

PROPOSITION DE SUJET DE STAGE/THESE RÉMUNÉRÉ

Intitulé de l'offre : Master 2/Thèse : Etudes expérimentales et numériques de l'interaction bateau-ouvrage avec des expériences analogues et en bassin d'essais des carènes (H/F)

Laboratoire : Institut Pprime CNRS

Lieu du stage: Futuroscope, Poitiers. Durée : 5-6 mois. À partir de mars-avril 2025.

Responsable(s) du stage : Germain Rousseaux

e-mail : germain.rousseaux@cnrs.fr

téléphone : 05 49 49 69 59

page web : <https://germain-rousseaux.cnrs.fr>

Titre : Etudes expérimentales et numériques de l'interaction bateau-ouvrage avec des expériences analogues et en bassin d'essais des carènes (H/F)

Description du sujet de master (5-6 mois) et de doctorat (3 ans).

Contexte du travail :

L'équipe Curiosity de l'institut Pprime souhaite recruter un.e étudiant.e de Master 2 débouchant sur un recrutement thèse tous les deux financés dans le cadre d'une collaboration avec les Voies Navigables de France (VNF) et le Laboratoire de Mathématiques et Applications (LMA) de Poitiers afin d'étudier la navigation en milieu confiné dans une optique d'interaction fluide-structures. En complément à un post-doctorat en cours sur une revisite des travaux théoriques sur les effets de confinement hydraulique et ondulatoire pour un bateau fluvial en interaction avec l'ouvrage (typiquement un canal à forme trapézoïdal), nous souhaitons désormais alimenter les études théoriques par des expériences permettant de cribler les modèles ainsi que de guider les modélisateurs vers les modèles pertinents du fait de lacunes dans la compréhension des phénomènes tels que révélées par l'analyse de la littérature et que les expériences pourraient combler.

Par exemple, un des enjeux consiste à déterminer la vitesse critique d'un bateau fluvial correspondante à l'apparition des phénomènes hydrauliques de confinement qui se traduisent par un courant de retour autour de la carène du navire, une variation du niveau du plan d'eau, une modification de la résistance à l'avancement du navire en fonction de la géométrie de la voie d'eau, de sa rugosité de la pente ou de la présence d'un courant, des caractéristiques d'architecture naval du bateau comme le coefficient de bloc ou les frottements sur la carène [1,2].

Le travail du post-doctorant théorique en soutien au futur doctorant expérimental a d'abord été bibliographique sur la base d'un état de l'art fourni par VNF des théories scientifiques disponibles dans le domaine de la voie d'eau. Le consortium ainsi constitué entre Pprime, le LMA et VNF travaille depuis lors à étendre les théories sur la navigation en milieu confiné issues de la littérature en retirant les simplifications et inexactitudes et, en tentant de les unifier dans une théorie complète intégrant les connaissances pratiques ainsi que les formulations de type ingénierie avec les travaux en mathématiques appliquées sur les calculs de résistance à l'avancement du navire pour aboutir à une formulation analytique de l'ensemble qui puisse servir de base opérationnelle.

Une analogie [3] entre le comportement théorique d'un écoulement au-dessus d'un obstacle de fond occupant toute la largeur du canal et l'approche dite énergétique de la navigation en milieu confiné a été par ailleurs découverte indépendamment par l'équipe de Pprime dans le cadre d'une autre étude de nature expérimentale sur les régimes hydrodynamiques (hydrauliques+dispersifs) des écoulements sous-critiques et transcritiques inhomogènes (Figure 1). Fort de cette ressemblance qui permet de calculer dans les deux cas une vitesse critique d'entrée dans le régime transcritique (avec une augmentation conséquente de la résistance à l'avancement du navire dans le cas fluvial), il apparaît donc naturel de tenter de généraliser les résultats à confinement total latéral (l'obstacle/le bateau occupe toute la largeur du canal) à un confinement partiel latéral (l'obstacle/le bateau n'occupe pas toute la largeur du canal) puis partiel sectionnel (un obstacle de fond inversé = un obstacle en surface = un bateau). 3 nombres sans dimensions permettent de caractériser les 2 situations :

- le rapport entre le tirant d'eau du bateau ou la hauteur de l'obstacle avec la hauteur d'eau dans le canal : T/h
- le rapport entre le maître-bau du bateau ou la largeur de l'obstacle avec la largeur du canal : B/W
- Le rapport des sections du bateau ou la section de l'obstacle avec la section du canal : $m=Ab/Ac$

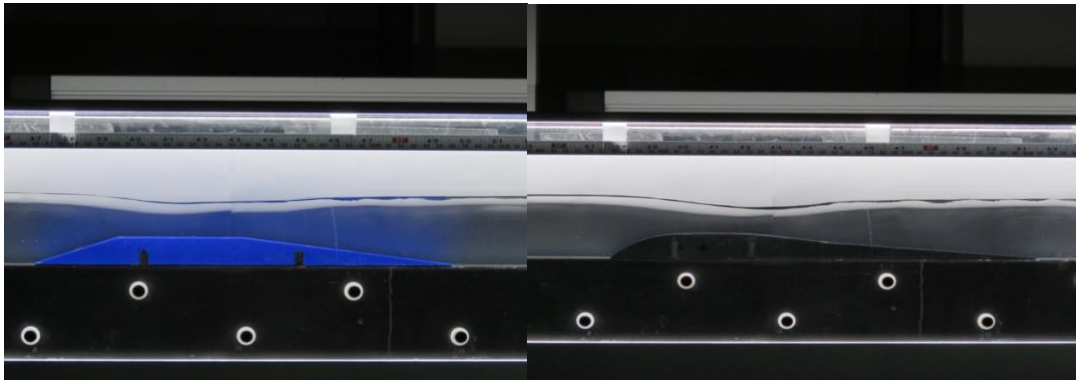


Figure 1 : (gauche) obstacle à géométrie discontinue ; (droite) obstacle à géométrie continue. L'ondulation à l'aval de l'obstacle occupant toute la largeur du canal correspond au sillage 1D du bateau en milieu confiné équivalent.

Ainsi donc, nous proposons un sujet de Master 2 et de thèse combinés alliant expériences d'interactions fluide-structures dans les canaux de l'Institut Pprime et modélisations théoriques/ numériques. Sur le plan expérimental, la personne recrutée caractérisera les régimes d'écoulements autour et au-dessus d'abord d'un obstacle de fond fixe qui n'occupe pas toute la largeur du canal dans une position centrale puis excentrée (le bateau analogue se rapproche des berges) par rapport à un canal à surface libre de 3m de long avec une section de canal de forme géométrique rectangulaire/trapézoïdale/triangulaire/quelconque. Puis l'obstacle sera retourné et fixé sur un actuateur vertical : une classification des écoulements autour de l'obstacle d'abord rigide puis autorisé à tanguer et/ou pilonner sera recherchée. Enfin, un passage à l'échelle dans le bassin d'essai des carènes de 30 m de long de la plate-forme PHE de l'Institut Pprime (plate-forme d'hydrodynamique environnementale : <https://pprime.fr/la-recherche/fluides-thermique-combustion/plateforme-hydrodynamique-environnementale-fr/?cn-reloaded=1>) sera effectuée pour complexifier la situation par rapport au cas modèle de l'obstacle dans un écoulement (Figure 2). Des obstacles de fond conçus par impression 3D avec des géométries (continue et discontinue, voir Figure 2) et des rapports d'aspect différents seront étudiés. Des maquettes de bateaux de coefficient de bloc différents seront utilisées.

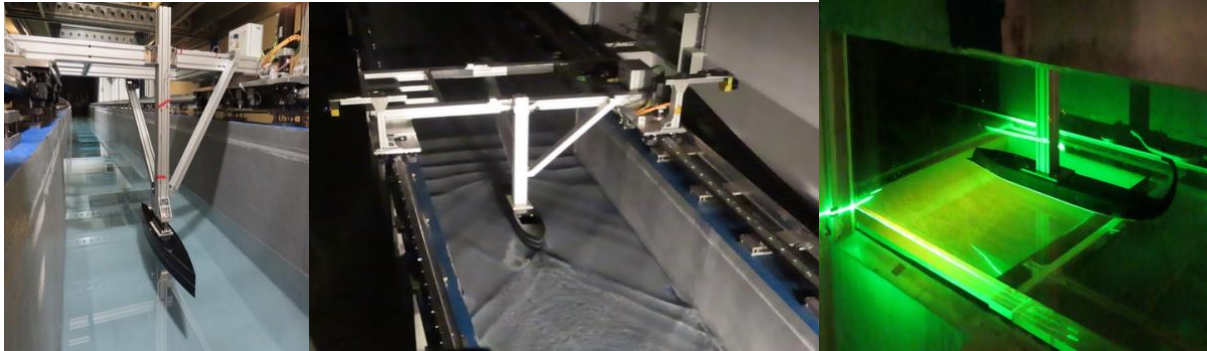


Figure 2 : (gauche) bassin d'essais des carènes de l'Institut Pprime avec son chariot de traction et une maquette de bateau maritime ; (milieu) sillage transcritique d'un bateau fluvial avec émission de solitons (droite) vélocimétrie par image de particules de l'écoulement autour d'une galère antique.

Au niveau métrologique, des méthodes de caractérisation de surface en interaction fluide-structure seront mise en œuvre complétées par des mesures des courants autour de l'objet (obstacle ou bateau) par vélocimétrie par image de particules (Figure 2) dans le cadre de la plate-forme CEMOP de l'Institut Pprime (<https://www.univ-poitiers.fr/accompagner-les-entreprises/innover/plateformes-technologiques/plateforme-de-metrologie-cemop/>).

Une modélisation tenant compte des effets hydrauliques au droit du bateau et incluant les efforts de vagues (forces horizontales, verticales et couple) sera mise en place en s'inspirant des modèles de navigation fluviale présents dans la littérature. La justification de ces modèles fait l'objet de recherches en mathématiques appliquées [4] menées en parallèle au LMA dans le cadre de la collaboration avec VNF. Ces derniers s'appuient sur un raccordement de modèles hydrauliques (proche du bateau) et de modèles dispersifs (loin du bateau).

Les résultats feront l'objet outre de rapports d'avancement pour VNF, de publications scientifiques internationales co-signées VNF/Pprime/LMA. Le poste se situe dans un secteur relevant de la protection du potentiel scientifique et technique (PPST), et nécessite donc, conformément à la réglementation, que l'arrivée de la personne recrutée soit autorisée par l'autorité compétente du MESR.

La personne recrutée sera co-encadrée par Germain Rousseaux, Directeur de Recherche HDR CNRS (Institut Pprime) et Julien Dambrine, Maître de Conférence Université de Poitiers (LMA).

Références :

[1] P.-J. Pompée, "About modelling inland vessels resistance and propulsion and interaction vessel – waterway Key parameters driving restricted/shallow water effects" - Proceeding of Smart Rivers, Buenos Aires, 7-11 September (2015).

http://www.pianc.org.ar/_stage/pdf/papers_sr2015/180_paper_Pompee_FRA.pdf

[2] Thèse de Clément Caplier, Université de Poitiers, 01/11/2015 - 05/12/2015.

Sujet : Etude expérimentale des effets de hauteur d'eau finie, de confinement latéral et de courant sur les sillages et la résistance à l'avancement des navires.

<http://www.theses.fr/2015POIT2315>

[3] A. Bossard et al., On the art of designing effective space-times with free surface flows in Analogue Gravity, En cours de publication au Compte Rendu Physique (2024). Preprint :

<https://arxiv.org/abs/2408.15629>

[4] J. Dambrine, M. Pierre, Regularity of Optimal Ship Forms Based on Michell's Wave Resistance, *Applied Mathematics and Optimization*, **82**, pages 23–62 (2020).
https://hal.science/hal-01383229v2/file/DPregularity_preprintv3.pdf

Contraintes et risques

Des déplacements de courte durée, en France et à l'étranger, sont à prévoir.

Des expériences dans des canaux hydrauliques seront menées.

Informations Complémentaires

Les candidatures devront inclure un CV détaillé ; une lettre de motivation d'une page ; un résumé d'une page du mémoire de thèse.

Un niveau "expérimenté" ou une "maîtrise" en langue française est exigé (C2 ou C1 selon cadre européen de référence). Veuillez consulter le cadre européen de référence pour les langues (CECRL) : <https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F34739>

Le laboratoire se réserve le droit de demander le résultat du test (TEF ou DELF).