



Sujet de Stage M2 (2021-2022)

Modélisation réduite de la dynamique de valves : application à la simulation de l'hémodynamique cardiaque

Équipe d'accueil : Équipe-projet COMMEDIA (Inria, SU et CNRS), <https://team.inria.fr/commedia/>

Adresse : 2 rue Simone Iff, 75012 Paris

Encadrants : Miguel A. Fernández et Fabien Vergnet

Contact : miguel.fernandez@inria.fr, fabien.vergnet@sorbonne-universite.fr

Rémunération : oui

Le cœur est une pompe double dont l'objectif est d'acheminer le sang vers les tissus et les organes du corps. Cette fonction est rendue possible par l'ouverture et la fermeture des valves cardiaques, qui garantissent un écoulement unidirectionnel dans tout le système cardiovasculaire. Les simulations numériques de l'hémodynamique cardiaque, en conditions normales et pathologiques, sont reconnues comme un outil primordial pour améliorer la compréhension, le diagnostic et le traitement des pathologies cardiaques, ainsi que pour le développement de dispositifs implantables.

La simulation numérique de l'hémodynamique cardiaque présente de nombreuses difficultés, notamment à cause de la dynamique rapide d'ouverture et de fermeture des valves cardiaques et des variations de pression importantes dans le système. Plusieurs modèles réduits de valves ont été proposés dans la littérature (voir, par exemple, [1,2,3,4,5]). Fondamentalement, l'idée consiste à interpréter la valve comme une surface immergée, résistive à l'écoulement du fluide et qui imite le comportement d'une diode distribuée (analogie électrique). Ces modèles permettent la simulation de l'écoulement sanguin dans les cavités cardiaques avec un coût de calcul réduit, mais au prix d'un manque de justification mathématique (lois d'ouverture/fermeture) et de l'introduction d'oscillations non-physiques dans la pression.

L'objectif de ce stage de recherche est le développement et l'étude mathématique de différents types de modèles réduits de valves qui contournent les difficultés mentionnées ci-dessus. Un premier exemple de modèles sera basé sur des formulations de lois d'ouverture et de fermeture de valves en termes de contraintes unilatérales, qui s'ajouteront aux équations de l'écoulement (Stokes ou Navier-Stokes). Des simulations numériques seront également réalisées avec le logiciel FreeFem++, afin de mettre en évidence les différentes propriétés de ces modèles et les comparer.

Bibliographie :

- 1 M. Astorino, J. Hamers, S. C. Shadden, and J.-F. Gerbeau. A robust and efficient valve model based on resistive immersed surfaces. *Int. J. Numer. Meth. Biomed. Engng.*, 28(9):937–959, 2012.
- 2 C. Chnafa, S. Mendez, and F. Nicoud. Image-based large-eddy simulation in a realistic left heart. *Comp. & Fluids*, 94:173–187, 2014.

- 3 M. Fedele, E. Faggiano, L. Dede, and A. Quarteroni. A patient-specific aortic valve model based on moving resistive immersed implicit surfaces. *Biomech. Model. Mechanobiol.*, 16(5):1779–1803, 2017.
- 4 A. Tagliabue, L. Dede, and A. Quarteroni. Fluid dynamics of an idealized left ventricle: the extended Nitsche’s method for the treatment of heart valves as mixed time varying boundary conditions. *Int. J. Num. Meth. Fluids*, 85(3):135–164, 2017.
- 5 A. This, L. Boilevin-Kayl, M.A. Fernández, J.-F. Gerbeau. Augmented Resistive Immersed Surfaces valve model for the simulation of cardiac hemodynamics with isovolumetric phases. *Int. J. Numer. Meth. Biomed. Engng.* 36 (3), pp.e3223.