

Offre de Thèse en Mécanique des Fluides et Hydraulique

Etude expérimentale et modélisation de la dynamique d'objets de grande taille dans un écoulement à surface libre : application à la recherche de victimes de noyades en rivières

Résumé du projet :

Le sujet s'inscrit dans l'amélioration des recherches de victimes de noyade dans les cours d'eau urbains. Pour optimiser la zone de recherche, on cherche à définir la cartographie de probabilité de présence de la victime à chaque instant pendant les opérations de recherche destinées à la réanimation (une à deux heures) et en cas d'échec, à plus long terme (recherche du corps). Cela demande de modéliser la trajectoire d'un objet au sein d'un écoulement turbulent à surface libre. La spécificité du projet est qu'il s'intéresse à des objets « de grande taille », c'est-à-dire d'une taille comparable aux échelles caractéristiques de l'écoulement (profondeur, courants secondaires ou structures cohérentes). Une modélisation adaptée aux interactions entre ce type d'objet et l'écoulement reste à établir : c'est l'objectif de la thèse. Le travail sera d'abord expérimental, autour d'écoulements en laboratoire, avec des objets simples et des modèles réduits de victimes, mais aussi *in situ* avec le suivi de la dérive de mannequins dans le Rhône et la Saône à Lyon. Il devra permettre de comprendre les paramètres qui influencent la trajectoire des victimes, pour ensuite intégrer leur influence au sein de modèles Eulériens-Lagrangiens.

Financement : Agence Nationale de la Recherche (Projet ARCO 2024-2027)

Etablissement : INSA Lyon

Ecole Doctorale : MEGA, Lyon

Laboratoires : LMFA, Lyon, France; HECE, Liège, Belgique ; INRAE-RiverLy, Lyon

Collaboration : SDMIS (pompiers plongeurs) de Lyon

Lieu d'activité : INSA Lyon, 69100 Villeurbanne

Début : Automne 2024

S'informer / postuler :

écrire / envoyer CV et lettre de motivation à :

nicolas.riviere@insa-lyon.fr ; diego.lopez@insa-lyon.fr ; B.Dewals@uliege.be ; jerome.lecoz@inrae.fr

Contexte

Dans les grandes zones urbaines, les rivières représentent un atout majeur en termes d'identité culturelle, de durabilité et d'attractivité touristique et économique. Cependant, les rivières urbaines sont également associées à un aspect plus sombre : celui de la tragédie de la noyade. À Lyon, deuxième aire urbaine de France, traversée par deux grands cours d'eau, le Rhône et la Saône, une centaine d'opérations de sauvetage en rivière est enregistrée chaque année. Malgré le professionnalisme des sauveteurs, parmi les victimes qui ne sont pas secourues avant de couler, trop peu sont sauvées par des recherches subaquatiques. Le projet ARCO, financé par l'ANR, associe plusieurs laboratoires, CNR et les pompiers plongeurs du SDMIS de Lyon avec pour objectif d'améliorer la recherche de victimes de noyades. Il comprend des travaux techniques (détection, aide à la recherche) et de recherche en sciences humaines et sociales (prévention, recueil de témoignages fiables), ainsi qu'en mécanique des fluides et hydraulique (prévision de la position de la victime sous l'eau). C'est sur ce dernier volet qu'intervient la thèse, associant les laboratoires LMFA (Lyon), HECE (Liège) et INRAE-Riverly (Lyon).

Objectifs scientifiques

L'objectif opérationnel qui motive la thèse est de définir une carte de probabilité de présence de la victime à chaque instant pendant les opérations de recherche destinées à la réanimation (c.à.d. plusieurs dizaines de minutes) et à plus long terme, en cas d'échec (recherche du corps). Pour cela, il est nécessaire de comprendre les paramètres qui affectent la trajectoire d'une victime, puis de les inclure dans un modèle permettant de prédire les trajectoires, afin de mieux circonscrire les zones de recherche. La compréhension et la modélisation de la dynamique d'objets solides dans un écoulement est une question centrale dans de nombreuses applications industrielles ou environnementales¹. Le point de vue le plus adapté pour décrire ou modéliser le mouvement d'une inclusion (objet solide au sein de l'écoulement) est un point de vue Lagrangien, alors que c'est un point de vue Eulérien qui s'impose pour l'écoulement à surface libre. Ce type de modèle mixte, dit Eulérien-Lagrangien n'est pas nouveau, mais la plupart des modèles existants se restreignent à des inclusions de petite taille^{2,3}, à l'exception peut-être des études menées pour le cas très particulier d'objets flottants comme le bois – dont celles menées récemment au LMFA⁴.

Dans le cas de la recherche de victimes de noyade dans les cours d'eau, la taille des inclusions solides est comparable aux dimensions typiques de l'écoulement. Ces inclusions vont ainsi subir les hétérogénéités de l'écoulement (gradients de vitesse, turbulence) et interagir avec le lit et d'éventuels obstacles (pile et pont, objets sur le fond). Ces effets complexes ne sont pas pris en compte dans les modèles existants et le rôle de la turbulence – avec ses différentes échelles – sur la dispersion des inclusions de grande taille reste à déterminer, ainsi la manière de le modéliser.

Travail envisagé

La première partie du travail sera d'examiner et de quantifier l'influence de divers paramètres sur les trajectoires des victimes. Ces paramètres peuvent être caractéristiques de l'écoulement (profondeur, vitesse, présence de piles de pont ou de macro-rugosités sur le lit) et de l'objet (taille, poids apparent, et, pour les modèles réduits, morphologie, vêtements...). **Leur rôle sera caractérisé en canal de laboratoire**, à partir de trajectoires vidéo 3D dans un premier temps d'objets simples (sphères) puis ensuite de mannequins mis à l'échelle, en l'absence ou en présence d'obstacles. Cette technique est bien adaptée au grand nombre d'expériences nécessaires pour caractériser les paramètres ayant une influence stochastique. Les résultats attendus sont (i) une hiérarchisation des paramètres clés influençant la dérive du corps, (ii) une modélisation de leurs influences. En effet, ces influences peuvent être déterministes (par exemple les coefficients de traînée ou de portance) ou stochastiques (par exemple une distribution des valeurs de ces paramètres à cause d'autres degrés de liberté comme la rotation ou la position de la victime mais aussi la probabilité d'une macro-rugosité ou d'une pile de pont de "piéger" la victime). La seconde partie du travail portera sur la prise en compte de ces paramètres et de leur influence, pour les intégrer au sein d'une **modélisation Euler-Lagrange**. Cela concerne d'abord le choix de l'équation, comme par exemple de Basset-Boussinesq-Oseen utilisée pour des particules de petite taille. Ensuite, cela porte sur les coefficients utilisés dans ces équations, pour des phénomènes déterministes (par exemple traînée ou masse ajoutée) ou stochastiques (coefficient de diffusion associé à la turbulence ou aux courants secondaires). Pour ces derniers, la thèse s'appuiera également sur des **expériences de terrain, en situation réelle**, avec le suivi 3D de la dérive de mannequins lâchés dans le Rhône ou la Saône.

Moyens disponibles

Le sujet s'appuie sur les compétences et moyens de deux laboratoires reconnus pour l'hydrodynamique à surface libre. Les expériences de laboratoire auront lieu au LMFA qui dispose d'une installation parfaitement adaptée pour le projet^{4,5}: un canal à surface libre de 6 m de long, équipé pour la mesure de vitesses et de la turbulence associée, et de grands accès optiques avec caméras multiples permettant de suivre la trajectoire 3D de grandes inclusions. HECE dispose de moyens complémentaires pour la mesure de forces⁶ (bassin de carène, soufflerie) ou pour des simulations⁷(code WOLF). Les expériences de terrain bénéficieront des moyens et de l'expertise du laboratoire RiverLy d'INRAE (cartographie de profondeurs et vitesses par ADCP couplé à un GPS différentiel⁸, localisation du mannequin par GPS subaquatique) et de celles des pompiers (bateaux, plongeurs, mannequin d'essai).

Profil recherché

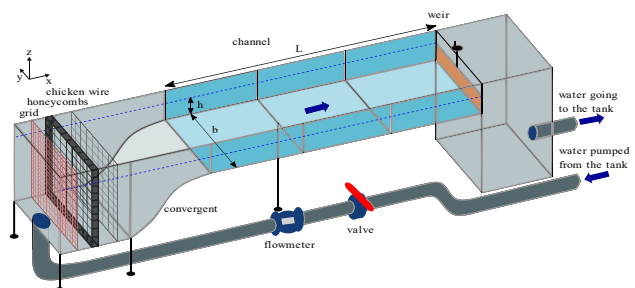
- Formation recommandée : M2 ou diplôme d'école d'ingénieur en Mécanique des fluides, Hydraulique, Génie Civil, Mécanique ou Physique
- Connaissances souhaitées : hydraulique, mécanique des fluides, mécanique générale.
- Aptitudes recherchées : goût pour les expérimentations (mise en place et conduite d'expériences), capacité à travailler sur un bateau en plein air, utilisation d'outils numériques (Python, R ou Matlab®) pour le traitement des données, ainsi que rédiger et communiquer en français et en anglais.

Références

- ¹ Brandt, L., & Coletti, F. (2022). Particle-laden turbulence: progress and perspectives. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 54, 159-189.
- ² Magnaudet, J., & Eames, I. (2000). The motion of high-Reynolds-number bubbles in inhomogeneous flows. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 32(1), 659-708.
- ³ Maxey, M. R., & Riley, J. J. (1983). Equation of motion for a small rigid sphere in a nonuniform flow. *The Physics of Fluids*, 26(4), 883-889.
- ⁴ Ghaffarian, H., Lopez, D., Mignot, E., Piegay, H., & Riviere, N. (2020). Dynamics of floating objects at high particulate Reynolds numbers. *Physical Review Fluids*, 5(5), 054307.
- ⁵ Lemant F. (2023). Experimental study of the dynamics of large immersed spheres in a free surface water channel Helping firemen in river rescue. Mémoire de Master 2, ENS de Lyon.
- ⁶ Delhez, C., Andrianne, T., Erpicum, S., Riviere, N., Hallot, P., Piroton, M., ... & Dewals, B. (2024). Force coefficients for modelling the drift of a victim of river drowning. *Natural hazards*, 1-29.
- ⁷ Delhez, C., Rivière, N., Erpicum, S., Piroton, M., Archambeau, P., Arnst, M., Dewals, B. (2023). Drift of a drowning victim in rivers: conceptualization and global sensitivity analysis under idealized flow conditions. *Water resources research*, 59(10), e2022WR034358.
- ⁸ Pouchoulin, S., Le Coz, J., Mignot, E., Gond, L., & Riviere, N. (2020). Predicting transverse mixing efficiency downstream of a river confluence. *Water Resources Research*, 56(10), e2019WR026367.



Essais *in-situ* avec le mannequin -
Crédits : C. Maghakian



Canal disponible au LMFA (L=6m)