



**HAL**  
open science

# Echocardiographie en réanimation pédiatrique: intérêt d'un protocole standardisé pour le recueil et l'analyse des paramètres hémodynamiques

Nathan Giroux

► **To cite this version:**

Nathan Giroux. Echocardiographie en réanimation pédiatrique: intérêt d'un protocole standardisé pour le recueil et l'analyse des paramètres hémodynamiques. Médecine humaine et pathologie. 2019. hal-03297856

**HAL Id: hal-03297856**

**<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-03297856>**

Submitted on 18 Oct 2021

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

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



## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : [ddoc-thesesexercice-contact@univ-lorraine.fr](mailto:ddoc-thesesexercice-contact@univ-lorraine.fr)

## LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

[http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg\\_droi.php](http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php)

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

**THÈSE**

Pour obtenir le grade de

**DOCTEUR EN MÉDECINE**

Présentée et soutenue publiquement

Dans le cadre du troisième cycle de Médecine Spécialisée

Par

**Nathan GIROUX**

Le 17 octobre 2019

**ECHOCARDIOGRAPHIE EN REANIMATION PEDIATRIQUE :  
INTERET D'UN PROTOCOLE STANDARDISE POUR LE RECUEIL ET  
L'ANALYSE DES PARAMETRES HEMODYNAMIQUES.**

**Examineurs de la thèse :**

Monsieur le Professeur Cyril SCHWEITZER

Président

Monsieur le Professeur François FEILLET

Juge

Monsieur le Professeur Bruno LEVY

Juge

Monsieur le Docteur Gilles BOSSER

Juge et Directeur

Monsieur le Docteur Florent GIRARD

Juge



**UNIVERSITÉ  
DE LORRAINE**



FACULTÉ de MÉDECINE  
NANCY

**Président de l'Université de Lorraine :  
Professeur Pierre MUTZENHARDT**

**Doyen de la Faculté de Médecine :  
Professeur Marc BRAUN**

**Vice-doyenne**  
Pr Laure JOLY

**Asseseurs :**

*Premier cycle* : Dr Julien SCALA-BERTOLA

*Deuxième cycle* : Pr Marie-Reine LOSSER

*Troisième cycle* : Pr Laure JOLY

*SIDES* : Dr Julien BROSEUS

*Formation à la recherche* : Pr Nelly AGRINIER

*Relations Grande Région* : Pr Thomas FUCHS-BUDER

*CUESIM* : Pr Stéphane ZUILY

**Chargés de mission**

*Bureau de docimologie* : Pr Guillaume VOGIN

*Orthophonie* : Pr Cécile PARIETTI-WINKLER

*PACES* : Pr Mathias POUSSEL

*International* : Pr Jacques HUBERT

*Vie Facultaire* : Dr Philippe GUERCI

*Président de Conseil Pédagogique* : Pr Louise TYVAERT

*Président du Conseil Scientifique* : Pr Jean-Michel HASCOET

=====

**DOYENS HONORAIRES**

Professeur Jean-Bernard DUREUX - Professeur Jacques ROLAND - Professeur Patrick NETTER –  
Professeur Henry COUDANE

=====

**PROFESSEURS HONORAIRES**

Etienne ALIOT - Jean-Marie ANDRE - Alain AUBREGE - Gérard BARROCHE - Alain BERTRAND - Pierre BEY -  
Marc-André BIGARD - Patrick BOISSEL – Pierre BORDIGONI - Jacques BORRELLY - Michel BOULANGE -  
Jean-Louis BOUTROY – Serge BRIANÇON - Jean-Claude BURDIN - Claude BURLET - Daniel BURNEL -  
Claude CHARDOT Jean-François CHASSAGNE - François CHERRIER – Henry COUDANE –  
Jean-Pierre CRANCE - Jean-Pierre DESCHAMPS - Jean-Bernard DUREUX - Gilbert FAURE - Gérard FIEVE -  
Bernard FOLIGUET - Jean FLOQUET - Robert FRISCH - - Alain GAUCHER - Pierre GAUCHER –  
Jean-Luc GEORGE - Alain GERARD - Hubert GERARD - Jean-Marie GILGENKRANTZ –  
Simone GILGENKRANTZ -Gilles GROSDIDIER - Philippe HARTEMANN - Gérard HUBERT - Claude HURIET -  
Michèle KESSLER - François KOHLER - Henri LAMBERT - Pierre LANDES - Marie-Claire LAXENAIRE –  
Michel LAXENAIRE - Alain LE FAOU - Jacques LECLERE - Pierre LEDERLIN - Bernard LEGRAS –  
Jean-Pierre MALLIÉ - Philippe MANGIN - François MARCHAL - Jean-Claude MARCHAL – Yves MARTINET -  
Pierre MATHIEU - Michel MERLE - Daniel MOLÉ - Pierre MONIN - Pierre NABET – Patrick NETTER –  
Jean-Pierre NICOLAS - Francis PENIN - Claude PERRIN - Luc PICARD - François PLENAT - Jean-Marie POLU  
- Jacques POUREL - Francis RAPHAEL - Antoine RASPILLER - Denis REGENT - Jacques ROLAND –  
Daniel SCHMITT - Michel SCHMITT - Michel SCHWEITZER - Daniel SIBERTIN-BLANC - Claude SIMON -  
Danièle SOMMELET - Jean-François STOLTZ - Michel STRICKER - Gilbert THIBAUT - Paul VERT –  
Hervé VESPIGNANI - Colette VIDAILHET - Michel VIDAILHET - Jean-Pierre VILLEMOT - Michel WEBER –  
Denis ZMIROU

=====

## PROFESSEURS ÉMÉRITES

Etienne ALIOT - Pierre BEY - Henry COUDANE - Serge BRIANÇON - Jean-Marie GILGENKRANTZ –  
Simone GILGENKRANTZ - Michèle KESSLER - Alain LE FAOU - Patrick NETTER - Jean-Pierre NICOLAS –  
Luc PICARD - François PLENAT - Jean-Pierre VILLEMOT - Faiez ZANNAD

=====

## PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

(Disciplines du Conseil National des Universités)

### 42<sup>e</sup> Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

#### 1<sup>re</sup> sous-section : (*Anatomie*)

Professeur Marc BRAUN – Professeure Manuela PEREZ

#### 2<sup>e</sup> sous-section : (*Histologie, embryologie et cytogénétique*)

Professeur Christo CHRISTOV

#### 3<sup>e</sup> sous-section : (*Anatomie et cytologie pathologiques*)

Professeur Guillaume GAUCHOTTE

### 43<sup>e</sup> Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE

#### 1<sup>re</sup> sous-section : (*Biophysique et médecine nucléaire*)

Professeur Gilles KARCHER – Professeur Pierre-Yves MARIE – Professeur Pierre OLIVIER –  
Professeur Antoine VERGER

#### 2<sup>e</sup> sous-section : (*Radiologie et imagerie médicale*)

Professeur René ANXIONNAT - Professeur Alain BLUM - Professeur Serge BRACARD - Professeure Valérie CROISÉ - Professeur Jacques FELBLINGER - Professeur Benjamin GORY - Professeur Damien MANDRY -  
Professeur Pedro GONDIM TEIXEIRA

### 44<sup>e</sup> Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION

#### 1<sup>re</sup> sous-section : (*Biochimie et biologie moléculaire*)

Professeur Jean-Louis GUEANT - Professeur Bernard NAMOUR - Professeur Jean-Luc OLIVIER

#### 2<sup>e</sup> sous-section : (*Physiologie*)

Professeur Christian BEYAERT - Professeur Bruno CHENUÉL - Professeur Mathias POUSSEL

#### 3<sup>e</sup> sous-section (*Biologie cellulaire*)

Professeure Véronique DECOT-MAILLERET

#### 4<sup>e</sup> sous-section : (*Nutrition*)

Professeur Didier QUILLIOT - Professeure Rosa-Maria RODRIGUEZ-GUEANT - Professeur Olivier ZIEGLER

### 45<sup>e</sup> Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE

#### 1<sup>re</sup> sous-section : (*Bactériologie – virologie ; hygiène hospitalière*)

Professeur Alain LOZNIÉWSKI – Professeure Evelyne SCHVOERER

#### 2<sup>e</sup> sous-section : (*Parasitologie et Mycologie*)

Professeure Marie MACHOUART

#### 3<sup>e</sup> sous-section : (*Maladies infectieuses ; maladies tropicales*)

Professeur Bruno HOEN - Professeur Thierry MAY - Professeure Céline PULCINI –  
Professeur Christian RABAUD

### 46<sup>e</sup> Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

#### 1<sup>re</sup> sous-section : (*Épidémiologie, économie de la santé et prévention*)

Professeure Nelly AGRINIER - Professeur Francis GUILLEMIN

#### 4<sup>e</sup> sous-section : (*Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication*)

Professeure Eliane ALBUSSON - Professeur Nicolas JAY

### 47<sup>e</sup> Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE

#### 1<sup>re</sup> sous-section : (*Hématologie ; transfusion*)

Professeur Pierre FEUGIER

#### 2<sup>e</sup> sous-section : (*Cancérologie ; radiothérapie*)

Professeur Thierry CONROY - Professeur Frédéric MARCHAL - Professeur Didier PEIFFERT –  
Professeur Guillaume VOGIN

#### 3<sup>e</sup> sous-section : (*Immunologie*)

Professeur Marcelo DE CARVALHO-BITTENCOURT - Professeure Marie-Thérèse RUBIO

#### 4<sup>e</sup> sous-section : (*Génétique*)

Professeur Philippe JONVEAUX - Professeur Bruno LEHEUP

#### **48° Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE, PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE**

##### **1<sup>re</sup> sous-section : (*Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire*)**

Professeur Gérard AUDIBERT - Professeur Hervé BOUAZIZ - Professeur Thomas FUCHS-BUDER  
Professeure Marie-Reine LOSSER - Professeur Claude MEISTELMAN

##### **2<sup>e</sup> sous-section : (*Médecine intensive-réanimation*)**

Professeur Pierre-Édouard BOLLAERT - Professeur Sébastien GIBOT - Professeur Bruno LÉVY

##### **3<sup>e</sup> sous-section : (*Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie*)**

Professeur Pierre GILLET - Professeur Jean-Yves JOUZEAU

##### **4<sup>e</sup> sous-section : (*Thérapeutique-médecine de la douleur ; addictologie*)**

Professeur Nicolas GIRERD - Professeur François PAILLE - Professeur Patrick ROSSIGNOL

#### **49° Section : PATHOLOGIE NERVEUSE ET MUSCULAIRE, PATHOLOGIE MENTALE, HANDICAP ET RÉÉDUCATION**

##### **1<sup>re</sup> sous-section : (*Neurologie*)**

Professeur Marc DEBOUVERIE - Professeur Louis MAILLARD - Professeur Sébastien RICHARD –  
Professeur Luc TAILLANDIER Professeure Louise TYVAERT

##### **2<sup>e</sup> sous-section : (*Neurochirurgie*)**

Professeur Thierry CIVIT - Professeure Sophie COLNAT-COULBOIS - Professeur Olivier KLEIN

##### **3<sup>e</sup> sous-section : (*Psychiatrie d'adultes ; addictologie*)**

Professeur Jean-Pierre KAHN – Professeur Vincent LAPREVOTE - Professeur Raymund SCHWAN

##### **4<sup>e</sup> sous-section : (*Pédopsychiatrie ; addictologie*)**

Professeur Bernard KABUTH

##### **5<sup>e</sup> sous-section : (*Médecine physique et de réadaptation*)**

Professeur Jean PAYSANT

#### **50° Section : PATHOLOGIE OSTÉO-ARTICULAIRE, DERMATOLOGIE ET CHIRURGIE PLASTIQUE**

##### **1<sup>re</sup> sous-section : (*Rhumatologie*)**

Professeure Isabelle CHARY-VALCKENAERE - Professeur Damien LOEUILLE

##### **2<sup>e</sup> sous-section : (*Chirurgie orthopédique et traumatologique*)**

Professeur Laurent GALOIS - Professeur Didier MAINARD - Professeur François SIRVEAUX

##### **3<sup>e</sup> sous-section : (*Dermato-vénéréologie*)**

Professeure Anne-Claire BURSZTEJN - Professeur Jean-Luc SCHMUTZ

##### **4<sup>e</sup> sous-section : (*Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie*)**

Professeur François DAP - Professeur Gilles DAUTEL - Professeur Etienne SIMON

#### **51° Section : PATHOLOGIE CARDIO-RESPIRATOIRE ET VASCULAIRE**

##### **1<sup>re</sup> sous-section : (*Pneumologie ; addictologie*)**

Professeur Jean-François CHABOT - Professeur Ari CHAOUAT

##### **2<sup>e</sup> sous-section : (*Cardiologie*)**

Professeur Edoardo CAMENZIND - Professeur Christian de CHILLOU DE CHURET –

Professeur Yves JUILLIERE

Professeur Nicolas SADOUL

##### **3<sup>e</sup> sous-section : (*Chirurgie thoracique et cardiovasculaire*)**

Professeur Juan-Pablo MAUREIRA - Professeur Stéphane RENAUD

##### **4<sup>e</sup> sous-section : (*Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire*)**

Professeur Sergueï MALIKOV - Professeur Denis WAHL – Professeur Stéphane ZUILY

#### **52° Section : MALADIES DES APPAREILS DIGESTIF ET URINAIRE**

##### **1<sup>re</sup> sous-section : (*Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie*)**

Professeur Jean-Pierre BRONOWICKI - Professeur Laurent PEYRIN-BIROULET

##### **2<sup>e</sup> sous-section : (*Chirurgie viscérale et digestive*)**

Professeur Ahmet AYAV - Professeur Laurent BRESLER - Professeur Laurent BRUNAUD –

Professeure Adeline GERMAIN

##### **3<sup>e</sup> sous-section : (*Néphrologie*)**

Professeur Luc FRIMAT - Professeure Dominique HESTIN

##### **4<sup>e</sup> sous-section : (*Urologie*)**

Professeur Pascal ESCHWEGE - Professeur Jacques HUBERT

#### **53° Section : MÉDECINE INTERNE, GÉRIATRIE ET MÉDECINE GÉNÉRALE**

##### **1<sup>re</sup> sous-section : (*Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie*)**

Professeur Athanase BENETOS - Professeur Jean-Dominique DE KORWIN - Professeure Gisèle KANNY

Professeure Christine PERRET-GUILLAUME – Professeur Roland JAUSSAUD – Professeure Laure JOLY

##### **3<sup>e</sup> sous-section : (*Médecine générale*)**

Professeur Jean-Marc BOIVIN – Professeur Paolo DI PATRIZIO

**54° Section : DÉVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNÉCOLOGIE-OBSTÉTRIQUE, ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION**

**1<sup>re</sup> sous-section : (Pédiatrie)**

Professeur Pascal CHASTAGNER - Professeur François FEILLET - Professeur Jean-Michel HASCOET  
Professeur Emmanuel RAFFO - Professeur Cyril SCHWEITZER

**2<sup>e</sup> sous-section : (Chirurgie infantile)**

Professeur Pierre JOURNEAU - Professeur Jean-Louis LEMELLE

**3<sup>e</sup> sous-section : (Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale)**

Professeur Philippe JUDLIN - Professeur Olivier MOREL

**4<sup>e</sup> sous-section : (Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale)**

Professeur Bruno GUERCI - Professeur Marc KLEIN - Professeur Georges WERYHA

**55° Section : PATHOLOGIE DE LA TÊTE ET DU COU**

**1<sup>re</sup> sous-section : (Oto-rhino-laryngologie)**

Professeur Roger JANKOWSKI - Professeure Cécile PARIETTI-WINKLER

**2<sup>e</sup> sous-section : (Ophtalmologie)**

Professeure Karine ANGIOI - Professeur Jean-Paul BERROD

**3<sup>e</sup> sous-section : (Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie)**

Professeure Muriel BRIX

=====

**PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS**

**61° Section : GÉNIE INFORMATIQUE, AUTOMATIQUE ET TRAITEMENT DU SIGNAL**

Professeur Walter BLONDEL

**64° Section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE**

Professeure Sandrine BOSCHI-MULLER - Professeur Pascal REBOUL

**65° Section : BIOLOGIE CELLULAIRE**

Professeure Céline HUSELSTEIN

=====

**PROFESSEUR ASSOCIÉ DE MÉDECINE GÉNÉRALE**

Professeure associée Sophie SIEGRIST

Professeur associé Olivier BOUCHY

=====

**MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS**

**42° Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE**

**1<sup>re</sup> sous-section : (Anatomie)**

Docteur Bruno GRIGNON

**2<sup>e</sup> sous-section : (Histologie, embryologie, et cytogénétique)**

Docteure Isabelle KOSCINSKI

**44° Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION**

**1<sup>re</sup> sous-section : (Biochimie et biologie moléculaire)**

Docteure Shyue-Fang BATTAGLIA - Docteure Sophie FREMONT - Docteure Catherine MALAPLATE –

Docteur Marc MERTEN - Docteur Abderrahim OUSSALAH

**2<sup>e</sup> sous-section : (Physiologie)**

Docteure Silvia DEMOULIN-ALEXIKOVA - Docteur Jacques JONAS

**45° Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE**

**1<sup>re</sup> sous-section : (Bactériologie – Virologie ; hygiène hospitalière)**

Docteure Corentine ALAUZET - Docteure Hélène JEULIN - Docteure Véronique VENARD

**2<sup>e</sup> sous-section : (Parasitologie et mycologie)**

Docteure Anne DEBOURGOGNE

**46° Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ**

**1<sup>re</sup> sous-section : (*Epidémiologie, économie de la santé et prévention*)**

Docteur Cédric BAUMANN - Docteure Frédérique CLAUDOT - Docteur Alexis HAUTEMANIÈRE  
Docteur Arnaud FLORENTIN (stagiaire)

**2° sous-section (*Médecine et Santé au Travail*)**

Docteure Isabelle THAON

**3° sous-section (*Médecine légale et droit de la santé*)**

Docteur Laurent MARTRILLE

**47° Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE**

**1<sup>re</sup> sous-section : (*Hématologie ; transfusion*)**

Docteur Julien BROSEUS – Docteure Maud D'AVENI

**2° sous-section : (*Cancérologie ; radiothérapie*)**

Docteure Lina BOLOTINE

**3° sous-section : (*Immunologie*)**

Docteure Alice AARNINK (stagiaire)

**4° sous-section : (*Génétique*)**

Docteure Céline BONNET

**48° Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE, PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE**

**1° sous-section : (*Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire*)**

Docteur Philippe GUERCI

**2° sous-section : (*Médecine intensive-réanimation*)**

Docteur Antoine KIMMOUN

**3° sous-section : (*Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie*)**

Docteur Nicolas GAMBIER - Docteure Françoise LAPICQUE - Docteur Julien SCALA-BERTOLA

**49° Section : PATHOLOGIE NERVEUSE ET MUSCULAIRE, PATHOLOGIE MENTALE, HANDICAP ET RÉÉDUCATION**

**2° sous-section : (*Neurochirurgie*)**

Docteur Fabien RECH (stagiaire)

**3° sous-section : (*Psychiatrie d'adultes ; addictologie*)**

Docteur Thomas SCHWITZER (stagiaire)

**50° Section : PATHOLOGIE OSTÉO-ARTICULAIRE, DERMATOLOGIE ET CHIRURGIE PLASTIQUE**

**4° sous-section : (*Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie*)**

Docteure Laetitia GOFFINET-PLEUTRET

**51° Section : PATHOLOGIE CARDIO-RESPIRATOIRE ET VASCULAIRE**

**3° sous-section : (*Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire*)**

Docteur Fabrice VANHUYSE

**4° sous-section : (*Chirurgie vasculaire ; Médecine vasculaire*)**

Docteure Nicla SETTEMBRE

**52° Section : MALADIES DES APPAREILS DIGESTIF ET URINAIRE**

**1<sup>re</sup> sous-section : (*Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie*)**

Docteur Anthony LOPEZ

**2° sous-section : (*Chirurgie viscérale et digestive*)**

Docteur Cyril PERRENOT

**54° Section : DEVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE, ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION**

**4° sous-section : (*Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; Gynécologie médicale*)**

Docteure Éva FEIGERLOVA

**5° sous-section : (*Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale*)**

Docteur Mikaël AGOPIANTZ (stagiaire)

**55° Section : PATHOLOGIE DE LA TÊTE ET DU COU**

**1<sup>re</sup> sous-section : (*Oto-Rhino-Laryngologie*)**

Docteur Patrice GALLET

=====

## MAÎTRES DE CONFÉRENCES

### 5<sup>e</sup> Section : SCIENCES ÉCONOMIQUES

Monsieur Vincent LHUILLIER

### 7<sup>e</sup> Section : SCIENCES DU LANGAGE : LINGUISTIQUE ET PHONETIQUE GENERALES

Madame Christine DA SILVA-GENEST

### 19<sup>e</sup> Section : SOCIOLOGIE, DÉMOGRAPHIE

Madame Joëlle KIVITS

### 64<sup>e</sup> Section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

Madame Marie-Claire LANHERS - Monsieur Nick RAMALANJAONA

### 65<sup>e</sup> Section : BIOLOGIE CELLULAIRE

Madame Nathalie AUCHET - Madame Natalia DE ISLA-MARTINEZ - Monsieur Christophe NEMOS

### 66<sup>e</sup> Section : PHYSIOLOGIE

Monsieur Nguyen TRAN

### 69<sup>e</sup> Section : NEUROSCIENCES

Madame Sylvie MULTON

=====

## MAÎTRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE

Docteur Cédric BERBE - Docteure Kénora CHAU

=====

## DOCTEURS HONORIS CAUSA

Professeur Charles A. BERRY (1982)  
*Centre de Médecine Préventive, Houston (U.S.A)*  
Professeur Pierre-Marie GALETTI (1982)  
*Brown University, Providence (U.S.A)*  
Professeure Mildred T. STAHLMAN (1982)  
*Vanderbilt University, Nashville (U.S.A)*  
Professeur Théodore H. SCHIEBLER (1989)  
*Institut d'Anatomie de Würzburg (R.F.A)*  
Professeur Mashaki KASHIWARA (1996)  
*Research Institute for Mathematical Sciences de Kyoto (JAPON)*

Professeure Maria DELIVORIA-  
PAPADOPOULOS (1996) *Université de Pennsylvanie (U.S.A)*  
Professeur Ralph GRÄSBECK (1996)  
*Université d'Helsinki (FINLANDE)*  
Professeur Duong Quang TRUNG (1997)  
*Université d'Hô Chi Minh-Ville (VIËTNAM)*  
Professeur Daniel G. BICHET (2001)  
*Université de Montréal (Canada)*  
Professeur Marc LEVENSTON (2005)  
*Institute of Technology, Atlanta (USA)*

Professeur Brian BURCHELL (2007)  
*Université de Dundee (Royaume-Uni)*  
Professeur Yunfeng ZHOU (2009)  
*Université de Wuhan (CHINE)*  
Professeur David ALPERS (2011)  
*Université de Washington (U.S.A)*  
Professeur Martin EXNER (2012)  
*Université de Bonn (ALLEMAGNE)*

## REMERCIEMENTS

*A notre Maître et Président du Jury*

**Monsieur le Professeur Cyril SCHWEITZER**

Professeur des Universités, Praticien Hospitalier

*Vous nous faites l'honneur de présider ce jury de thèse.*

*Je vous remercie pour votre enseignement, votre disponibilité et la confiance que vous m'avez accordée tout au long de mon cursus de pédiatrie. Je vous exprime pour cela ma sincère gratitude et ma profonde reconnaissance et je suis fier de pouvoir continuer ma formation à vos côtés.*

***A notre Maître et Juge***

**Monsieur le Professeur François FEILLET**

Professeur des Universités, Praticien Hospitalier

*Vous nous faites l'honneur de participer au jury de cette thèse.*

*Je vous remercie pour votre soutien et pour la pédagogie dont vous faite preuve témoignant de votre volonté de partage de savoir et d'expérience. Je vous exprime pour cela tout mon respect et ma profonde reconnaissance et je suis très heureux de pouvoir continuer ma formation à vos côtés.*

***A notre Maître et Juge***

**Monsieur le Professeur Bruno LEVY**

Professeur des Universités, Praticien Hospitalier

*Vous nous faites l'honneur de participer au jury de cette thèse.*

*Je vous remercie de votre disponibilité, de vos conseils avisés et de votre soutien concernant ma formation de réanimation. Je suis honoré de poursuivre ma formation à vos côtés et de partager l'étendue de vos connaissances.*

***A notre Maître et Juge***

**Monsieur le Docteur Florent GIRARD**

Praticien Hospitalier

*Tu me fais le plaisir d'accepter de faire partie de ce jury de thèse.*

*Je te remercie pour ton aide concernant la préparation et la réalisation de ce travail. Tu m'as fait découvrir, aimer la réanimation pédiatrique et tu m'as encouragé à me former à cette magnifique discipline. Je suis très heureux d'avoir travaillé avec toi et surtout de continuer à le faire ces prochaines années.*

***A notre Maître, Juge et Directeur de Thèse***

**Monsieur le Docteur Gilles BOSSER**

Praticien Hospitalier

*Gilles, vous me faites l'honneur d'avoir réalisé cette thèse avec moi et de participer à ce jury. Je vous remercie pour votre aide et votre contribution précieuse pour ce travail. Merci pour votre incroyable disponibilité et pédagogie. Merci pour votre enseignement et de m'avoir initié à la cardiologie congénitale. J'admire votre rigueur au quotidien et je me réjouis de poursuivre ma formation à vos côtés au sein de votre service.*

**A mes maîtres d'internat et à tous les médecins et non médecins qui ont participé à mon cursus :**

- Monsieur le Docteur Nicolas BILLAUD pour son accueil et sa bienveillance lors de mon premier semestre en pédiatrie à Metz. Merci aux Docteur WERTS et au docteur KIEFFER ainsi qu'à toute l'équipe de pédiatrie et des urgences.
- Mesdames les Docteur Anne-Charlotte CULLIER, Docteur Aurore BLONDE, et Docteur Julie ANGER, mes premiers chefs de clinique de médecine infantile ainsi que toute l'équipe du 1<sup>er</sup> étage de l'hôpital d'enfants.
- Mesdames les Docteur Claudine SCHMITT, Docteur Cécile POCHON, Docteur Audrey CONTET, Docteur Marie LE ROUZIC et Docteur Julie VALDUGA ainsi que toute l'équipe d'oncohématologie du 2<sup>ème</sup> étage qui m'a tant appris.
- Madame le Docteur Claire-Marie BARBIER, messieurs les Docteur Noël BOUSSARD, Docteur Matthieu MARIA et surtout Docteur Lucie-Marie HYPOLITE et Docteur Arnaud WIEDEMANN mes premiers assistants de réanimation, merci pour votre soutien et de m'avoir donné l'envie de faire de la réanimation.
- Messieurs les Docteurs Guillaume LOUIS, Docteur Serge LE TACON, Docteur Damien BARRAUD, Docteur Sébastien GETTE, Docteur Guillaume JAY et tout le service de la réanimation polyvalente de Mercy, merci pour ce formidable semestre dans le monde de la médecine adulte.
- Mesdames les Docteur Isabelle BUNKER, Docteur Bénédicte LEROUX, messieurs les Docteurs Jean-Michel LIET, Docteur Nicolas JORAM, Docteur Pierre BOURGOIN, Docteur Alexis CHENOUART, Docteur Brendan TRAVERT, Docteur Louis BARATON, merci pour votre accueil à Nantes et pour votre enseignement.

**A Claire,** pour tous ces moments de bonheur ensemble et tous ceux à venir encore meilleurs. Merci pour ton soutien et surtout ton amour au quotidien que toi seule sait me communiquer avec autant d'attention et d'affection. Je suis fier de ton parcours et je suis heureux d'être à tes côtés.

**A ma sœur Pauline,** pour ta complicité et ton soutien. Je suis fier de toi ma petite sœur.

**A mes parents**, merci d'avoir toujours cru en moi et de m'avoir soutenu. Merci pour votre éducation et pour vos valeurs. Merci d'avoir toujours été présents et un pilier pour moi.

**A ma famille**, à ma grand-mère **Thérèse** d'abord, pour tout son amour et sa bienveillance à mon égard. A mes tantes **Marielle**, **Manue**, mes oncles **Romain** et **Joël** et leurs enfants, à ma cousine **Maud**, merci pour tous ces moments de joie à vos côtés.

**A Stan**, compagnon de médecine depuis la P1, homonyme et surtout grand ami. Un grand merci pour ces années de fac et d'externat (dans les couloirs sombres du CHU ou des souterrains).

**A tous mes amis Nancéiens**, à **Flo** et **Victo**, à **Manon** et **Franchki**, à **Doudou** et **Marie**, à **Max** et à **Jeanne** et **Yann**, merci pour votre amitié, les voyages avec vous et tous les futurs moments ensemble.

**A mes co-internes de pédiatrie**, compagnons de mon internat dans mes différents stages auprès des enfants, merci à **Clémence**, **Imane**, **Xavier**, **Claire** et **Claire**, **Hélène**, **Cécile** ou **Gégé** (qui sera toujours pédiatre pour moi).

**A mes co-internes de mon stage de réanimation adulte**, merci d'avoir accepté un pédiatre dans votre team, à Agnès Buzyn (**Marina**), à lieutenant Chaudier (**Aurore**), à Nicole (**Carole**), à Schwartzinator (**Thibaud**), à l'Anaconda (**Paul**), à **Léo** et à **Morgane** et **Marie**. Pour tous ces bons moments et les futurs de prévus.

**A mes co-internes Nantais**, **Adéla**, **Lydie** et **Charlotte**, pour toutes ces visites « sub-optimales » et pour ce super semestre qui clôture mon internat.

A ceux que j'ai pu oublier mais que j'ai pu avoir la chance de rencontrer tout au long de mon internat, toutes les équipes paramédicales et non soignantes avec qui j'ai pu travailler et apprendre au contact des enfants et de leurs parents. Merci pour votre gentillesse, votre patience et vos conseils au quotidien.

## SERMENT

« Au moment d'être admis à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité. Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux. Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité. J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences. Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me sont confiés. Reçu à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs. Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité. Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré et méprisé si j'y manque ».

# TABLE DES MATIERES

<b>ABREVIATIONS</b> .....	- 17 -
<b>1. L'ETUDE HEMODYNAMIQUE EN REANIMATION PEDIATRIQUE</b> .....	- 18 -
<b>2. L'échographie dans l'évaluation hémodynamique</b> .....	- 20 -
2.1. Évaluation de la volémie .....	- 20 -
2.2. Évaluation de la fonction ventriculaire gauche.....	- 23 -
2.2.1. Évaluation qualitative visuelle.....	- 23 -
2.2.2. Évaluation quantitative échographique.....	- 23 -
2.2.3. Fonction diastolique et précharge du ventricule gauche .....	- 25 -
2.3. Évaluation du débit cardiaque et de l'index cardiaque .....	- 26 -
2.4. Évaluation de la fonction ventriculaire droite et de la pression pulmonaire .....	- 29 -
2.4.1. Estimation de la précharge du ventricule droit .....	- 31 -
2.4.2. Estimation de la pression artérielle pulmonaire.....	- 31 -
2.4.3. Estimation de la fonction systolique du ventricule droit.....	- 34 -
2.5. Évaluation de la réponse à l'expansion volémique.....	- 35 -
<b>3. JUSTIFICATION DE L'ETUDE</b> .....	- 38 -
<b>4. ARTICLE</b> .....	- 40 -
Abstract .....	- 41 -
Introduction.....	- 42 -
Materials and Methods .....	- 44 -
Results .....	- 47 -
Discussion .....	- 48 -
Conclusion .....	- 51 -
Bibliography.....	- 54 -
<b>5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES</b> .....	- 57 -
5.1. Principaux résultats .....	- 57 -
5.2. Discussion et limites .....	- 58 -
5.3. Perspectives.....	- 61 -
5.4. Protocole .....	- 63 -
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	- 64 -

## ABREVIATIONS

DC : Débit Cardiaque

DTI : Doppler Tissue Imaging

FC : Fréquence Cardiaque

FEVG : Fraction d'Éjection du Ventricule Gauche

FRVG : Fraction de Raccourcissement du Ventricule Gauche

HTAP : Hypertension Artérielle Pulmonaire

IC : Index Cardiaque

IT : Insuffisance Tricuspidale

TM : Temps-Mouvement

VCI : Veine Cave Inférieure

VD : Ventricule Droit

VG : Ventricule gauche

## 1. L'ETUDE HEMODYNAMIQUE EN REANIMATION PEDIATRIQUE

Une des activités quotidiennes en réanimation pédiatrique est l'évaluation du statut hémodynamique des patients. Les pathologies entraînant leur hospitalisation dans l'unité ainsi que les traitements mis en œuvre impliquent la nécessité d'une étude précise de ce statut. Les défaillances d'origine cardiaque ou les instabilités hémodynamiques secondaires à d'autres pathologies (infectieuses, respiratoire ou neurologiques) sont fréquentes en réanimation et font partie des principales causes d'admission (1). L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'adéquation entre perfusion et besoins tissulaires qui dépend principalement de la précharge, de la fonction cardiaque, de la post-charge et de la pression de perfusion (2). Le socle de cette évaluation est apporté par l'examen clinique d'abord avec la fréquence cardiaque (FC), la pression artérielle (PA), la coloration cutanée, le temps de recoloration, la diurèse et ensuite par les premiers examens paracliniques avec la mesure du taux de lactate (3) ou la SvO<sub>2</sub> (4). Ces paramètres ne sont cependant qu'un reflet des altérations hémodynamiques que présentent les patients et ne permettent pas une compréhension complète et fine des mécanismes en cause. La surveillance, ou monitoring, hémodynamique est alors nécessaire mais le souci constant de prendre en charge les patients de la manière la moins invasive possible, surtout en pédiatrie, plaide pour les techniques les moins lourdes pour le patient. Cette évaluation ne se résume pas seulement à la mesure du débit cardiaque, par méthode invasive (cathéter artériel, cathéter artériel pulmonaire de Swan-Ganz par exemple) ou non invasive par échographie transthoracique, ou de la volémie tant les facteurs influençant le débit cardiaque peuvent être nombreux (5).

De plus, cette évaluation hémodynamique est perturbée par des situations néonatales et pédiatriques spécifiques. La période néonatale, qui correspond à une transition cardiocirculatoire, en est le premier exemple. La circulation fœtale « en parallèle » à double shunt (foramen ovale et canal artériel) se transforme en quelques jours en circulation « en série » avec quatre modifications radicales : la diminution majeure des résistances vasculaires pulmonaires par augmentation de la pression partielle en oxygène et l'expansion alvéolaire ; l'augmentation des résistances vasculaires systémiques lors du clampage du cordon ; la fermeture du canal artériel dans les premiers jours de vie assurant le passage

« en série » ; et l'augmentation de la consommation en oxygène avec augmentation du débit cardiaque, du travail du ventricule gauche et diminution du travail du ventricule droit. Des situations spécifiques pédiatriques, retard à la baisse des résistances vasculaires pulmonaires conduisant à une hypertension artérielle pulmonaire (HTAP) persistante du nouveau-né ou une persistance du canal artériel, sont autant d'exemples ayant un impact sur l'hémodynamique par la suite, intéressant le réanimateur pédiatrique.

L'échocardiographie a ainsi un rôle de plus en plus central ces dernières décennies et principalement dans les unités de réanimation (6) où son utilisation est polyvalente (hémodynamique, pulmonaire, neurologique...). Sa disponibilité au lit du patient ainsi que la rapidité de mise à disposition de données précises et son innocuité en font un outil plus qu'utile en réanimation pédiatrique. Cependant, la grande variabilité en poids ou en âge de la population pédiatrique font que l'interprétation des données extraites de l'échographie reste plus complexe que chez l'adulte à analyser. Il est alors nécessaire d'appliquer une méthodologie rigoureuse et adaptée à chaque tranche d'âge pour que ces données aient un intérêt dans la prise en charge.

Dans ce travail, nous allons détailler dans la prochaine partie la méthodologie de l'étude hémodynamique par échocardiographie chez l'enfant. Cette méthodologie nous ayant permis de mettre au point un protocole après sélection des paramètres les plus pertinents en collaboration avec l'équipe de réanimateurs de notre centre. Nous avons alors conduit une étude monocentrique prospective au sein de notre unité de réanimation pédiatrique spécialisée pour évaluer les difficultés et la pertinence de notre protocole afin de pouvoir l'améliorer.

## 2. L'ECHOGRAPHIE DANS L'ÉVALUATION HEMODYNAMIQUE

### 2.1. Évaluation de la volémie

L'évaluation précise de la volémie est une des questions les plus difficiles à laquelle le clinicien en réanimation tente de répondre. Pourtant, connaître le statut volémique des patients instables hémodynamiquement permet d'orienter la prise en charge initiale et de détecter les patients hypovolémiques qui pourront bénéficier d'un remplissage vasculaire. Cependant, seulement un patient sur deux augmentent significativement leur débit cardiaque après une expansion volémique décidée par le clinicien (7). Cela suggère que les paramètres cliniques d'estimation de la volémie (FC, PA, diurèse) ne suffisent pas à eux seuls pour orienter précisément sur cette dernière. La mesure invasive des paramètres hémodynamiques et d'estimation de la volémie reste minoritaires en pédiatrie, si bien que la mesure de la pression veineuse centrale (PVC) ou la pression artérielle pulmonaire d'occlusion (PAPO) ne sont pas réalisées en pratique courante pédiatrique et certaines études pointent même leur limite (8). Cela est en partie lié aux relations complexes cœur-poumon du patient de réanimation, surtout chez les patients ayant recours à une ventilation mécanique invasive avec un retentissement variable sur la fonction cardiaque (post charge ventriculaire droite et la précharge ventriculaire gauche) (9).

L'échocardiographie a su trouver sa place dans l'estimation de la volémie en unité de réanimation (6). Cette estimation se base en premier lieu principalement sur l'étude visuelle de la taille du cœur droit, du ventricule gauche et de la veine cave inférieure (VCI). En situation d'urgence, un collapsus échographique du ventricule gauche, une veine cave inférieure quasi inexistante ou virtuelle et une oreillette droite de petite taille ou normale est très évocateur d'hypovolémie. En revanche, ces signes ne sont pertinents qu'en cas de ventilation spontanée et d'absence de distension abdominale. Ces estimations visuelles ont leurs limitations, et ne remplacent pas une évaluation précise de la volémie afin de déterminer secondairement pour quel patient une expansion volémique sera bénéfique et pour quel patient elle sera délétère.

L'étude de la veine cave inférieure se réalise principalement en échographie 2D en coupe sous costale mode TM. La mesure du diamètre maximum ( $VCI_{max}$ ) et minimum ( $VCI_{min}$ ) se fait perpendiculairement au grand axe en fin d'expiration à la jonction avec les veines hépatiques et de l'ostium de l'oreillette droite (10) (cf. Figure 1)

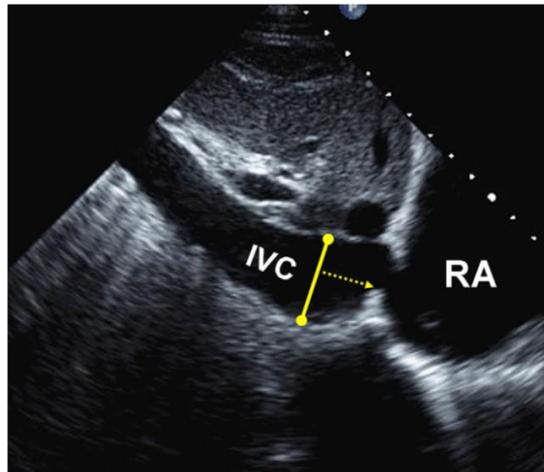


Figure 1 : Mesure du diamètre de la veine cave inférieure (IVC) en coupe sous costale.

RA : oreillette droite.

Mesurer le diamètre de la veine cave inférieure pour estimer la volémie n'est pas nouveau, la mise en évidence d'une variabilité respiratoire avec diminution inspiratoire de son diamètre en ventilation spontanée a été démontrée comme associée à une pression de l'oreillette droite (POD) basse et donc une hypovolémie. Le calcul d'un **index de « collapsibilité » de la veine cave inférieure (ICVCI)** permettrait de prédire une hypovolémie avec une bonne sensibilité et une bonne spécificité (11) lorsqu'il est supérieur à 55 % avec la formule suivant :

$$\text{ICVCI} : \frac{(VCI_{max} - VCI_{min}) \times 100}{VCI_{max}} > 55\%$$

En ventilation mécanique, les pressions intra thoraciques étant positives, la veine cave inférieure présente une variabilité respiratoire inverse. Lors de l'insufflation, la diminution du retour veineux crée une augmentation du calibre. De la même façon, des index de variation de calibre de diamètre ont été mis au point et étudié chez l'enfant.

L'index de distensibilité de la veine cave inférieure (IDVCI) permet de prédire une hypovolémie significative chez des patients lorsque supérieur à 18% (12):

$$\text{IDVCI} : \frac{(\text{VCI}_{\text{max}} - \text{VCI}_{\text{min}}) \times 100}{\text{VCI}_{\text{min}}} > 18 \%$$

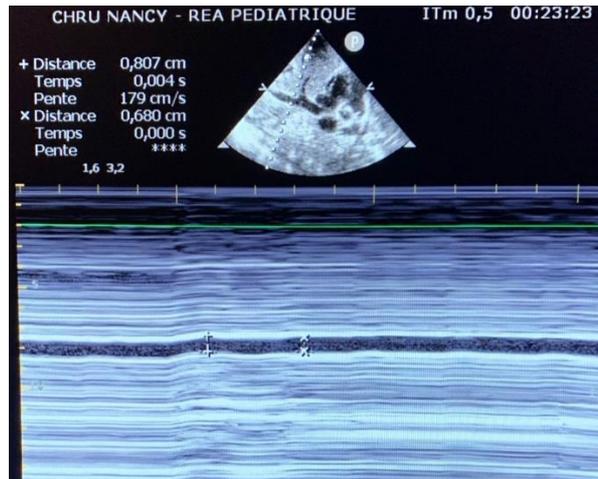


Figure 2 : Index de distensibilité de la veine cave inférieure en coupe sous costale mode TM.

*Ici de 33% témoin d'une hypovolémie dans un contexte de ventilation mécanique*

L'estimation de la **pression moyenne de l'oreillette droite** peut être réalisée chez des patients en ventilation spontanée ou ventilation mécanique en pression positive à partir de la mesure de la taille maximale de la veine cave inférieure avec une bonne sensibilité et spécificité (13). Son rapport à la surface corporelle est particulièrement intéressant en pédiatrie. Si le diamètre maximal de la veine cave inférieure est supérieur à 12,9 mm/ m<sup>2</sup> alors la pression moyenne estimée dans l'oreillette droite est supérieure à 10 mmHg. Cela est à la fois utile pour mettre en évidence une hypervolémie mais également pour estimer la pression au sein de l'oreillette droite afin de calculer les pressions du ventricule droit.

## 2.2. Évaluation de la fonction ventriculaire gauche

### 2.2.1. Évaluation qualitative visuelle

Une évaluation visuelle qualitative de la fonction systolique du ventricule gauche peut être rapidement effectuée par un clinicien expérimenté avec une bonne concordance avec la méthode quantitative (14). Il est important de réaliser cela sous différentes vues en échographie 2D (coupe parasternale grand et petit axe, sous costale, apicale 4 cavités et sous costale) afin d'obtenir une vision globale de la contractilité du ventricule gauche. Cela permet de classer la fonction systolique en 4 catégories : normale, altérée, très altérée ou hyperkinétique.

### 2.2.2. Évaluation quantitative échographique

L'évaluation qualitative ne pouvant remplacer la mesure échographique, les paramètres les plus employés pour une évaluation quantitative de la fonction systolique du ventricule gauche sont la fraction de raccourcissement systolique du ventricule gauche (FRVG) et la fraction d'éjection du ventricule gauche (FEVG). Ces deux indices sont enregistrés en échographie 2D, coupe parasternale longitudinale ou transversale, incidence transventriculaire, mode TM (15) (cf. Figure 3).

La *fraction de raccourcissement systolique du ventricule gauche* est obtenue par le rapport :

$$\text{FRVG} = \frac{\text{DTDVG} - \text{DTSVG}}{\text{DTDVG}} \quad \mathbf{n : 28-45\%}$$

Où DTDVG (diamètre télédilatolique du ventricule gauche) et DTSVG (Diamètre télésystolique du ventricule gauche) sont les distances entre le septum interventriculaire et la paroi postérieure mesurée en systole et diastole.

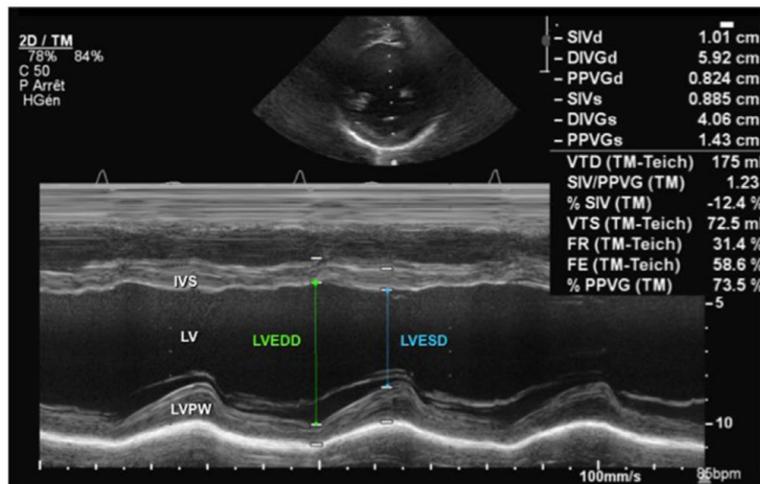


Figure 3 : Échographie 2D en mode TM en coupe parasternale petit axe incidence transventriculaire montrant les cavités du ventricule gauche en fonction du cycle cardiaque.  
 Abréviations : IVS : septum interventriculaire ; LV : Ventricule gauche ; LVEDD : diamètre télédiastolique du ventricule gauche ; LVESD, diamètre télésystolique du ventricule gauche ; LVPW : paroi postérieure du ventricule gauche.

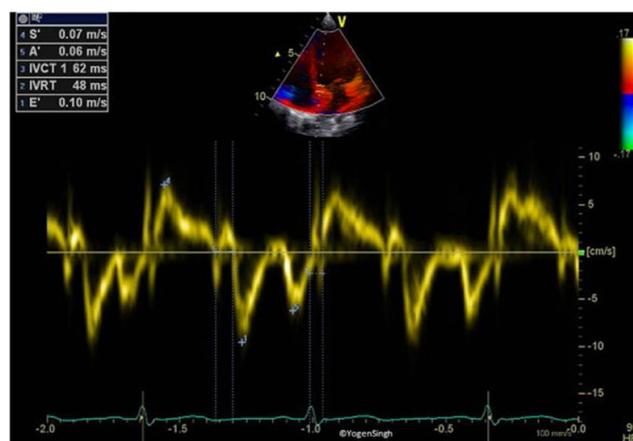
Cet indice permet d'évaluer la fonction systolique globale du ventricule gauche à condition qu'il n'existe pas de trouble localisé segmentaire de la cinétique des parois ventriculaires ou de mouvement anormal paradoxal du septum interventriculaire. Cet indice est bien corrélé à la fraction d'éjection angiographique et aux altérations de la fonction ventriculaire (16), facile à réaliser et reproductible. Les valeurs normales chez l'enfant sont de 28 à 45 % (17).

La Fraction d'éjection du ventricule gauche est obtenue par le rapport :

$$\text{FEVG} = \frac{\text{VTDVG} - \text{VTSVG}}{\text{VTDVG}} \quad \text{n : 54-71 \%}$$

Où VTDVG (volume télédiastolique du ventricule gauche) et VTSVG (volume télésystolique du ventricule gauche) sont extrapolés par la méthode de Teichholz. Cette formule est fiable en cas d'homogénéité de contraction du ventricule gauche et moins sensible aux variations de formes du ventricule gauche. Toutefois, en cas de limites flous entre les différentes structures (paroi postérieure, septum interventriculaire), sa réalisation peut se révéler délicate (15). Les valeurs normales chez l'enfant sont de 54 à 71 % (17).

L'imagerie du Doppler tissulaire (Doppler tissu imaging ou DTI) permet d'étudier la fonction myocardique au moyen de la mesure des vitesses pariétales intra myocardiques liées à l'activité mécanique du cœur au cours du cycle cardiaque. Les informations vélocimétriques du flux sanguins intracardiaque sont éliminées. En échographie 2D, en coupe apicale 4 cavités, l'analyse DTI de la paroi myocardique du ventricule gauche à la partie latérale ou médiale de l'anneau mitral permet de mettre en évidence trois ondes : une onde systolique S', et deux ondes diastoliques E' et A' (cf Figure 4). Les vitesses de déplacement à l'anneau mitral permettent ainsi une étude de la fonction systolo-diastolique du ventricule gauche.



*Figure 4 : Échographie 2D en coupe 4 cavités, mode Doppler Tissu Imaging à la partie médiale de l'anneau mitral mettant en évidence l'onde S', l'onde E' et A'.*

La fonction systolique du ventricule gauche est étudiée par la vitesse de l'onde S'. Une onde S' < 10 cm/s est associée à une dysfonction systolique (18).

### 2.2.3. Fonction diastolique et précharge du ventricule gauche

L'étude du flux mitral en Doppler Pulsé (curseur positionné à l'extrémité des feuillets mitraux en systole) en coupe apicale quatre cavités permet de mettre en évidence en diastole une courbe positive biphasique composée d'une onde E de remplissage passif protodiastolique du ventricule gauche et une onde A correspondant au remplissage actif télédiastolique dû à la contraction auriculaire (cf. Figure 5). Le rapport E/A est normal > 1. Le temps de décélération de l'onde E (TDE) est l'intervalle qui sépare le sommet de l'onde E de l'intersection de la tangente avec la ligne de base.

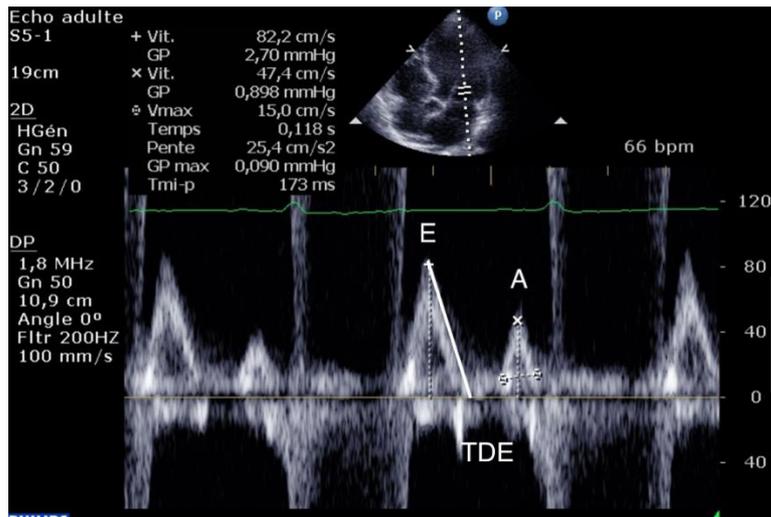


Figure 5 : Échographie 2D en coupe 4 cavités, mode Doppler Pulsé à l'extrémité des feuillets mitraux mettant en évidence l'onde E, l'onde A et le temps de décélération de l'onde E.

Un rapport E/A > 2 et un TDE < 160 ms est un bon indicateur d'une altération sévère de la fonction diastolique du ventricule gauche (19). Un ratio E/E' > 10 est un indicateur de pression de remplissage ou précharge du ventricule gauche augmentées (20).

### 2.3. Évaluation du débit cardiaque et de l'index cardiaque

L'un des principaux paramètres étudiés lors de l'évaluation hémodynamique est la mesure du débit cardiaque (DC). En dehors des paramètres affectant le débit cardiaque, sa mesure permet d'évaluer la fonction de la « pompe cardiaque » et son adaptation dans une situation de défaillance hémodynamique et la réponse aux traitements.

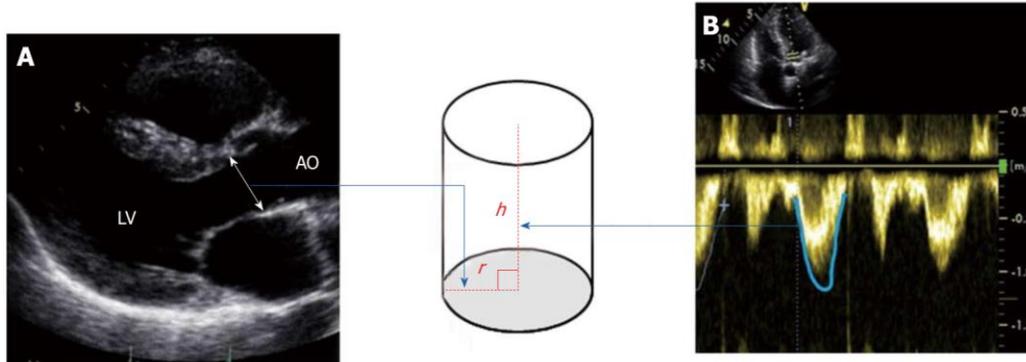
Le débit cardiaque est le produit du volume d'éjection systolique (VES) par la fréquence cardiaque (FC) :

$$DC \text{ (L/min)} = VES \text{ (cm}^3\text{)} \times FC \text{ (cycle/min)}$$

Le volume d'éjection systolique est le produit de l'intégrale temps vitesse (ITV) mesurée au Doppler pulsé par planimétrie de la courbe spectrale et de la surface (S) de section transverse de la valve :

$$VES = ITV \text{ (cm)} \times S \text{ (cm}^2\text{)}$$

Le débit cardiaque peut être calculé au travers des valves pulmonaire et aortique présentant la meilleure précision et reproductibilité (orifice circulaire et faible variation de calibre en systole). En pratique, la mesure de la surface aortique est obtenue à partir du diamètre de l'anneau aortique mesuré en échographie 2D en coupe parasternale grand axe. La mesure de l'ITV sous aortique en coupe apicale 5 cavités en Doppler pulsé dans la chambre de chasse aortique (cf. figure 6)



*Figure 6 : Le volume d'éjection systolique est considéré comme le volume d'un cylindre virtuel éjecté à chaque cycle au travers de l'orifice aortique. La base de ce cylindre étant la surface aortique ( $\pi.r^2$ ),  $\pi = 3.14$ , avec  $r$  le rayon et la hauteur ( $h$ ) est l'intégrale temps vitesse, étant la vélocité du sang traversant l'orifice en systole. Le diamètre aortique est mesuré en systole en coupe parasternale grand axe (A) et l'ITV en Doppler pulsé en coupe 5 cavité au travers de la chambre de chasse du ventricule gauche (B).*

La mesure du débit cardiaque par Doppler se révèle une des méthodes de choix chez l'enfant à la fois sur son exactitude et sur sa reproductibilité (21).

Le débit cardiaque étant variable en fonction de l'âge, l'utilisation de l'index cardiaque (IC) est préférée chez l'enfant car indexé sur la surface corporelle. L'index cardiaque est obtenu en divisant le débit cardiaque par la surface corporelle (SC en  $m^2$ ) :

$$IC (L/min/m^2) = DC (L/min) / SC (m^2)$$

La valeur de l'index cardiaque doit toujours être considérée dans le contexte de son exploration (patient sain stable ou patient intubé ventilé sans défaillance hémodynamique patient en choc septique ou hémorragique). Les valeurs normales d'index cardiaque chez des

enfants sains sont de **3,4 à 6,4 L/min/m<sup>2</sup>** (22). Ainsi, même si une valeur  $> 2\text{L/min/m}^2$  est jugée suffisante dans certaines études chez des patients ne présentant pas de choc septique (23), un index de 4,5 à 6,5 L/min/m<sup>2</sup> est souhaitable en cas de défaillance hémodynamique dans une situation d'état de choc (22,24).

Une source d'erreur possible dans la mesure du débit cardiaque est la difficulté à mesurer avec précision le diamètre de l'anneau aortique (porté au carré pour calculer le débit cardiaque). Les difficultés d'enregistrement en réanimation peuvent accentuer cette difficulté. Une alternative proposée pour s'affranchir de cette erreur est d'estimer l'index cardiaque par la mesure de la vitesse moyenne dans l'aorte ascendante, cette dernière présentant une zone de normalité, constante de 1 mois à 15 ans, entre 0,24 à 0,34 m/s (25). Une valeur inférieure à 0,24 m/s correspond à un bas débit cardiaque, une valeur supérieure à 0,34 m/s correspond à un hyperdébit. Cette vitesse moyenne est bien corrélée à l'index cardiaque mesuré par thermo- dilution, car il existe une relation quasiment linéaire entre la surface de l'anneau aortique et la surface corporelle (26). D'un point de vue technique, la mesure est réalisée en échographie 2D, en coupe apicale 5 cavités, en mode Doppler pulsé le curseur pointé dans la chambre de chasse du ventricule gauche, l'image du flux aortique retenue pour mesurer cette vitesse moyenne aortique inclut tout le cycle cardiaque (systole + diastole) (cf. Figure 7).

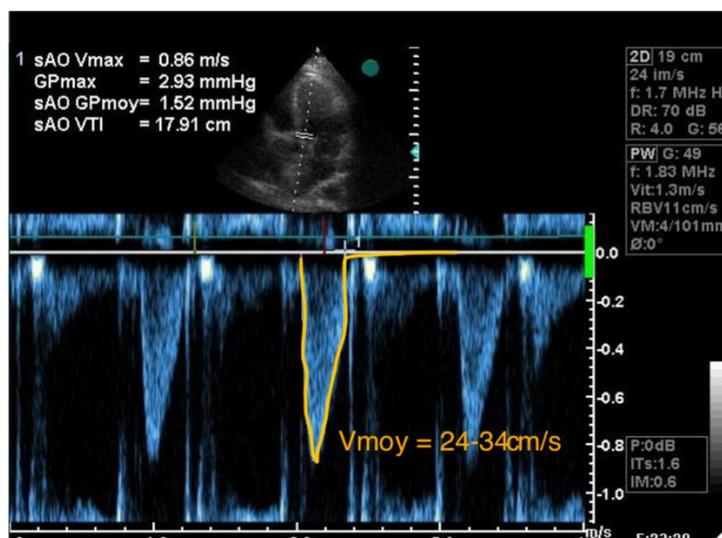


Figure 7 : Vitesse moyenne mesurée dans la chambre de chasse du ventricule gauche

## 2.4. Évaluation de la fonction ventriculaire droite et de la pression pulmonaire

L'évaluation de la fonction du ventricule droit (VD) est tout particulièrement intéressante en unité de réanimation pédiatrique. Les traitements mis en place, ventilation mécanique invasive ou remplissage vasculaire ont une répercussion importante sur le ventricule droit et les résistances vasculaires pulmonaires. Étant donné les interactions interventriculaires et cardiopulmonaires, une défaillance du ventricule droit peut amener à une défaillance ventriculaire gauche et inversement ainsi qu'une altération du débit cardiaque (27) (cf. Figure 8). Il est actuellement bien reconnu que les patients présentant une défaillance cardiaque droite ont une mortalité augmentée en réanimation pédiatrique (28).

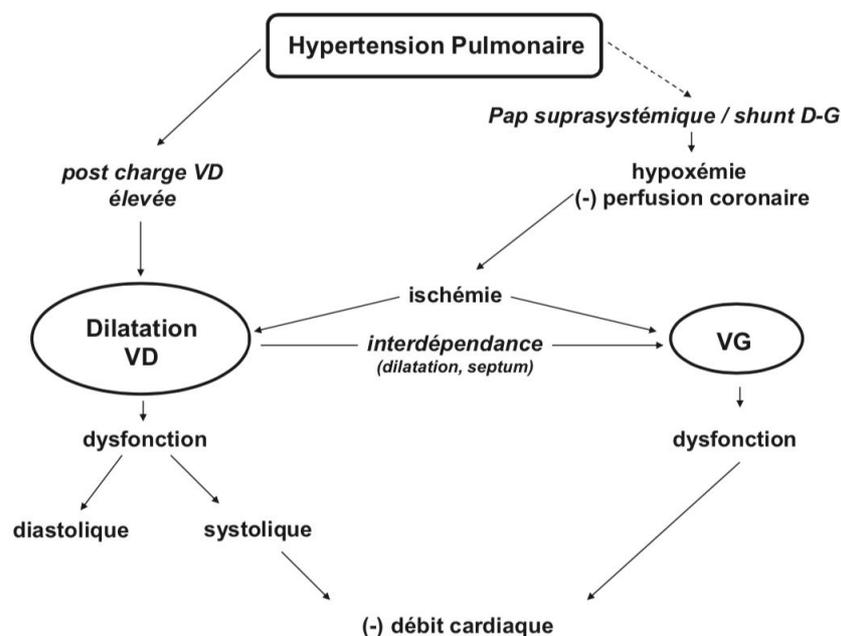
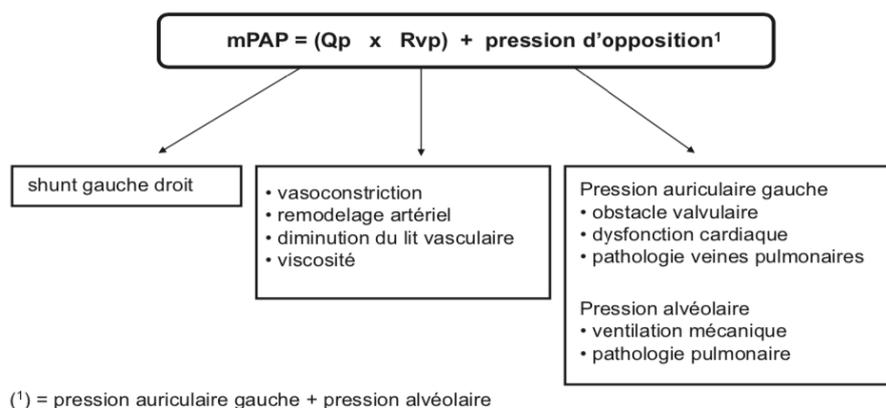


Figure 8 : Interactions cardiopulmonaires de l'hypertension pulmonaire.

Abréviations : VD : Ventricule droit ; VG : ventricule gauche ; PAP : pression artérielle pulmonaire.

L'étude des pressions pulmonaires et le dépistage d'hypertension artérielle pulmonaire (HTAP) est un autre point important lors de l'évaluation hémodynamique en réanimation pédiatrique. L'HTAP est définie par une pression artérielle moyenne supérieure à 25 mmHg

au repos ou 30 mmHg à l'effort (29). En réanimation pédiatrique, les causes d'HTAP les plus fréquentes sont les malformations cardiaques congénitales (opérée ou non), les pathologies respiratoires (aigües ou chroniques) et les insuffisances cardiaques gauches. Cependant chez le nouveau-né, en raison de la situation de transition à la naissance vu précédemment, l'HTAP est plus difficile à définir car les pressions artérielles pulmonaires (PAP) sont physiologiquement élevées à la naissance. Elles sont au niveau de la pression artérielle systémique les premiers jours de vie puis diminuent progressivement par maturation du lit vasculaire pulmonaire pendant les premières semaines jusqu'à atteindre les valeurs de l'enfant et de l'adulte dans les premiers mois de vie. Chez le nouveau-né, les étiologies les plus fréquentes de situations pathologiques d'HTAP sévère sont l'asphyxie périnatale, la détresse respiratoire aiguë sévère néonatale et l'hypoplasie pulmonaire. Ces situations pathologiques entraînent une hypoxémie ou une défaillance cardiaque. E. Dumas de la Roque et al. décrivent bien les facteurs influant sur la pression artérielle pulmonaire (cf. Figure 9) ainsi que l'interaction cardiopulmonaire de l'HTAP (cf. Figure 8) (30), tous ces éléments ayant un impact hémodynamique fort renforçant l'intérêt de leur étude par échographie.



*Figure 9 : Physiopathologie macro circulatoire. L'augmentation des pressions artérielles pulmonaires moyennes (mPAP) peut être secondaire à une augmentation : du débit sanguin pulmonaire (Qp) (shunts gauche-droit) ; des résistances artérielles pulmonaires (Rvp) (vasoconstriction, remodelage artériel, diminution du lit vasculaire, hyperviscosité sanguine) ; des composantes de la pression d'opposition : pression alvéolaire (ventilation mécanique, pathologie pulmonaire) ou pression auriculaire gauche (pathologie du cœur gauche, pathologie veineuse pulmonaire).*

#### 2.4.1. Estimation de la précharge du ventricule droit

L'estimation de la précharge du ventricule droit peut se résumer par l'estimation de la pression de l'oreillette droite. Nous avons vu que la pression de l'oreillette droite peut être calculée à partir de la taille maximale de la veine cave inférieure (voir ci-dessus).

#### 2.4.2. Estimation de la pression artérielle pulmonaire

La recherche d'hypertension pulmonaire étant une des priorités des cliniciens dans l'évaluation hémodynamique en réanimation pédiatrique, une évaluation visuelle est un bon moyen d'obtenir des informations immédiates.

La présence d'un canal artériel peut indiquer ainsi facilement si la pression pulmonaire est inférieure, égale ou supérieure à la pression systémique par l'étude du sens du flux Doppler couleur au travers du shunt. Un flux droit-gauche indique des pressions pulmonaires supérieures aux pressions systémiques, égales si le flux est bidirectionnel et inférieures si le flux est droit-gauche.

L'étude du septum interventriculaire (SIV) en coupe parasternale petit axe permet également de mettre en évidence des signes indirects d'hypertension pulmonaire. En cas d'augmentation des pressions pulmonaires et des pressions au sein du ventricule droit, le ventricule gauche, normalement de forme circulaire, se déforme par aplatissement du septum interventriculaire et prend alors une forme en D (15,31). Une dilatation du ventricule droit ainsi que du tronc de l'artère pulmonaire peut aussi être visualisé, mais tous les signes cités ci-dessus ne permettent pas d'évaluer l'importance d'une hypertension artérielle pulmonaire.

L'évaluation des pressions pulmonaires et donc de l'hypertension artérielle pulmonaire se base principalement sur l'estimation de la pression artérielle pulmonaire systolique (PAPs) et reste la méthode quantitative d'estimation choisie en réanimation pédiatrique (32). La valeur normale de PAPs est inférieure à 35 mmHg (32). En l'absence d'obstacle à l'éjection du ventricule droit, on considère que la pression systolique du ventricule droit (PVDs) est égale à la PAPs. En cas d'hypertension artérielle pulmonaire significative, une insuffisance tricuspide (IT) est généralement associée. L'étude échographique 2D en Doppler continu en

coupe apicale 4 cavités du jet de régurgitation de l'insuffisance tricuspide permet d'estimer la PVDs. En premier lieu, une vitesse maximale du flux d'IT ( $V_{\max IT}$ ) au Doppler continu supérieure à 2,5 m/s est en faveur d'une régurgitation importante et donc de pressions pulmonaires élevées (33).

Ensuite, la mesure de cette  $V_{\max IT}$  grâce au Doppler continu permet de calculer selon l'équation de Bernoulli ( $\Delta P = 4V^2$ ) le gradient de pression systolique entre le ventricule droit et l'oreillette droite. Ainsi, la PVDs est évaluée en ajoutant à ce gradient la valeur de la pression dans l'oreillette droite. Cette dernière peut être choisie de façon arbitraire chez le patient en ventilation spontanée (5 à 10 mmHg). Pour les autres situations, la valeur de la pression au sein de l'oreillette droite peut être estimée à partir de l'étude de la veine cave inférieure (voir ci-dessus).

On obtient la relation suivante :

$$PVDs = PAPs = 4 (V_{\max IT})^2 + POD < 35 \text{ mmHg (34)}$$

Cette mesure en Doppler continu nécessite un bon alignement pour obtenir une enveloppe de régurgitation complète et ainsi ne pas la sous-estimer (15), il est alors conseillé de rechercher le meilleur angle dans plusieurs coupes (apicale 4 cavités ou parasternale) jusqu'à obtenir le pic de vitesse maximum de l'insuffisance tricuspide (cf. figure 10). Cependant, l'étude de la PAPs à partir de la  $V_{\max IT}$  perd sa fiabilité en cas d'insuffisance tricuspide dite laminaire (volumineuse mais de faible vitesse en Doppler continu) dû à une dilatation importante de l'anneau tricuspide.

L'étude du flux systolique dans l'artère pulmonaire renseigne également sur les pressions pulmonaires. La présence d'une « onde dicrote » en échographie 2D coupe parasternale petit axe trans-aortique en mode Doppler Pulsé est un argument en faveur d'une hypertension pulmonaire. Mais cette estimation est de faible sensibilité et spécificité.

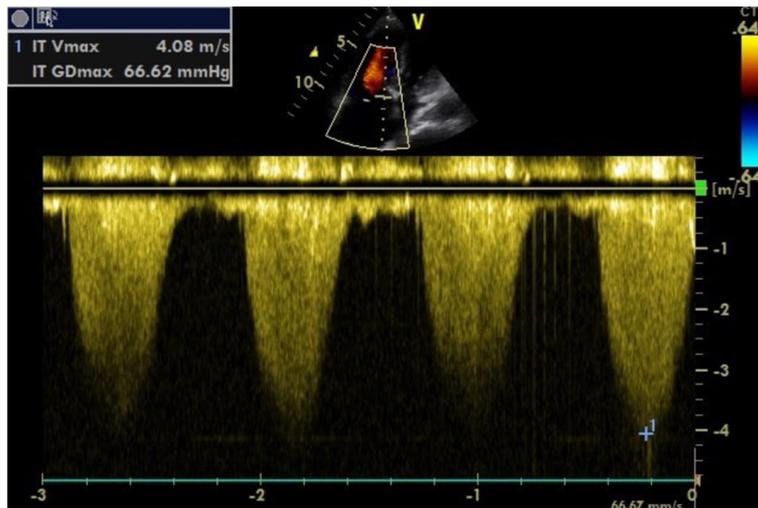


Figure 10 : Échographie 2D Doppler continu en coupe apicale 4 cavités du flux d'insuffisance tricuspide mettant en évidence le gradient de pression entre ventricule droit et oreillette droite

L'étude de la pente d'accélération de l'artère pulmonaire (Pulmonary Artery Acceleration Time ou PAAT) et du Temps d'Éjection du ventricule droit (Right Ventricular Ejection Time ou RVET) permet une étude plus fine (cf. Figure x). Cette mesure est réalisée en échographie 2D en coupe parasternale petit axe transaortique, en mode Doppler Pulsé au sein de l'artère pulmonaire. Ainsi un PAAT < 90 ms chez les nouveaux nés et < 110 ms chez l'enfant ou un rapport PAAT/RVET < 0,31 est en faveur d'une hypertension pulmonaire (35,36) (cf. Figure 11).

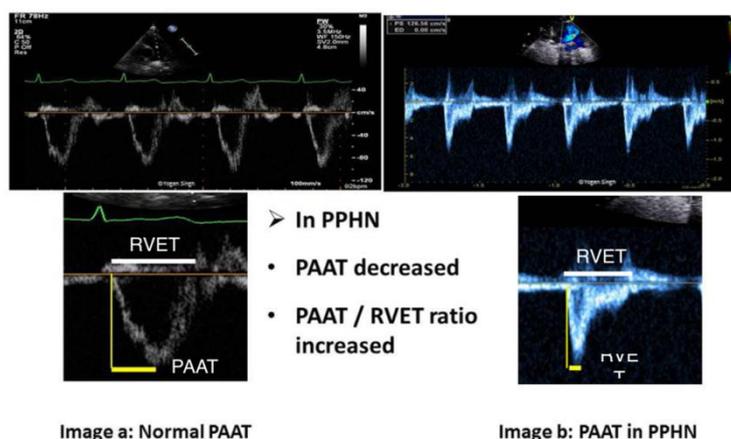


Figure 11 : L'image a montre un PAAT et rapport PAAT/RVET normal chez un enfant sain. En cas d'hypertension pulmonaire le PAAT est réduit et le rapport PAAT/RVET également.

### 2.4.3. Estimation de la fonction systolique du ventricule droit

La fonction systolique du ventricule droit est estimée par le Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion (TAPSE) qui représente le déplacement de l'anneau de la valve tricuspide vers l'apex du ventricule droit (15). Cet indice est bien corrélé à la fraction d'éjection du ventricule droit (37). La mesure s'effectue en échographie 2D en coupe apicale 4 cavité en mode TM, le curseur placé à la partie latérale de l'anneau tricuspide enregistrant son mouvement en systole (cf. figure 12). Les valeurs chez l'enfant sont variables et l'on retient les valeurs normales suivantes (38): TAPSE > 0,5 cm (nourrissons de < 10 kg), > 1 cm (nourrissons de > 10 kg) et > 1,5 cm (pour les enfants et adolescent de > 15 kg). Le TAPSE est un indice reproductible, facile à réaliser et non dépendant des modifications géométrique du VD (38,39).

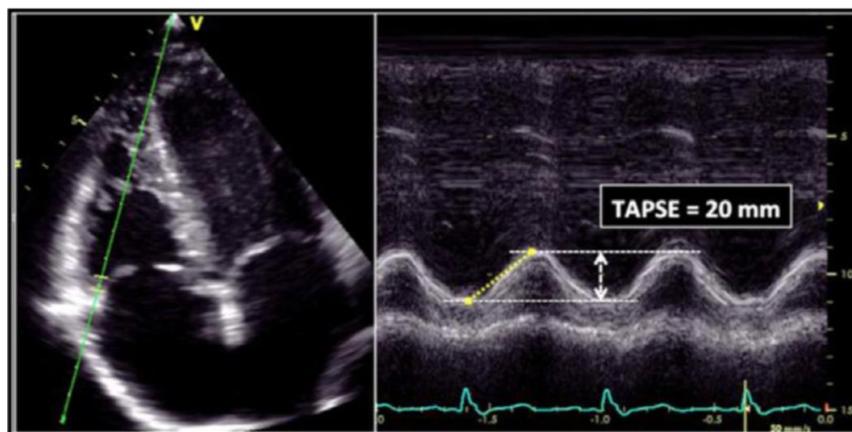


Figure 12 : Mesure du TAPSE en coupe apicale 4 cavités en Mode TM.

Le DTI est un outil supplémentaire pour l'analyse de la fonction ventriculaire systolique du ventricule droit. A la manière du DTI à l'anneau mitral évoqué précédemment, l'analyse DTI de la paroi myocardique du ventricule droit à la partie latérale ou médiale de l'anneau tricuspide permet de mettre en évidence trois ondes dont une onde systolique s'(15) (cf. figure 13). L'analyse de l'onde systolique S' à l'anneau tricuspide en DTI met en évidence une dysfonction systolique ventriculaire droite est alors mise en évidence quand la vitesse de l'onde S' < 10 cm/s (40).

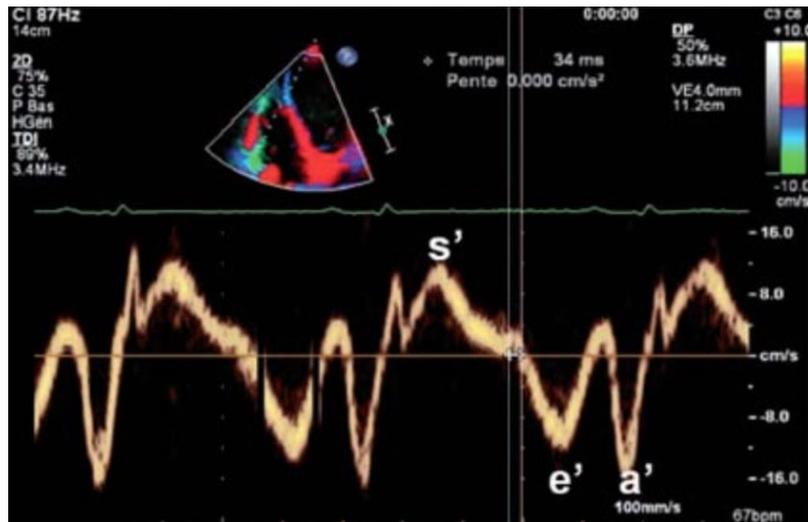


Figure 13 : DTI à la partie latérale de l'anneau Tricuspidien mettant en évidence l'onde systolique  $s'$ .

## 2.5. Évaluation de la réponse à l'expansion volémique

Si l'évaluation de la volémie par l'étude principalement de la veine cave inférieure permet de détecter les patients hypovolémiques, prédire leur comportement et leur réponse après une expansion volémique reste délicat. L'objectif d'un remplissage vasculaire est d'augmenter significativement le débit cardiaque.

Nous avons vu précédemment que le débit cardiaque est le produit de la fréquence cardiaque par le volume d'éjection systolique :  $DC = FC \times VES$ . Ce dernier peut aussi se définir par le produit du volume d'éjection systolique du ventricule gauche par la fraction d'éjection du ventricule gauche :  $VES = VTDVG \times FEVG$ . C'est toute la relation qui est définie par la loi de Frank-Starling (cf. Figure 14). Avec une précharge basse, il existe une augmentation significative du volume d'éjection systolique après expansion volémique quelle que soit la contractilité myocardique, avec une précharge intermédiaire l'augmentation du volume d'éjection systolique est optimale en cas de bonne contractilité (courbe en trait plein). Enfin, avec une précharge élevée, il n'existe plus de bénéfice à l'expansion volémique sur le volume d'éjection systolique et donc le débit cardiaque quelle que soit la contractilité.

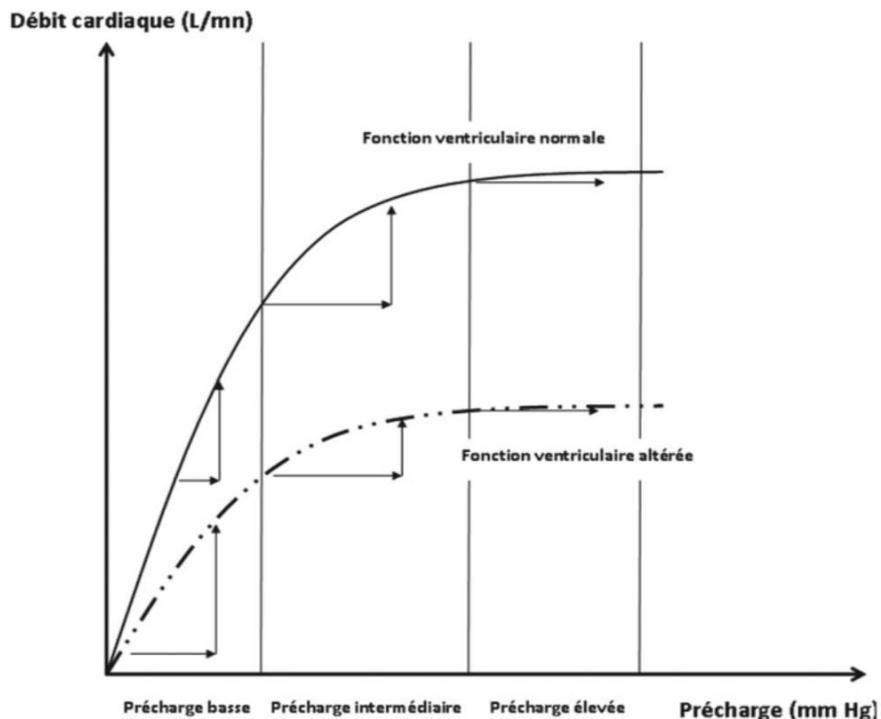


Figure 14 : Loi de Franck-Starling. Relation entre débit cardiaque et précharge.

Toute hypovolémie ou précharge basse (voir intermédiaire) ne permet pas d'obtenir après expansion volémique une augmentation significative du débit cardiaque, surtout en cas d'altération de la fonction ventriculaire. Il est donc important, et encore plus chez l'enfant, d'identifier les patients à priori répondeurs pour éviter les expansions volémiques indues. Selon les études, une augmentation significative du débit cardiaque est définie comme une augmentation de ce dernier de plus de 10 à 15% (41–43).

La mesure de la variation de la pression artérielle sanglante en fonction de la ventilation à l'aide d'un cathéter artériel est actuellement bien reconnue comme un bon indicateur de la sensibilité à l'expansion volémique chez les patients adultes en réanimation quand elle est supérieure à 13% (44). Il n'existe pas d'étude validée semblable en pédiatrie pour confirmer l'intérêt de cet indice. Cependant, l'étude échographique de la variation au cours du cycle respiratoire de la valeur du pic maximal de vélocité aortique se rapproche d'une telle évaluation.

Plusieurs indices échographiques sont utilisés chez l'enfant pour tenter de prédire une bonne réponse à une expansion volémique. Nous avons vu dans la première partie de cette méthodologie, les index de collapsibilité et de distensibilité de la veine cave inférieure, avec des chiffres « cut-off » de respectivement 18% et 55%, ces deux indices permettent, en plus de détecter les patients hypovolémiques, de prédire avec une bonne sensibilité et spécificité une réponse satisfaisante à l'expansion volémique.

Chez l'enfant en ventilation mécanique, la variation respiratoire du pic de vitesse maximale du flux sous aortique est également associé à une bonne prédiction à la réponse au remplissage, une variation de plus de 12% de la vitesse maximale est associée à une hypovolémie et prédictive d'une bonne réponse au remplissage vasculaire (45,46). La mesure est réalisée en échographie 2D en coupe apicale 5 cavité en mode Doppler pulsé dans la chambre de chasse aortique en même temps que les mesures effectuées pour l'estimation du débit cardiaque (cf. figure 15).

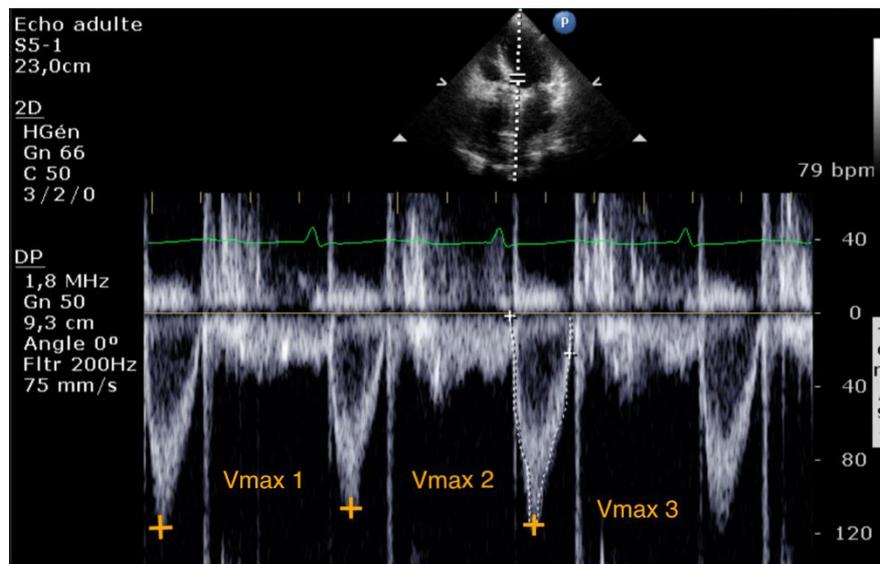


Figure 15 : Mesure de la vitesse maximale sous aortique en coupe apicale 5 cavités en mode Doppler pulsé

### 3. JUSTIFICATION DE L'ETUDE

L'évaluation hémodynamique étant au centre des préoccupations des réanimateurs pédiatriques, une évaluation optimale est nécessaire pour obtenir une pleine compréhension des mécanismes physiopathologiques impliqués dans la dégradation clinique des patients. Les paramètres cliniques simples comme la fréquence cardiaque, la pression artérielle (invasive ou non), la diurèse ou encore paracliniques comme la SvO<sub>2</sub> ou le taux de lactate ne sont qu'un reflet des phénomènes mis en jeu et ne suffisent pas à guider pleinement la prise en charge. La volonté de limiter le caractère invasif de la prise en charge, surtout en pédiatrie, a conduit naturellement l'échocardiographie à devenir un outil indispensable pour l'évaluation hémodynamique au lit du patient.

Cependant, les particularités pédiatriques évoquées précédemment font que l'échographie chez l'enfant est souvent plus complexe. Les réanimateurs pédiatriques, bien que formés à l'échographie, peuvent rencontrer des difficultés lors de la réalisation et surtout lors de l'interprétation de cette dernière, rendant les informations obtenues moins pertinentes. De plus, notre CHU ne disposant pas d'un plateau technique de chirurgie cardiaque infantile, notre service de réanimation pédiatrique spécialisée ne dispose alors pas de la même expertise dans l'évaluation hémodynamique.

La littérature est importante concernant l'évaluation hémodynamique échocardiographique en réanimation adulte et les études nombreuses concernant la bonne concordance entre les résultats échographiques d'un réanimateur et d'un cardiologue expérimenté dans l'évaluation hémodynamique après une formation adéquate. Cependant, il existe moins de littérature à ce sujet dans le domaine pédiatrique. Pourtant, l'intérêt de protocoles structurés et adaptés aux spécificités pédiatriques est réel pour aider le clinicien dans sa pratique quotidienne. Fort de ce constat, nous avons alors décidé après revue de la littérature pédiatrique d'établir notre propre protocole d'évaluation hémodynamique en collaboration avec l'équipe de cardiopédiatrie. L'accent fut mis sur l'étude d'un nombre limité de paramètres qui ont été jugés les plus pertinents dans la pratique courante en réanimation.

La seconde partie de notre travail fut la mise en place de sessions de formation théorique et d'entraînement au sein du service de réanimation pédiatrique afin de présenter aux différents praticiens les paramètres à enregistrer ainsi que la méthodologie pour y parvenir.

Notre étude a ainsi pour objectif de tester la mise en place pratique de ce protocole. L'intérêt est de relever les difficultés rencontrées lors de l'application de ce dernier afin de pouvoir l'améliorer et l'optimiser.

Les différents médecins du service ont alors été motivés à recueillir de façon exhaustive les paramètres enregistrés ou non en relevant ceux recueillis complètement sans difficultés, ceux partiellement avec difficulté ou ceux non enregistrés. Il leur a été demandé par la suite si l'échographie réalisée a eu un impact thérapeutique sur la prise en charge et lequel. L'analyse de ces données fait l'objet de l'article présenté dans ce travail

## 4. ARTICLE

# DIFFICULTIES AND PITFALLS OF ECHOCARDIOGRAPHY IN PICU SETTING. INTEREST OF A STRUCTURED PROTOCOL.

N. Giroux<sup>1,2</sup>, A. Wiedemann<sup>1,3</sup>, F. Girard<sup>1</sup>, N. Boussard<sup>1</sup>, G. Bosser<sup>1,2</sup>.

1. Pediatric Intensive Care Unit, Children's Hospital, University Regional Hospital Center of Nancy, Vandoeuvre-les-Nancy, France.

2. Pediatric Cardiology Department, Children's Hospital, M3C Regional Reference CHD Centre, University Regional Hospital Center of Nancy, Vandoeuvre-les-Nancy, France.

3. INSERM UMRS 1256 NGERE, Nutrition, Genetics, and Environmental Risk Exposure, National Center of Inborn Errors of Metabolism, Faculty of Medicine of Nancy, University of Lorraine and University Regional Hospital Center of Nancy, Vandoeuvre-les-Nancy, France.

### Corresponding author:

Nathan GIROUX

Pediatric Intensive Care

Children's Hospital

University Regional Hospital Center of Nancy

Rue du Morvan

54500 Vandoeuvre les Nancy

France

E-mail : nathan.giroux@gmail.com

## Abstract

**Introduction:** Although echocardiography is commonly performed in pediatric intensive care unit (PICU) in children with hemodynamic impairment, its achievement and interpretation are more complex in a pediatric population and a basic evaluation by intensivist must often be completed by a rigorous and structured hemodynamic protocol in collaboration with pediatric cardiologist. **Method:** After establishing a standardized protocol studying volemia, left and right ventricular function, cardiac output, pulmonary pressure and fluid responsiveness, we started training sessions and conducted a prospective pilot study in our PICU for four months to evaluate the relevance of our protocol. All patients under 18 years old were included (patients with congenital or acquired cardiopathy were excluded). We recorded the performed, failed and not performed items in our protocol and the therapeutic impact of this structured echography. **Results:** Thirty echographies were recorded in thirty patients (mean age was  $6,0 \pm 6,0$  years (0,1-16), primary diagnosis was mostly medical (67%) in male for most patients (57%)). Cardiac output was the first category studied (97%) with low failure rate (3%), followed by left ventricular function (ejection fraction (90%)) with a failure rate of 10%. Volemia and estimation of fluid responsiveness are the third category examined (66%). Difficulties were encountered in estimation of pulmonary pressure or mitral Doppler pattern, not performed in respectively 30% and 60% of echographies. After performing structured echography, 20 patients (67%) benefited from therapeutic adjustment (inotrope, vasopressor or analgesic treatment). These adjustments were associated with the completeness of echography ( $p=0,03$ ). **Conclusion:** Despite the actual key role of echography in hemodynamic assessment in PICU, performing a good quality echography by non-experimented sonographer is quite difficult. Establishing training session based on a structured protocol in close cooperation with cardiologists is necessary to obtain data having an impact on hemodynamic impairment treatment.

**Key words:** pediatric intensive care, hemodynamic impairment, echocardiography

## Introduction

Hemodynamic impairment and altered cardiac performance are a common situations in critically ill children (1) and it's one of the leading causes of admission in pediatric intensive care unit (PICU). These impairments can be related to a real heart failure or other critical condition such as septic shock or mechanical ventilation with high pressures. The initial clinical assessment of hemodynamic is based on heart rate, blood pressure, urine output, blood lactate level and central venous O<sub>2</sub> saturation. These markers are only a reflection of a mismatch between tissue oxygenation and perfusion and help to guide initial treatment such as fluid therapy. However, the evaluation of these parameters cannot achieve a complete understanding of the pathophysiology and mechanisms of hemodynamic impairment.

In the last few decades, the development of echocardiography in noninvasive hemodynamic assessment suggests its important role as a tool to understand the mechanisms of hemodynamic failure. The bedside availability and speed of data capture allows a monitoring to guide treatment in real time and the benefits of a systematic routine echocardiography are now established in PICU (47). Number of studies and training programs (48) demonstrated that pediatricians specialized in PICU are able to perform basic echocardiographies with good concordance when compared to experienced echocardiographers (49,50). A basic hemodynamic assessment often consists on examining inferior vena cava size and variability, assessment of right and left systolic function and cardiac output (6), but provide only partial information and must be completed by a structured echography study which is a key element to understand the mechanism of a clinical instability from cardiac origin.

Despite the important number of articles on the subject, there isn't, at our knowledge, a structured, easy-to-use, adapted to pediatric characteristic, protocol of echocardiography for comprehensive hemodynamic assessment. We decided to establish a structured protocol with our pediatric cardiologist team that can be used as routine echography in our PICU to help intensivists. The first step of our work was to evaluate the feasibility of our protocol.

The purpose of this pilot study was to evaluate the difficulties to realize a structured echography by a team of pediatric intensivists in a non-cardiologic surgical center and the clinical impact on treatment of an echocardiography using this standardized protocol.

## Materials and Methods

A group composed of cardiologists and intensivists, worked on the different items to incorporate in a structured echography protocol. Special consideration was given to the complexity of achievement, ease of interpretation and clinical value of each parameters. Every clinician was trained to basic ultrasound assessment (transcranial doppler, cardiac and lung echography). Five categories of data were selected: assessment of left and right ventricular function, pulmonary pressure, cardiac output and volume status.

We built an easy to use standardized protocol based on these five categories adapted to our paediatric population (Figure 1). After training sessions to explain the different items, how to acquire them and their usefulness in clinical practice, each intensivist resident was encouraged to use the protocol in his/her daily practice.

To evaluate the relevance of our protocol we conducted a single center prospective pilot study during a first period of four months in an 18-bed combined medical-surgical (non-cardiac) PICU at a tertiary care children's hospital. Any patient admitted to the unit undergoing clinically indicated echocardiography for a suspicion of hemodynamic impairment and age less than 18 years old was eligible for inclusion. Patients with congenital or acquired cardiopathy were excluded. We recorded the following data: patient weight, height, date of birth, age at the time of study and primary diagnosis divided into medical or post-operative.

### **Assessment of volume status**

Blood volume status was estimated with inferior vena cava (IVC) dimension in subcostal view ( $IVC_{max} > 12,9 \text{ mm/m}^2$  predicts mean right atrial pressure (RAP)  $> 10 \text{ mmHg}$  (51)). Visual dimension can provide a primary estimation of volemia, in case of virtual IVC for example.

### **Assessment of left ventricular (LV) function**

The evaluation of systolic function is based on fractional shortening (FS normal values 28-45%(17)) and left ventricular ejection fraction (LVEF normal values 54-71% (52)) calculated by Teichholz method in parasternal long or short axis (15). Mitral inflow pattern was

obtained by pulse wave (PW) Doppler at the tips of the valve leaflets recording the velocity of E and A wave and the deceleration time of E wave (DTE) and by Tissue Doppler Imaging (TDI) recording velocity of E' wave at lateral mitral wall. An E/A ratio > 2 and DTE < 160ms indicate a severe diastolic function and an E/E' ratio > 10 indicate high LV filling pressure (20).

### **Assessment of cardiac output (CO) and cardiac index (CI)**

The assessment of CO can be obtained by measuring cross-sectional area (CSA) of left outflow tract at aortic annulus, the velocity time integral (VTI) at aortic annulus by pulsed wave Doppler. The CO is calculated as following equation:  $CO = VTI \times CSA \times \text{Heart Rate}$ . CI can be derived by dividing CO by body surface area (53) (normal values 3,4-6,4 L/min/m<sup>2</sup> (54)). Alternative method used to estimate CI was measurement of the mean aortic flow velocity (MAFV normal values 24-34cm/s(25)), calculated by PW Doppler in ascending aorta by averaging the area under the spectral display of the three consecutive waveforms using the outer edge of the velocity display as the defining border. MAFV is based on the relationship between aortic size and body surface area(26).

### **Assessment of right ventricular (RV) function**

RV systolic function was assessed with Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion (TAPSE) measured by M-mode at lateral tricuspid annulus in a four-chamber view (Normal values: > 0,5 cm for newborn (< 10kg), > 1 cm for children (>10kg) and > 1,5 cm for infant > 15 kg) and TDI PW at the basal tricuspid lateral wall measuring the systolic S' wave (> 10 cm/s (40)).

### **Assessment of pulmonary pressure (PP)**

PP was estimated by the calculation of systolic pulmonary artery pressure (SPAP < 35 mmHg) evaluated from a peak tricuspid regurgitation (TR) velocity by continuous wave Doppler. Right ventricular systolic pressure (RVSP) equals SPAP in absence of outflow tract obstruction (excluded in our study),  $SPAP = 4(TR_{max})^2 + \text{mean RAP}$  (see above)(32).

## **Assessment of fluid responsiveness (FR)**

The study of IVC from subcostal view allows to record maximum and minimum diameter and calculate IVC Distensibility Index (IVCDI) =  $(D_{\max} - D_{\min}) / D_{\min}$  which is predictive of good FR if > 18% in ventilated patients (12). The aortic VTI variation during inspiration and expiration under mechanical or spontaneous ventilation can also estimate FR with good concordance if > 12 % (45,55).

## **Protocol analysis**

In order to analyse difficulties encountered, intensivists classified each measurement of the protocol in three categories: performed, failed and not performed. The impact of a structured echography on treatment such as fluid therapy, inotrope or vasopressor adjustment or initiation of other therapeutic (diuretic, analgesic...) were also registered and we compared these therapeutic modifications with the quality of echography. We consider an echography as complete if at least one item per categories (volemia, LV function, RV function, CI, PP and FR) was achieved.

## **Statistical Analysis**

Continuous variables are expressed by mean  $\pm$  SD (minimum-maximum) and categorical data as percent. Pearson's Chi-squared test with Yates' continuity correction was used for comparison of discrete variables and calculated with Statistica (version 10, © StatSoft, Inc., Palo Alto).

## **Ultrasound system**

Echography parameters were recorded with a Philips CX50 POC (© Koninklijke Philips N.V., Amsterdam) with cardiac transducers.

## Results

### **Subject characteristics**

Thirty echographies were performed in 30 patients. The characteristics are summarized in Table 1. The mean age was  $6,0 \pm 6,0$  years and over 60 % of echography were performed in patients with medical condition as primary diagnosis, mostly male.

### **Recorded items**

The details of the completed items are summarized in Table 2. The first category studied is the cardiac index (97%), two thirds of cases by mean aortic velocity and one third by standard assessment using CSA, HR and aortic VTI. The second most studied category was the assessment of left ventricular function with LVEF (90%), FS (77%) and left ventricular (LV) filling (37%). Regarding the other items, the evaluation of right systolic function was done using TAPSE (60%) and TDI S' wave (13%) and estimation of RV preload using estimated mean RAP based on IVC maximum diameter (66%).

Each clinician was interrogated about the reasons for not performing some items and the main causes mentioned were the lack of clinical relevance or the time required.

### **Concordance between therapeutic impact and completeness of echography**

During the period of our study, intensivists achieved 30 echocardiographies, with 16 considered as complete (defined by at least one item performed in each category) and 14 considered as partial.

After echography evaluation, 20 patients (67%) benefited of therapeutic modification, 11 patients (37%) received fluid therapy, 9 patients (30%) benefited from other treatments like inotrope (1 patient), vasopressor (5 patients) or analgesic treatment (3 patients). In these 20 patients, 14 had a complete echography and 6 had a partial echography with a significant association ( $p=0,03$ ) between achieving a complete echography and therapeutic modification.

## Discussion

The main result of our pilot study is that performing echocardiography in a pediatric intensive care unit by intensivists proves to be quite difficult. The different categories of our hemodynamic assessment protocol are more or less complex to achieve with a high failure rate for some of them and even no achievement at all for others. Despite this, when echography is performed with a full, rigorous study of all categories of our protocol, the impact for patients in context of hemodynamic instability is strong with a significative higher rate of therapeutic modifications.

The detailed analysis of items performed revealed that cardiac index is almost always achieved with not many difficulties encountered (3% failed). The other two main categories studied were left ventricular systolic function and the assessment of volemia, probably because it's the first three questions for an intensivist with a patient in a clinical situation of hemodynamic impairment that can guide initial treatment between fluid therapy, inotrope, and vasopressor drug. Echocardiography examinations performed in pediatric emergency unit or PICU by non-cardiologists are usually devoted to answering very specific clinical questions posed in response to a particular differential diagnosis using the minimum and most efficient views, techniques and time (6). Other items of our protocol have a much higher failure rate, up to 20% for pulmonary pressure. Indeed, the recording of this item was more difficult because tricuspid peak velocity recording is widely depending on alignment. Finally, the number of failed items in other categories is quite low in our pilot study, under 14%, and if we consider the very bad conditions of recording in intensive care, this rate is relatively acceptable. However, the main point to improve in future training sessions or versions of our protocol is the rate of not performed items. This rate can go up to 60% for mitral Doppler pattern, and even 77% for assessment of right ventricular systolic function with TDI and S' wave. The main reasons to not perform certain measurements cited by clinicians were the lack of relevance of these parameters and the time required to obtain good results too important in PICU setting.

The second interesting point of our preliminary result is the strong therapeutic impact of performing an echography in a clinical evocative context of hemodynamic impairment. In our study, more than two in three patients benefited from a modification of treatment, one third with fluid therapy and one third with other treatments including inotrope, vasopressor and analgesic adjustment and leads to an excellent efficiency of ultrasound. If the echography was performed with good quality with a study of each category, the therapeutic impact was better in a significant manner ( $p=0,03$ ). One-third of patients with no treatment adjustments is also an interesting result. It is not usual for all pediatric intensivists to perform a hemodynamic evaluation of every new admission in the unit or before every fluid therapy if clinical arguments are sufficient, even more in a pediatric unit with patient without cardiologic history. Many clinical criteria such as tachycardia, hypotension, oliguria or anamnesis like postoperative setting can motivate fluid therapy. A systematic echography evaluation may contribute to understand the mechanism of clinical change and avoid some improper therapeutic such as overaggressive fluid therapy leading to volume overload.

Our sample is representative of our recruitment with 66% of patient with medical condition and 33% with surgical (post-operative) condition.

These results should be tempered because ultrasound is more difficult to perform in intensive care unit. Conditions of achievement can be influenced by many factors resulting to poor quality and lower impact of the investigation. First, installation such as a supine position or missing space around patient are real obstacles. Second, the patient condition influences directly the echography quality like high-pressure mechanical ventilation, bandage or other physical congenital or acquired malformation. The frequent emergency context in intensive care does not always allow a complete study of parameters and echography is used to answer a very specific question, not only hemodynamic, in a global clinical failure situation, for example in polytrauma (56). In contrast to adult patients, the main difficulty for clinicians in pediatric echography is the large variability of age-related parameters which complicates the interpretation of results. The use of Z score for the different measurements is necessary but complicated to use in current bed-side practice in intensive care. Yet, easy-to-use mobile apps or websites exist and must allow a better use of these scores. With this in mind, we suggest an alternative for example to estimated cardiac

index with mean aortic velocity which present a constant value between one month and fifteen years (25) rather than the standard doppler cardiac index measurement. Some parameters are also more difficult to record, such as E and A waves in young children with tachycardia resulting in a near-fusion of the two waves.

The lack of automation and the time required to make some calculations (E/A and E/E' ratio, cardiac index) remains an obstacle for some. Our protocol was tested with a polyvalent echographer without advanced cardiac preset. One of the areas of improvement would be to automate most calculations to optimize the time spent and get more information.

Our study has several limitations. Hemodynamic impairment is less common in PICU than in adult ICU and the recruitment of our unit (without cardiac surgery) further limits hemodynamic instability. Our unit has a limited number of intensivists and because of this, ultrasounds were done by only four clinicians which limits the diversity of results. Even if the initial goal of our study was to test our protocol in real conditions in a short time to update it, the number of echographies recorded (n=30) is quite low. However, to improve quickly our protocol, we established a short period test of four months which led to a low recruitment. The small number of data is also explained by the fact that many patients with hemodynamic impairment in a context of emergency had an echography that could not be transcribed in real-time in our protocol chart.

Other fields are being considered for a future version such as in-depth study of ductus arteriosus or pulmonary artery acceleration time (PAAT) and right ventricular ejection time (RVET) with PAAT/RVET ratio (35).

These results allow us to develop a new protocol that will be the subject of a future and more detailed study. The training sessions must be maintained in collaboration with skilled cardiac sonographers and feedback from experienced echographer to improved accuracy of interpretation.

## Conclusion

Our work highlights the primary role of ultrasound in non-invasive hemodynamic evaluation in pediatric intensive care unit to understand the mechanism of clinical impairment. Echocardiography should be based on a structured, standardized, adapted to pediatric specific aspects protocol to guide treatment with good efficiency. Despite the limitations of our study and the available literature on good concordance between non-specialists and experienced echocardiographer, performing a good quality echography is quite difficult for intensivists and a strict and continuous training program in collaboration with pediatric cardiologist team is essential.

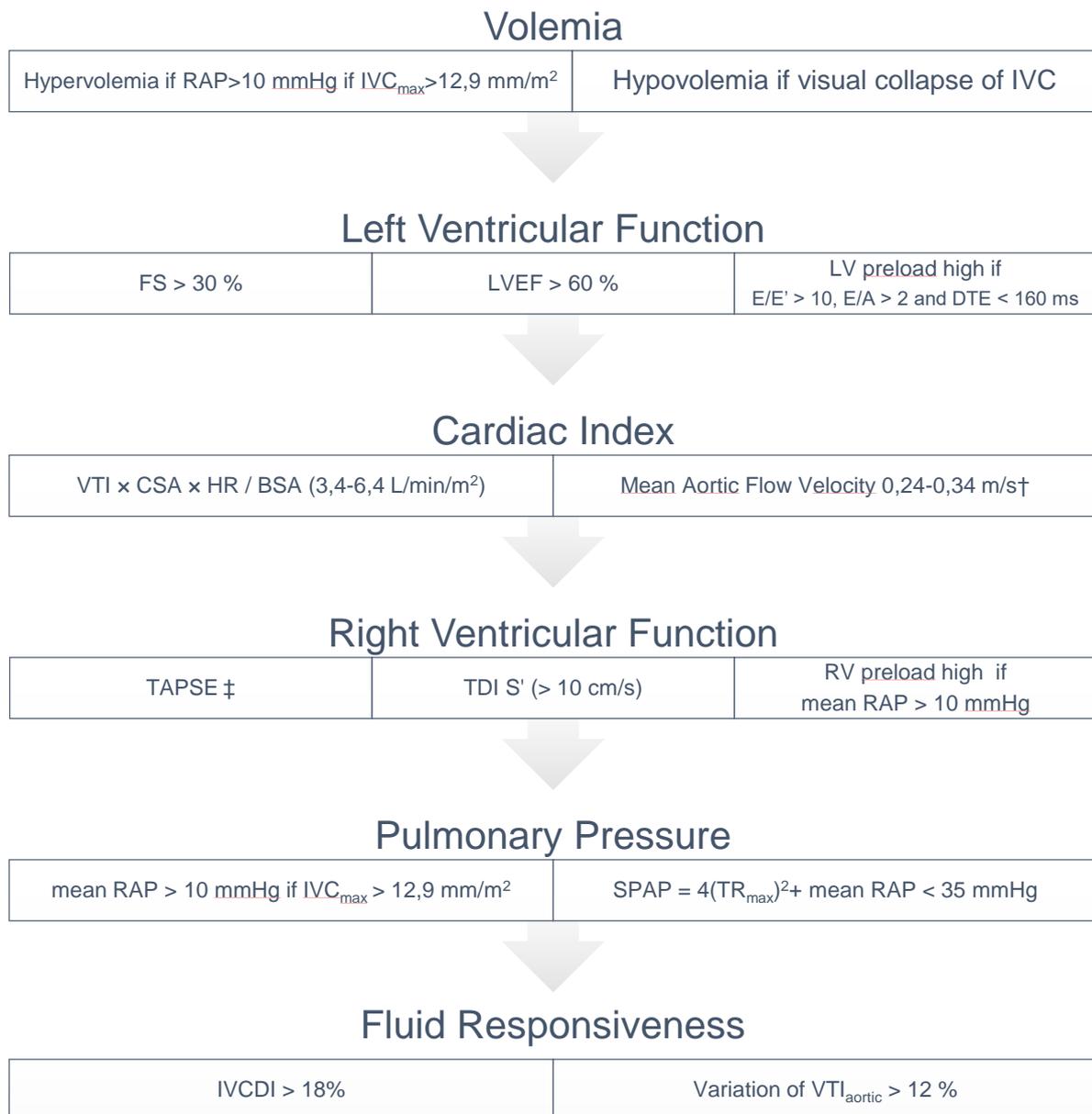
**Table 1 : Patients data (n=30)**

Age (years)	6,0 ± 6,0 (0,1-16)
Male	57 %
Weight (kg)	20,8 ± 15,6 (2,7-60)
Medical diagnosis	67 %

**Table 2: Analyze of item performed, failed and not performed by category**

	Performed	Failed	Not Performed
<b>Volemia</b>	66%	14%	20%
<b>Left Systolic Function</b>			
- FS	77%	10%	23%
- LVEF	90%	10%	0%
- Mitral Doppler Pattern	37%	3%	60%
<b>Cardiac Index</b>	97%	3%	0%
- Mean Aortic Velocity	67%		
- $CI = VTI \times CSA \times HR / BSA$	33%		
<b>Right Systolic Function</b>			
- TAPSE	60 %	13 %	27 %
- Tricuspid S' Wave	13 %	10 %	77 %
- RV preload using mean RAP	66%	14%	20%
<b>Pulmonary Pressure</b>	50%	20%	30%
<b>Fluid Responsiveness</b>			
- IVCDI	66%	14%	20%
- Variation of Aortic VTI	40%	4%	46%

BSA = Body Surface Area; CSA = Cross Section Area; FS = Fractional Shortening; HR = Heart Rate; IVCDI = Inferior Vena Cava Distensibility Index; LVEF = Left Ventricular Ejection Fraction; RV = Right Ventricular; TAPSE = Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion; VTI = Velocity Time Integral;



**Figure 1: Hemodynamic assessment protocol used during our study**

BSA = Body Surface Area; CSA = Cross Section Area; FS = Fractional Shortening; HR = Heart Rate; IVC = Inferior Vena Cava; IVCDI = Inferior Vena Cava Distensibility Index; LV = Left Ventricular; LVEF = Left Ventricular Ejection Fraction; RAP = Right Atrial Pressure; RV = Right Ventricular; SPAP = Systolic Pulmonary Artery Pressure; TAPSE = Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion; TR = Tricuspid Regurgitation; VTI = Velocity Time Integral;

† for children between 1 month and 15 years old

‡ TAPSE > 0,5cm (3-10kg); > 1cm (10-15kg); > 1,5 cm (> 15 kg)

## Bibliography

1. Crow SS, Undavalli C, Warner DO, Katusic SK, Kandel P, Murphy SL, et al. Epidemiology of pediatric critical illness in a population-based birth cohort in Olmsted County, MN. *Pediatr Crit Care Med J Soc Crit Care Med World Fed Pediatr Intensive Crit Care Soc.* mars 2017;18(3):e137-45.
2. Kutty S, Attebery JE, Yeager EM, Natarajan S, Li L, Peng Q, et al. Transthoracic echocardiography in pediatric intensive care: impact on medical and surgical management. *Pediatr Crit Care Med J Soc Crit Care Med World Fed Pediatr Intensive Crit Care Soc.* mai 2014;15(4):329-35.
3. Conlon TW, Ishizuka M, Himebauch AS, Cohen MS, Berg RA, Nishisaki A. Hemodynamic Bedside Ultrasound Image Quality and Interpretation After Implementation of a Training Curriculum for Pediatric Critical Care Medicine Providers\*. *Pediatr Crit Care Med.* juill 2016;17(7):598.
4. Vignon P, Mücke F, Bellec F, Marin B, Croce J, Brouqui T, et al. Basic critical care echocardiography: Validation of a curriculum dedicated to noncardiologist residents\*. *Crit Care Med.* avr 2011;39(4):636-42.
5. DeCara JM, Lang RM, Koch R, Bala R, Penzotti J, Spencer KT. The Use of Small Personal Ultrasound Devices by Internists Without Formal Training in Echocardiography. *Eur J Echocardiogr.* 1 juin 2003;4(2):141-7.
6. Vieillard-Baron A, Millington SJ, Sanfilippo F, Chew M, Diaz-Gomez J, McLean A, et al. A decade of progress in critical care echocardiography: a narrative review. *Intensive Care Med.* juin 2019;45(6):770-88.
7. Arya B, Kerstein D, Leu C-S, Hayes D, Zuckerman WA, Krishnan U, et al. Echocardiographic Assessment of Right Atrial Pressure in a Pediatric and Young Adult Population. *Pediatr Cardiol.* mars 2016;37(3):558-67.
8. Rowland DG, Gutgesell HP. Noninvasive assessment of myocardial contractility, preload, and afterload in healthy newborn infants. *Am J Cardiol.* 15 avr 1995;75(12):818-21.

9. Kawel-Boehm N, Maceira A, Valsangiacomo-Buechel ER, Vogel-Claussen J, Turkbey EB, Williams R, et al. Normal values for cardiovascular magnetic resonance in adults and children. *J Cardiovasc Magn Reson*. 18 avr 2015;17(1):29.
10. Lopez L, Colan SD, Frommelt PC, Ensing GJ, Kendall K, Younoszai AK, et al. Recommendations for quantification methods during the performance of a pediatric echocardiogram: a report from the Pediatric Measurements Writing Group of the American Society of Echocardiography Pediatric and Congenital Heart Disease Council. *J Am Soc Echocardiogr Off Publ Am Soc Echocardiogr*. mai 2010;23(5):465-95; quiz 576-7.
11. Ommen S. R., Nishimura R. A., Appleton C. P., Miller F. A., Oh J. K., Redfield M. M., et al. Clinical Utility of Doppler Echocardiography and Tissue Doppler Imaging in the Estimation of Left Ventricular Filling Pressures. *Circulation*. 10 oct 2000;102(15):1788-94.
12. Alverson DC, Eldridge M, Dillon T, Yabek SM, Berman W. Noninvasive pulsed Doppler determination of cardiac output in neonates and children. *J Pediatr*. 1 juill 1982;101(1):46-50.
13. Cattermole GN, Leung PYM, Ho GYL, Lau PWS, Chan CPY, Chan SSW, et al. The normal ranges of cardiovascular parameters measured using the ultrasonic cardiac output monitor. *Physiol Rep [Internet]*. 21 mars 2017 [cité 16 déc 2018];5(6).
14. Seear MD, D'Orsogna L, Sandor GG, de Souza E, Popov R. Doppler-derived mean aortic flow velocity in children: an alternative to cardiac index. *Pediatr Cardiol*. oct 1991;12(4):197-200.
15. Wodey E, Senhadji L, Carre F, Ecoffey C. Extrapolation of cardiac index from analysis of the left ventricular outflow velocities in children: implication of the relationship between aortic size and body surface area. *Paediatr Anaesth*. mars 2002;12(3):220-6.
16. Koestenberger M, Nagel B, Ravekes W, Avian A, Heinzl B, Cvirn G, et al. Reference values of tricuspid annular peak systolic velocity in healthy pediatric patients, calculation of z score, and comparison to tricuspid annular plane systolic excursion. *Am J Cardiol*. 1 janv 2012;109(1):116-21.
17. Jone P-N, Ivy DD. Echocardiography in Pediatric Pulmonary Hypertension. *Front Pediatr [Internet]*. 2014 [cité 1 sept 2019];2.

18. Barbier C, Loubières Y, Schmit C, Hayon J, Ricôme J-L, Jardin F, et al. Respiratory changes in inferior vena cava diameter are helpful in predicting fluid responsiveness in ventilated septic patients. *Intensive Care Med.* sept 2004;30(9):1740-6.
19. Feissel M, Michard F, Faller J-P, Teboul J-L. The respiratory variation in inferior vena cava diameter as a guide to fluid therapy. *Intensive Care Med.* sept 2004;30(9):1834-7.
20. Slama M, Masson H, Teboul J-L, Arnout M-L, Susic D, Frohlich E, et al. Respiratory variations of aortic VTI: a new index of hypovolemia and fluid responsiveness. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* oct 2002;283(4):H1729-1733.
21. Friedman LM, Tsung JW. Extending the Focused Assessment With Sonography for Trauma Examination in Children. *Clin Pediatr Emerg Med.* 1 mars 2011;12(1):2-17.
22. Levy PT, Patel MD, Groh G, Choudhry S, Murphy J, Holland MR, et al. Pulmonary Artery Acceleration Time Provides a Reliable Estimate of Invasive Pulmonary Hemodynamics in Children. *J Am Soc Echocardiogr.* 1 nov 2016;29(11):1056-65.

## 5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

### 5.1. Principaux résultats

Le but de notre étude était d'évaluer la pertinence et les difficultés rencontrées lors de la réalisation d'une échographie à visée hémodynamique par des réanimateurs pédiatriques et son impact dans la prise en charge des patients.

Ainsi, le principal résultat de notre étude met en lumière la difficulté de réalisation pratique en réanimation d'une échocardiographie. Les trois principales catégories explorées furent la mesure du débit cardiaque (chez 93% des patients), l'évaluation de la fonction systolique du ventricule gauche (90%), et l'évaluation de la volémie des patients (66%). Les autres catégories prévues au sein de notre protocole (Pressions pulmonaires, fonction ventriculaire droite, profil mitral au Doppler et l'étude au DTI) se sont révélées plus délicates à réaliser. Le taux d'échec s'élève à 20 % pour l'estimation des pressions pulmonaires grâce au flux de régurgitation d'une insuffisance tricuspide ou encore de 14% pour le calcul de la pression moyenne de l'oreillette droite grâce au diamètre maximum de la veine cave inférieure par exemple. De la même façon, le taux de non-réalisation de certains items atteint 77% pour l'évaluation de la fonction systolique du ventricule droit au moyen de l'onde S' à l'anneau tricuspide par DTI ou encore 60% pour le Doppler mitral. Même si bon nombre de programmes (48) et d'études (49,50) démontrent que les échographies réalisées par des réanimateurs peuvent obtenir des données de qualité similaire à celles d'échographistes expérimentés, il nous semble important de nuancer ces résultats après analyse des données de notre étude et d'insister sur le caractère primordial de la formation.

Le second résultat de notre travail est l'impact fort dans la prise en charge d'une échographie structurée. Actuellement, il est indéniable que l'échographie a un réel intérêt en réanimation pédiatrique de par sa disponibilité au lit du patient, son innocuité et son impact thérapeutique (47). En effet, deux tiers des patients inclus dans notre étude bénéficient d'une modification thérapeutique après réalisation d'une échographie selon notre protocole, un tiers d'entre eux d'une expansion volémique ciblée et un tiers d'une autre thérapeutique (inotrope, vasopresseur ou antalgiques).

Le troisième résultat notable est la relation entre l'attention portée sur la réalisation complète d'une échographie et l'impact thérapeutique associé. Ainsi, plus celle-ci est complète avec une étude rigoureuse de chaque catégorie prévue (étude de la volémie, du débit cardiaque, de la fonction ventriculaire droite et gauche, des pressions pulmonaires et de la prédiction à la réponse à l'expansion volémique) plus les patients ont bénéficié significativement ( $p=0,03$ ) de modifications thérapeutiques. Ce résultat renforce l'intérêt de ne pas réaliser seulement une échographie « basique » avec étude du débit cardiaque, de la fonction du ventricule gauche systolique et de la volémie comme il est souvent le cas dans les services d'urgence par exemple mais une échographie avancée et structurée avec étude des différents paramètres hémodynamiques.

## 5.2. Discussion et limites

Notre étude présente un certain nombre de limites. En premier lieu, la durée de recueil fut assez courte. D'une durée de seulement 4 mois, cela nous a permis d'enregistrer seulement trente échographies au sein du service. Ce nombre limité d'inclusions, même s'il ne démerite pas en comparaison avec les études pédiatriques (habituellement de faible nombre de patients comparé aux études adultes), s'explique par plusieurs facteurs. Premièrement, le faible nombre de praticiens dans notre service réalisant des échographies. En excluant les internes, nous basions nos inclusions uniquement sur quelques médecins. Deuxièmement et comme cités précédemment dans ce travail, notre centre ne dispose pas de chirurgie cardiaque pédiatrique. Ainsi, toute la réflexion sur la gestion hémodynamique péri-opératoire des cardiopathies congénitales n'existe pas au sein de notre service. Ceci limite ainsi le recours à une étude hémodynamique poussée et donc le nombre d'échographies. Cependant, c'est justement par ce manque d'expertise avancée dans ce domaine et l'application dans toutes les autres situations de défaillance hémodynamique que notre réflexion autour d'un protocole s'est révélée entièrement justifiée. Le recrutement de notre étude se compose pour 66% de patients relevant de pathologies médicales (pneumopathies, épilepsies, méningites...) et pour 33% de patients relevant de pathologies chirurgicales notamment en post opératoire (chirurgie digestive ou neurochirurgie principalement) où la question de l'évaluation et la gestion de la volémie est appropriée. Cela est une preuve

supplémentaire que l'évaluation hémodynamique est primordiale même en dehors du contexte de chirurgie cardiaque.

Le contexte d'urgence en service de réanimation fut aussi un frein à l'inclusion de patient durant la période de notre étude. Ainsi, certaines situations d'urgence à la prise en charge initiale (état de choc, polytraumatisés...) n'étaient pas favorables à la réalisation et la retranscription d'un protocole d'échographie avec recueil exhaustif des données. Le stockage et l'analyse ultérieure des données étant impossible, un certain nombre de patient (dont le chiffre exact nous est inconnu), n'a pu être inclus. Pourtant, de par leur gravité initiale, ces patients auraient été tout à fait intéressants à analyser et à débriefer dans notre étude.

Notre étude met en exergue les difficultés rencontrées par les médecins pour réaliser notre protocole. Le taux d'échec peut atteindre 20% pour l'étude des pressions pulmonaires (principalement à cause d'une enveloppe du flux de d'insuffisance tricuspide incomplète) mais la non-réalisation de certains items peut être bien supérieure, jusqu'à 77% pour l'enregistrement de l'onde S' tricuspide ou 60% pour l'étude du Doppler mitral. A ce niveau et pour la suite de ce travail, il est alors important de comprendre les causes de ces résultats. Si la principale cause n'est pas une impossibilité technique (installation, fenêtre acoustique), la pertinence de ces paramètres est une question qui se pose réellement dans l'analyse des données et pour l'adaptation secondaire de notre protocole. Cependant, ce manque de pertinence est à nuancer. Le fait de n'avoir pas enregistré un paramètre peut s'expliquer de trois façons : soit par le manque d'expérience de l'échographe, soit par l'absence d'intérêt du paramètre dans la situation clinique qui justifie l'échographie, soit le manque d'intérêt tout court du paramètre. Dans le premier cas c'est sur la formation continue des praticiens qu'il faut insister pour que les différents items de notre protocole soient intégrés. Dans le second cas, le praticien a pu juger lors de la réalisation de son échographie que certains paramètres n'avaient que peu de pertinence dans la situation clinique et a choisi délibérément de ne pas l'enregistrer, cela témoigne de la bonne formation de celui-ci. Dans le dernier cas, il faudrait supprimer définitivement l'étude de ce paramètre dans une version future. Dans tous les cas, notre recueil ne permettait pas de faire la différence entre ces trois situations. Il serait intéressant de reprendre ces informations échographie par échographie.

Les difficultés rencontrées par les praticiens sont multiples. D'abord, l'échographie cardiaque, qui est réalisée nécessairement au lit du patient, est plus difficile en réanimation. Le décubitus dorsal, la ventilation mécanique à forte pression positive, les malformations thoraciques intégrés dans les pathologies malformatives pédiatriques, les pansements ou encore les lésions cutanées sont autant de situations qui rendent la réalisation pratique de l'échographie plus complexe avec une fenêtre acoustique plus étroite entraînant une qualité d'image souvent médiocre. D'autres particularités pédiatriques rendent l'enregistrement de certaines mesures plus difficiles. Le manque de compliance de certains patients en l'absence de sédation est un obstacle bien connu en pédiatrie. De plus, de par leur petite taille, certains paramètres sont plus difficiles à enregistrer. On peut citer l'anneau aortique qui est fréquemment soumis à des erreurs de mesure soit en sur ou sous-estimation. Le Doppler mitral également avec les ondes E et A quasi fusionnées en cas de tachycardie (encore plus chez le nourrisson) est un autre paramètre délicat à enregistrer. Enfin, à la différence de l'échographie cardiaque réalisée chez l'adulte où les différentes mesures sont plutôt fixes d'un individu à l'autre, en pédiatrie, la grande diversité d'âge et de taille rend l'interprétation des données plus délicates. Il est fréquent en cardiologie congénitale de se référer à des Z-scores pour la taille des différentes structures. Si leur utilisation est simple et bien intégrée dans la pratique de consultation, cela l'est moins en service de réanimation au lit du patient. Pourtant il existe un vrai intérêt à l'utilisation de ces scores, notamment ceux de l'hôpital d'enfant de Boston, qui sont une référence en la matière.

Dans notre étude, un tiers des patients n'ont pas bénéficiés de modifications thérapeutiques. Il serait intéressant d'analyser si l'échographie n'a pas pu apporter suffisamment d'arguments pour modifier le traitement ou si au contraire les données obtenues étaient suffisantes pour ne pas entreprendre une thérapeutique décidée sur la clinique seule puis non confirmée par notre protocole. Cela aurait pu avoir comme effet bénéfique de limiter les expansions volémiques indues chez certains patients et donc les complications liées à cette thérapeutique (œdème aigu pulmonaire...).

### 5.3. Perspectives

Ces résultats ne font que renforcer l'idée qu'un protocole structuré d'évaluation hémodynamique est indispensable en réanimation pédiatrique. Pourtant, le mettre en place ne suffit pas à lui seul à obtenir des résultats satisfaisants rapidement. L'accent doit être mis sur l'optimisation de ce dernier et sur la formation.

Ainsi, la formation des différents intervenants médecins seniors ou internes est nécessaire et doit surtout être poursuivie. Notre étude s'était focalisée sur les médecins seniors du service en excluant les internes car ces derniers nécessitaient à ce moment une formation initiale bien trop importante sur les bases de l'échographie et nous ne disposions pas des moyens humains nécessaires pour organiser ces formations. Pourtant ces derniers, participent tout autant à la prise en charge, et sont même demandeurs d'une formation à l'échographie en général et l'échocardiographie en particulier. Le projet futur est de poursuivre la formation continue avec des ateliers réguliers afin de pouvoir consolider la méthodologie d'acquisition des données échographiques et relever en temps réel les difficultés rencontrées.

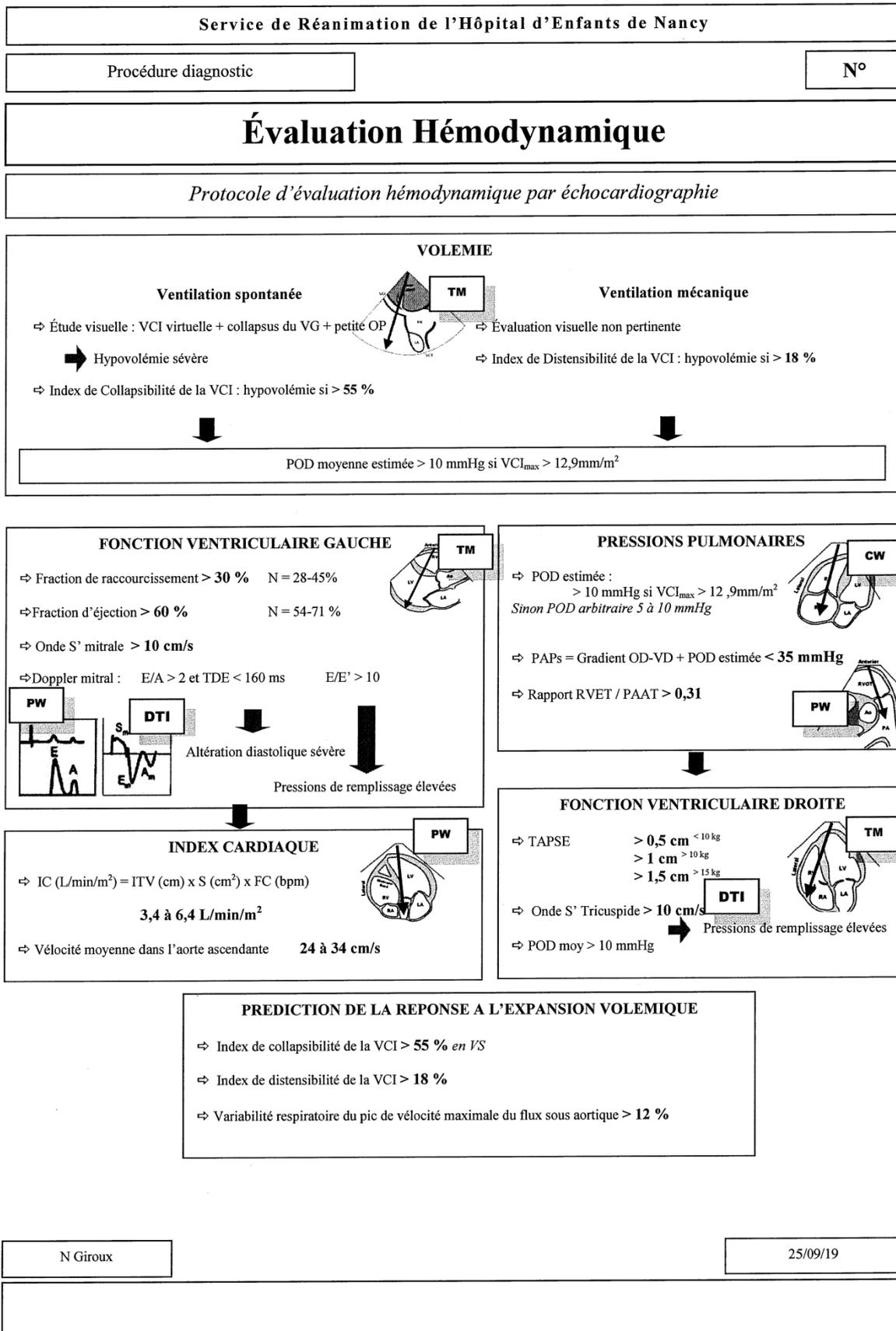
Même si évaluer en temps réel les images recueillies lors d'ateliers est un axe intéressant, pouvoir débattre à posteriori des situations cliniques et des données extraites lors de la réalisation de l'échographie est tout aussi important. Dans les versions préliminaires de notre protocole et notre réflexion initiale, nous avons évoqué l'intérêt de pouvoir enregistrer les échographies pour relecture des images ou boucles vidéo avec l'équipe de cardiopédiatrie. Il nous a été impossible pour des raisons techniques et de temps nécessaires pour la mise en place de ce dispositif de réaliser ces enregistrements. Il est ainsi possible d'extraire les données de notre appareil mais la question du transfert puis du stockage, en local ou en réseau, de celles-ci n'a pas été résolue pour le moment. Dans la même optique, pouvoir standardiser le compte rendu de l'échographie réalisée semble important afin de pouvoir suivre l'évolution du patient et comparer les différentes données acquises. Cela pourra passer soit par un compte rendu écrit à destination du dossier papier du patient soit numérique au sein de notre logiciel de suivi de patient DxCare. Enfin, afin de débattre entre praticiens des échographies réalisées et des prises en charge, une participation aux staff mutuels des différents services est un des points à développer pour le futur.

Un autre axe technique n'a pas pu être réalisé pendant ce travail et sera résolu prochainement. Il avait été prévu de modifier les pré réglages de notre échographe pour automatiser certaines acquisitions et calculs. Ainsi, il sera plus facile de calculer le débit cardiaque, les différents indices d'évaluation de la volémie avec l'index de collapsibilité ou de distensibilité de la veine cave inférieure ou encore les ratios d'ondes E/E', E/A. Il a souvent été relevé à posteriori par les cliniciens que le temps de calcul et d'analyse de ces paramètres qui n'était pas automatisés était un frein à leur utilisation. Cela permettra de gagner en rapidité et en efficacité dans le recueil des données.

La première version de notre protocole et nos résultats préliminaires nous poussent actuellement à réviser celui-ci pour proposer une nouvelle version plus adaptée aux attentes des réanimateurs. La réflexion est actuellement en cours pour construire la prochaine version. L'objectif est de proposer un protocole suffisamment vaste pour balayer les différents aspects et particularités hémodynamiques pédiatriques et de guider le réanimateur par des valeurs minimales et maximales adapté à chaque âge sans pour autant le perdre dans un catalogue exhaustif qui s'éloignerait de l'intérêt pratique d'un protocole de réanimation.

Pour conclure, notre travail met en évidence le rôle primordial de l'échographie dans l'évaluation non invasive hémodynamique en réanimation et soins continus pédiatriques. Celle-ci doit être basée sur un protocole structuré et standardisé, adaptés aux spécificités pédiatriques et une formation continue théorique et pratique incluant tous les médecins sur service en collaboration étroite entre réanimateurs pédiatriques et cardiopédiatres.

## 5.4. Protocole



## BIBLIOGRAPHIE

1. Crow SS, Undavalli C, Warner DO, Katusic SK, Kandel P, Murphy SL, et al. Epidemiology of pediatric critical illness in a population-based birth cohort in Olmsted County, MN. *Pediatr Crit Care Med J Soc Crit Care Med World Fed Pediatr Intensive Crit Care Soc.* mars 2017;18(3):e137-45.
2. Vincent J-L, De Backer D. Circulatory Shock. Finfer SR, Vincent J-L, éditeurs. *N Engl J Med.* 31 oct 2013;369(18):1726-34.
3. Perez P, Levy B. Mécanisme de formation du lactate dans les états de choc. Apport de la microdialyse musculaire. *Réanimation.* 1 mars 2011;20(2):95-7.
4. Ousmane M, Lebuffe G, Vallet B. Utilisation de la SvO<sub>2</sub> Use of SvO<sub>2</sub>. *Réanimation.* mars 2003;12(2):109-16.
5. Brissaud O, Guichoux J, Villega F, Orliaguet G. Quelle évaluation hémodynamique non invasive en réanimation pédiatrique en 2009 ? *Ann Fr Anesth Réanimation.* mars 2010;29(3):233-41.
6. Vieillard-Baron A, Millington SJ, Sanfilippo F, Chew M, Diaz-Gomez J, McLean A, et al. A decade of progress in critical care echocardiography: a narrative review. *Intensive Care Med.* juin 2019;45(6):770-88.
7. Gan H, Cannesson M, Chandler JR, Ansermino JM. Predicting fluid responsiveness in children: a systematic review. *Anesth Analg.* déc 2013;117(6):1380-92.
8. Michard F, Teboul J-L. Predicting Fluid Responsiveness in ICU Patients. *Chest.* juin 2002;121(6):2000-8.
9. Mahmood SS, Pinsky MR. Heart-lung interactions during mechanical ventilation: the basics. *Ann Transl Med.* sept 2018;6(18):349-349.
10. Rudski LG, Lai WW, Afilalo J, Hua L, Handschumacher MD, Chandrasekaran K, et al. Guidelines for the Echocardiographic Assessment of the Right Heart in Adults: A Report from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* juill 2010;23(7):685-713.

11. Kircher BJ, Himelman RB, Schiller NB. Noninvasive estimation of right atrial pressure from the inspiratory collapse of the inferior vena cava. *Am J Cardiol.* août 1990;66(4):493-6.
12. Barbier C, Loubières Y, Schmit C, Hayon J, Ricôme J-L, Jardin F, et al. Respiratory changes in inferior vena cava diameter are helpful in predicting fluid responsiveness in ventilated septic patients. *Intensive Care Med.* sept 2004;30(9):1740-6.
13. De Vecchis R, Baldi C, Giandomenico G, Di Maio M, Giasi A, Cioppa C. Estimating Right Atrial Pressure Using Ultrasounds: An Old Issue Revisited With New Methods. *J Clin Med Res.* août 2016;8(8):569-74.
14. van der Wall EE, Reiber JHC. Assessment of left ventricular function: visual or quantitative? *Int J Cardiovasc Imaging.* avr 2011;27(4):573-7.
15. Lopez L, Colan SD, Frommelt PC, Ensing GJ, Kendall K, Younoszai AK, et al. Recommendations for quantification methods during the performance of a pediatric echocardiogram: a report from the Pediatric Measurements Writing Group of the American Society of Echocardiography Pediatric and Congenital Heart Disease Council. *J Am Soc Echocardiogr Off Publ Am Soc Echocardiogr.* mai 2010;23(5):465-95; quiz 576-7.
16. Klugman D, Berger JT. Echocardiography as a hemodynamic monitor in critically ill children. *Pediatr Crit Care Med J Soc Crit Care Med World Fed Pediatr Intensive Crit Care Soc.* juill 2011;12(4 Suppl):S50-54.
17. Rowland DG, Gutgesell HP. Noninvasive assessment of myocardial contractility, preload, and afterload in healthy newborn infants. *Am J Cardiol.* 15 avr 1995;75(12):818-21.
18. Gulati VK, Katz WE, Follansbee WP, Gorcsan J. Mitral annular descent velocity by tissue Doppler echocardiography as an index of global left ventricular function. *Am J Cardiol.* 1 mai 1996;77(11):979-84.
19. Tissot C, Singh Y, Sekarski N. Echocardiographic Evaluation of Ventricular Function—For the Neonatologist and Pediatric Intensivist. *Front Pediatr [Internet].* 2018 [cité 21 sept 2019];6. Disponible sur: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fped.2018.00079/full>

20. Ommen S. R., Nishimura R. A., Appleton C. P., Miller F. A., Oh J. K., Redfield M. M., et al. Clinical Utility of Doppler Echocardiography and Tissue Doppler Imaging in the Estimation of Left Ventricular Filling Pressures. *Circulation*. 10 oct 2000;102(15):1788-94.
21. Chew MS, Poelaert J. Accuracy and repeatability of pediatric cardiac output measurement using Doppler: 20-year review of the literature. *Intensive Care Med*. nov 2003;29(11):1889-94.
22. Cattermole GN, Leung PYM, Ho GYL, Lau PWS, Chan CPY, Chan SSW, et al. The normal ranges of cardiovascular parameters measured using the ultrasonic cardiac output monitor. *Physiol Rep* [Internet]. 21 mars 2017 [cité 27 août 2018];5(6). Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5371563/>
23. Parr GV, Blackstone EH, Kirklin JW. Cardiac performance and mortality early after intracardiac surgery in infants and young children. *Circulation*. mai 1975;51(5):867-74.
24. Ceneviva G, Paschall JA, Maffei F, Carcillo JA. Hemodynamic Support in Fluid-refractory Pediatric Septic Shock. *Pediatrics*. 1 août 1998;102(2):e19-e19.
25. Seear MD, D'Orsogna L, Sandor GG, de Souza E, Popov R. Doppler-derived mean aortic flow velocity in children: an alternative to cardiac index. *Pediatr Cardiol*. oct 1991;12(4):197-200.
26. Wodey E, Senhadji L, Carre F, Ecoffey C. Extrapolation of cardiac index from analysis of the left ventricular outflow velocities in children: implication of the relationship between aortic size and body surface area. *Paediatr Anaesth*. mars 2002;12(3):220-6.
27. Singh Y. Echocardiographic Evaluation of Hemodynamics in Neonates and Children. *Front Pediatr* [Internet]. 15 sept 2017 [cité 16 juill 2018];5.  
Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5605552/>
28. Vieillard-Baron A. Assessment of right ventricular function: *Curr Opin Crit Care*. juin 2009;15(3):254-60.

29. Rosenzweig EB, Abman SH, Adatia I, Beghetti M, Bonnet D, Haworth S, et al. Paediatric pulmonary arterial hypertension: updates on definition, classification, diagnostics and management. *Eur Respir J*. janv 2019;53(1):1801916.
30. Dumas de la Roque E, Storme L, Mauriat P, Bonnet S. Hypertension pulmonaire de l'enfant et du nouveau-né en réanimation. Partie I : physiopathologie. *Arch Pédiatrie*. janv 2011;18(1):68-75.
31. Jain A, Mohamed A, El-Khuffash A, Connelly KA, Dallaire F, Jankov RP, et al. A Comprehensive Echocardiographic Protocol for Assessing Neonatal Right Ventricular Dimensions and Function in the Transitional Period: Normative Data and Z Scores. *J Am Soc Echocardiogr*. déc 2014;27(12):1293-304.
32. Jone P-N, Ivy DD. Echocardiography in Pediatric Pulmonary Hypertension. *Front Pediatr* [Internet]. 2014 [cité 1 sept 2019];2. Disponible sur: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fped.2014.00124/full>
33. Bossone E, Rubenfire M, Bach DS, Ricciardi M, Armstrong WF. Range of tricuspid regurgitation velocity at rest and during exercise in normal adult men: implications for the diagnosis of pulmonary hypertension. *J Am Coll Cardiol*. mai 1999;33(6):1662-6.
34. McQuillan BM, Picard MH, Leavitt M, Weyman AE. Clinical Correlates and Reference Intervals for Pulmonary Artery Systolic Pressure Among Echocardiographically Normal Subjects. *Circulation*. 4 déc 2001;104(23):2797-802.
35. Levy PT, Patel MD, Groh G, Choudhry S, Murphy J, Holland MR, et al. Pulmonary Artery Acceleration Time Provides a Reliable Estimate of Invasive Pulmonary Hemodynamics in Children. *J Am Soc Echocardiogr*. 1 nov 2016;29(11):1056-65.
36. Koestenberger M, Grangl G, Avian A, Gamillscheg A, Grillitsch M, Cvirn G, et al. Normal Reference Values and z Scores of the Pulmonary Artery Acceleration Time in Children and Its Importance for the Assessment of Pulmonary Hypertension. *Circ Cardiovasc Imaging* [Internet]. janv 2017 [cité 22 sept 2019];10(1). Disponible sur: <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/CIRCIMAGING.116.005336>

37. Lammers AE, Haworth SG, Riley G, Maslin K, Diller G-P, Marek J. Value of Tissue Doppler Echocardiography in Children with Pulmonary Hypertension. *J Am Soc Echocardiogr*. mai 2012;25(5):504-10.
38. Koestenberger M, Ravekes W, Everett AD, Stueger HP, Heinzl B, Gamillscheg A, et al. Right ventricular function in infants, children and adolescents: reference values of the tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE) in 640 healthy patients and calculation of z score values. *J Am Soc Echocardiogr Off Publ Am Soc Echocardiogr*. juin 2009;22(6):715-9.
39. Koestenberger M, Nagel B, Ravekes W, Urlesberger B, Raith W, Avian A, et al. Systolic right ventricular function in preterm and term neonates: reference values of the tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE) in 258 patients and calculation of Z-score values. *Neonatology*. 2011;100(1):85-92.
40. Koestenberger M, Nagel B, Ravekes W, Avian A, Heinzl B, Cvirn G, et al. Reference values of tricuspid annular peak systolic velocity in healthy pediatric patients, calculation of z score, and comparison to tricuspid annular plane systolic excursion. *Am J Cardiol*. 1 janv 2012;109(1):116-21.
41. Long E, Duke T, Oakley E, O'Brien A, Sheridan B, Babl FE, et al. Does respiratory variation of inferior vena cava diameter predict fluid responsiveness in spontaneously ventilating children with sepsis. *Emerg Med Australas EMA*. 8 mars 2018;
42. Long E, Oakley E, Duke T, Babl FE, Paediatric Research in Emergency Departments International Collaborative (PREDICT). Does Respiratory Variation in Inferior Vena Cava Diameter Predict Fluid Responsiveness: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Shock* Augusta Ga. 2017;47(5):550-9.
43. Muller L, Bobbia X, Toumi M, Louart G, Molinari N, Ragonnet B, et al. Respiratory variations of inferior vena cava diameter to predict fluid responsiveness in spontaneously breathing patients with acute circulatory failure: need for a cautious use. *Crit Care Lond Engl*. 8 oct 2012;16(5):R188.
44. Michard F, Boussat S, Chemla D, Anguel N, Mercat A, Lecarpentier Y, et al. Relation between Respiratory Changes in Arterial Pulse Pressure and Fluid Responsiveness in Septic Patients with Acute Circulatory Failure. *Am J Respir Crit Care Med*. juill 2000;162(1):134-8.

45. Slama M, Masson H, Teboul J-L, Arnout M-L, Susic D, Frohlich E, et al. Respiratory variations of aortic VTI: a new index of hypovolemia and fluid responsiveness. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. oct 2002;283(4):H1729-1733.
46. Desgranges F-P, Desebbe O, Pereira de Souza Neto E, Raphael D, Chassard D. Respiratory variation in aortic blood flow peak velocity to predict fluid responsiveness in mechanically ventilated children: a systematic review and meta-analysis. *Paediatr Anaesth*. janv 2016;26(1):37-47.
47. Kutty S, Attebery JE, Yeager EM, Natarajan S, Li L, Peng Q, et al. Transthoracic echocardiography in pediatric intensive care: impact on medical and surgical management. *Pediatr Crit Care Med J Soc Crit Care Med World Fed Pediatr Intensive Crit Care Soc*. mai 2014;15(4):329-35.
48. Conlon TW, Ishizuka M, Himebauch AS, Cohen MS, Berg RA, Nishisaki A. Hemodynamic Bedside Ultrasound Image Quality and Interpretation After Implementation of a Training Curriculum for Pediatric Critical Care Medicine Providers\*. *Pediatr Crit Care Med*. juill 2016;17(7):598.
49. Vignon P, Mücke F, Bellec F, Marin B, Croce J, Brouqui T, et al. Basic critical care echocardiography: Validation of a curriculum dedicated to noncardiologist residents\*: *Crit Care Med*. avr 2011;39(4):636-42.
50. DeCara JM, Lang RM, Koch R, Bala R, Penzotti J, Spencer KT. The Use of Small Personal Ultrasound Devices by Internists Without Formal Training in Echocardiography. *Eur J Echocardiogr*. 1 juin 2003;4(2):141-7.
51. Arya B, Kerstein D, Leu C-S, Hayes D, Zuckerman WA, Krishnan U, et al. Echocardiographic Assessment of Right Atrial Pressure in a Pediatric and Young Adult Population. *Pediatr Cardiol*. mars 2016;37(3):558-67.
52. Kawel-Boehm N, Maceira A, Valsangiacomo-Buechel ER, Vogel-Claussen J, Turkbey EB, Williams R, et al. Normal values for cardiovascular magnetic resonance in adults and children. *J Cardiovasc Magn Reson*. 18 avr 2015;17(1):29.

53. Alverson DC, Eldridge M, Dillon T, Yabek SM, Berman W. Noninvasive pulsed Doppler determination of cardiac output in neonates and children. *J Pediatr*. 1 juill 1982;101(1):46-50.
54. Cattermole GN, Leung PYM, Ho GYL, Lau PWS, Chan CPY, Chan SSW, et al. The normal ranges of cardiovascular parameters measured using the ultrasonic cardiac output monitor. *Physiol Rep* [Internet]. 21 mars 2017 [cité 16 déc 2018];5(6). Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5371563/>
55. Feissel M, Michard F, Faller J-P, Teboul J-L. The respiratory variation in inferior vena cava diameter as a guide to fluid therapy. *Intensive Care Med*. sept 2004;30(9):1834-7.
56. Friedman LM, Tsung JW. Extending the Focused Assessment With Sonography for Trauma Examination in Children. *Clin Pediatr Emerg Med*. 1 mars 2011;12(1):2-17.

axi

---

**RESUME DE LA THESE :**

**Introduction :** L'échocardiographie est un outil de choix dans l'évaluation hémodynamique en réanimation pédiatrique. Les particularités pédiatriques (variation de poids, d'âge et pathologies spécifiques) rendent la réalisation et l'interprétation de l'échographie plus difficile que chez l'adulte.

**Méthode et Résultats :** Après avoir conçu un protocole avec l'équipe de cardiopédiatrie, nous avons organisé des sessions de formation et conduit une étude pilote dans notre service de réanimation pédiatrique évaluant la faisabilité et la pertinence de notre protocole. Tous les patients de moins de 18 ans (à l'exception des cardiopathies acquises ou congénitales) ont été inclus. Nous avons demandé aux réanimateurs réalisant les échographies de relever les items effectués, échoués et non réalisés de notre protocole et l'impact thérapeutique. Trente échographies ont été réalisées (moyenne âge  $6,0 \pm 6,0$  années (0,1 à 16 ans)), chez 30 patients de diagnostic principal médical pour la plupart (67%) et de sexe masculin (57%). L'index cardiaque est la première catégorie étudiée (97%) avec un taux d'échec bas (3%), suivi par la fonction systolique gauche avec la fraction d'éjection (90%) avec un taux d'échec de 10%. La volémie et l'estimation de la réponse au remplissage vasculaire est la troisième catégorie étudiée (66%). Les principales difficultés ont été rencontrées dans l'étude des pressions pulmonaires et du Doppler mitral non réalisés respectivement dans 30% et 60%. Après réalisation d'une échographie structurée, 67% des patients ont bénéficié de modifications thérapeutiques (expansion volémique, inotropes, vasoconstricteurs ou antalgiques). Plus l'échographie était complète (étude de chaque catégorie) plus ces modifications thérapeutiques étaient importantes ( $p=0,03$ ).

**Conclusion :** Malgré le rôle central de l'échographie dans l'évaluation hémodynamique en réanimation pédiatrique, en réaliser une de bonne qualité par des réanimateurs non-cardiologues de formation peut se révéler difficile. Des sessions d'entraînement, basées sur un protocole standardisé, en collaboration avec les cardiopédiatres est nécessaire pour obtenir des données de qualités ayant un impact dans la prise en charge.

---

**TITRE EN ANGLAIS :** difficulties and pitfalls of echocardiography in PICU setting. Interest of a structured protocol.

---

**THESE :** Médecine spécialisée - Année 2019

---

**MOTS CLES :** Hémodynamique, Échographie cardiaque, Réanimation pédiatrique

---

**INTITULE ET ADRESSE :****UNIVERSITÉ DE LORRAINE**

Faculté de Médecine de Nancy

9, avenue de la Forêt de Haye

54505 VANDOEUVRE LES NANCY Cedex

---