

Proposition recherche doctorale / Ph.D. Research Proposal

Titre en français : Jumeau numérique de maladies cardiovasculaires

Titre en anglais : Digital twin of cardiovascular diseases

Noms du directeur et co directeur de thèse : Valérie Deplano, DR CNRS & Carine Guivier Curien, Pr amU

E-Mail : valerie.deplano@univ-amu.fr ; carine.guivier@univ-amu.fr

Laboratoire : Institut de Recherche sur les Phénomènes Hors Equilibre, IRPHE, UMR7342, Marseille

Financement : Obtenu

Type de financement : ANR

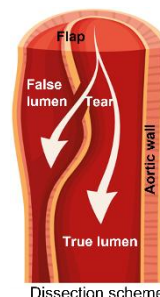
Jumeau numérique de maladies cardiovasculaires

Contexte : Responsables de presque 18 millions de morts chaque année, les maladies cardiovasculaires sont la première cause de mortalité dans le monde. Parmi ces pathologies, nous nous intéressons aux dissections aortiques (DAT) qui consiste en une déchirure de la paroi aortique, appelée porte d'entrée, responsable de la création d'un faux chenal circulant. Vrai et faux chenaux sont séparés par la paroi disséquée, appelée flap néointimal et le faux chenal peut contenir du thrombus (agrégats sanguins).

Au niveau mécanique, les parois vasculaires ont des comportements essentiellement non linéaires, anisotropes et hétérogènes, le thrombus est considéré comme un matériau poreux déformable à gradient de perméabilité et, compte tenu des spécificités géométriques des DAT le caractère rhéofluidifiant du sang doit être modélisé.

Il est maintenant connu qu'il existe des corrélations entre les géométries représentant les DAT, la dynamique des fluides au sein de ces géométries, les caractéristiques mécaniques des structures impliquées et l'évolution de la maladie. Ainsi des modélisations numériques biomimétiques ie tenant compte des caractéristiques morphologiques, fluide et structure des porteurs de cette pathologie peuvent permettre d'apporter des éléments discriminants pour prédire précocement le devenir d'un patient.

Projet Doctoral : Sur la base des nombreux travaux déjà effectués dans l'équipe d'accueil (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7)), l'objectif de ce projet de thèse consistera donc à réaliser des modélisations numériques biomimétiques de dissections aortiques qui serviront ensuite à mettre en œuvre des approches par apprentissage profond (8) afin d'identifier de nouveaux marqueurs morpho-hydro-élastodynamiques capables de prédire rapidement une évolution défavorable à un stade précoce de développement de la maladie.



Dissection scheme

Consortium : Ces travaux de recherche doctorale seront réalisés au sein de l'axe systèmes vivants et bioinspirés de l'IRPHé (Institut de Recherche sur les Phénomènes Hors Equilibre, UMR7342, Marseille) dans le cadre de l'ANR DigiTAD obtenue en juillet 2025. DigiTAD est un consortium entre les services de chirurgie vasculaire et d'imagerie médicale de l'hôpital de la Timone, le Centre de Résonance Magnétique en Biologie et Médecine, CRMBM, UMR7339, Marseille, Aix-Marseille School of Economics, AMSE, UMR7316 et le CHU de Dijon.

Profil du candidat recherché : Le(la) candidat(e) devra avoir des connaissances académiques en mécanique des fluides, une expérience en modélisation numérique et en programmation python/matlab est attendue. Il(elle) devra avoir une appétence avérée pour l'interdisciplinarité.

Candidature

Les candidat(e)s devront transmettre leur dossier avant le 29 mai 2026. Ce dossier sera composé d'un Curriculum Vitae, des relevés de notes de M1 et du semestre 1 du M2, d'une lettre de motivation, d'une lettre de recommandation du (de la) responsable de stage de M2. Le dossier doit être adressé à valerie.deplano@univ-amu.fr

Laboratoire d'accueil

L'IRPhé est un laboratoire commun CNRS, Aix-Marseille Université (AMU), Centrale Méditerranée associé à l'Institut Ingénierie du CNRS. Valérie Deplano, DR CNRS, sera la directrice de ce projet doctoral et Carine Guivier Curien, Pr amU, co dirigera les travaux. Toutes deux développent des modèles biomimétiques expérimentaux et numériques de pathologies cardiovasculaires. Le fil conducteur de leur recherche est de corrélérer la dynamique des fluides et des structures biologiques avec les événements cliniques indésirables.

Digital twin of cardiovascular diseases

Background : Responsible for almost 18 million deaths each year, cardiovascular disease is the leading cause of death in the world. Among these pathologies, we are interested in aortic dissections (AD) that consists of an intimal tear in the aortic wall, called a portal vein, responsible for the creation of a false circulatory channel. The true and false channels are separated by the dissected wall, called neointimal flap and the false lumen may contain a thrombus. (blood aggregates).

From a mechanical point of view, vascular walls exhibit essentially nonlinear, anisotropic, and heterogeneous behavior; the thrombus is considered a deformable porous material with a permeability gradient; and, given the geometric characteristics of the DATs, the blood's shear thinning properties must be modeled.

It is now well known that there are correlations between the geometries representing the pathological aortas, the fluid dynamics within these geometries, the mechanical characteristics of the structures involved and the evolution of the pathologies. Thus, biomimetic numerical models, i.e models that take into account the morphological, fluid, and structural characteristics of patients with this condition can provide key indicators for the early prediction of a patient's prognosis.

PhD projet : Based on the numerous works already done in the host team ((1), 2), 3), 4), 5), 6), 7)), the objective of this PhD project will be to perform biomimetic numerical modelling of aneurysmal diseases which will then be used to implement deep learning approaches (8) to identify new morpho-hydro-elastodynamic markers capable of rapidly predicting an unfavourable evolution at an early stage of the disease's development.

Consortium: This PhD will be conducted within the biomechanics team at IRPhé (Institute for Research on Non-Equilibrium Phenomena, UMR7342, Marseille) as part of the ANR DigiTAD grant awarded in July 2025. DigiTAD is a consortium comprising the vascular surgery and medical imaging departments at Hôpital de la Timone, the Center for Magnetic Resonance in Biology and Medicine (CRMBM), UMR7339, Marseille, the Aix-Marseille School of Economics (AMSE), UMR7316, and the Dijon University Hospital (CHU).

Profile of the candidate:

The candidate must have academic knowledge of fluid mechanics; experience in numerical modeling and Python/MATLAB programming is expected. He or she must have a proven aptitude for interdisciplinary work.

Application

Applicants must submit their application file by May 29, 2026. The application package must include a resume, transcripts from the first year of the Master's program and the first semester of the second year, a cover letter, and a letter of recommendation from the M2 internship supervisor. The files should be sent to valerie.deplano@univ-amu.fr

Host Laboratory

IRPHé is a joint laboratory of the CNRS, Aix-Marseille University (amU), and Centrale Méditerranée, affiliated with the CNRS Institute of Engineering. Valérie Deplano, CNRS Research Director, will be the director of this doctoral project, and Carine Guivier Curien, amU Professor, will co-direct the research. Both are developing experimental and numerical biomimetic models of cardiovascular diseases. The major theme of their research is to correlate the dynamics of fluids and biological structures with clinical events.

References

- 1) Loffredo, S., Guivier-Curien, C., Deplano, V. 2021. Influence of the presence of a porous thrombus on hemodynamics in a CFD model of a descending thoracic aneurysm. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 24(1), 189-191
- 2) Khannous, F., Guivier-Curien C., Gaudry, M., Piquet Ph., Deplano, V. (2022). Numerical modeling of residual type B aortic dissection: longitudinal analysis of favorable and unfavorable evolution. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 60(3):769-783, DOI: 10.1007/s11517-021-02480-1
- 3) Deplano, V. and Guivier-Curien, C. (2022). Geometric vascular singularities, hemodynamic markers and pathologies (Chapter 3), in *Biological flow in large vessels; Dialog between numerical modeling and in vitro/in vivo experiment*, Edition ISTE-WILEY <https://www.iste.co.uk/book.php?id=1883>
- 4) Deplano, V., Guivier-Curien, C. 2023. Fluid Structure interaction in aortic dissections, [Chapter 24](#) in *BIO-MECHANICS OF THE AORTA: MODELLING FOR PATIENT CARE*, Elsevier Textbook
- 5) Guivier-Curien C., Deplano, V. (2025) A Fluid–Structure Interaction Computational Study of Residual Aortic Dissection to Investigate the Influence of Mechanical Behaviour of Wall and Flap on Flows. *International Journal for Numerical Methods in Biomedical Engineering*, 41
- 6) Baudouard, M., Guivier-Curien, C., Rapacchi, S., Jacquier, A., Deplano, V. 2025. Assessing the displacement of thoracic aortic aneurysms with magnetic resonance imaging for a biomimetic numerical modeling. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-6157089/v1> Preprint in research square.
- 7) Léonet, J., Vicente, J., D Masi, M., Deplano, V. 2025. Aortic thrombi microstructure through contrast-enhanced X-ray microtomography. *Scientific Reports*, 15:11808, <https://doi.org/10.1038/s41598-025-95724-1>
- 8) Cruz-Gonzalez, O.L., Deplano, V., Ghattas, B., 2026. Enhanced Vascular Flow Simulations in Aortic Aneurysm via Physics-Informed Neural Networks and Deep Operator Networks. *Mechanics Research Communications*. Volume 153, April 2026, 104642.