

SILLAGES ASSYMÉTRIQUES SUR BATHYMÉTRIE ANISOTROPE
17^{èmes} JOURNEES DE L'HYDRODYNAMIQUE JH2020

L.P. Euvé^{(1),*}, A. Maurel⁽²⁾, V. Pagneux⁽³⁾, and P. Petitjeans⁽¹⁾

⁽¹⁾Laboratoire de Physique et Mécanique des Milieux Hétérogènes, ESPCI, Paris, France

⁽²⁾Institut Langevin, ESPCI, Paris, France

⁽³⁾Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans, Le Mans, France

*Corresponding author: leo-paul.euve@espci.fr

Résumé

Nous montrons, expérimentalement et numériquement, que le sillage d'un navire peut devenir fortement assymétrique quand la bathymétrie varie périodiquement. Cette bathymétrie forme un métamatériau modifiant les propriétés des ondes (nombre d'onde, vitesse) dépendant de la direction vers laquelle elles se propagent. Dans certains cas, on peut même observer qu'une partie du sillage se propage en l'avant du navire ce qui est très inhabituel.

Summary

We show, experimentally and numerically, that the wake of a ship becomes highly asymmetrical when the bathymetry is varying periodically. This bathymetry forms a metamaterial modifying the properties of the waves (wavenumber, speed) depending on the direction toward which they propagates. In specific cases, we can observe that a part of the wake propagates towards the front of the ship which is very unusual.

Depuis une dizaine d'année, les sillages de navires ont suscité une attention particulière bien que ce domaine spécifique des vagues est étudié depuis maintenant plus d'un siècle et demi si l'on se réfère aux études de Lord Kelvin. Une récente étude [1] montre que l'on peut obtenir un sillage assymétrique lorsque le navire avance dans un courant cisailé modifiant ainsi la relation de dispersion du sillage en la rendant anisotrope. Dans notre cas, l'assymétrie est provoquée par une bathymétrie variant périodiquement créant un métamatériau ayant lui aussi sa propre relation de dispersion anisotrope. Un exemple de sillage dans les métamatériaux est l'étude de Luo et al. décrivant le comportement de la radiation de Cerenkov dans un cristal photonique [2].

Dans les résultats qui vont suivre, le métamatériau est obtenu grâce à une bathymétrie stratifiée périodiquement à une échelle petite devant les longueurs d'onde du sillage. Plus précisément, des plaques verticales sont placées sur le fond du canal de mesure, comme dans [3], voir Figure 1.

La relation de dispersion des ondes sur une telle bathymétrie, développée dans [3], est obtenue en homogénéisant le problème 3D, le réduisant à un problème 2D. Elle dépend des profondeurs d'eau, dans notre cas, $h_- = 12\text{mm}$ et $h_+ = 47,5\text{mm}$ ainsi que de la longueur de périodicité $l = 12\text{mm}$ de l'épaisseur relative des plaques $\theta/l = 2\text{mm}$ (Figure 1, gauche). En prenant en compte la vitesse du navire $U = 0.42\text{m/s}$ et sa direction de propagation par rapport à la bathymétrie $\alpha = 39^\circ$ (Figure 1, centre), on obtient la relation du sillage. Cette dernière fournit une image théorique du sillage en utilisant la variation de la vitesse de groupe (direction et norme) en fonction du nombre d'onde, comme fait dans [2] et représenté Figure 2 (gauche). On observe alors clairement l'assymétrie entre le sillage supérieur et inférieur et plus particulièrement on peut voir que des grandes longueurs d'onde (vecteurs bleus) se propagent à l'avant du navire ($x > 0$) ce qui est très contre-intuitif pour un sillage.

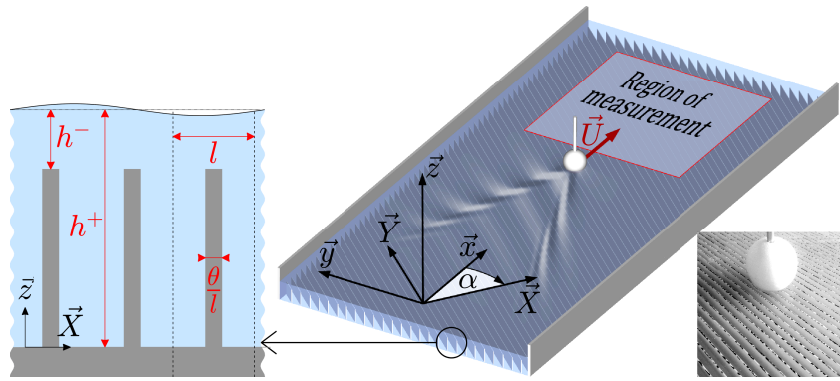


Figure 1. Schéma du montage expérimental. Droite : photo des plaques formant la bathymétrie variable.

Les résultats expérimentaux sont obtenus en utilisant les paramètres cités précédemment. Nous mesurons le sillage en utilisant la méthode optique appelé Free-Surface Synthetic Schlieren (FS-SS)[4] basée sur l'analyse de l'image réfractée d'un motif de points placé sous la surface. Dans notre cas, ce motif est tracé au sommet des plaques (Figure 1, droite). Le navire est un boule de 80mm de diamètre fixée sur un charriot tracté par un moteur. La boule est immergée de 5mm donnant un diamètre de contact avec l'eau de 40mm que l'on considérera comme la taille du navire. Nous capturons 170 images avec une fréquence d'acquisition de 250Hz sur une région de mesure de $0,7 \times 0,7 \text{m}^2$ (Figure 1) puis nous moyennons les résultats de FS-SS en suivant le navire (pour fixer sa position en $(x,y)=(0,0)$) afin de supprimer le bruit de mesure.

Sur la Figure 2 (centre), montrant le résultat expérimental, on peut clairement voir l'asymétrie entre les deux cotés du sillage. Le sillage inférieur ($y < 0$) est très similaire à un sillage en eaux peu profondes avec une hauteur d'eau correspondant à celle au dessus des plaques (h_-), mais le sillage supérieur ($y > 0$) est très particulier dû à une dispersion accentuée par l'effet de bathymétrie. Les ondes plus courtes ressemblent à celle observer en eaux profondes (sillage de canard) mais les ondes longues sont elles observées à l'extérieur de l'angle apparent (observées habituellement à l'intérieur pour un sillage type canard) et on peut même observer qu'une partie des ondes les plus longues se propagent à l'avant du navire. Des résultats numériques (Figure 2 droite), simulant (en 2D) la propagation d'une gaussienne de pression se propageant dans un espace caractérisé par la relation de dispersion anisotrope, reproduisent fidèlement les résultats expérimentaux, indiquant que la relation de dispersion anisotrope est adéquat à un tel problème malgré une dispersion très forte due au fait que la gamme de longueurs d'onde d'un sillage est souvent très large.

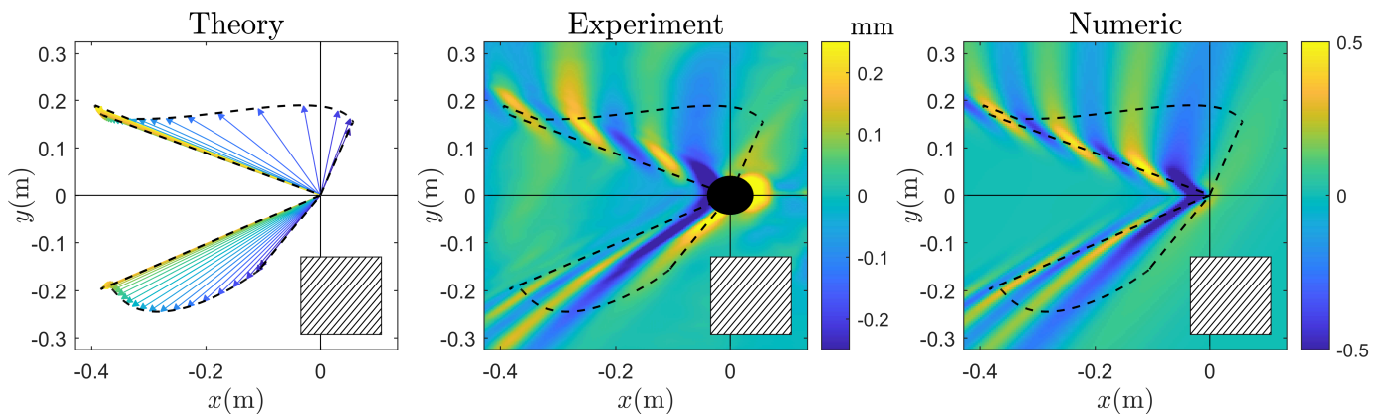


Figure 2. Gauche : représentation théorique du sillage obtenu avec la relation de dispersion anisotrope (paramètres cités dans le texte). Les vecteurs indiquent la vitesse de groupe (direction et norme) en fonction de la norme du nombre d'onde indiquée par la couleur des vecteurs (petits nombres d'onde en bleu jusqu'à grands nombre d'onde en jaune). Centre : résultats expérimentaux. Droite : résultats numériques.

Nous avons montré qu'une bathymétrie variant périodiquement (formant ainsi un métamatériau) peut rendre un sillage fortement asymétrique avec des ondes longues se propageant vers l'avant du navire. Ce contrôle de la forme du sillage (et donc de la répartition d'énergie de celui-ci) pourrait être appliqué à la protection des berges.

References

- [1] Y. Li and S. A. Ellingsen, “Ship waves on uniform shear current at finite depth: wave resistance and critical velocity,” *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 791, pp. 539–567, Mar. 2016.
- [2] C. Luo, M. Ibanescu, S. G. Johnson, and J. D. Joannopoulos, “Cerenkov Radiation in Photonic Crystals,” vol. 299, p. 5, 2003.
- [3] A. Maurel, J.-J. Marigo, P. Cobelli, P. Petitjeans, and V. Pagneux, “Revisiting the anisotropy of metamaterials for water waves,” *Physical Review B*, vol. 96, Oct. 2017.
- [4] F. Moisy, M. Rabaud, and K. Salsac, “A synthetic Schlieren method for the measurement of the topography of a liquid interface,” *Experiments in Fluids*, vol. 46, p. 1021, Jan. 2009.