Stage de M2 / fin d'études

Titre :**Modélisation numérique patient-spécifique de l'hémodynamique post-opératoire de l'arche aortique après réparation d'une coarctation.**

Laboratoire Mécanique Modélisation et Procédés Propres (M2P2)

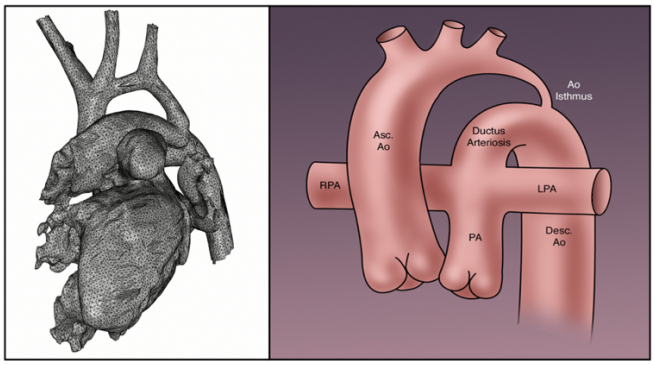
Durée : 6 mois à partir de février 2026, rémunération selon la grille de l'Université Aix-Marseille
Encadrement du stage : Loïc Macé loic.mace@univ-amu.fr; Jérôme Jacob jerome.jacob@univ-amu.fr ; Julien Favier julien.favier@univ-amu.fr; Lettre de motivation + CV requis.

Profil recherché
Étudiant(e) en Master 2 ou dernière année d'école d'ingénieur en mécanique, biomécanique ou génie biomédical, présentant :

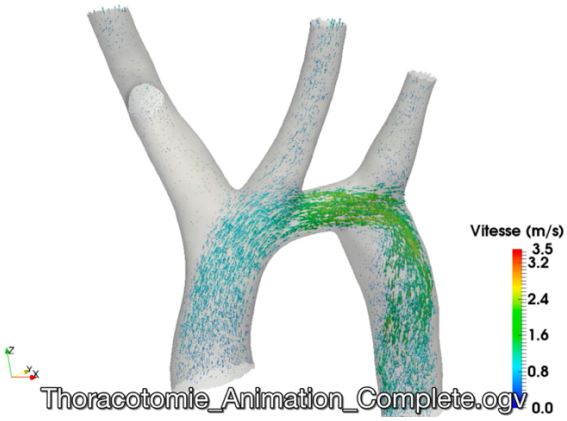
- Curiosité scientifique, autonomie, créativité et rigueur
- Bon niveau d'anglais technique (lu et écrit)
- Intérêt pour les problématiques cardiovasculaires et biomédicales
- Compétences en programmation Python
- Connaissances en mécanique des fluides numérique et méthode des éléments finis

Une soutenance et un rapport seront produits en français ou en anglais.

Contexte scientifique
La coarctation aortique est un rétrécissement congénital de la partie terminale de l'arche aortique (isthme) entraînant une élévation anormale de la pression en amont de l'obstruction et une altération du flux sanguin en aval. Cette pathologie peut provoquer hypertension, remodelage vasculaire et surcharge cardiaque, et reste parfois cliniquement significative même après correction chirurgicale ou interventionnelle.



L'étude numérique de la coarctation, à différents niveaux de sévérité et dans diverses configurations géométriques, constitue un outil essentiel pour comprendre l'évolution de la pathologie, prédire les gradients de pression post-interventionnels et évaluer les risques hémodynamiques associés.
Dans ce contexte, l'effet Windkessel joue un rôle déterminant : il modélise la capacité de l'arbre artériel à stocker et restituer l'énergie pulsatile, influençant directement les pressions et débits locaux. L'intégrer correctement dans un modèle fluide représente un enjeu majeur pour simuler des conditions physiologiques réalistes.
L'utilisation de maillages 2D et de simulations en interaction fluide-structure (FSI) offre une approche efficace pour explorer l'impact de la compliance artérielle, des géométries de coarctation, et de l'effet Windkessel sur les conditions hémodynamiques.



Objectifs du stage
Réaliser des simulations numériques de l'écoulement à travers une arche aortique présentant une coarctation, incluant :

1. Une étude des géométries patients-spécifiques ainsi que des matériaux des tissus artériels (sain, remodelé ou rigide), pour concevoir un modèle géométrique et biomécanique à différents niveaux de sévérité.
2. L'intégration d'un modèle Windkessel au niveau des conditions limites du domaine de calcul dans un code existant d'interaction fluide-structure développé au M2P2, effectuant la résolution des équations fluides par la méthode lattice Boltzmann couplée avec un calcul éléments finis par la méthode des frontières immergées.
3. La réalisation d'analyses hémodynamiques comparatives entre différents degrés de coarctation.

4. Évaluer quantitativement comment l'effet Windkessel modifie les grandeurs hémodynamiques (vitesses, gradients de pression, contraintes pariétales) dans des cas sains et pathologiques.

Références :

A stable and explicit fluid–structure interaction solver based on lattice-Boltzmann and immersed boundary methods.T Fringand, I Cheylan, M Lenoir, L Mace, J Favier. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 421, 116777, 2024.

Analysis of fluid–structure interaction mechanisms for a native aortic valve, patient-specific Ozaki procedure, and a bioprosthetic valve. T Fringand, L Mace, I Cheylan, M Lenoir, J Favier. Annals of Biomedical Engineering 52 (11), 3021-3036, 2024.

Pulse Wave Velocity Measurements by MRI in Neonates and Adolescents. Lundstrom S et al. Pediatric Cardiology 2022;43:1631-44.

Aortic arch advancement for aortic coarctation and hypoplastic aortic arch in neonates and infants. Mery CM et al. Ann Thorac Surg 2015;100:1039-46.

Repair of coarctation with resection and extended end-to-end anastomosis. Backer CL et al. Ann Thorac Surg 1998;66:1365-71.