Stage M2 - Thèse
Entraînement d'air dans le sillage d'un cylindre perçant une surface libre

Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique (LMFA) UMR 5509 - site UCBL
Contacts :
jean-philippe.matas@univ-lyon1.fr — Jean-Philippe Matas, LMFA
helene.scolan@univ-lyon1.fr — Hélène Scolan, LMFA
pierre.trontin@univ-lyon1.fr — Pierre Trontin, LMFA

Résumé :

Ce stage de M2 propose la caractérisation expérimentale de l'entraînement d'air dans le sillage en aval d'un cylindre fixe. L'étude s'inscrit dans le cadre du projet FOAMWAKE et se fera en collaboration avec les partenaires sur le projet : Ifremer et Naval Group.

Le stage de M2 doit débuter **au plus tard au printemps 2025**.
Ce stage pourra déboucher sur une proposition de **thèse** sur ce projet avec un début à partir **d'automne 2025**.

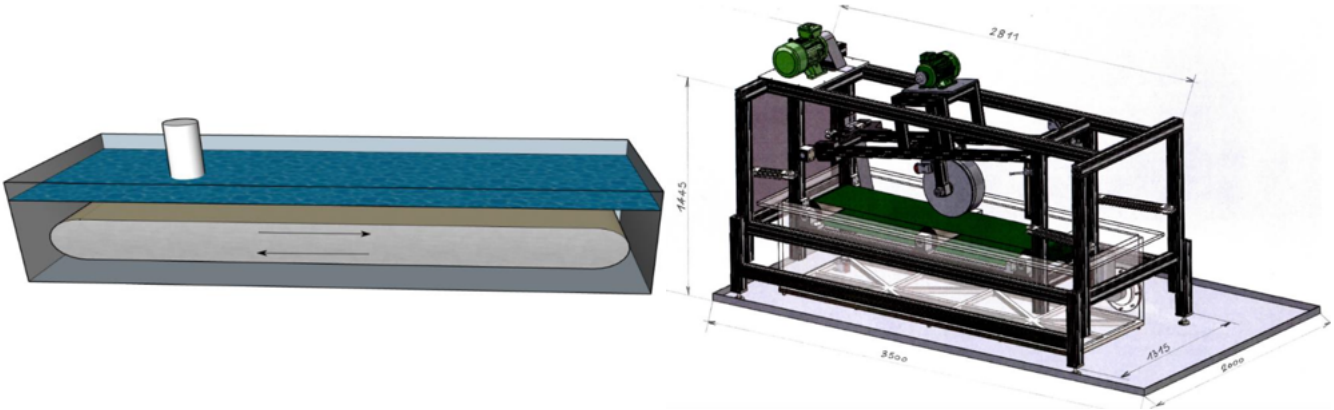
Contexte :

Les navires évoluant en surface ou à proximité de la surface de la mer produisent, parmi d'autres traces, un sillage « blanc » constitué d'un mélange diphasique (air-eau) qui, combiné à la présence de la surface libre et au sillage turbulent du navire, persiste après le passage de ce dernier (figure 1).

Fig. 1 – Sillage diphasique généré derrière des voiliers (image pixnio.com)

Le stage proposé a pour objectif de comprendre les phénomènes physiques à l'origine de la formation, de la propagation et de la persistance dans le temps de ces sillages diphasiques à travers l'étude du cas d'un cylindre vertical traversant une surface libre.

La persistance de l'écume dans le sillage dépend de la distribution de taille des bulles. Plus les bulles sont petites, plus elles restent piégées au sein de l'écoulement, plus elles sont grosses plus la flottabilité leur permet de remonter rapidement et de se libérer de la turbulence de l'écoulement. De plus, une fois arrivées à la surface, les petites bulles persisteront aussi plus longtemps que les grandes, car le film liquide à leur surface met plus de temps à se draîner que celui, plus fin, de bulles plus grandes. Pour pouvoir comprendre et prédire la distribution de tailles de bulles dans le sillage d'un cylindre, il faut donc caractériser comment l'écoulement autour du cylindre va entraîner l'air sous la surface, observer les zones diphasiques et les potentielles cavités se fragmentant par la turbulence de l'écoulement comme dans les cas de jets plongeants (Dev *et al.*, 2024) et des vagues déferlantes (Deike, 2022, cf figure 4).



a) b)

Fig. 2 – a) Schéma de principe du dispositif expérimental. b) Dispositif existant en version écoulement derrière une roue.

Projet : Ce stage de M2 propose l'étude de l'entraînement d'air dans le sillage en aval d'un cylindre fixe à l'aide d'un banc d'essais. Le dispositif est constitué d'un tapis roulant inséré dans une cuve de dimensions 2.3 m × 0.74 m (figure 2 a)) et permet l'établissement d'un écoulement jusqu'à 5 m/s. Un obstacle cylindrique sera placé dans l'écoulement et instrumenté afin de pouvoir étudier les mécanismes d'entraînement d'air dans un référentiel fixe. Le dispositif existe déjà au laboratoire, sous une version différente dédiée à l'écoulement derrière une roue (figure 2 b)).

L'objectif du stage sera d'abord de modifier le dispositif existant pour mettre en place le système avec cylindre et caractériser l'écoulement incident sur l'obstacle, pour la gamme de vitesses, de profondeurs, de diamètres de cylindre permettant de générer un écoulement diphasique en aval (mesure de la position de l'interface libre, champ de vitesse dans le sillage par PIV).

Il s'agira ensuite de caractériser les tailles et vitesses de bulles en aval du cylindre par imagerie rapide et par sonde optique (figure 3). La visualisation permettra de décrire qualitativement l'extension et la dynamique de la région diphasique. La mesure par sonde optique permettra de quantifier précisément la nature de l'écoulement diphasique, en fournissant :

- Les distributions de tailles de bulles
- Les distributions de vitesses de bulles, et leur corrélation à la taille
- Le débit d'air entraîné par les vagues autour et à l'aval du cylindre, par intégration des distributions précédentes, et le taux de vide en chaque point de mesure.

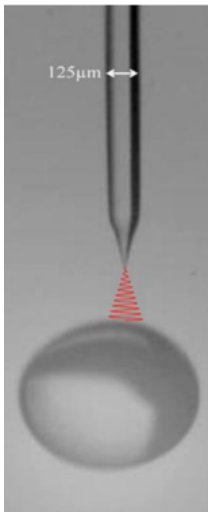


Fig. 3 – Principe d'une sonde optique pour la mesure de taux de vide et vitesse : le signal optique renvoyé par l'interface de la bulle permet de calculer sa vitesse à partir de la fréquence Doppler.

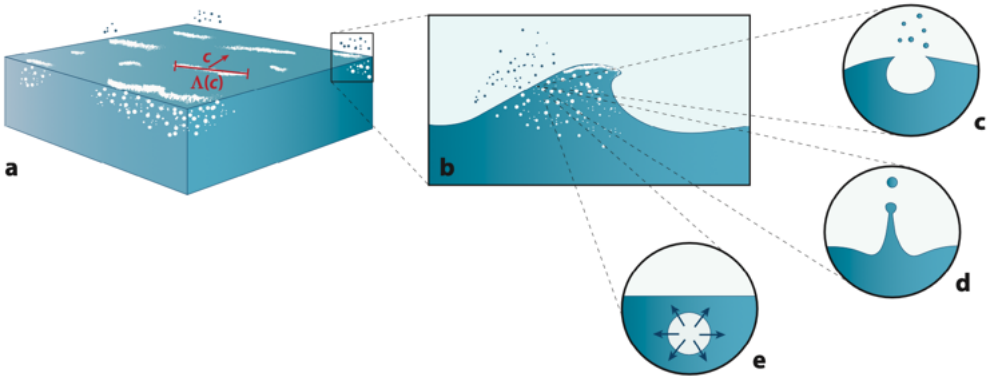


Fig. 4 – Différents mécanismes de transfert de masse dans l'océan dû aux vagues déferlantes, gouttes et bulles. Les vagues déferlantes dues au vent forment des crêtes blanches (a) à la surface de l'océan. La dynamique de chaque déferlement (b) permet des modèles d'échelle pour la dissipation d'énergie associée, l'entraînement d'air et les statistiques des bulles. Aux plus petites échelles, les bulles avec des tailles allant de O(1 µm) à O(10 mm) éclatent à la surface pour produire des embruns liquides via (c) des gouttes de film et (d) des gouttes de jet, avec des tailles allant de O(0,1 µm) à O(1 mm), et (e) échangent du gaz dans l'océan supérieur turbulent. Extrait de Deike, 2022.

Compétences requises : Le ou la stagiaire devra avoir une solide connaissance en mécanique des fluides et être motivé.e par le travail expérimental (conception, mise en place, campagnes de mesures) et le traitement de données (Python) ainsi que la modélisation. Suivant l'avancée du stage, une simulation numérique du système avec le logiciel Basilisk pourra être envisagée, ou par la suite en thèse.

Rémunération : Montant statutaire : 15 % du plafond horaire de la sécurité sociale.

Références:

Luc Deike, 2022, « Mass transfer at the ocean–atmosphere interface : the role of wave breaking, droplets, and bubbles », *Annual Review of Fluid Mechanics* **54**(1) p. 191-224, DOI : 10.1146/annurev-fluid-030121-014132.

Narendra Dev, J John Soundar Jerome, Hélène Scolan et Jean-Philippe Matas, 2024, « Liquid inertia versus bubble cloud buoyancy in circular plunging jet experiments », *Journal of Fluid Mechanics* **978** A23, DOI : 10.1017/jfm.2023.1019.