

## Orientation de flotteurs déformables dans un champs de vagues

B. DHOTE<sup>1</sup>, W. HERREMAN<sup>1</sup>, F. MOISY<sup>1</sup>

*basile.dhote@universite-paris-saclay.fr ; wietze.herreman@universite-paris-saclay.fr ; frederic.moisy@universite-paris-saclay.fr*

<sup>(1)</sup>Laboratoire FAST, Université Paris-Saclay, CNRS.

Les structures flottantes déformables sont présentes dans de nombreux domaines d'ingénierie navale (dispositifs de récupération d'énergie houlomotrice, centrales photovoltaïques flottantes, projets d'aéroports flottants, etc. [1]) ou environnementales ("marées vertes" de sargasses, zone de glace marginale, etc. [2]). En présence de houle, de telles structures subissent des forces et des couples moyens qui induisent des efforts sur les dispositifs d'ancrage ou, dans le cas de structures libres, qui conduisent à une dérive, en translation mais aussi en rotation.

La dérive d'objets flottant à la surface de l'eau est un sujet bien connu : un tel objet suit le mouvement du fluide et se déplace en moyenne dans le sens des vagues, mouvement moyen appelé dérive de Stokes. Pour des objets de taille finie et donc d'inertie non négligeable, comme dans le cas de structures flottantes rigides ou flexibles, les forces de flottaison peuvent également conduire à des couples moyens qui les mettent en rotation. L'effet de tels couples moyens a été beaucoup étudié dans le cas de corps rigides élanés dans le contexte de la tenue en mer et de la manoeuvrabilité des navires [3, 4].

Nous avons proposé récemment une interprétation physique ce ce phénomène de dérive angulaire d'un flotteur allongé dans un champ de vagues [5]. Nous avons montré que des flotteurs courts devant la longueur d'onde possèdent deux orientations d'équilibre stables selon leur longueur et leur profondeur d'immersion : Les plus courts et fortement immergés ont tendance à se réorienter dans le sens de propagation de l'onde, que l'on appelle longitudinal, alors que les plus longs ou faiblement immergés s'orientent parallèlement aux crêtes, que l'on appelle transverse. Le premier équilibre peut s'expliquer par un mécanisme analogue à la dérive de Stokes, tandis que le second provient de la variation de l'immersion le long du flotteur (figure 1b), d'autant plus importante que ce celui-ci est grand.

Selon ce mécanisme, on s'attend à ce qu'une structure flottante le long de laquelle l'immersion ne varie pas, comme dans le cas d'une structure déformable épousant parfaitement la surface libre (figure 1c), s'aligne systématiquement de manière longitudinale, dans le sens de propagation de l'onde. L'objectif de ce travail est d'étudier, expérimentalement et théoriquement, ce phénomène d'orientation préférentielle d'une structure flottante déformable.

Des expériences de laboratoire ont été menées dans une cuve à ondes de 4 m de longueur, 20 cm de largeur et remplie d'eau à hauteur de 22 cm (figure 1a). Un piston

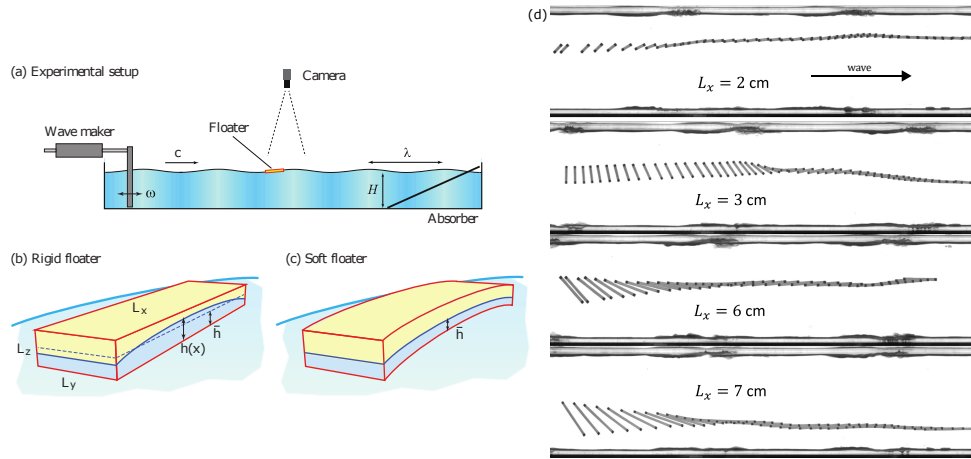


FIGURE 1 – (a) Dispositif expérimental : des ondes gravitaires sont générées à l’aide d’un batteur à piston dans une cuve à onde. Une plage atténuante est placée à l’extrémité pour absorber l’onde incidente et éviter toute réflexion. (b) Schéma de flotteurs rigides et (c) déformables. (d) Chronophotographies de flotteurs flexibles dans un champs de vague qui se réorientent dans la direction de propagation des ondes.

gène des ondes gravitaires de fréquence de l’ordre de 2 Hz et d’amplitude de l’ordre de quelques millimètres, caractérisées par une pente  $ak = 0.14$  (régime faiblement non-linéaire). Les flotteurs flexibles utilisés sont des bandes de plastique ou de papier de largeur  $L_y = 5$  mm et de longueur  $L_x$  variant entre 2 et 12 cm. Les chronophotographies de la figure 1d confirment que ces bandes s’orientent systématiquement de manière longitudinale, quelque soit leur longueur  $L_x$ , confirmant notre hypothèse.

Nous avons analysé la dynamique de réorientation de ces flotteurs flexibles, et observé que celle-ci est d’autant plus lente que le flotteur est long. Nos mesures ont permis d’établir une loi d’échelle empirique entre la vitesse angulaire normalisée par la pulsation de l’onde et la taille du flotteur :  $\dot{\psi}/\omega \sim 1/L_x$ , avec  $\psi$  l’angle de lacet du flotteur.

Nous avons développé un modèle théorique en supposant que le mouvement d’un flotteur flexible est régi par les forces de pression dues à l’onde non affectées par la présence de l’objet. Ce modèle non visqueux repose sur le fait que comme le flotteur épouse parfaitement la forme de l’interface, et néglige la diffraction du fait de la petite taille du flotteur devant la longueur d’onde ( $kL_x < 1$ ). Notre modèle confirme que, sous ces hypothèses, les flotteurs flexibles s’orientent systématiquement de manière longitudinale. En revanche il n’est pas suffisant pour comprendre la vitesse angulaire de réorientation, qui nécessite la prise en compte des forces de friction du fluide sur l’objet, dominées par la viscosité dans notre cas. Nous travaillons actuellement à compléter ce modèle par l’ajout des forces visqueuses.

## Références

- [1] Min Zhang and Sebastian Schreier. Review of wave interaction with continuous flexible floating structures. *Ocean Engineering*, 264 :112404, 2022.
- [2] Vernon A Squire. Ocean wave interactions with sea ice : A reappraisal. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 52 :37–60, 2020.
- [3] Odd Faltnsen. *Sea loads on ships and offshore structures*, volume 1. Cambridge university press, 1993.
- [4] John Nicholas Newman. *Marine hydrodynamics*. The MIT press, 2018.
- [5] Wietze Herreman, Basile Dhote, Lucile Danion, and Frédéric Moisy. Preferential orientation of floaters drifting in water waves. *arXiv preprint arXiv :2401.03254*, 2024.