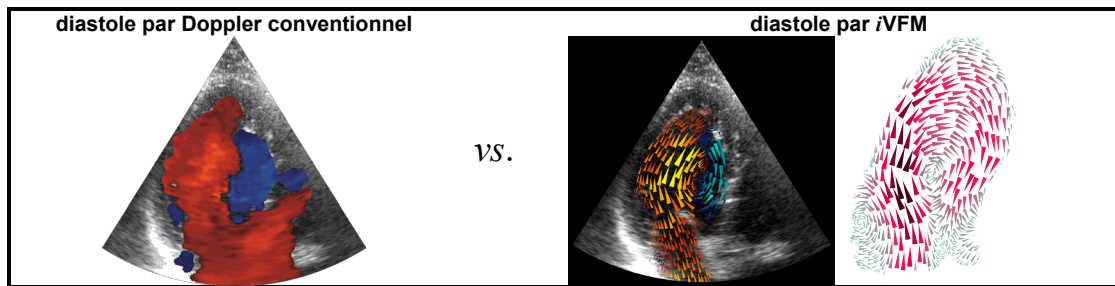


## Écoulement intraventriculaire 4-D par échocardiographie Doppler

**Contexte clinique** : Durant le remplissage (diastole) du ventricule gauche, il se forme un vortex qui, chez un sujet sain, facilite la transition vers l'éjection. Lorsque le remplissage est altéré (dysfonction diastolique), une modification du flux sanguin peut être observée, avec un impact significatif sur ce vortex. L'imagerie des vortex intracardiaques pourrait conduire à un diagnostic précoce de la dysfonction diastolique. Ce flux sanguin intracardiaque peut être quantifié, de manière non invasive, par résonance magnétique cardiaque, non utilisée cliniquement en raison de son rapport coût-efficacité. Damien Garcia et ses collègues ont développé l'*iVFM* (« **intraventricular Vector Flow Mapping** ») par échocardiographie Doppler<sup>1</sup>. Cette technique est basée sur l'imagerie ultrasonore cardiaque. L'*iVFM* a l'avantage d'être rapide et 100% compatible avec la clinique, puisqu'elle utilise l'échocardiographie clinique conventionnelle.



**But du projet** : La version actuelle de l'*iVFM* utilise des coupes cardiaques échocardiographiques. L'écoulement intracardiaque reconstruit est par conséquent bidimensionnel. L'objectif de la thèse est de reconstruire l'écoulement intraventriculaire 4-D (3-D + temps), et de valider cette technique *in silico* et *in vivo*.

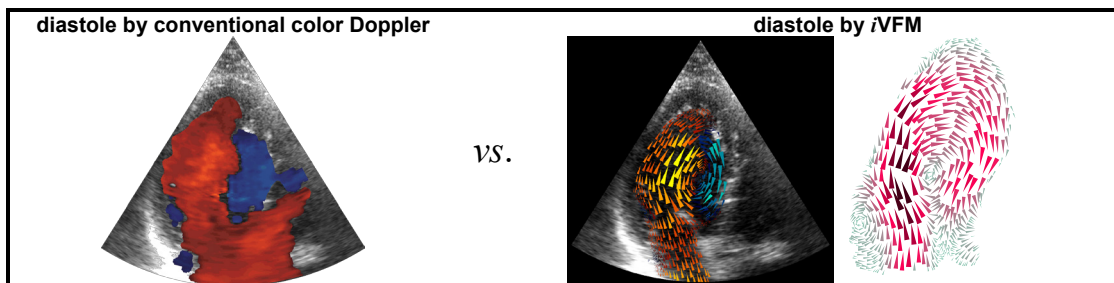
**Méthodologie** : L'approche utilisée sera issue du problème d'optimisation précédemment décrit par Assi *et al.*<sup>2</sup>, qui devra être adapté pour la 3-D et pour des mesures échocardiographiques dites triplan. L'*iVFM* 4-D sera validée à partir de simulations réalistes<sup>3</sup>, ainsi que chez des patients et volontaires sains, à partir de mesures cliniques par résonance magnétique<sup>4</sup>. **Une étude approfondie sera portée sur l'analyse des vortex et de leur dynamique.**

<b>Compétences requises :</b>	programmation Matlab ; analyse numérique ; notions de dynamique des fluides et/ou d'acoustique ; aptitude à la pluridisciplinarité
<b>Superviseurs :</b>	<b>Damien Garcia</b> , chercheur INSERM, Creatis, damien.garcia@inserm.fr <b>Didier Vray</b> , professeur INSA Lyon, Creatis, didier.vray@creatis.insa-lyon.fr <b>Philippe Blanc-Benon</b> , chercheur CNRS, LMFA, philippe.blanc-benon@ec-lyon.fr
<b>Collaborateurs :</b>	<i>in silico</i> : <b>Franck Nicoud</b> , professeur, IMAG, franck.nicoud@umontpellier.fr <i>clinique</i> : <b>Pierre-Yves Courand</b> , cardiologue, HCL Lyon, pycourand@hotmail.com <b>Loïc Bousset</b> , radiologue, HCL Lyon, loic.bousset2@gmail.com
<b>Site web de Damien Garcia :</b>	<a href="http://www.biomecardio.com">www.biomecardio.com</a>

- Garcia, D. et al. Two-dimensional intraventricular flow mapping by digital processing conventional color-Doppler echocardiography images. *IEEE Trans. Med. Imaging* 29, 1701–1713 (2010).
- Assi, K. C. et al. Intraventricular vector flow mapping—a Doppler-based regularized problem with automatic model selection. *Phys. Med. Biol.* 62, 7131–7147 (2017).
- Chnafa, C. et al. Image-based large-eddy simulation in a realistic left heart. *Comput. Fluids* 94, 173–187 (2014).
- Faurie, J. et al. Intracardiac vortex dynamics by high-frame-rate Doppler vortography – *in vivo* comparison with vector flow mapping and 4-D flow MRI. *IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control* 64, 424–432 (2017).

## 4-D intraventricular flow mapping by Doppler echocardiography

**Clinical context:** During filling of the left ventricle (diastole), a vortex is formed. It facilitates the transition to ejection in healthy subjects. When filling is impaired (diastolic dysfunction), a change in blood flow can be observed, with a significant impact on this vortex. Intracardiac vortex imaging may lead to early diagnosis of diastolic dysfunction. This intracardiac blood flow can be quantified non-invasively by cardiac magnetic resonance, which is not used clinically because of its cost-effectiveness. Damien Garcia and his colleagues thus developed *iVFM* ("**intraventricular Vector Flow Mapping**") by Doppler echocardiography<sup>1</sup>. This technique is based on cardiac ultrasound imaging. *iVFM* has the advantage of being fast and 100% compatible with the clinic standards, since it uses conventional clinical echocardiography.



**Objective:** The current version of *iVFM* uses echocardiographic heart cross-sectional planes. The reconstructed intracardiac flow is therefore two-dimensional. The objective of the thesis is to reconstruct 4-D intraventricular flow (3-D + time), and to validate this technique *in silico* and *in vivo*.

**Methods:** The numerical approach will stem from the optimization problem previously described by Assi *et al.*<sup>2</sup>, which will have to be adapted for 3-D and for triplane echocardiographic measurements. 4-D *iVFM* will be validated using realistic heart simulations<sup>3</sup>, as well as in healthy patients and volunteers, based on magnetic resonance imaging<sup>4</sup>. An in-depth study will be carried out on the analysis of vortices and their dynamics.

<b>Required skills:</b>	Matlab language; numerical analysis; basics in fluid dynamics and/or acoustics; multidisciplinary skills
<b>Supervisors:</b>	<b>Damien Garcia</b> , INSERM researcher, Creatis, damien.garcia@inserm.fr <b>Didier Vray</b> , professor, INSA Lyon, Creatis, didier.vray@creatis.insa-lyon.fr <b>Philippe Blanc-Benon</b> , CNRS researcher, LMFA, philippe.blanc-benon@ec-lyon.fr
<b>Collaborators:</b>	<i>in silico</i> : <b>Franck Nicoud</b> , professor, IMAG, franck.nicoud@umontpellier.fr <i>clinical</i> : <b>Pierre-Yves Courand</b> , cardiologist, HCL Lyon, pycourand@hotmail.com
<b>Damien Garcia's web site:</b>	<b><a href="http://www.biomecardio.com">www.biomecardio.com</a></b>

1. Garcia, D. et al. Two-dimensional intraventricular flow mapping by digital processing conventional color-Doppler echocardiography images. *IEEE Trans. Med. Imaging* 29, 1701–1713 (2010).
2. Assi, K. C. et al. Intraventricular vector flow mapping—a Doppler-based regularized problem with automatic model selection. *Phys. Med. Biol.* 62, 7131–7147 (2017).
3. Chnafa, C. et al. Image-based large-eddy simulation in a realistic left heart. *Comput. Fluids* 94, 173–187 (2014).
4. Faurie, J. et al. Intracardiac vortex dynamics by high-frame-rate Doppler vortography – *in vivo* comparison with vector flow mapping and 4-D flow MRI. *IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control* 64, 424–432 (2017).