

Dynamique des écoulements pulsatiles dans les systèmes géométriquement complexes

Contact : Atul Varshney (atul.varshney@univ-cotedazur.fr)

Laboratoire : Institut de Physique de Nice (INPHYNI), CNRS, Université Côte d'Azur

Contexte général – Les écoulements physiologiques sont instables et peuvent présenter des instabilités hydrodynamiques ; dans les grands vaisseaux sanguins, des régimes turbulents peuvent apparaître. Ces écoulements non stationnaires, ainsi que les fluctuations de contrainte de cisaillement pariétale qu'ils induisent, sont connus pour favoriser le dysfonctionnement endothélial, un facteur clé dans le développement des maladies vasculaires [1]. La complexité géométrique des vaisseaux sanguins — variations de diamètre, courbures et bifurcations — influence fortement la stabilité des écoulements (voir par exemple la Fig. 1) [2]. Pourtant, même dans le cas simplifié d'un écoulement pulsatile en conduite droite, les mécanismes d'instabilité et la transition à la turbulence restent mal compris.

Objectifs – Le projet de doctorat vise à comprendre comment le forçage pulsatile et les perturbations géométriques (par exemple la courbure et la bifurcation) influencent la stabilité des écoulements, la transition vers la turbulence et la contrainte de cisaillement pariétale, avec des implications directes pour les écoulements cardiovasculaires. Le travail sera principalement expérimental et reposera sur des études d'écoulements pulsatiles en conduite droite, courbe et ramifiée. Des diagnostics avancés seront mis en œuvre, notamment la vélocimétrie par images de particules (PIV) planaire et stéréo pour résoudre les champs de vitesse résolus en temps, ainsi que des mesures de pression pour quantifier la traînée de frottement et la contrainte de cisaillement pariétale. Le projet offrira une formation approfondie aux techniques expérimentales de pointe, à l'analyse de données et à la caractérisation des instabilités, avec un intérêt direct pour la mécanique des fluides fondamentale et ses applications [3].

Environnement de travail – Le ou la doctorant·e intégrera le groupe de recherche *Rhéologie des suspensions concentrées* de l'Institut de Physique de Nice (INPHYNI), où une installation d'écoulement pulsatile en conduite a récemment été développée. Elle ou il bénéficiera également d'interactions étroites avec des équipes travaillant sur les aspects numériques et théoriques de la turbulence, à INPHYNI et dans d'autres laboratoires de l'Université Côte d'Azur.

Profil recherché – Le ou la candidat·e devra posséder une solide formation en physique, avec de bonnes connaissances en mécanique des fluides et en physique hors équilibre. Un fort intérêt pour l'expérimentation, ainsi que pour le traitement et l'analyse de données expérimentales ou numériques, est requis.

Références

- [1] P. F. Davies, [Stress de cisaillement hémodynamique et endothélium dans la physiopathologie cardiovasculaire](#), Nat. Clin. Pract. Cardiovasc. Med. 6, 16 (2009).
- [2] D. Xu, A. Varshney, X. Ma, B. Song, M. Riedl, M. Avila et B. Hof, [Instabilité hydrodynamique non linéaire et turbulence dans un flux pulsatile](#), Proc. Natl. Acad. Sci. 117, 11233 (2020).
- [3] D. Scarselli, J. M. Lopez, A. Varshney et B. Hof, [Suppression de la turbulence par la conduite d'un écoulement inspiré du cycle cardiaque](#), Nature 621, 71 (2023).

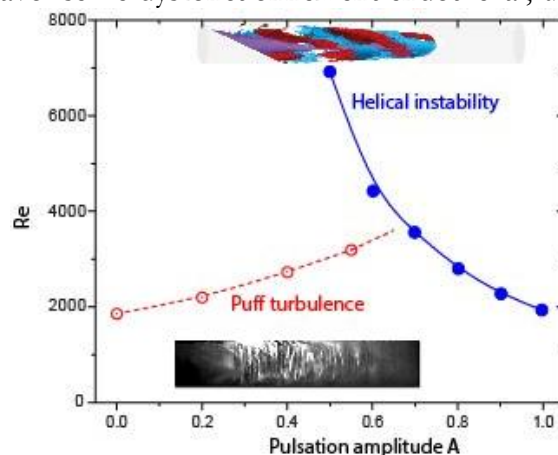


Figure 1 : Nombre de Reynolds (Re) d'apparition des instabilités pour la turbulence de bouffée dans un tuyau droit (courbe rouge) et pour le mode hélicoïdal dans un tuyau légèrement courbé (courbe bleue), montré en fonction de l'amplitude de pulsation [2].

Dynamics of Pulsatile Flows in Geometrically Complex Systems

Contact: Atul Varshney (atul.varshney@univ-cotedazur.fr)

Laboratory: Institut de Physique de Nice (INPHYNI), CNRS, Université Côte d'Azur

General context – Physiological flows are unsteady and can exhibit hydrodynamic instabilities; in large blood vessels, turbulence may even arise. Such unsteady flow conditions and the resulting fluctuations in wall shear stress are known to promote endothelial dysfunction—the impairment of the inner lining of blood vessels—which plays a central role in the development of vascular diseases [1]. Blood vessels further complicate this picture through their complex geometries, featuring diameter variations, curvature, and bifurcations that can profoundly influence flow stability (e.g. Fig. 1) [2]. Yet, even in the simplified setting of pulsatile flow through a straight pipe, the underlying instability mechanisms and routes to turbulence remain poorly understood.

Objectives – The funded PhD project will focus on understanding how pulsatile forcing and geometrical perturbations (e.g. curvature and branching) influence flow stability, transition to turbulence, and wall shear stress, with direct relevance to cardiovascular flows. The research work will be primarily experimental and will involve laboratory studies of pulsatile pipe flows in straight, curved, and branched geometries. Advanced flow diagnostics will be employed, including planar- and stereo- particle image velocimetry (PIV) to resolve time-resolved velocity fields, as well as pressure-based measurements to quantify frictional drag and wall shear stress. The project offers hands-on experience with state-of-the-art experimental facilities and provides training in data analysis, instability characterization, and fluid-mechanical interpretation, with direct relevance to both fundamental fluid mechanics and flow applications [3].

Working environment – The student will integrate to the [Rheology of concentrated suspensions](#) research group of the Physics Institute of Nice (INPHYNI), where a pulsatile pipe flow has recently been built. She/He will further benefit from close interactions with research groups working on numerical and theoretical aspects of turbulence, at INPHYNI and in other laboratories of Université Côte d'Azur.

Profile required – The PhD candidate should have a strong background in physics, with advanced knowledge of fluid mechanics and out-of-equilibrium physics. A strong interest in developing and conducting experiments, as well as in experimental or numerical data processing and analysis, is essential.

References

- [1] P. F. Davies, [Hemodynamic shear stress and the endothelium in cardiovascular pathophysiology](#), Nat. Clin. Pract. Cardiovasc. Med. **6**, 16 (2009).
- [2] D. Xu, A. Varshney, X. Ma, B. Song, M. Riedl, M. Avila, and B. Hof, [Nonlinear hydrodynamic instability and turbulence in pulsatile flow](#), Proc. Natl. Acad. Sci. **117**, 11233 (2020).
- [3] D. Scarselli, J. M. Lopez, A. Varshney, and B. Hof, [Turbulence suppression by cardiac-cycle-inspired driving of pipe flow](#), Nature **621**, 71 (2023).

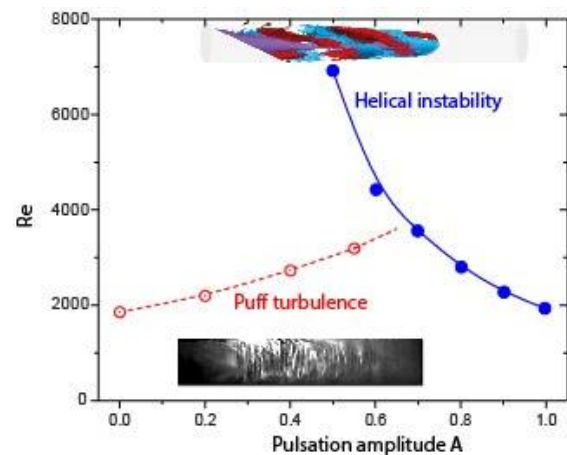


Figure 1: Instabilities' onsets Reynolds number (Re) for puff turbulence in a straight pipe (red curve) and for the helical mode in a mildly curved pipe (blue curve), shown as a function of pulsation amplitude [2].