Child
- selon la phase opératoire : hépatectomie, anhépatie, reperfusion
- selon l'index cardiaque basal sur la Swan-Ganz *avant incision* :
 - $DCSG < 3 \text{ L/min/m}^2$
 - $3 \text{ L/min/m}^2 \leq DCSG \leq 5 \text{ L/min/m}^2$
 - $DCSG > 5 \text{ L/min/m}^2$

Les données quantitatives étaient exprimées en moyenne $\pm$ écart-type. Les données qualitatives étaient exprimées en nombre (pourcentage). Une valeur de $p < 0,05$ était considérée comme significative.

Les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel XLSTAT (Addinsoft), Microsoft Excel (version 16.71) et le site BiostaTGV.

RESULTATS

De juillet 2022 à décembre 2022, 20 patients ont été inclus. 3 patients ont été exclus : 2 patients en raison d'un échec de mise en place du CSG ; 1 en raison de la découverte per-opératoire d'une mauvaise position du CSG (dans la veine cave inférieure). Au total, 6989 couples de mesures ont été analysés.

Les principales caractéristiques des patients sont résumées dans le **tableau 1**.

1. Concordance du sens de variation DCSG et DCSTAR

Le taux de concordance clinique était de 36 % (**figure 1**).

Le seuil de DCSTAR optimal pour détecter une diminution du DCSG $> 10\%$ était de $-3,4\%$, l'aire sous la courbe était de 0,51 (**figure 2A**). La sensibilité était alors de 45%, la spécificité de 71%. Pour détecter une diminution du DCSG $> 15\%$, la sensibilité était alors de 46%, la spécificité de 70% (**tableau 2A**).

Le seuil de DCSTAR optimal pour détecter une augmentation du DCSG était de $+1,5\%$ (**figure 2B**). La sensibilité était alors de 45%, la spécificité de 64% ; l'aire sous la courbe 0,55 (**tableau 2B**).

2. Corrélation DCSG et DCSTAR

Le biais moyen était de $0,38 \text{ L/min/m}^2$ et les limites d'agrément inférieure et supérieure étaient respectivement de $-2,8 \text{ L/min/m}^2$ et $+3,6 \text{ L/min/m}^2$. Le pourcentage d'erreur global (PE) était de 73% (**figure 3**).

L'analyse en sous-groupe par Child, phase opératoire et débit cardiaque basal n'a pas non plus permis d'identifier une situation d'interchangeabilité (**tableau 3**).

Le coefficient de détermination global (R^2) était de 0,14.

Tableau 1: Caractéristiques démographiques, anesthésiques et chirurgicales

	Tous patients	Child A	Child B et C	p-value
Effectif *	17 (100)	7 (41)	10 (59)	
Sexe masculin *	13 (76)	6 (86)	7 (70)	0,60
Âge (années)	57,5 ± 9,9	59,6 ± 7,1	56,1 ± 11,7	0,46
IMC (kg/m²)	29,1 ± 5,1	28,2 ± 3,9	29,8 ± 5,9	0,56
Étiologie *				
Alcool	9 (53)	2 (28,6)	7 (70)	
NASH	3 (17,5)	2 (28,6)	1 (10)	
Alcool + NASH	2 (12)	1 (14)	1 (10)	
Autre	3 (17,5)	2 (28,6)	1 (10)	
Score de MELD	17,8 ± 9,69	8,1 ± 1,9	24,5 ± 6,5	<0,05
Classe ACLF *				
0	13 (76)	7 (100)	6 (60)	
1	2 (12)	0 (0)	2 (20)	
2	1 (6)	0 (0)	1 (10)	
3	1 (6)	0 (0)	1 (10)	
Temps opératoires (min)				
Durée totale	387 ± 57	389 ± 73	386 ± 48	0,93
Hépatectomie	139 ± 40	162 ± 46	124 ± 28	0,08
Anhépatie	106 ± 24	94 ± 25	114 ± 22	0,12
Reperfusion	143 ± 26	133 ± 26	149 ± 26	0,23
Ascite (mL)	2126 ± 3954	0 ± 0	3615 ± 4671	0,04
Thrombose porte *	5 (29)	2 (29)	3 (30)	1
Anastomose porto-cave *	15 (88)	7 (100)	8 (80)	0,49
Ischémie froide (min)	410 ± 82	416 ± 75	406 ± 90	0,79
Paramètres hémodynamiques de base				
FC (bpm)	70 ± 16	64 ± 15	75 ± 16	0,16
PAM (mmHg)	73 ± 17	69 ± 14	76 ± 29	0,45
DCSG (L/min/m ²)	4,15 ± 1,98	2,67 ± 0,65	5,18 ± 1,95	0,0027
RVSI (dyne.s.m ² /cm ⁵)	1360 ± 476	1668 ± 391	1144 ± 419	0,02
Syndrome de reperfusion³⁵ *	4 (24)	0 (0)	4 (40)	0,1
Remplissage vasculaire et transfusion				
Cristalloïde (mL)	2324 ± 989	2271 ± 749	2360 ± 1167	0,85
Colloïde (mL)	1059 ± 560	1286 ± 636	900 ± 469	0,20
Concentré globulaire	3,2 ± 2,7	1,7 ± 2,4	4,3 ± 2,4	0,04
Plasma frais congelé	1,8 ± 1,9	0,9 ± 1,6	2,4 ± 1,8	0,08
Concentré plaquettaire	0,9 ± 1	0,4 ± 0,8	1,3 ± 0,9	0,06

Données exprimées en moyenne ± écart-type sauf * : données exprimées en nombre (% du total). Le résultat est statistiquement significatif pour p-value (Child A vs. Child BC)

IMC : Index de Masse Corporelle ; NASH : Non Alcoholic Steato Hepatitis ; CHC : Carcinome HépatoCellulaire ; MELD : Mayo End-stage Liver Disease ;
 ACLF : Acute on Chronic Liver Failure ; FC : Fréquence Cardiaque ;
 PAM : Pression Artérielle Moyenne ; DCSG : débit cardiaque indexé Swan-Ganz ;
 RVSI : Résistances Vasculaires Systémiques Indexées

Tableau 2A : Paramètres intrinsèques du Starling pour détecter une diminution du DCSG

	Sensibilité (%)	Spécificité (%)
$\Delta\text{DCSG} < 0$	14	61
$\Delta\text{DCSG} < -10\%$	45	71
$\Delta\text{DCSG} < -15\%$	46	70

DCSG : Débit Cardiaque Swan-Ganz ; DCSTAR : Débit Cardiaque Starling

Tableau 2B : Paramètres intrinsèques du Starling pour détecter une augmentation du DCSG

	Sensibilité (%)	Spécificité (%)
$\Delta\text{DCSG} > 0$	45	64
$\Delta\text{DCSG} > + 10\%$	49	59
$\Delta\text{DCSG} > + 15\%$	57	60

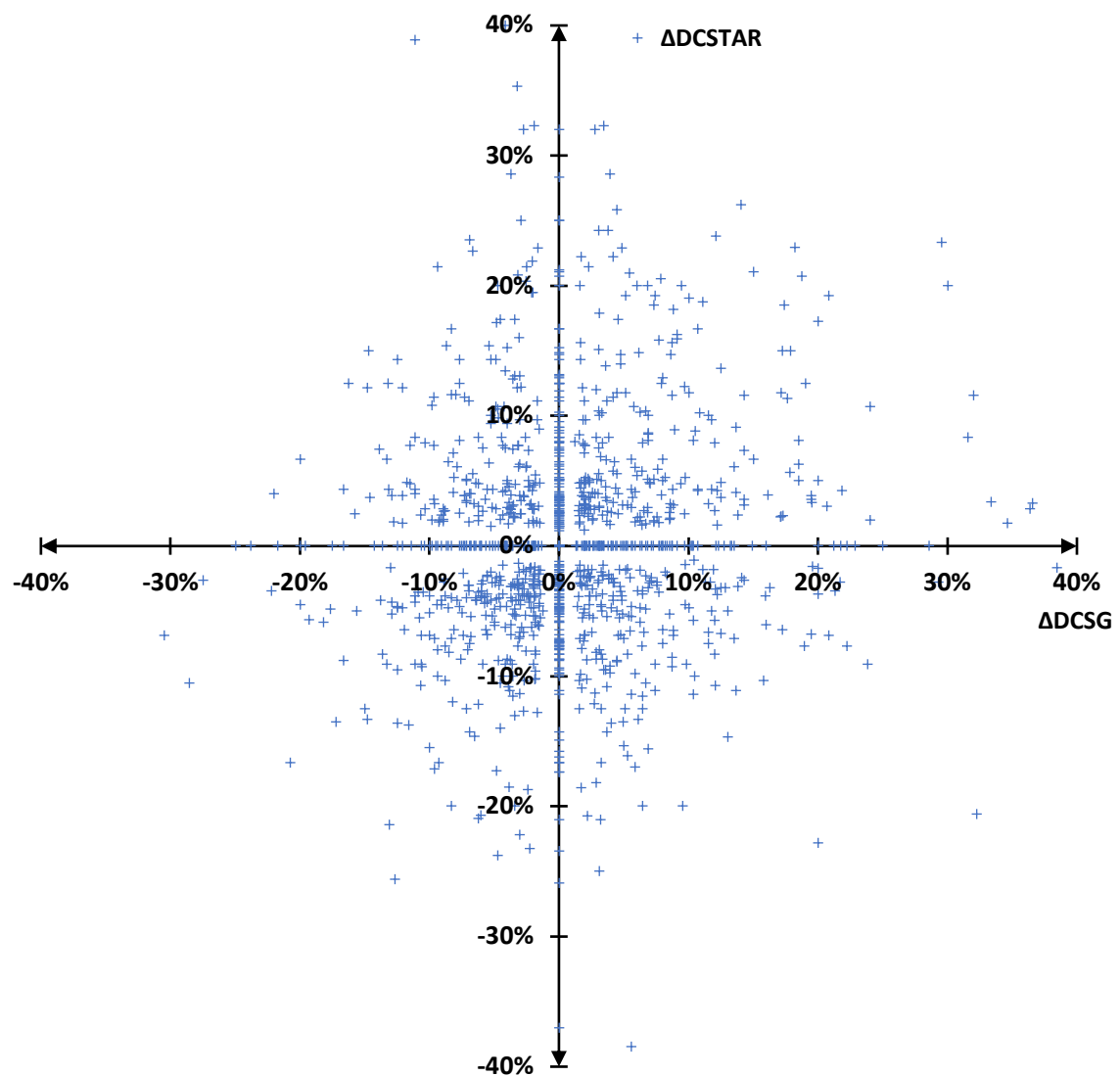
DCSG : Débit Cardiaque Swan-Ganz ; DCSTAR : Débit Cardiaque Starling

Tableau 3 : Analyse de Bland et Altman

	Biais (L/min/m ²)	LA (L/min/m ²)	PE (%)	R ²
Tous patients	0,38	-2,81 ; +3,56	73	0,14
Child				
Child A	0,49	-1,60 ; +2,58	54	0,33
Child B et C	0,29	-3,47 ; +4,06	80	0,03
Phase opératoire				
Hépatectomie	0,61	-2,33 ; +3,55	75	0,13
Anhépatie	0,28	-2,65 ; +3,21	77	0,06
Reperfusion	0,25	-3,24 ; +3,73	61	0,03
Débit cardiaque de base				
DCSG < 3 L/min/m ²	0,13	-1,90 ; +2,16	57	0,25
3 L/min/m ² ≤ DCSG ≤ 5 L/min/m ²	0,23	-2,39 ; +2,86	61	0,25
DCSG > 5L/min/m ²	0,99	-3,81 ; +5,79	89	0,01

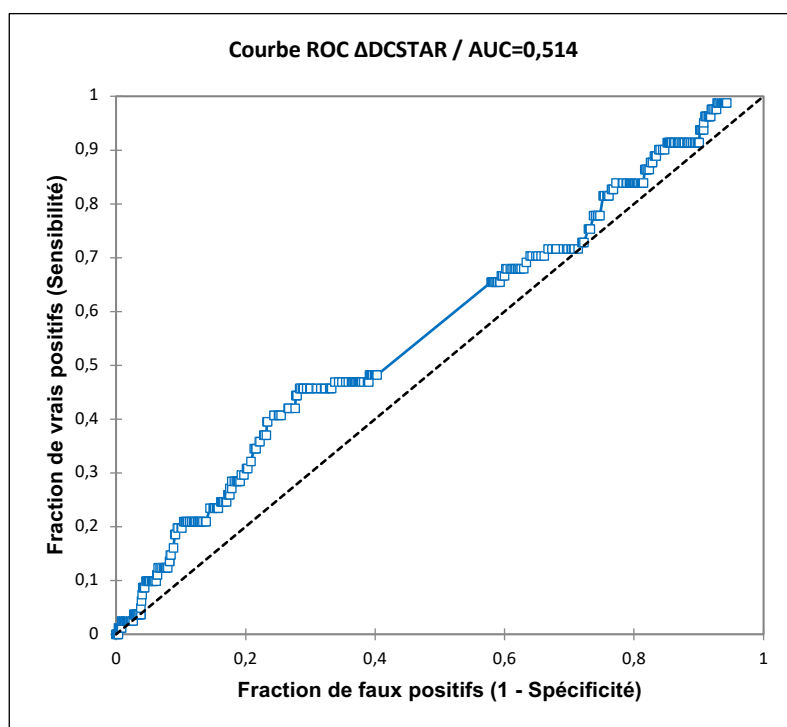
LA : limites d'agrément ; PE : pourcentage d'erreur ; R² : coefficient de détermination
DCSG : Débit Cardiaque Swan-Ganz

Figure 1 : Variations (%) des DCSG et DCSTAR



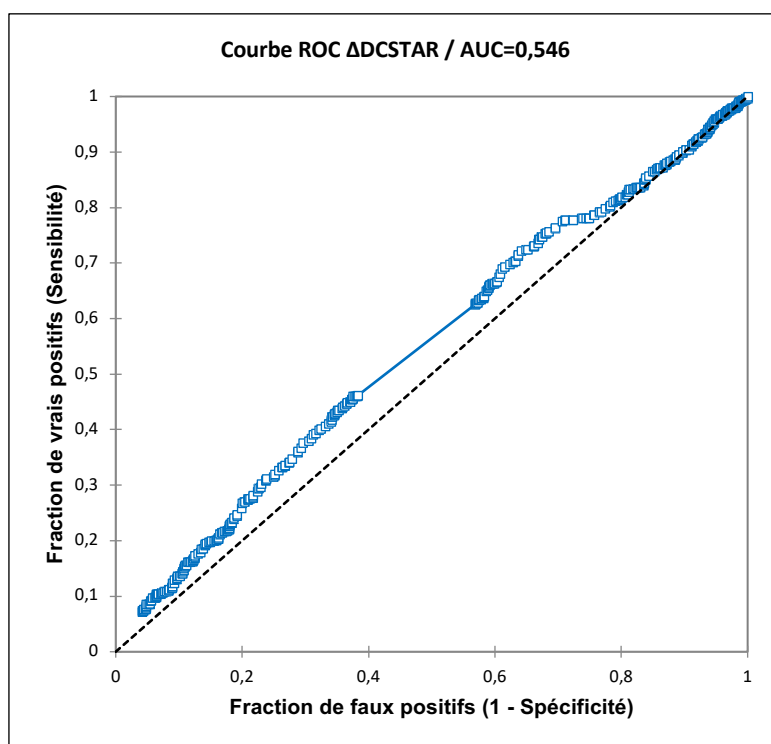
Δ DCSG : variation de l'index cardiaque Swan-Ganz
 Δ DCSTAR : variation de l'index cardiaque Starling

Figure 2A : Courbe ROC pour détecter une diminution du DCSG > 10%



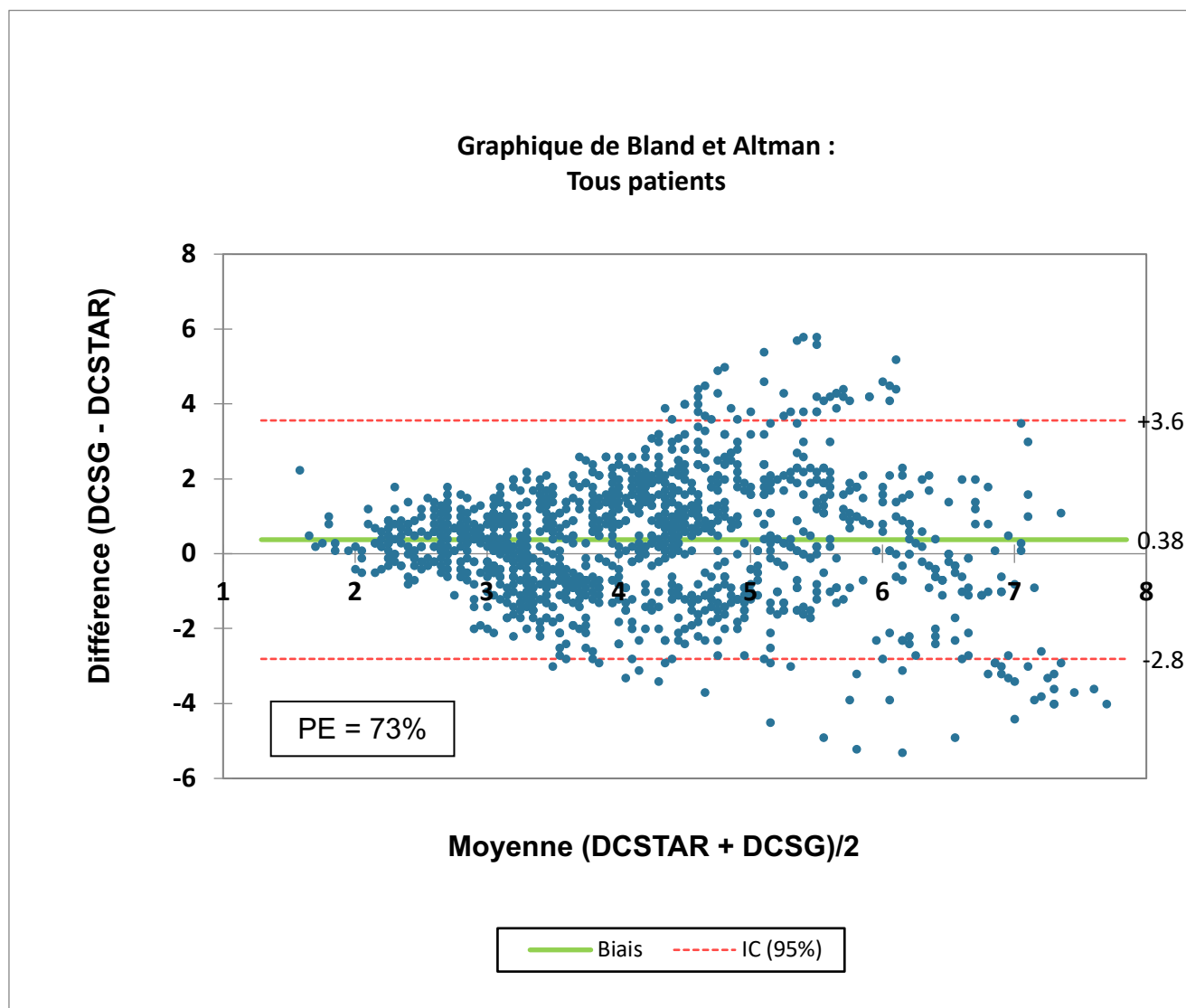
ROC : Receiver Operating Characteristic ; AUC : Area Under Curve ;
DCSTAR : index cardiaque Starling ; DCSG : index cardiaque Swan-Ganz

Figure 2B : Courbe ROC pour détecter une augmentation du DCSG



ROC : Receiver Operating Characteristic ; AUC : Area Under Curve ;
DCSTAR : index cardiaque Starling ; DCSG : index cardiaque Swan-Ganz

Figure 3 : Représentation de Bland et Altman (tous patients)



DCSG : Débit Cardiaque Swan-Ganz ; DCSTAR : Débit Cardiaque Starling

DISCUSSION

Le Starling semblait offrir une alternative intéressante permettant de réduire la morbi-mortalité liée à la mise en place du CSG. Néanmoins les résultats montrent une fiabilité insuffisante.

Outre la corrélation entre les DCSG et DCSTAR, la capacité du Starling à détecter la concordance de leurs variations paraissait plus pertinente. En pratique, une intervention est surtout nécessaire en cas de diminution du débit cardiaque, plus qu'en cas d'augmentation. Nous avons considéré comme cliniquement relevant, une diminution d'au moins 10% du débit cardiaque. Nous avons donc cherché à déterminer la sensibilité du Starling à détecter une diminution de son débit cardiaque quand le DCSG baissait lui-même d'au moins 10%. Dans ce cas la sensibilité n'était que de 45% et la spécificité de 71%.

Selon Critchley et Montenij^{30,31}, deux techniques de monitorages sont interchangeable si le pourcentage d'erreur est inférieur à 30%, avec un biais moyen < 0,5 L/min, et des limites d'agrément comprises entre -1L/min et +1L/min. Or, dans notre étude, le pourcentage d'erreur global est de 73%, le biais moyen est de 0,77L/min (0,38L/min/m²), les limites d'agrément sont -5,70L/min et +7,22L/min (-2,81L/min/m² et +3,56L/min/m²). L'analyse en sous-groupe exclut toute interchangeabilité quelle que soit le stade Child de la cirrhose, la phase opératoire, ou le débit cardiaque basal. Cette absence de corrélation semble être d'autant plus marquée que le Child est élevé et que le débit cardiaque basal est élevé.

Notre étude invalide donc l'utilisation du Starling en alternative au CSG. Ce qui est en accord avec Han et al²⁷ qui réalisait en 2015 la seule étude comparant bioréactance au CSG en THO. La population était différente de la nôtre car il s'agissait de patients présentant majoritairement une cirrhose d'origine virale, recevant un foie de donneur vivant. Néanmoins, l'analyse de corrélation était sensiblement identique : le biais moyen de notre étude est de 0,77L/min versus 0,9L/min pour Han et al., les limites d'agrément sont -5,70L/min et +7,22L/min versus -3,5L/min et +5,4L/min, le pourcentage d'erreur est de 73% versus 54%.

Les points forts de notre étude sont qu'elle est prospective, menée par un investigateur indépendant, qu'elle s'intéresse à une population représentative des patients bénéficiant d'une transplantation hépatique en France. L'originalité est qu'elle

couvre la totalité de l'intervention avec des mesures du couple [DCSG ; DCSTAR] effectuées toutes les minutes (le biais de mesure ayant été pris en compte) fournissant un nombre de mesures très important, et surtout elle fournit une analyse détaillée sur les variations DCSG et DCSTAR. Enfin, la validité interne de l'étude est vérifiée par le fait que le degré d'hépatopathie est corrélé à un débit cardiaque basal élevé ($p < 0.05$) et au degré de vasoplégie ($p < 0.05$).

Notre étude comporte plusieurs limites. Le nombre de mesures du couple [DCSG ; DCSTAR] était différent pour chaque patient et pour chaque phase. De ce fait, il existe une surpondération de certains patients pour qui la durée opératoire était significativement plus longue. Ce biais paraît néanmoins limité car aucune différence n'est statistiquement significative entre les durées des différentes phases opératoires (**tableau 1**). Certaines données ont été perdues par perte de signal de bioréactance lors d'interférences électriques (notamment lors de l'utilisation du bistouri électrique). Ces données représentent une proportion non mesurable mais faible dont l'impact sur les résultats principaux est mineur.

Plusieurs hypothèses peuvent expliquer les mauvaises performances du Starling.

Il semble exister un délai de réactivité différent entre les deux monitorages. En effet, le point d'inflexion des courbes DCSTAR et DCSG après déclampage, (**annexe 6**), apparaît plus précocement pour le Starling. Ce décalage temporel de réactivité entre les deux moniteurs est en moyenne de 10,8 minutes pour notre étude. Cette tendance est d'ailleurs constatée dans une autre étude³⁷ comparant la bioréactance avec le cathétérisme artériel pulmonaire, pour laquelle les auteurs observaient un décalage de 6,9 minutes lors de variations hémodynamiques majeures en post-opératoire immédiat de chirurgie cardiaque.

Le monitoring du débit cardiaque par bioréactance n'est valide que si plusieurs conditions¹⁴ sont réunies. Premièrement, il est nécessaire que la résistivité du sang soit constante et par conséquent que la concentration en hémoglobine reste stable au cours des mesures. Or, ce n'est pas le cas dans la plus grande partie des THO du fait des pertes sanguines et transfusions compensatrices. Deuxièmement, la bioréactance est sensible aux variations de température corporelle qui modifient la conductance électrique. Malgré les différents moyens mis en œuvre pour préserver une température corporelle adéquate, il n'est pas rare d'observer des hypothermies per-opératoires,

entraînant une modification du signal de bioréactance. Troisièmement, il est nécessaire que le compartiment thorax ait une impédance constante. Or, ceci est sans doute mis à mal par l'augmentation du volume extracellulaire tissulaire (ascite, oedèmes périphériques). Ces hypothèses sont mises en exergue lors d'une récente étude³⁸ évaluant la fiabilité de la bioréactance pour monitorer le débit cardiaque lors de chirurgie abdominale cytoréductive avec chimiothérapie hyperthermique intrapéritonéale (CHIP). Lors de cette intervention, les variations volémiques et le stress thermique sont intenses.

CONCLUSION

Les performances du Starling pour le monitoring continu du débit cardiaque en transplantation hépatique sont insuffisantes pour pouvoir recommander son utilisation en pratique courante.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Paugam-Burtz C, Chatelon J, Follin A, Rossel N, Chanques G, Jaber S. Prise en charge anesthésique des transplantations hépatiques : évolution des pratiques périopératoires en France entre 2004 et 2008. *Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation* 2010; **29**: 419–24
2. Chadha R, Patel D, Bhangu P, et al. Optimal anesthetic conduct regarding immediate and short-term outcomes after liver transplantation - Systematic review of the literature and expert panel recommendations. *Clinical Transplantation* 2022; **36**: e14613
3. Rudnick MR. Hemodynamic monitoring during liver transplantation: A state of the art review. *WJH* 2015; **7**: 1302
4. Fernandez TMA, Schofield N, Krenn CG, et al. What is the optimal anesthetic monitoring regarding immediate and short-term outcomes after liver transplantation?—A systematic review of the literature and expert panel recommendations. *Clinical Transplantation* 2022; **36**: e14643
5. Greim C-A. Continuous cardiac output monitoring during adult liver transplantation : thermal filament technique versus bolus thermodilution. *Cardiovascular anesthesia* 1997; **85**: 483-8
6. Böttiger BW, Sinner B, Motsch J, Bach A, Bauer H, Martin E. Continuous versus intermittent thermodilution cardiac output measurement during orthotopic liver transplantation. *Anaesthesia* 1997; **52**: 207–14
7. Société Française d'Anesthésie Réanimation. Utilisation de la sonde de Swan Ganz en anesthésie-réanimation. *Expertise collective Texte résumé des recommandations* 1996
8. Biais M, Nouette-Gaulain K, Cottenceau V, et al. Cardiac Output Measurement in Patients Undergoing Liver Transplantation: Pulmonary Artery Catheter Versus Uncalibrated Arterial Pressure Waveform Analysis. *Anesthesia & Analgesia* 2008; **106**: 1480–6
9. Colbert S, O'Hanlon DM, Duranteau J, Ecoffey C. Cardiac output during liver transplantation. *Canadian Journal of Anaesthesia* 1998; **45**: 133-38
10. Kearney TJ. Pulmonary artery rupture associated with the Swan-Ganz catheter. *Chest* 1995; **108**: 1349-52

11. Gwak MS, Kim JA, Kim GS, et al. Incidence of severe ventricular arrhythmias during pulmonary artery catheterization in liver allograft recipients. *Liver Transpl* 2007; **13**: 1451–4
12. Poplausky MR. Swan-Ganz catheter-induced pulmonary artery pseudoaneurysm formation: three case reports and a review of the literature. *Chest* 2001; **120**: 2105-11
13. Gennari M, Bartorelli AL, Polvani G, et al. Severe Tricuspid Regurgitation After Percutaneous Removal of a Swan-Ganz Catheter Caught by Suture. *The Annals of Thoracic Surgery* 2017; **104**: e2256
14. Squara P. La bioreactance : une nouvelle technologie pour le monitoring non invasif du débit cardiaque. *Réanimation* 2008; S1624069307002812
15. Galarza L, Mercado P, Teboul J-L, et al. Estimating the rapid haemodynamic effects of passive leg raising in critically ill patients using bioreactance. *British Journal of Anaesthesia* 2018; **121**: 567–73
16. Gavelli F, Beurton A, Teboul J-L, et al. Bioreactance reliably detects preload responsiveness by the end-expiratory occlusion test when averaging and refresh times are shortened. *Ann Intensive Care* 2021; **11**: 133
17. Rich JD, Archer SL, Rich S. Noninvasive cardiac output measurements in patients with pulmonary hypertension. *Eur Respir J* 2013; **42**: 125–33
18. Raval NY, Squara P, Cleman M, Yalamanchili K, Winklmaier M, Burkhoff D. Multicenter Evaluation of Noninvasive Cardiac Output Measurement by Bioreactance Technique. *J Clin Monit Comput* 2008; **22**: 113–9
19. Pandhita BAW, Okwose NC, Koshy A, et al. Noninvasive Assessment of Cardiac Output in Advanced Heart Failure and Heart Transplant Candidates Using the Bioreactance Method. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia* 2021; **35**: 1776–81
20. Rali AS, Buechler T, Van Gotten B, et al. Non-Invasive Cardiac Output Monitoring in Cardiogenic Shock: The NICOM Study. *Journal of Cardiac Failure* 2020; **26**: 160–5
21. Ling HZ, Gallardo-Arozena M, Company-Calabuig AM, Nicolaidis KH, Kametas NA. Clinical validation of bioreactance for the measurement of cardiac output in pregnancy. *Anaesthesia* 2020; **75**: 1307–13
22. Waldron NH, Miller TE, Thacker JK, et al. A Prospective Comparison of a Noninvasive Cardiac Output Monitor Versus Esophageal Doppler Monitor for Goal-

Directed Fluid Therapy in Colorectal Surgery Patients. *Anesthesia & Analgesia* 2014; **118**: 966–75

23. Keren H, Burkhoff D, Squara P. Evaluation of a noninvasive continuous cardiac output monitoring system based on thoracic bioimpedance. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* 2007; **293**: H583–9
24. Squara P, Denjean D, Estagnasie P, Brusset A, Dib JC, Dubois C. Noninvasive cardiac output monitoring (NICOM): a clinical validation. *Intensive Care Med* 2007; **33**: 1191–4
25. Lee S, Lee SH, Chang B-C, Shim J-K. Efficacy of Goal-Directed Therapy Using Bioimpedance Cardiac Output Monitoring after Valvular Heart Surgery. *Yonsei Med J* 2015; **56**: 913
26. Shih P-Y, Lin W-Y, Hung M-H, Cheng Y-J, Chan K-C. Evaluation of cardiac output by bioimpedance technique in patients undergoing liver transplantation. *Acta Anaesthesiologica Taiwanica* 2016; **54**: 57–61
27. Han S, Lee JH, Kim G, et al. Bioimpedance Is Not Interchangeable with Thermodilution for Measuring Cardiac Output during Adult Liver Transplantation. Stepkowski S, editor. *PLoS ONE* 2015; **10**: e0127981
28. Lin T-W, Luo C-F, Lin C-C, Lee W-C, Su B-C. Utilization of Bioimpedance Technique as Indicator for Preload Responsiveness During Living Donor Liver Donation. *Transplantation Proceedings* 2014; **46**: 669–71
29. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet* 1986; **1**: 307-10
30. Critchley LAH. A Meta-Analysis of Studies Using Bias and Precision Statistics to Compare Cardiac Output Measurement Techniques. *J Clin Monit Comput* 1999; **15**: 85-91
31. Montenij LJ, Buhre WF, Jansen JR, Kruitwagen CL, de Waal EE. Methodology of method comparison studies evaluating the validity of cardiac output monitors: a stepwise approach and checklist † †This Article is accompanied by Editorial Aew110. *British Journal of Anaesthesia* 2016; **116**: 750–8
32. Desmet V, Gerber M, Hoofnagle J, Manns M, Scheuer P. Classification of chronic hepatitis: diagnosis, grading and staging. *Hepatology* 1994; **19**: 1513–20
33. Kamath P, Wiesner R, Malinchoc M, et al. A model to predict survival in patients with end-stage liver disease. *Hepatology* 2001; **33**: 464–70

34. Moreau R, Jalan R, Gines P, et al. Acute-on-Chronic Liver Failure Is a Distinct Syndrome That Develops in Patients With Acute Decompensation of Cirrhosis. *Gastroenterology* 2013; **144**: 1426-1437.e9
35. Aggarwal S, Kang Y, Freeman J, Fortunato F, Pinsky M. Postreperfusion syndrome: cardiovascular collapse following hepatic reperfusion during liver transplantation. *Transplantation Proceedings* 1987; **19**: 54–5
36. Perret C, Tagan D, Feihl F, Marini J. Le cathétérisme cardiaque droit en soins intensifs. Arnette Blackwell. 1996.
37. Marqué S, Cariou A, Chiche J-D, Squara P. Comparison between Flotrac-Vigileo and Bioreactance, a totally noninvasive method for cardiac output monitoring. *Crit Care* 2009; **13**: R73
38. Ylikauma LA, Tuovila MJ, Ohtonen PP, et al. Reliability of bioreactance and pulse power analysis in measuring cardiac index during cytoreductive abdominal surgery with hyperthermic intraperitoneal chemotherapy (HIPEC). *BMC Anesthesiol* 2023; **23**: 38

ANNEXE 1 : LETTRE D'INFORMATION ET FORMULAIRE

D'OPPOSITION

LETTRE D'INFORMATION DE LA RECHERCHE

Version du 01/07/2022

Évaluation de la bioréactance en transplantation hépatique : Starling Monitoring System[®] versus Swan-Ganz

Coordonnateur de la recherche :

DENHAUT, Raphaël
Praticien hospitalier
Service d'anesthésie-réanimation 2
CHRU de Tours, Hôpital Trousseau / r.denhaut@chu-tours.fr
Téléphone : 02 47 47 47 47 poste 71748

Madame, Monsieur,

Vous avez été invité(e) à participer à une recherche intitulée « Évaluation de la bioréactance en transplantation hépatique : Starling Monitoring System[®] versus Swan-Ganz ».

Cette recherche ne comporte aucun risque ni contrainte pour vous. Cette étude entre dans le cadre d'une recherche n'impliquant pas la personne humaine, du fait de la réutilisation de données collectées dans le cadre du soin à visée d'évaluation. Le fait de participer à cette recherche ne changera donc pas votre prise en charge. Néanmoins, en l'absence d'opposition, un traitement de vos données de santé pourra être mis en œuvre.

Prenez le temps de lire les informations contenues dans ce document et de poser toutes les questions qui vous sembleront utiles à sa bonne compréhension. Vous pouvez prendre le temps nécessaire pour décider si vous souhaitez vous opposer à ce que les données qui vous concernent soient utilisées dans le cadre de cette recherche.

QUE SE PASSERA-T-IL SI JE PARTICIPE À LA RECHERCHE ?

Si vous ne vous opposez pas à participer à cette recherche, les données vous concernant seront recueillies et traitées afin de répondre à l'objectif suivant : comparer les modifications hémodynamiques obtenues par le monitoring non invasif étudié (Starling) à celles obtenues par le monitoring invasif de référence (le cathéter de Swan Ganz) au cours de la transplantation hépatique.

En effet, lors de la transplantation hépatique, une surveillance invasive continue du cœur nécessaire s'effectue à l'aide d'un cathéter (cathéter de Swan Ganz) introduit au niveau du coup et glissé dans une des cavités du cœur puis retiré quelques jours après l'intervention. Le nouveau monitoring non invasif Starling étudié, qui à l'aide de quatre patches indolores disposés sur le thorax permet de recueillir un signal électrique, pourrait permettre une surveillance fiable du cœur de façon non invasive lors des transplantations hépatiques. C'est ce que nous souhaitons vérifier.

Vos données seront conservées jusqu'à deux ans après la dernière publication des résultats de la recherche. Pour obtenir les publications ou les résultats globaux de la recherche, vous pouvez contacter le coordonnateur de cette recherche.

Si nécessaire, ces données seront transférées à d'autres équipes du CHRU de Tours et/ou d'autres partenaires publics ou privés nationaux ou internationaux. Le CHRU de Tours transmettra ces données dans des conditions conformes aux exigences du règlement général sur la protection des données et s'assurera que les pays destinataires offrent un niveau de protection des données jugé adéquat par l'Union Européenne.

EST-CE QUE JE PEUX RENONCER A MA PARTICIPATION ?

Votre participation est entièrement volontaire. Vous êtes donc libre de changer d'avis à tout moment et de vous opposer, sans avoir à vous justifier, au traitement de vos données dans le cadre de cette recherche. Votre décision n'aura aucune conséquence sur votre prise en charge.

Dans ce cas, vous devrez avertir le coordonnateur de cette recherche.

EST-CE QUE MA PARTICIPATION RESTERA CONFIDENTIELLE ?

Un fichier informatique comportant vos données va être constitué. **Toutes ces informations seront traitées et analysées de manière confidentielle.** Vos noms et prénoms ne figureront pas dans ce fichier. Seuls les professionnels de santé, personnellement en charge du suivi, auront connaissance de ces données.

Conformément aux dispositions du Règlement (UE) 2016/679 (Loi RGPD), vous disposez à tout moment d'un droit d'accès, de rectification des données. En application des dispositions de l'article L1111-7 du code de la santé publique, vous pouvez accéder directement ou par l'intermédiaire du médecin de votre choix à l'ensemble de vos données médicales. Vous disposez également d'un droit de limitation ou d'opposition au traitement des données. En revanche, s'agissant d'un traitement de données nécessaire à des fins de recherche scientifique (article 17.3.d du Règlement (EU) 2016/679), le droit à l'effacement des données ne pourra pas s'appliquer.

Ces droits peuvent s'exercer auprès du coordonnateur de cette recherche.

En cas de difficulté pour l'exercice de vos droits, vous avez la possibilité de saisir le délégué à la protection des données de l'établissement (dpd@chu-tours.fr) ou la Commission nationale Informatique et Libertés (CNIL), autorité de protection des données personnelles (<https://www.cnil.fr>).

QUI A APPROUVÉ LA RECHERCHE ?

En application de la loi Informatique et Libertés, le traitement de vos données est effectué dans le cadre de la méthodologie de référence « MR-004 », dédiée notamment aux études en santé.

En application de la loi Informatique et Libertés, le traitement de vos données sera enregistré au registre interne des traitements du CHRU de Tours.

QUI POURRAI-JE CONTACTER SI J'AI DES QUESTIONS ?

Le coordonnateur de cette recherche est à votre disposition pour vous fournir toutes informations complémentaires.

FORMULAIRE D'OPPOSITION
A L'UTILISATION DES DONNEES DE SANTE POUR LA RECHERCHE

Version du 01/07/2022

Évaluation de la bioréactance en transplantation hépatique : Starling Monitoring
System® versus Swan-Ganz

Coordonnateur de la recherche :

DENHAUT, Raphaël
Praticien hospitalier
Service d'anesthésie-réanimation 2
CHRU de Tours, Hôpital Trousseau / r.denhaut@chu-tours.fr
Téléphone : 02 47 47 47 47 poste 71748

A compléter par la personne qui se prête à la recherche uniquement en cas d'opposition

Coordonnées de la personne se prêtant à la recherche :

Nom :

Prénom :

☐ Je m'oppose à l'utilisation de mes données de santé dans le cadre de cette recherche.

☐ Le cas échéant, je m'oppose à l'utilisation de toutes les données recueillies antérieurement.

Vous pouvez à tout moment revenir sur votre décision, il vous suffit de prévenir le coordonnateur de cette recherche.

Date : ____ / ____ / ____

Signature :

*Après avoir complété ce document, merci de le remettre au coordonnateur de la recherche
ou par mail, au DPO.*

ANNEXE 2 : PARAMÈTRES DU SCOPE

		14:10	14:11	14:12	14:13	14:14	14:15	14:16	14:17	14:18	14:19	14:20
Gaz-N2O exp	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gaz-N2O insp	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gaz-Sévo exp	%	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Gaz-Sévo insp	%	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Gaz-MAC	sans unité	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Gaz-MACâge	sans unité	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Gaz-Balance	%	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
CO2-CO2 exp	mmHg	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
CO2-CO2 insp	mmHg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO2-Fréq. CO2	/min	16	15	15	16	15	15	15	15	15	15	16
CO2-O2 exp	%	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
CO2-O2 insp	%	54,0	53,6	53,2	53,2	54,0	54,0	54,0	54,0	54,0	54,0	54,0
Vent-PEP	cmH2O	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Vent-Pplateau	cmH2O											
Vent-Vent-FR	/min	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Vent-Régl. VC	ml	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625
Vent-Régl. I:E		2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Vent-PEP totale	cmH2O	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Vent-Régl. FIO2	%	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
MR-VM	l/min	9,7	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,5	9,6	9,6
MR-VMs	l/min											
MR-VC	ml	643	641	638	641	638	637	638	636	635	637	637
MR-PIP	cmH2O	22	22	21	22	22	22	22	22	22	22	22
MR-Pmoy	cmH2O	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	11
SpO2	%	98	98	98	98	97	98	98	98	98	98	97
SpO2-Pouls	/min	70	67	65	67	66	77	78	78	77	78	84
ECG-FC	/min	74	72	70	70	72	77	77	77	76	78	82
PNI-Sys	mmHg											
Art1-Sys	mmHg	100	98	98	100	104	102	100	100	100	100	126
Art1-Dia	mmHg	64	65	64	64	67	68	67	67	67	67	81
Art1-Moy	mmHg	77	78	77	77	81	81	79	80	79	79	98
Art1-Pouls	/min	66	67	70	65	72	76	79	78	78	78	85
AP1-PcAP	mmHg											
AP7-Sys	mmHg	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	26
AP7-Dia	mmHg	14	14	15	15	14	14	14	15	14	15	16
AP7-Moy	mmHg	19	19	19	20	19	19	19	19	18	18	20
PVC2-Sys	mmHg	12	12	12	12	13	13	13	11	11	11	12
PVC2-Dia	mmHg	7	8	8	8	6	5	5	8	8	8	6
PVC2-Moy	mmHg	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9
ECG-ST-aVF	mm	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4
BISm-BIS	sans unité											
BISm-RS	%											
BISm-EMG	dB											
SPI	sans unité					51	38	32	34	35	37	56
NMT-Total	sans unité											
NMT-Rapport	%											
VPS-VPS	mmHg					3	6	7	4	4	4	6

ANNEXE 3 : PARAMÈTRES DE l'HemoSphere®

Date	Heure	Technology	DC	DC_IQS	DCs	IC	ICs	VES	VESI	FP	SYS	DIA	PAM	RVS	RVSI
		1-F, 4-SG	L/min		L/min	L/min/m²	L/min/m²	mL/b	mL/b/m²	bpm	mmHg	mmHg	mmHg	dyne-s/cm²	dyne-s-m²/cm²
.09.2022	14:06:29	4		6		6	2,6	2,6							
.09.2022	14:07:29	4		5,6		5,6	2,4	2,4							
.09.2022	14:08:29	4		5,5		5,4	2,4	2,3							
.09.2022	14:09:29	4		5,5		5,4	2,4	2,3							
.09.2022	14:10:29	4		5,3		5,2	2,3	2,2							
.09.2022	14:11:29	4		5,3		5,3	2,3	2,3							
.09.2022	14:12:29	4		5,3		5,3	2,3	2,3							
.09.2022	14:13:29	4		5,3		5,3	2,3	2,3							
.09.2022	14:14:29	4		5,3		5,3	2,3	2,3							
.09.2022	14:15:29	4		5,3		5,3	2,3	2,3							
.09.2022	14:16:29	4		5,2		4,7	2,2	2,1							
.09.2022	14:17:29	4		5,1		4,9	2,2	2,1							
.09.2022	14:18:29	4		5		4,8	2,2	2,1							
.09.2022	14:19:29	4		5		4,8	2,1	2,1							
.09.2022	14:20:29	4		4,9		4,9	2,1	2,1							
.09.2022	14:21:29	4		4,9		5,1	2,1	2,2							
.09.2022	14:22:29	4		4,9		5	2,1	2,2							
.09.2022	14:23:29	4		5		5,4	2,2	2,3							
.09.2022	14:24:29	4		5		5,2	2,2	2,2							
.09.2022	14:25:29	4		5,1		5,3	2,2	2,3							
.09.2022	14:26:29	4		5,1		5,3	2,2	2,3							
.09.2022	14:27:29	4		5,1		5,3	2,2	2,3							
.09.2022	14:28:29	4		5,1		5,3	2,2	2,3							
.09.2022	14:29:29	4		5,1		5,5	2,2	2,4							
.09.2022	14:30:29	4		5,2		5,7	2,2	2,5							
.09.2022	14:31:29	4		5,3		6	2,3	2,6							
.09.2022	14:32:29	4		5,4		6,2	2,3	2,7							
.09.2022	14:33:29	4		5,5		6	2,4	2,6							
.09.2022	14:34:29	4		5,5		6,2	2,4	2,7							
.09.2022	14:35:29	4		5,6		6,1	2,4	2,6							
.09.2022	14:36:29	4		5,7		6,3	2,5	2,7							
.09.2022	14:37:29	4		5,8		6,9	2,5	3							
.09.2022	14:38:29	4		6		7,4	2,6	3,2							
.09.2022	14:39:29	4		6,1		7,7	2,6	3,3							
.09.2022	14:40:29	4		6,2		7,5	2,7	3,2							
.09.2022	14:41:29	4		6,4		7,5	2,8	3,2							
.09.2022	14:42:29	4		6,4		7,5	2,8	3,3							
.09.2022	14:43:29	4		6,5		7,4	2,8	3,2							
.09.2022	14:44:29	4		6,7		7,2	2,9	3,1							
.09.2022	14:45:29	4		6,8		7,1	2,9	3,1							
.09.2022	14:46:29	4		6,8		7,1	3	3,1							
.09.2022	14:47:29	4		6,9		6,9	3	3							
.09.2022	14:48:29	4		6,9		6,9	3	3							
.09.2022	14:49:29	4		6,9		6,7	3	2,9							
.09.2022	14:50:29	4		6,9		6,7	3	2,9							
.09.2022	14:51:29	4		6,9		6,5	3	2,8							
.09.2022	14:52:29	4		6,9		6,5	3	2,8							
.09.2022	14:53:29	4		6,9		6,4	3	2,8							
.09.2022	14:54:29	4		6,8		5,7	2,9	2,5							
.09.2022	14:55:29	4		6,7		5,6	2,9	2,4							
.09.2022	14:56:29	4		6,5		5,2	2,8	2,2							
.09.2022	14:57:29	4		6,4		5,9	2,8	2,6							
.09.2022	14:58:29	4		6,4		6,2	2,8	2,7							
.09.2022	14:59:29	4		6,4		6,7	2,8	2,9							
.09.2022	15:00:29	4		6,4		6,8	2,8	2,9							
.09.2022	15:01:29	4		6,4		6,8	2,7	2,9							
.09.2022	15:02:29	4		6,4		6,7	2,8	2,9							
.09.2022	15:03:29	4		6,3		6,7	2,7	2,9							
.09.2022	15:04:29	4		6,3		6,3	2,7	2,7							
.09.2022	15:05:29	4		6,3		6,6	2,7	2,9							
.09.2022	15:06:29	4		6,3		6,4	2,7	2,8							
.09.2022	15:07:29	4		6,3		6,6	2,7	2,8							
.09.2022	15:08:29	4		6,4		6,8	2,8	2,9							
.09.2022	15:09:29	4		6,4		6,8	2,8	3							
.09.2022	15:10:29	4		6,5		6,9	2,8	3							
.09.2022	15:11:29	4		6,5		6,9	2,8	3							
.09.2022	15:12:29	4		6,6		5,8	2,8	2,5							
.09.2022	15:13:29	4		6,4		5,3	2,8	2,3							
.09.2022	15:14:29	4		6		4,8	2,6	2,1							
.09.2022	15:15:29	4		5,9		5,4	2,5	2,3							
.09.2022	15:16:29	4		6		6,8	2,6	2,9							
.09.2022	15:17:29	4		6,1		7,5	2,6	3,3							
.09.2022	15:18:29	4		6,2		8,4	2,7	3,7							
.09.2022	15:19:29	4		6,4		9,3	2,8	4							
.09.2022	15:20:29	4		6,6		9,7	2,9	4,2							
.09.2022	15:21:29	4		6,8		9,7	3	4,2							
.09.2022	15:22:29	4		7		9,5	3	4,1							
.09.2022	15:23:29	4		7,2		9,3	3,1	4							
.09.2022	15:24:29	4		7,4		9,5	3,2	4,1							

ANNEXE 4 : PARAMÈTRES DU Starling®

Date	Heure	N° de l'échantil	IC	DC	FC	PI	PAM	Type PI	RPT	IRPT
/09/2022	14:12:54	65	2,4	5,5	67	100/67	80	Art.E	1156	2674
/09/2022	14:13:42	66	2,4	5,5	67	98/64	77	Art.E	1129	2612
/09/2022	14:14:30	67	2,3	5,2	67	104/69	82	Art.E	1252	2896
/09/2022	14:15:18	68	2,4	5,4	73	106/68	81	Art.E	1191	2755
/09/2022	14:16:06	69	2,2	5,1	74	105/67	80	Art.E	1263	2921
/09/2022	14:16:54	70	2,3	5,3	74	103/69	81	Art.E	1222	2827
/09/2022	14:17:42	71	2,3	5,4	76	99/67	79	Art.E	1179	2727
/09/2022	14:18:30	72	2,2	5,1	76	99/66	79	Art.E	1250	2891
/09/2022	14:19:18	73	2,1	4,9	78	101/68	80	Art.E	1294	2993
/09/2022	14:20:06	74	2,1	4,9	77	100/67	79	Art.E	1295	2997
/09/2022	14:20:54	75	2,3	5,4	82	104/68	80	Art.E	1195	2765
/09/2022	14:21:42	76	2,5	5,8	79	126/80	97	Art.E	1329	3073
/09/2022	14:22:30	77	2,3	5,3	78	119/76	92	Art.E	1381	3194
/09/2022	14:23:18	78	2,4	5,5	75	117/70	89	Art.E	1285	2973
/09/2022	14:24:06	79	2,2	5,1	73	109/69	84	Art.E	1331	3078
/09/2022	14:24:54	80	2,4	5,5	70	102/66	79	Art.E	1152	2665
/09/2022	14:25:42	81	2,6	5,9	75	103/67	81	Art.E	1098	2539
/09/2022	14:26:30	82	2,4	5,6	77	120/79	94	Art.E	1337	3092
/09/2022	14:27:18	83	2,6	6,1	77	127/80	98	Art.E	1285	2974
/09/2022	14:28:06	84	2,4	5,7	74	119/77	94	Art.E	1327	3070
/09/2022	14:28:54	85	2,3	5,4	74	111/70	86	Art.E	1278	2956
/09/2022	14:29:42	86	2,3	5,2	73	104/66	79	Art.E	1208	2794
/09/2022	14:30:30	87	2,1	4,9	70	109/68	83	Art.E	1353	3130
/09/2022	14:31:18	88	2,3	5,3	67	105/68	82	Art.E	1229	2844
/09/2022	14:32:06	89	2,4	5,6	63	98/63	76	Art.E	1095	2533
/09/2022	14:32:54	90	2,3	5,2	60	100/61	75	Art.E	1152	2664
/09/2022	14:33:42	91	2,2	5,1	62	101/63	76	Art.E	1198	2771
/09/2022	14:34:31	92	2,1	4,9	61	101/66	80	Art.E	1300	3008
/09/2022	14:35:19	93	2,2	5,1	59	100/65	79	Art.E	1230	2845
/09/2022	14:36:07	94	2,2	5,1	58	90/58	69	Art.E	1073	2482
/09/2022	14:36:55	95	2,3	5,4	58	92/59	72	Art.E	1074	2485
/09/2022	14:37:43	96	2,1	4,9	59	90/58	70	Art.E	1151	2663
/09/2022	14:38:31	97	2,1	4,9	58	92/56	69	Art.E	1119	2589
/09/2022	14:39:19	98	2,0	4,6	60	95/59	73	Art.E	1262	2920
/09/2022	14:40:07	99	2,4	5,6	60	98/64	77	Art.E	1107	2561
/09/2022	14:40:55	100	2,3	5,3	61	94/63	75	Art.E	1138	2633
/09/2022	14:41:43	101	2,2	5,1	58	95/63	75	Art.E	1172	2711
/09/2022	14:42:31	102	2,0	4,7	59	93/63	74	Art.E	1261	2916
/09/2022	14:43:19	103	2,2	5,0	60	94/62	74	Art.E	1178	2726
/09/2022	14:44:07	104	2,1	4,8	58	91/60	72	Art.E	1193	2760
/09/2022	14:44:55	105	2,4	5,5	59	90/61	72	Art.E	1040	2406
/09/2022	14:45:43	106	2,2	5,0	58	88/58	69	Art.E	1095	2532
/09/2022	14:46:31	107	2,6	6,0	59	89/59	70	Art.E	934	2161
/09/2022	14:47:19	108	2,8	6,5	69	96/62	74	Art.E	910	2106
/09/2022	14:48:07	109	2,4	5,5	67	101/68	80	Art.E	1162	2689
/09/2022	14:48:55	110			66	100/65	78	Art.E		
/09/2022	14:49:43	111	2,2	5,1	66	110/69	84	Art.E	1327	3071
/09/2022	14:50:31	112	1,9	4,5	64	103/67	80	Art.E	1429	3307
/09/2022	14:51:19	113	2,2	5,1	66	106/66	80	Art.E	1260	2915
/09/2022	14:52:07	114	2,0	4,6	66	106/67	82	Art.E	1422	3290
/09/2022	14:52:55	115			62	113/70	85	Art.E		
/09/2022	14:53:43	116	2,1	4,9	61	108/69	83	Art.E	1362	3151
/09/2022	14:54:31	117			62	108/67	82	Art.E		
/09/2022	14:55:19	118	2,5	5,8	60	120/74	91	Art.E	1248	2886
/09/2022	14:56:07	119	2,6	5,9	59	114/71	88	Art.E	1192	2758
/09/2022	14:56:55	120	2,7	6,2	58	119/72	89	Art.E	1148	2655
/09/2022	14:57:43	121	2,7	6,2	59	128/77	96	Art.E	1244	2878
/09/2022	14:58:31	122	2,7	6,3	60	122/73	91	Art.E	1161	2687
/09/2022	14:59:19	123	2,8	6,4	63	128/77	97	Art.E	1211	2801
/09/2022	15:00:07	124	2,6	6,0	59	133/78	98	Art.E	1299	3005
/09/2022	15:00:55	125	3,0	7,0	63	130/79	99	Art.E	1136	2629
/09/2022	15:01:43	126	2,9	6,8	63	130/79	99	Art.E	1165	2695

ANNEXE 5 : SCORES ET CLASSIFICATION

Score et classification de Child-Pugh³²

	1 point	2 points	3 points
Ascite	Absente	Modérée (réponse aux diurétiques)	Tendue (réfractaire aux diurétiques)
Bilirubine (µmol/L)	< 35	35-50	>50
Albumine (g/L)	> 35	28-35	< 28
INR	< 1,7	1,7-2,2	> 2,2
TP	> 50%	40-50%	< 40%
Encéphalopathie	Absente	Légère à modérée (stade 1-2)	Sévère (stade 3-4)
Child-Pugh A (5-6 points) : survie à 1 an de 100% Child-Pugh B (7-9 points) : survie à 1 an de 80% Child-Pugh C (10-15 points) : survie à 1 an de 45%			

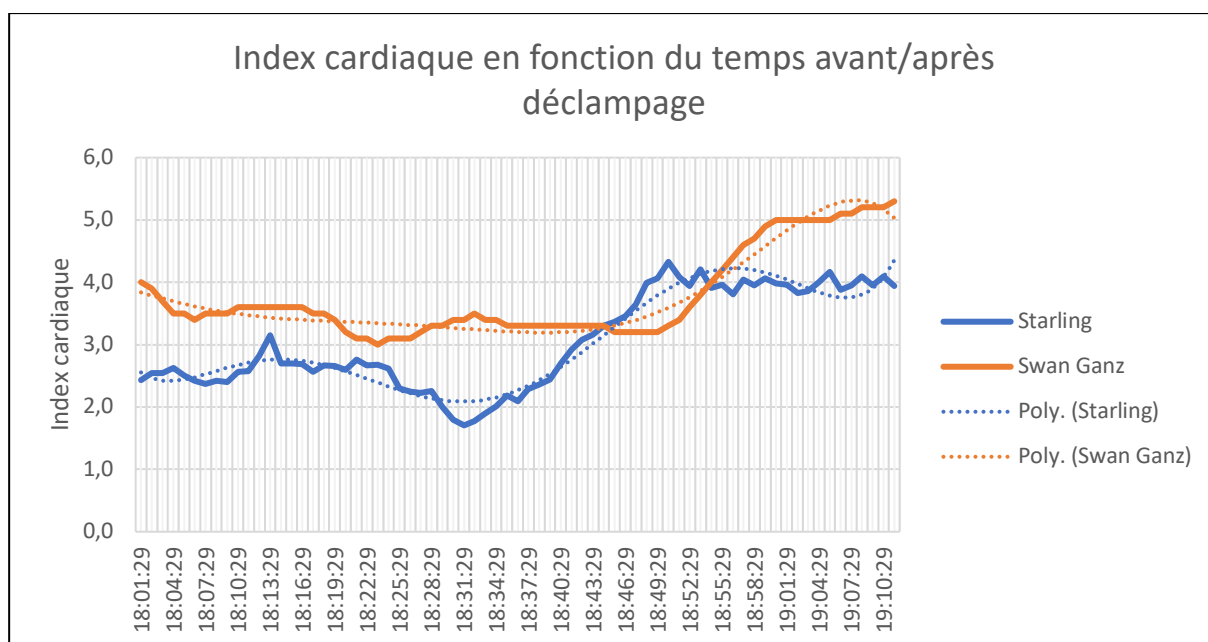
Score MELD³³

MELD = $3,78 \times \ln(\text{bilirubine [mg/dL]}) + 11,2 \times \ln(\text{INR}) + 9,57 \times \ln(\text{créatinine [mg/dL]}) + 6,43$

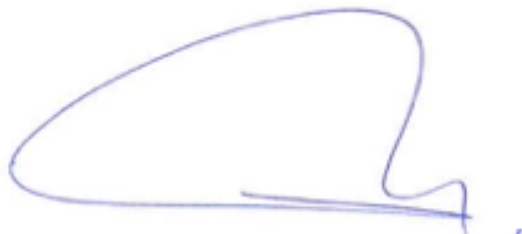
Classification ACLF³⁴

ACLF	
Ø	- Pas de défaillance d'organe - 1 défaillance d'organe (hépatique, coagulation, circulatoire, respiratoire) avec créatinémie < 1,5mg/dL et pas d'encéphalopathie hépatique - Défaillance neurologique unique et créatinémie < 1,5mg/dL
1	- Défaillance rénale unique - Défaillance unique hépatique, de coagulation, circulatoire ou respiratoire associée à une créatinémie entre 1,5 et 1,9mg/dL et/ou une encéphalopathie de grade I-II - Défaillance neurologique unique (encéphalopathie de grade III-IV) et créatinémie entre 1,5 et 1,9mg/dL
2	2 défaillances d'organe
3	3 ou plus défaillances d'organe

ANNEXE 6 : EXEMPLE COURBES DCSTAR ET DCSG EN FONCTION DU TEMPS LORS DU DÉCLAMPAGE



Vu, le Directeur de Thèse



Dr. Raphaël DENHAUT
Anesthésiste Réanimateur
N° RPPS 10100700326

Vu, le Doyen
De la Faculté de Médecine de Tours
Tours, le

Sophie LANGEARD

50 pages – 4 tableaux – 4 figures

Résumé :

Introduction :

Lors d'une transplantation hépatique orthotopique (THO), le monitoring du débit cardiaque par cathéter de Swan Ganz (DCSG) est la technique de référence, mais elle est à l'origine d'une morbi-mortalité importante. Nous proposons d'évaluer un autre monitoring récent et totalement non invasif, le moniteur Starling®, qui évalue le débit cardiaque (DCSTAR) par bioréactance.

Matériel et méthodes :

Étude prospective observationnelle monocentrique menée au CHU de Tours de juillet à décembre 2022, incluant des patients opérés pour THO, évaluant la concordance du sens des variations des DCSG et DCSTAR par analyse des sensibilités, spécificités, courbe ROC et aire sous la courbe (AUC).

Une analyse de corrélation des DCSG et DCSTAR a été effectuée par la méthode de Bland et Altman avec détermination du biais, limites d'agrément et pourcentage d'erreur. Les données ont été analysées toutes les minutes, en analyse globale et par sous-groupes (par Child, par phase opératoire et par débit cardiaque basal).

Résultats :

20 patients ont été inclus. 6989 couples de mesures ont été analysés. Pour détecter une diminution du DCSG > 10%, la sensibilité du Starling était de 45%, la spécificité de 71%, l'AUC était de 0.51.

Le biais moyen entre le DCSG et DCSTAR était de 0,38 L/min/m², les limites d'agréments étaient de - 2,8 L/min/m² et +3,6 L/min/m² avec un pourcentage d'erreur à 73%. Le coefficient de détermination est de 0,14.

L'analyse en sous-groupe n'a pas permis de montrer que les deux techniques de monitoring étaient interchangeables.

Conclusion :

Les performances du Starling® sont insuffisantes pour pouvoir recommander son utilisation en alternative au cathéter de Swan Ganz lors de THO.

Mots clés : transplantation hépatique - débit cardiaque - bioréactance - Swan Ganz

Jury :

Président du Jury : Professeur Francis REMÉRAND

Directeur de thèse : Docteur Raphaël DENHAUT

Membres du Jury : Professeur Fabien ESPITALIER

Professeur Marc LAFFON

Professeur Éric LEVESQUE

Professeur Ephrem SALAMÉ

Date de soutenance : 13 septembre 2023