

Post doctoral Fellowship A*MIDEX - Aix-Marseille Université

Substitution of numerical models of fluid mechanics by deep learning models.
Applications to thoracic aorta diseases

This 18-month post-doctoral fellowship is funded within the framework of the TAAMOD project: Thoracic Aorta Aneurysm MODELing, winner of the A*MIDEX 2021 Interdisciplinarity call for projects.

This project is supported by a multidisciplinary consortium made up of researchers specializing in fluid mechanics, biomechanics, porous media, statistics, as well as medical imaging. The biomechanics team of the Institute for Research on Non-Equilibrium Phenomena (UMR7342, Marseille), the physical transfer team of IUSTI (UMR7343, Marseille), the econometric and statistics team of AMSE (UMR7316, Marseille), the cardio vascular system team of CRMBM (UMR7339 Marseille) and in collaboration with the vascular surgery and medical imaging departments of la Timone Hospital want to develop a clinical diagnostic tool capable of early prediction of the development of pathologies of the thoracic aorta.

The criteria usually used in clinical routine to evaluate the evolution of some of these pathologies such as aneurysms and/or dissections are, indeed, not sufficiently discriminating to predict early the best medical or surgical treatment. This project aims **to determine, through numerical modelling and deep learning techniques, which physical parameters are likely to be correlated with an unfavourable evolution, and thus improve the management of patients.**

The IRPHE biomechanics team carries out complex digital modeling of some of these pathologies using data from medical imaging -CT scan for geometries and MRI (2D+t, 3D+t, cine dynamic) for boundary conditions. The objective is to implement patient-specific 3D models considering fluid and structure features for different types of evolution - favorable and unfavorable - as well as for several postoperative times. This makes it possible to associate physical quantities linked to the dynamics of flow and structures with certain unfavorable clinical evolutions ([1]) and, subsequently, to predict certain treatment failures at an early stage. However, the computation time associated with these complex models constitutes an obstacle to their use in clinical practice.

The main objective of this post-doctoral project is therefore to implement deep learning techniques to replace these numerical models to predict early the evolution of thoracic aortic pathologies. Aneurysms and/or dissections of the thoracic aorta will be studied. Indeed, the biomechanics team of IRPHE (V. Deplano) has already performed numerical modelling of aortic dissections ([2], [3]) and is currently working on biomimetic numerical modelling of thoracic aortic aneurysms ([4]). Clinical data are obtained thanks to collaborations with the vascular surgery (M. Gaudry & M. De Masi) and imaging (A. Jacquier) departments of the Timone Hospital. MRI sequences allowing the integration of patient specific boundary conditions are implemented in collaboration with the CRMBM (S. Rapacchi). In addition, in collaboration with IUSTI (J. Vicente), the biomechanics team of IRPHE is also develop *in vitro* experiments on porous biological media to model the behavior of thrombus that appears during aneurysm formation ([5]). B. Ghattas (AMSE) uses and develops statistical learning and deep learning approaches for medical applications. In particular, he has already developed algorithms for automatic segmentation and modeling of medical images based on deep neural networks ([6]). He will be involved in the deployment of these methods dedicated to engineering science problems such as those encountered in the numerical modeling of fluid flows and vascular diseases [[7], [8], [9]].

Profile of the candidate

The candidate should have academic knowledge in the disciplinary fields related to the subject: Deep learning for engineering sciences and numerical modelling. He/she should have a proven appetite for interdisciplinarity. Experience in Python programming is essential.

Application

Candidates must send their application before January 31, 2023. Application consists of a Curriculum Vitae, a letter of motivation, the PhD defense reports and a letter of recommendation. The application folder must be sent in the form of a .zip archive to the project supervisors at valerie.deplano@univ-amu.fr & badih.ghattas@univ-amu.fr

Bourse Post doctorale A*MIDEX - Aix-Marseille Université

Substitution de modèles numériques de mécanique des fluides par des modèles d'apprentissage profond.
Applications aux pathologies vasculaires

Cette bourse post doctorale sur 18 mois est financée dans le cadre du projet TAAMOD : Thoracic Aorta Aneurysm MODeling, lauréat de l'appel à projet Interdisciplinarité d'A*MIDEX 2021.

Ce projet est porté par un consortium pluridisciplinaire composé de chercheurs spécialistes en mécanique des fluides, biomécanique, milieu poreux, statistiques, ainsi qu'imagerie médicale. L'équipe de biomécanique de l'Institut de Recherche sur les Phénomènes Hors Equilibre (UMR7342, Marseille), l'équipe physique des transferts de l'IUSTI (UMR7343, Marseille), l'équipe Econométrie et statistiques de l'AMSE (UMR7316, Marseille), et l'équipe système cardiovasculaire du CRMBM (UMR7339, Marseille) en collaboration avec les services d'imagerie médicale et de chirurgie vasculaire de l'hôpital de la Timone souhaitent développer un outil de diagnostic clinique capable de prédire précocement l'évolution de pathologies de l'aorte thoracique.

Les critères habituellement utilisés en routine clinique permettant d'évaluer les évolutions de certaines de ces pathologies comme les anévrismes et/ou les dissections de l'aorte thoracique ne sont, en effet, pas suffisamment discriminants pour prédire précocement le meilleur des traitements.

Ce projet a pour ambition **de déterminer au travers de modélisations numériques et par suite par des techniques d'apprentissage profond quelles sont les grandeurs physiques susceptibles d'être corrélées à une évolution défavorable, et améliorer ainsi la prise en charge des patients.**

L'équipe de biomécanique d'IRPHE réalise des modélisations numériques complexes de ces pathologies grâce à des données provenant d'imageries médicales : CT scan pour les géométries et IRM (2D+t, 3D+t, cine dynamique) pour les conditions aux limites. L'objectif est de mettre en œuvre des modèles 3D patient-spécifique tenant compte des caractéristiques fluide et structure pour différents types d'évolution -favorable et défavorable- ainsi que pour plusieurs temps post opératoires. Ceci permet d'associer des grandeurs physiques liées aux dynamiques de l'écoulement et des structures à certaines évolutions cliniques défavorables ([1]) et, par la suite, de prédire précocement l'évolution de la maladie. Toutefois, le temps de calcul associé à ces modélisations complexes constitue un obstacle à leur utilisation en pratique clinique.

L'objectif principal de ce projet post doctoral est donc de mettre en œuvre des techniques d'apprentissage profond pour se substituer à ces modèles numériques afin de prédire précocement l'évolution de pathologies de l'aorte thoracique. Les anévrismes et/ou dissections de l'aorte thoracique seront plus particulièrement étudiés. En effet, l'équipe de biomécanique d'IRPHE (V. Deplano) a déjà réalisé des modélisations numériques de dissections aortiques ([2], [3]) et réalise actuellement des travaux sur des modélisations numériques biomimétiques d'anévrismes de l'aorte thoracique ([4]). Les données cliniques sont obtenues grâce aux collaborations établies avec les services de chirurgie vasculaire (M. Gaudry & M. De Masi) et d'imagerie (A. Jacquier) de la Timone. Les séquences IRM permettant d'intégrer des conditions aux limites patient spécifiques sont mises en œuvre en collaboration avec le CRMBM (S. Rapacchi). Par ailleurs en collaboration avec l'IUSTI (J. Vicente), l'équipe de biomécanique d'IRPHE met également en place des expérimentations *in vitro* sur des milieux biologiques poreux pour modéliser le comportement de thrombus qui apparaît lors de la formation d'anévrisme ([5]). B. Ghattas (AMSE) utilise et développe des approches en apprentissage statistique et en apprentissage profond dans le cadre d'applications médicales. Il a notamment déjà développé des algorithmes de segmentation automatique et de modélisation d'images médicales basés sur des réseaux de neurones profonds ([6]). Il sera impliqué dans le déploiement de ces méthodes dédiées à des problématiques des sciences de l'ingénierie tels que celles rencontrées dans la modélisation numérique d'écoulements fluides et de maladies vasculaires [[7], [8], [9]].

Profil du/de la candidat.e

Le/la candidat.e devra avoir des connaissances académiques dans les champs disciplinaires relatifs au sujet: deep learning pour les sciences de l'ingénierie et modélisations numériques. Il/elle devra avoir une appétence avérée pour l'interdisciplinarité. Une expérience en programmation python est indispensable.

Candidature

Les candidat(e)s devront transmettre leur dossier avant le 31 janvier 2023. Ce dossier sera composé d'un Curriculum Vitae, d'une lettre de motivation, des rapports de soutenance de thèse et d'une lettre de recommandation. Le dossier doit être adressé sous forme d'archive .zip aux encadrants du projet aux adresses valerie.deplano@univ-amu.fr et badih.ghattas@univ-amu.fr

Références

- [1] Deplano, V. & Guivier-Curien, C. (2022) Geometric vascular singularities, hemodynamic markers and pathologies. doi.org/10.1002/9781119986607.ch3. In Biological flow in large vessels; Dialog between numerical modeling and in vitro/in vivo experiment, Edition ISTE-WILEY, SCIENCES – Mechanics, ISBN :9781789450651, p 69-99.
- [2] Khannous, F., Guivier-Curien, C., Gaudry, M., Piquet, Ph., Deplano, V. (2020). Residual type B aortic dissection FSI modeling. Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering. doi 10.1080/10255842.2020.1812165.
- [3] 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, DOI: 10.1007/s11517-021-02480-1.
- [4] Baudouard, M., Rapacchi, S., De Masi, M., Guivier-Curien, C., Jacquier, A., Deplano, V. (2022). Motion assessment of the thoracic aorta for flow numerical modeling. Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering 25:sup1, S20-S22, DOI: 10.1080/10255842.2022.2116885.
- [5] Léonet, J., Baudouard, M., De Masi, M., Guivier-Curien, C., Bertrand, E., Lepidi, H., Vicente, J., and Deplano, V. (2022). Morphological and poro-mechanical characterization of thrombi from aortic aneurysm. Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, 25:sup1, S186-S188, DOI: 10.1080/10255842.2022.
- [6] J. Fournel, A. Bartoli, D. Bendahan, M. Guy, M. Bernard, E. Rause, M. Y. Khanjif, S.E. Petersen, A. Jacquier, B. Ghattas. Medical image segmentation automatic quality control: A multi-dimensional approach. In press, Medical Image Analysis, 2022.
- [7] Cai, S., Mao, Z., Wang, Z., Yin, M., Karniadakis, G. Em Physics-informed neural networks (PINNs) for fluid mechanics: A review. Acta Mechanica Sinica (2021), 37, pages 1727-1738.
- [8] Liang et al, (2020) A Feasibility Study of Deep Learning for Predicting Hemodynamics of Human Thoracic Aorta J. of Biomech., 99.
- [9] Fukami et al, (2019) Super resolution reconstruction of turbulent flows with machine learning, J. Fluid Mech., 870.