

Interaction Fluide/Structure

Quelles sont les questions scientifiques ou techniques ?

Interaction entre un écoulement à surface libre et un objet immergé.

Force exercée sur l'objet, sillage lorsque l'objet affleure la surface.

Par quelles expériences y répondre ?

Mesure de force d'une tige en aluminium dont l'extrémité est plongée dans une cuve tournante remplie d'eau.

Observation du sillage d'une tige immergée dans une cuve tournante.

Quelles techniques expérimentales ?

Mesures de force. Photographies du sillage.

Quels sont les résultats ?

À vous de les montrer à travers de représentations graphiques claires.

Comment les interpréter ?

Ingrédients physiques, lois d'échelle, ajustement de courbes expérimentales : à vous de jouer !



FIGURE 1 – Sillage stationnaire en amont d'une tige fixe placée dans un écoulement.

Introduction

On se propose d'étudier l'interaction entre un écoulement d'eau et un objet partiellement ou complètement immergé. L'objet en question est une tige en aluminium, fixée verticalement à une potence via un capteur de force, et dont l'extrémité, plongée dans l'eau, a la forme d'une plaque rectangulaire. On dispose de plusieurs tiges avec des plaques rectangulaires de différentes aires et de différents rapports d'aspect.

1 Mesures préliminaires

On va d'abord étalonner le capteur de force. On va encastrer une plaque reliée au capteur de force sur le bord d'une paillasse, puis laisser l'autre extrémité du capteur libre pour connaître la tension associée à une force nulle. Ensuite, nous fixerons à l'extrémité libre du capteur une plaque préalablement pesée. La tension fournie par le capteur sera ainsi mesurée et convertie en force. L'usage de poids supplémentaires sur la plaque viendra confirmer la calibration.

2 Force exercée par l'écoulement sur l'objet

On commence par mettre en rotation la cuve et l'on attend que l'eau soit en rotation solide, c'est-à-dire immobile par rapport à la cuve. La vitesse dans l'eau est alors donnée par :

$$\mathbf{v} = \omega r \mathbf{e}_\theta$$

où ω est la vitesse angulaire de la cuve, r la distance au centre et \mathbf{e}_θ le vecteur unitaire des coordonnées cylindriques tangentiel au mouvement. On plonge ensuite la plaque dans l'eau à une profondeur que l'on fera varier entre la moitié de la hauteur d'eau et juste sous la surface libre. On attend alors d'avoir atteint un régime stationnaire, puis on mesure la force qui s'applique sur le solide. On pourra alors tracer, par exemple, la force en fonction de la vitesse ωr . On fera ensuite les mêmes mesures lorsque la plaque affleure la surface de l'eau. Comment se comparent deux courbes pour une tige à la même distance r du centre pour deux profondeurs différentes ? Comment pouvez-vous interpréter cette différence ?

En première approximation, on peut supposer que la force de l'eau sur la tige ne s'exerce que sur la plaque rectangulaire. En lois d'échelle, comment peut-on exprimer la force exercée sur la plaque en fonction de la densité de l'eau ρ , de la vitesse de l'eau v et des dimensions de la plaque (largeur L , hauteur H) ? Tracer l'ensemble des résultats, pour les différentes plaques, sur un même graphe représentant la force déduite de la déflexion (expériences préliminaires) en fonction de cette expression de la force hydrodynamique. Que constatez-vous ?

3 Sillage et ondes capillaires

Dans une deuxième partie, on s'intéresse au sillage laissé par une fine tige de laiton plongée verticalement dans l'eau. Immerger cette tige proche du centre de la cuve. Logiquement, vous ne devez pas observer de sillage. Déplacez horizontalement la tige, très progressivement, jusqu'à obtenir l'apparition d'ondes stationnaires en amont de la tige, à une distance r_s du centre. Déterminer expérimentalement la vitesse du fluide à laquelle apparaissent ces ondes. Les ondes étant stationnaires, que pouvez-vous en déduire sur leur vitesse de phase ? En prenant des photos par le dessus, déterminer la longueur d'onde de ces ondes capillaires. Comment vos résultats se comparent-ils aux valeurs théoriques de vitesse et de longueur d'onde (Cf. votre cours sur les ondes et le TP Ondes) ? Au-delà de r_s , qu'observez-vous sur la longueur d'onde ? Comment interprétez-vous cette tendance ?

4 Interaction Fluide/Structure

Lorsqu'un fluide s'écoule autour d'une tige, perpendiculairement à son axe, l'écoulement est caractérisé par le nombre de Reynolds $Re = \rho V D / \mu$, où ρ est la masse volumique du fluide, μ sa viscosité dynamique, D le diamètre de la tige et V la vitesse de l'écoulement. Au-delà d'un nombre de Reynolds critique ($Re_c \simeq 48$ pour une tige de section circulaire), l'écoulement se déstabilise et l'on observe des tourbillons contra-rotatifs en aval de la tige, dont l'effet sur la tige est une force transverse qui change de signe avec une certaine fréquence f . À l'aide des visualisations optiques, vous disposez d'une expérience parfaite pour mesurer la fréquence d'oscillation d'une tige, et ainsi la fréquence d'émission des vortex. Prenez alors une série d'images avec la caméra, placée à la verticale de la tige, en faisant varier la vitesse de rotation de la cuve. Analysez les films pour déterminer la fréquence d'oscillations. Tracez cette fréquence en fonction de V . Que constatez-vous ? Peut-on définir un nombre sans dimension pertinent pour la description de ces oscillations ?

5 Utilisation du capteur de force

Lancez le logiciel Phidget Control Panel (sur le bureau). Choisissez le PhidgetBridge 4-Input puis double-cliquez sur la voie sur lequel le capteur est connecté (channel 1). Vous pouvez éventuellement rajouter les paramètres de calibration. Cliquez sur l'icône de la représentation graphique pour voir défiler la mesure. Cliquez Save to CSV et Stop Saving pour obtenir un fichier .csv de votre mesure. Utilisez le script `importcsv('filename')` de Matlab pour extraire votre mesure sur Matlab.