Étude expérimentale de l'éclatement tourbillonnaire en bordure d'une plaque immergée sous la houle.

B. LEBON[a,b], G. PERRET[a], V. AGEORGES[a], D. LEBRUN[b], J. BROSSARD[a]

a. Laboratoire Ondes et Milieux Complexes (LOMC), UMR 6294, CNRS ? Université du Havre, benoit.lebon@etu.univ-lehavre.fr

b. Complexe de Recherche Interprofessionnel en Aérothérmochimie (CORIA), UMR 6614 CNRS - Université de Rouen

Résumé : (16 gras)

L'interaction de la houle avec une structure immergée génère des filaments tourbillonnaires très intenses qui ont un fort impact sur leur environnement proche. La dynamique de ces filaments présente des mécanismes de déstabilisation fortement tridimensionnels dont la caractérisation représente un défi expérimental. Pour identifier et comprendre ces mécanismes, nous avons utilisé l'holographie numérique dans l'axe afin d'accéder à la distribution tridimensionnelle des vitesses au sein du tourbillon et ainsi mieux comprendre la nature des processus intervenant dans sa déstabilisation.

Abstract : (16 gras)

The interaction of waves with a submerged structure generates intense vortex filaments which have a strong impact on their surroundings. The dynamics of these filaments has strongly three-dimensional mechanisms of destabilization whose characterization is an experimental challenge. To identify and understand these mechanisms, we used digital in-line holography to measure the three-dimensional velocity distribution in the vortex and have a better understanding of the nature of the vortex destabilization.

Mots clefs : Holographie numérique, stéréo-PIV, vortex, instabilités, hydrodynamique.

1 Introduction (16 gras)

L'interaction de la houle avec une structure immergée génère des filaments tourbillonnaires très intenses qui ont un fort impact sur leur environnement proche. Pour étudier cette dynamique, les tourbillons sont reproduits dans un canal à houle de 10x0.3x0.3m où le niveau d'eau au repos est de 20cm. Le problème est simplifié en considérant l'interaction d'une houle régulière avec une plaque plane horizontale, de la largeur du canal pour 25cm de long et 3mm d'épaisseur, positionnée au milieu du canal, à 7cm sous le niveau moyen de l'eau. Une première étude de la dynamique tourbillonnaire a été réalisée au LOMC pour une configuration expérimentale[1]. Elle a mis en évidence l'impact des tourbillons sur l'hydrodynamique autour de la plaque ainsi que l'existence de phénomènes d'éclatement tourbillonnaire tridimensionnels qui déstabilisent très fortement ces tourbillons[2]. C'est cet éclatement que nous cherchons à caractériser expérimentalement.

La méthode que nous avons retenue pour accéder à cette information est l'holographie numérique. Cela consiste à enregistrer avec une caméra CCD les figures de diffraction produites par de petites particules éclairées par une source de lumière cohérente. Nous utilisons ici des bulles générées par électrolyse. On reconstitue ensuite numériquement le front d'onde dans le plan objet, en appliquant la transformée de Fresnel au motif de diffraction enregistré. Les récents progrès de l'holographie numérique, permettent aujourd'hui de mesurer précisément les coordonnées 3D des traceurs qui matérialisent l'écoulement[4]. On peut ensuite, à partir de la mesure des positions successives occupées par une bulle, déterminer les trois composantes de la vitesse au sein du tourbillon[3]. La maitrise de cette technique nous permettra à terme de réaliser l'étude quantitative de la dynamique tourbillonnaire afin d'en comprendre les mécanismes.

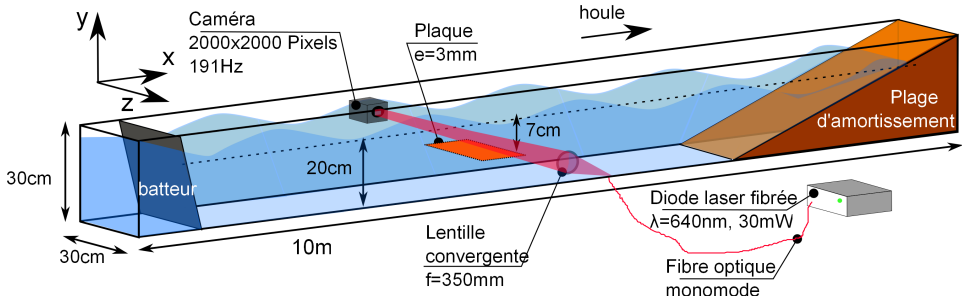


FIGURE 1 – Schéma du canal avec le montage d'acquisition des hologrammes

La configuration utilisée ici est celle de l'holographie dans l'axe. Les traceurs sont éclairés au moyen d'un faisceau issu d'une diode laser ($30mW$) émettant à $l = 640nm$. La zone étudiée ici se situe au voisinage de la plaque et l'objectif visé consiste à suivre l'évolution des tourbillons au bord aval de la plaque. L'utilisation d'une onde convergente permet ici d'augmenter la taille du champ étudié. On montre sur la figure 2 un exemple d'hologramme enregistré dans le canal à houle du LOMC. On peut supprimer les éléments fixes et réduire le bruit en le normalisant par la moyenne temporelle de plusieurs hologrammes, ici 100 sur la figure 2b. Sur la figure 2c, on distingue les images de bulles restituées par Transformation de Fresnel à une distance de $97mm$ de la caméra.

L'holographie numérique, à cette échelle, reste encore peu exploitée en hydrodynamique. Nos travaux visent donc à mener de front l'étude d'une dynamique 3D complexe et l'acquisition d'un savoir faire pratique sur l'enregistrement et l'exploitation d'hologramme en mécanique des fluides. Une mesure la vitesse w, présenté sur la figure 3 à pu être obtenu. Les grandeurs obtenues sont en accord avec nos observation du tourbillon. Cependant, il s'agit de la composante la moins résolu pour un montage d'holographie dans l'axe. C'est pourquoi, en complément de l'holographie, nous réalisons des mesures en stéréo-piv afin d'obtenir une deuxième mesure des trois composantes de la vitesse de l'écoulement.

Nous présenterons nos résultats, en développant particulièrement les spécificités expérimentales liées à l'utilisation de la holographie. Nous comparerons alors ceux ci aux mesures par stéréo-piv. Nous pourrons alors analyser l'apport de l'holographie dans l'axe dans l'étude de dynamiques tourbillonnaire 3D.

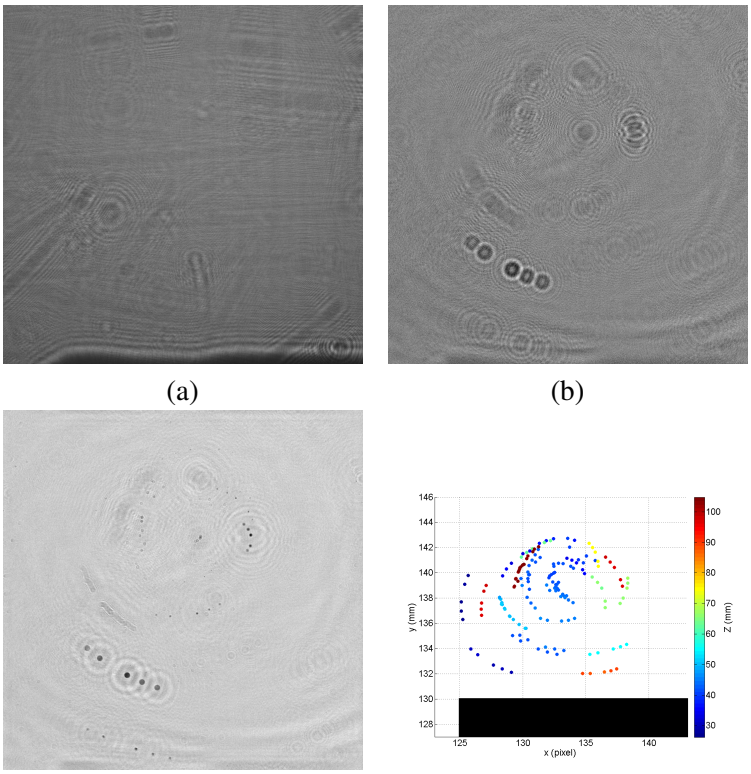


FIGURE 2 – Exemple d'hologramme multi-exposition d'un tourbillon généré au voisinage de la plaque : (a) Hologramme brut, (b) Hologramme normalisé (c) Image restituée à $97mm$ de la caméra (d) Représentation des trajectoires suivies par les bulles.

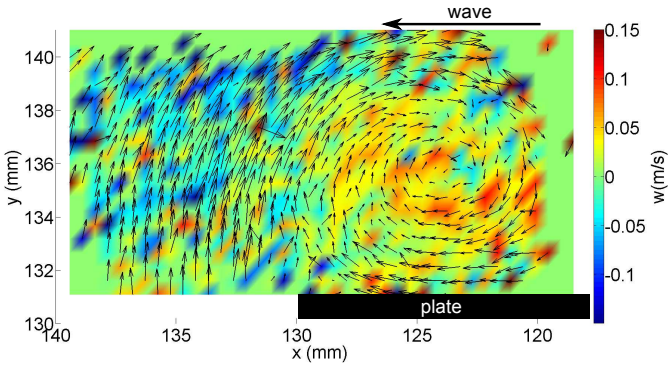


FIGURE 3 – Mesure de la vitesse axiale au c ?ur du tourbillon par holographie numérique

Remerciement Cette étude est financée par le projet développement de Techniques optiques 3D pour écoulements complexes du LABEX EMC3 (Energy, Materials and Clean Combustion Center), et la Région Haute Normandie.

Références

[1] Poupardin, A., Perret, G., Pinon, G., Bourneton, N., Rivoalen, E. et Brossard, J. *Vortex kinematic around a submerged plate under water waves. Part I : Experimental analysis*,Eur. J. Mech. B/Fluids. 34 pp. 47-55. 2012.

[2] Poupardin, A. *Dynamique tourbillonnaire - Application à l'impact environnemental de structures immergées* ,Thèse de doctorat, Université du Havre, 2012.

[3] Salah, N., Godard, G., Lebrun, D., Paranthoen, P., Allano, D. et Coetmellec, S. *Application of multiple exposure digital in-line holography to particle tracking in a Benard-von Karman vortex flow*, Meas. Sci. and Tech., Vol. 19, 074001, 2008.

[4] Allano, D. et al. *Three-dimensional Velocity near-wall measurements by digital in-line holography : calibration and results*, App. Optics, Vol. 52(1), A9-A17 2013.