



### Proposition de sujet de thèse- Contrats Doctoraux MESRI 2024-2027

<b>Titre du sujet</b>	<b>Dynamique d'objets anisotropes dans la turbulence.</b> De l'orientation de sphéroïdes rigides à la déformation de longues fibres flexibles
<b>Directeur de thèse*</b> *HDR	Climent Eric Toulouse INP <a href="mailto:eric.climent@imft.fr">eric.climent@imft.fr</a> HDR
<b>Co-Directeur de thèse*</b> *HDR	Praud Olivier Toulouse INP <a href="mailto:olivier.praud@imft.fr">olivier.praud@imft.fr</a> demande de dérogation
<b>Laboratoire</b>	Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse

#### Description du sujet

**Contexte et objectifs** - Les interactions entre particules solides et turbulence sont depuis de très nombreuses années un sujet d'intérêt du fait des applications industrielles ou environnementales mettant en jeu des écoulements diphasiques à phase dispersée. Tout d'abord, le cas des particules sphériques a été étudié de manière exhaustive (forces, dispersion, accumulation préférentielle, retour inverse ... [1]). Il reste bien sûr des questions ouvertes mais progressivement la communauté s'est orientée vers des objets de formes plus complexes (sphéroïdes, bâtonnets rigides, disques – [2]) puis depuis une dizaine d'année des objets flexibles et déformables faisant le lien entre écoulement diphasique et interaction fluide-structure.

Pour ces particules non-sphériques, il y a eu tout d'abord des études expérimentales et numériques pour relier les propriétés statistiques de la turbulence à celles des orientations ou des taux de rotation en plus des vitesses et accélérations en translation. Lorsque la forme de l'objet est aussi une des inconnues du problème, des études similaires ont cherché à établir le lien entre les propriétés de la turbulence à celle de la conformation d'une fibre flexible (le cadre théorique s'est inspiré de la physique des polymères en faisant jouer le rôle d'agitation thermique à la turbulence [3]).

Plusieurs travaux [4] ont mis en évidence que l'orientation d'un sphéroïde, tout comme la déformation d'une fibre longue et flexible à un instant donné ne dépend pas uniquement des propriétés Eulériennes de l'écoulement. Il semblerait que toute l'histoire des orientations ou de la déformation soit importante et donc son interaction avec la structure turbulente qui l'a transportée jusqu'à l'instant considéré. L'analyse Lagrangienne des interactions entre des particules de forme complexe (sphéroïdes ou fibres flexibles) constitue le premier point que nous souhaitons étudier expérimentalement dans le cadre de cette thèse.



D'autre part, des expériences récentes ont montré des comportements inattendus dans le cas de sédimentation de fibres déformables à l'échelle micro. Pour des polymères de poids moléculaire important, il a été observé que la partie amont de la fibre pouvait former une pelote qui avait tendance à favoriser la formation de nœuds et ainsi augmenter la vitesse de sédimentation [5]. Dans le cas de fibres macroscopiques, la turbulence peut jouer le rôle de l'agitation thermique et donc une analogie peut être envisagée dans le même esprit que ce qui a été fait pour des fibres iso-denses. L'étude de la déformation de fibres longues et flexibles en sédimentation dans un écoulement turbulent constitue le second volet de cette thèse.

### Déroulement de la Thèse

- Production de fibres avec des propriétés contrôlées et reproductibles (longueur, diamètre, densité). Il y a plusieurs pistes à tester avec des matériaux variés, par extrusion ou par moulage. Il existe désormais des résines souples (R. Zenit, Brown U. – USA) qui permettent de faire de l'impression 3D et donc de pouvoir faire varier la longueur et le diamètre de la fibre afin de contrôler son module de flexibilité.
- Réalisation d'expériences destinées à étudier la dynamique de sphéroïdes puis de fibres flexibles iso-denses dispersés dans une turbulence homogène isotrope. Un dispositif de vélocimétrie par tomographie (TOMO-PTV 3D) sera mis en œuvre pour effectuer des mesures simultanées et résolues en temps de l'orientation ou de la déformation des objets considérés et du champ de vitesse volumétrique du fluide.
- Développement de techniques d'analyse Lagrangienne des propriétés de l'écoulement et de leur relation avec la conformation de la fibre ou l'orientation des sphéroïdes.
- Réalisations d'expériences destinées à l'étude de la déformation de fibres longues et flexibles en sédimentation dans un écoulement turbulent. L'analyse et le traitement des images obtenues par ombroscopie permettront alors de déterminer dans quelle mesure la turbulence modifie la vitesse de sédimentation des fibres.

### Références

- [1] S. Balachandar & J.K Eaton (2010). Turbulent Dispersed Multiphase Flow. Ann. Rev. of Fluid Mech. 42:1, 111.
- [2] Voth, G. A., & Soldati, A. (2017). Anisotropic particles in turbulence. Ann. Rev. of Fluid Mech., 49, 249-276.
- [3] Brouzet, C., Verhille, G., & Le Gal, P. (2014). Flexible fiber in a turbulent flow: A macroscopic polymer. Phys. Rev. Letters, 112(7), 074501. 5.+ Numerical modelling of flexible fibers in homogeneous isotropic turbulence. M Sulaiman, E. Climent, B. Delmotte, P. Fede, F. Plouraboué, G. Verhille (2019) Eur. Phys. J. E 42: 132.
- [4] Byron, M., Einarsson, J., Gustavsson, K., Voth, G., Mehlig, B., & Variano, E. (2015). Shape-dependence of particle rotation in isotropic turbulence. Physics of Fluids, 27(3).
- [5] Cunha, L. H., Zhao, J., MacKintosh, F. C., & Biswal, S. L. (2022). Settling dynamics of Brownian chains in viscous fluids. Physical Review Fluids, 7(3), 034303.
- [6] Farazmand, Mohammad; Haller, George (2016). "Polar rotation angle identifies elliptic islands in unsteady dynamical systems". Physica D: Nonlinear Phenomena. 315: 1–12