

Comment s'oriente un flotteur allongé dérivant dans une onde ?

Frédéric Moisy¹, Lucile Danion¹, Basile Dhote¹, Jules Andriamapianina¹, Wietze Herreman^{1,2}, Laurent Martin-Witkowski^{1,2}

¹ Laboratoire FAST, Université Paris-Saclay, CNRS, 91405 Orsay

² Laboratoire LISN, Université Paris-Saclay, CNRS, 91405 Orsay

frederic.moisy@universite-paris-saclay.fr

Il est bien connu qu'un corps flottant dans un champ d'onde propagative dérive avec l'onde. Dans une approche faiblement non-linéaire et pour un corps de petite taille complètement immergé, ce comportement résulte des phénomènes classiques de dérive de Stokes et d'écoulement moyen redressé. Mais la situation plus réaliste d'un corps de taille finie et partiellement immergé peut faire apparaître des comportements beaucoup plus subtils et difficiles à modéliser.

Parmi ces comportements, celui de l'orientation préférentielle d'un flotteur allongé par rapport à la direction de propagation de l'onde est particulièrement intrigant : on observe que les flotteurs courts ont tendance à s'aligner selon le vecteur d'onde (alignement *longitudinal*), tandis que les flotteurs longs s'alignent plutôt perpendiculairement (alignement *transverse*). Cette tendance à l'alignement longitudinal est d'autant plus prononcée que le corps est dense, et donc fortement immergé. La raison de ce comportement surprenant n'a pas été élucidée à notre connaissance.

Afin de comprendre ce phénomène, nous avons mené une étude expérimentale, théorique et numérique. Les expériences ont été effectuées dans une petite cuve à houle (longueur 3 m) remplie de 10 cm d'eau, permettant d'émettre des ondes de fréquence 1 à 4 Hz (soit $\lambda = 0.1 - 0.8$ m). Les flotteurs sont des parallélépipèdes homogènes, de largeur $L_y = 10$ mm, épaisseur $L_z = 5$ mm, et longueur L_x comprise entre 20 et 140 mm, construits dans des matériaux de densité $d = \rho/\rho_w$ comprise entre 0.1 et 0.9. Les expériences sont réalisées avec des ondes de pente modérée ($ak < 0.2$), de sorte que le flotteur reste toujours partiellement immergé, sans démouillage sur la face inférieure ni submersion sur la face supérieure. Pour chaque combinaison de λ , L_x et d , nous suivons l'évolution de l'angle de lacet ψ entre l'axe du flotteur et le vecteur d'onde.

Nos observations montrent que (a) l'orientation à temps long du flotteur est indépendante de l'amplitude de l'onde ; (b) le temps caractéristique d'évolution de l'orientation varie en $(\omega ak)^{-1}$, signature d'une dynamique faiblement non linéaire ; (c) la transition entre orientation longitudinale ($\psi = 0^\circ$) et transverse ($\psi = 90^\circ$) s'observe pour un flotteur de longueur $L_x \sim \sqrt{e\lambda}$, où e est l'enfoncement (ici $e = dL_z$ pour un solide homogène).

Notre analyse théorique et numérique a permis d'identifier les contributions principales à l'origine de cette transition. Il s'agit d'une compétition entre deux phénomènes faiblement non linéaires : en plus du couple oscillant issu des forces de flottaison (forces de Froude–Krylov), responsable de l'oscillation « rapide » de l'angle ψ d'ordre ak , il existe deux corrections d'ordre $(ak)^2$ conduisant à une évolution « lente » de l'angle. La première est caractéristique d'un oscillateur paramétrique : de manière analogue au pendule de Kapitza, un oscillateur excité tend à s'aligner selon la direction de vibration, ce qui favorise l'orientation longitudinale. Mais lorsque le flotteur devient suffisamment allongé, une seconde correction entre en jeu, liée à la variation de la ligne de flottaison le long du flotteur. Cette seconde correction tend au contraire à aligner le flotteur en position transverse, et ce d'autant plus que l'enfoncement est faible (corps léger). De la compétition entre ces deux tendances résulte la transition observée.