

9^{èmes} JOURNÉES DE L'HYDRODYNAMIQUE

10 - 11 - 12 MARS 2003

POITIERS - FUTUROSCOPE

**SUR LA VISUALISATION DE L'ÉCOULEMENT
AUTOUR D'UN CYLINDRE OSCILLANT AU VOISINAGE D'UNE
SURFACE LIBRE.**

***ON THE FLOW VISUALIZATION PAST AN OSCILLATING
CYLINDER BENEATH A FREE SURFACE.***

R.D. RAJAONA, F. GROUSSARD, M. LEVENEZ, M. LEBEY

*** Laboratoire de Mécanique, Equipe : Instabilité, Turbulence, Plasma.

Université du Havre 25 Rue Philippe Lebon 76600 Le Havre

Résumé

Le dimensionnement des structures marines nécessite la connaissance des efforts appliqués. Ces efforts sont dus aux fluctuations de pression engendrées par le champ de vitesse environnant qui est lui même créé par la conjonction des effets de la séparation de l'écoulement en présence de l'onde de gravité. C'est pourquoi, il est utile de connaître la configuration du sillage selon que la structure est plus ou moins immergée. L'objet de l'étude est de proposer une méthode de visualisation de l'écoulement autour d'un obstacle cylindrique et d'étudier la corrélation entre les efforts appliqués et la vorticité environnante. Nous présentons un montage expérimental permettant d'entraîner un cylindre en mouvement oscillatoire en eau calme dans une cuve. Nous mesurons les déplacements et les efforts appliqués en même temps que s'effectue la visualisation du sillage et la mesure de l'élévation de la surface libre . Les validations des mesures sont effectuées par comparaison avec ceux de la littérature en milieu infini. Une analyse phénoménologique du champ de vorticité en présence de la surface libre est présentée et de même la cor r lation entre les efforts appliqués et les coefficients hydrodynamiques en déterminant les coefficients de masse ajoutée et d'amortissement.

Summary

The dynamical behavior of marine structures are related to the forces acting to them. Those forces are due to the pressure fluctuations involved by the velocity field around the body as a consequence of the combination of the separation effects and the gravity waves. That is why it is useful to investigate the near wake configuration following the body immersion. The purpose of the study is to give a method available to visualize the flow surrounding the body and to study the correlation between the acting forces and the near wake pattern. We describe the experimental settings useful to drive a cylinder in an oscillatory motion in calm water. The free surface elevation is measured by using wave gauge. The measurements validation are obtained by comparison with those found in literature in infinite domain. A phenomenological analysis is proposed to investigate the vorticity field with free surface effects. The correlation between forces and hydrodynamic coefficients are given by added mass and drag coefficients.

I - INTRODUCTION

La difficulté de prédire les efforts appliqués par l'environnement marin sur une structure réside dans la complexité du champ de vitesse environnant.

En effet celui-ci est le résultat de la combinaison des effets de la houle, du vent, du courant. Il est généralement admis qu'une première approche est nécessaire pour simplifier le problème. Celle-ci consiste à prendre séparément ces effets. C'est pourquoi les différents auteurs étudient d'une part, les effets du courant comme BEARMAN, SARPKEYA et d'autre part, les effets de la houle, WILLIAMSON. Il est par ailleurs utile de proposer aux concepteurs des modèles qui soient facilement exploitables, c'est la raison pour laquelle la formule de MORISON est populaire. Mais il est également nécessaire d'avoir accès à des informations précises sur la physique des phénomènes. Celles-ci seront notamment nécessaires pour expliquer le comportement dynamique souvent complexe de la structure en environnement marin. Les structures cylindriques sont très fréquemment utilisées, c'est pourquoi beaucoup d'auteurs ont concentrés leur efforts sur l'étude des écoulements autour d'un cylindre (BATCHELOR, GERRARD, WILLIAMSON).

Différentes techniques ont ainsi été développées. Sur le plan numérique les effets de la viscosité sont pris en compte en résolvant les équations de Navier-Stokes avec ou sans modèle de turbulence dans le cas d'écoulement instationnaire en milieu infini. Les effets de la surface libre sont généralement pris en compte à partir d'un modèle en fluide parfait avec divers degrés de précision sur la prise en compte de la condition de surface libre. Les codes de calculs permettant de prendre simultanément en compte les effets de surface libre et les effets visqueux sont relativement rares.

Sur le plan expérimental, les techniques utilisées reposent sur l'utilisation d'un cylindre piloté en eau calme ou monté sur des appuis élastiques et placé dans un courant. Les auteurs mesurent les efforts appliqués (BEARMAN, SARPKEYA, WILLIAMSON, SULMONT, RAJAONA, LIN et ROCKWELL). D'un autre côté, certains autres ont étudié la visualisation du sillage dans un voisinage proche ou lointain du cylindre (BOUARD et al., TATSUNO, ROSHKO). Bon nombre de ces expériences sont réalisées en milieu infini. Il est fréquent d'admettre que les effets tridimensionnels de l'écoulement ne sont pas significatifs pour certains comportements dynamiques. C'est pourquoi le plus souvent, les montages utilisent un cylindre vertical perceant la surface libre avec un nombre de Reynolds suffisamment faible pour garder le caractère laminaire de l'écoulement.

Nous proposons une étude de l'écoulement autour du cylindre circulaire en mouvement oscillatoire horizontal. Le montage expérimental qui sera décrit permet de mesurer les efforts de portance et de traînée, le déplacement horizontal. Une caméra crayon CCD entraînée par la maquette permet de visualiser le sillage en repère relatif. Ainsi, le papier sera constitué des parties suivantes, après l'introduction et la position du problème, nous présentons :

La description du montage expérimental, section III

La validation des mesures d'efforts et de la configuration du sillage en milieu infini, section IV

Les effets de surface libre, section V

II - POSITION DU PROBLEME

On considère un cylindre de diamètre $D = 0,04$ m, de longueur $L = 0,68$ m, et d'une masse $m = 1,038$ Kg en oscillation horizontale en eau calme dans une cuve. Le cylindre est immergé à une hauteur H (distance entre le centre du cylindre et la position de la surface libre au repos). Les caractéristiques du mouvement d'oscillation sont: f la fréquence, A_x l'amplitude et ω la pulsation. Le repère lié au cylindre est $R : (O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$. Les efforts appliqués sont définis par $F_x(t)$ porté par l'axe (O, \vec{i}) , défini comme la traînée et $F_y(t)$ porté par l'axe vertical ascendant (O, \vec{j}) , la portance. L'axe (O, \vec{k}) est l'axe longitudinal du cylindre. La dénivellation de la surface libre est notée $\eta(x_0, t)$. Comme la configuration de l'écoulement est représentée dans un repère lié au cylindre par une sonde fixée à l'arrière du cylindre la dénivellation sera décrite pour une position x_0 donnée.

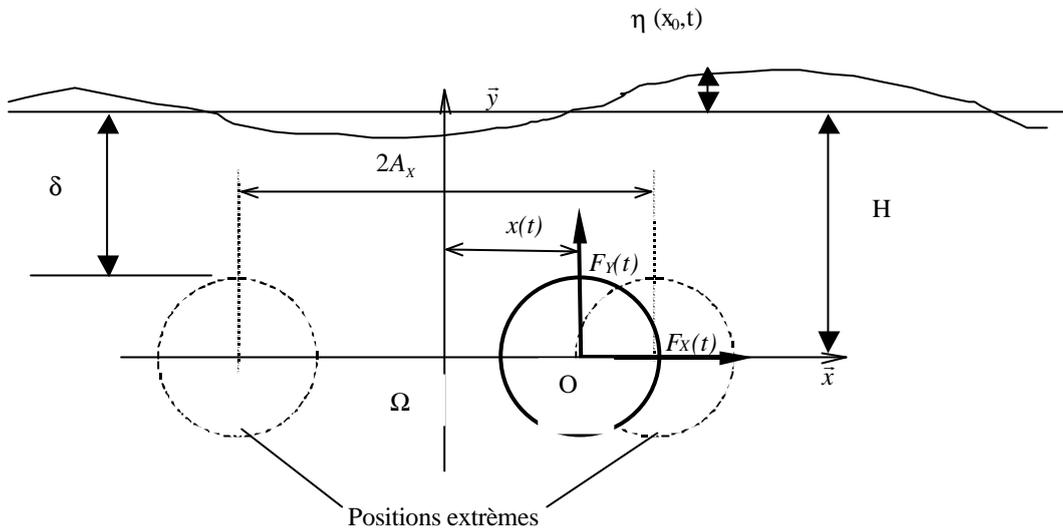


Figure 1 : Position du problème.

Le repère R est en mouvement de translation oscillatoire par rapport au repère $R_0 : (\Omega, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ fixe.

L'étude proposée est expérimentale. On adoptera donc pour caractériser l'écoulement les paramètres habituels qui sont le nombre de Reynolds $Re = VD/\nu$ où V est la vitesse instantanée du cylindre et ν est la viscosité cinématique, le nombre de KEULAGAN CARPENTER $KC = UmT/D$ où Um est la vitesse maximale du cylindre, T est la période des oscillations, le paramètre d'immersion H/D , le nombre de Froude. On caractérise ainsi le rapport des effets visqueux par rapport aux effets d'inertie par Re , les effets des ondes de gravité par $Fr = Um/\sqrt{gD}$, les effets de l'amplitude des oscillations par KC . Nous utiliserons aussi le paramètre d'immersion δ/D , où δ représente la distance entre la surface libre et le haut du cylindre. Notons enfin que le rapport du nombre de Reynolds par le nombre de Keulagan Carpenter est le paramètre β , aussi appelé paramètre de Stokes et on a $\beta = D^2/\nu T$.

On se propose d'établir une corrélation entre les efforts appliqués sur la structure et la configuration de l'écoulement au voisinage du cylindre et en particulier celle du sillage proche pour différentes valeurs des paramètres d'études.

III – MONTAGE EXPERIMENTAL

Le montage est le même que celui présenté dans RAJAONA et al. Nous en rappelons les éléments principaux. Le montage utilisé est constitué de cinq éléments, une cuve de visualisation, un système d'entraînement, une maquette instrumentée, une chaîne d'acquisition et de traitement d'images, une chaîne d'acquisition et de traitement de mesures d'efforts et de déplacement.

La cuve de dimension 2m x 1m x 1m dont les parois sont en matériau non métallique et transparent permettant d'effectuer une visualisation de l'écoulement interne. La hauteur d'eau H dans la cuve est réglée et gardée constante tout au long des expériences de telle sorte que les fréquences propres d'oscillation ne coïncident pas avec celle du mouvement du cylindre.

Le système d'entraînement de la maquette est une table croisée conçue par la société SIGEA. Il est constitué d'une poutre horizontale permettant un déplacement suivant l'axe (Ω, \vec{i}) . Les performances de vitesse se situent dans la gamme 0.02 m/s et 0.50 m/s. Une poutre verticale est entraînée en translation horizontale. Nous y avons fixé une platine qui servira de support à la maquette. Cette platine est elle-même entraînée en translation de façon à permettre un mouvement vertical selon l'axe (Ω, \vec{j}) . Les vitesses verticales admissibles se situent dans la plage 0.05 m/s et 0.35 m/s. La combinaison de ces deux mouvements doit permettre d'engendrer des mouvements orbitaux. Un troisième degré de liberté est prévu afin de permettre à la maquette une rotation propre

réglable autour de l'axe $(0, \vec{k})$. Le degré de liberté utilisé pour l'étude proposé se réduit au mouvement horizontal. Trois moteurs pas à pas permettent d'obtenir les translations. Ils sont pilotés par une commande numérique. L'asservissement utilisé est un asservissement de vitesses. C'est pourquoi, nous mesurons les déplacements du cylindre au cours des expériences afin de nous affranchir d'éventuels défauts de commande. La commande numérique est elle-même reliée à un PC dédié afin de faciliter le réglage des fréquences et des amplitudes. Le schéma de principe de l'ensemble de la cuve et du système d'entraînement de la maquette est représenté sur la figure 2

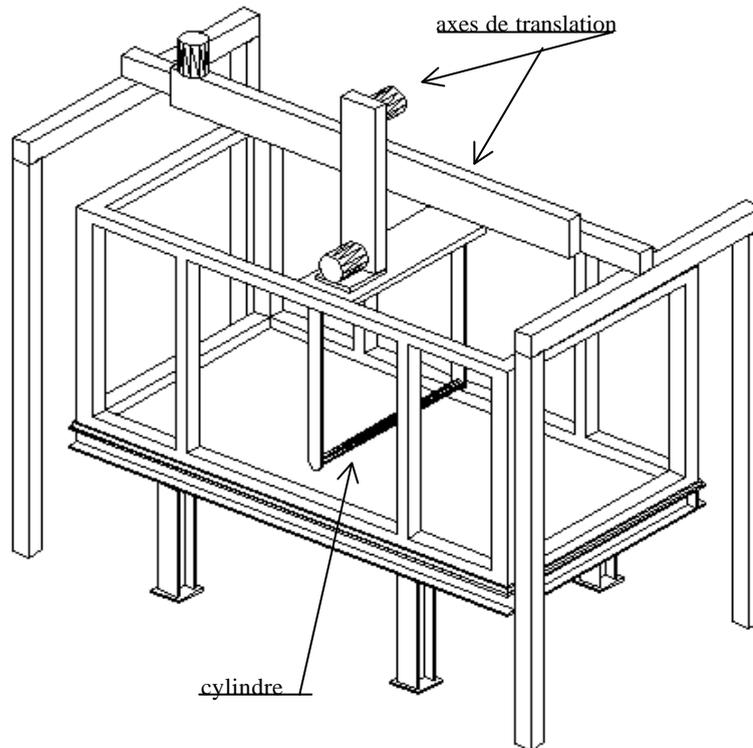


Figure 2 : Ensemble cuve et système d'entraînement.
Le système de mise en rotation propre du cylindre n'est pas représenté.

La maquette est un cylindre lisse d'un diamètre de 40mm. Un tube d'aluminium est aménagé à chacune de ses extrémités de manière à permettre de loger une liaison rotule avec le bati support, voir figure 3. Ces liaisons ont pour fonction d'assurer l'isostatisme du montage lors du fonctionnement, notamment en présence de rotation propre. La maquette est reliée à la platine par deux flasques en aluminium évidés par endroits de façon à diminuer sa masse propre et à déplacer sa fréquence propre hors de la bande de fréquences des mesures d'efforts. Les vibrations parasites lors des changements de sens de la maquette se trouvent ainsi minimisées. A une extrémité de la maquette est fixé le capteur de force KISTLER à trois composantes dont deux seules seront utilisées. Une coupe de la maquette est représentée sur la figure 3.

La chaîne d'acquisition et de traitement des mesures des efforts est classique et constituée par le capteur à quartz KISTLER présenté précédemment. Il est relié aux amplificateurs de charge qui délivrent leur tension à un oscilloscope numérique TEKTRONICS à 4 voies. Les déplacements sont obtenus par deux capteurs de déplacements installés sur les deux poutres support horizontale et verticale. Une sonde à houles placée à l'arrière du cylindre est entraînée lors du déplacement et mesure la dénivellation de la surface libre.

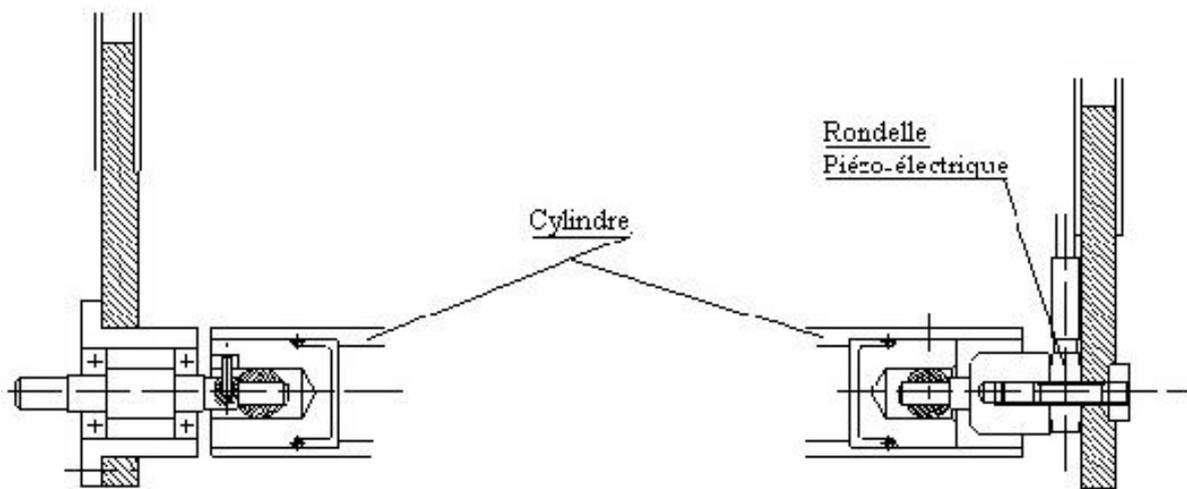


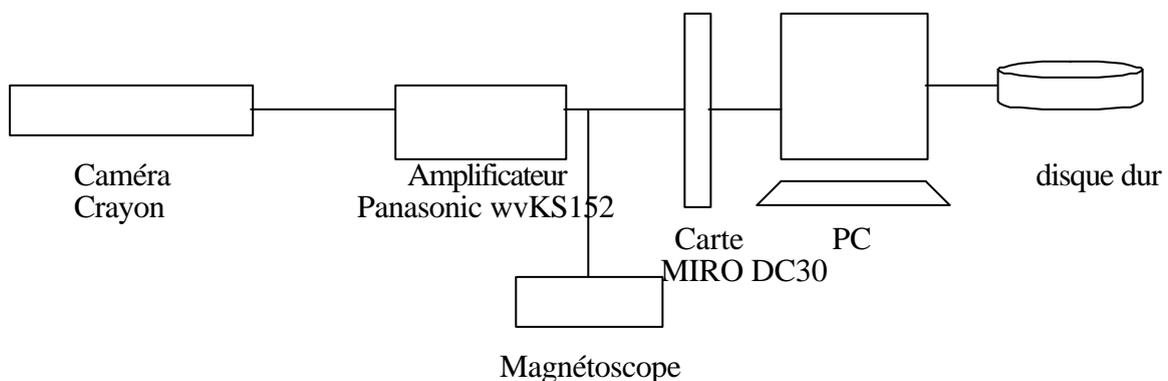
Figure 3 : Coupe du cylindre instrumenté.

La chaîne d'acquisition et de traitement d'images est constituée par une caméra crayon entraînée par le cylindre au cours de son mouvement et montée de manière à filmer le sillage. Le signal vidéo est amplifié puis numérisé par une carte miro VIDEO DC30. Afin d'obtenir le maximum de précision sur la définition des images, les films sont enregistrés en direct sur un PC, sans passer par un magnétoscope. La définition des images obtenue est de 768*576 pixels. Le logiciel VIDCAP permet d'enregistrer les images vidéos sur le disque dur. Afin de rendre compatibles les formats vidéos utilisés, le logiciel AVIConverter est utilisé. Pour extraire la totalité des images utiles pour l'analyse de la configuration du sillage, il est nécessaire de faire appel au logiciel spécifique TMPencoder. Les images sont traitées une à une par le logiciel PHOTOSHOP. L'exploitation de ces images comprend l'observation de zones tourbillonnaires, la mise en évidence de jet fluide, de modifications brutales de l'écoulement, de la position et du déplacement des points singuliers ou remarquables. Pour cela un choix judicieux du réglage du contraste et de la luminosité est fait en particulier par un étalement de l'histogramme des images sur l'ensemble des niveaux de gris.

La visualisation des mouvements des particules fluides est obtenue soit par injection de colorant pour les écoulements laminaires soit par l'ensemencement du milieu avec des particules solides RILSAN pour les écoulements turbulents en illuminant un plan lumineux par un projecteur.

La figure 4 illustre la chaîne d'acquisition et de traitement. Il convient de noter qu'il est nécessaire de synchroniser le temps d'acquisition des images avec celui des mesures des forces et déplacements.

Acquisition du film :



Traitement du film et des images:

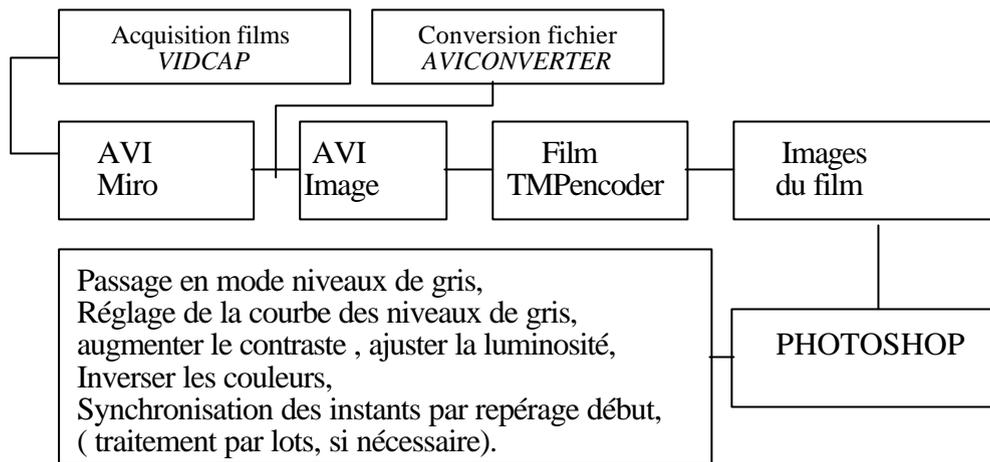


Figure 4 : Chaîne d'Acquisition et de traitement d'images.

IV - OSCILLATIONS EN MILIEU INFINI

La technique de validation du montage a consisté à effectuer plusieurs tests en milieu infini. Dans ce cas deux séries de validations ont été faites : i) le cylindre a été entraîné en translation selon une accélération constante on utilise alors la visualisation par injection de colorant et l'observation concerne la phase d'écoulement laminaire ; ii) Le cylindre est piloté en oscillations horizontales loin de la surface libre, l'écoulement est alors turbulent. La visualisation repose dans ce cas sur le relevé des mouvements de particules solides en suspension dans l'eau éclairées dans un plan.

1) Cylindre en écoulement laminaire.

Le mouvement est uniformément accéléré d'accélération $a = 10\text{mm/s}^2$. Cet écoulement présente un intérêt académique. Il a été étudié pour des nombres de Reynolds situés dans la gamme de 0 à 17000. Une technique numérique fondée sur les tourbillons discrets a été mise au point au Laboratoire de Mécanique du Havre par A. CHAMI [1997] et R.D. RAJAONA et alt. [1998]. Nous proposerons une comparaison entre résultats numériques et expérimentaux.

Cette validation concerne donc une brève étude de l'écoulement de démarrage autour d'un cylindre de diamètre D entraîné en mouvement uniformément accéléré le long de l'axe horizontal \vec{x} (figure 5).

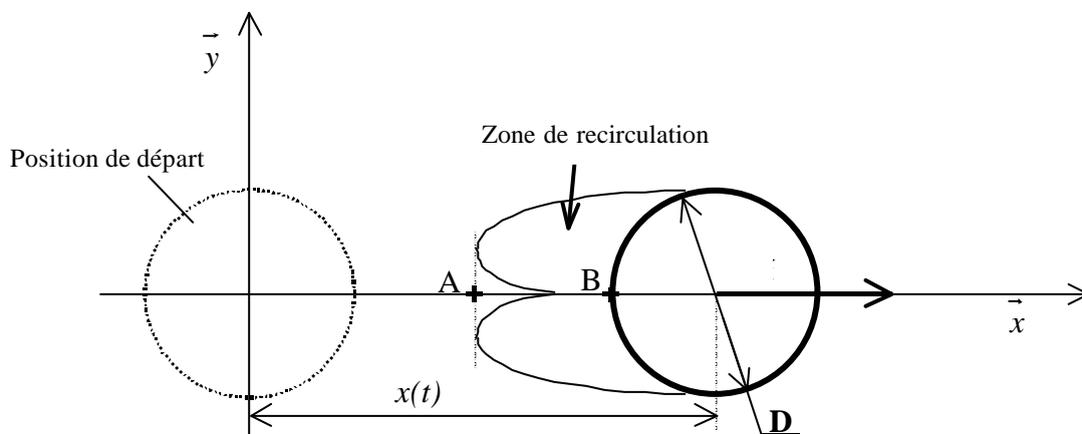


Figure 5 : Géométrie du sillage de l'écoulement uniformément accéléré.

Dans ces conditions, la couche de cisaillement libre, qui prend naissance au niveau des deux points de séparation, se développe à l'aval du cylindre pour former une zone tourbillonnaire. Cette zone du sillage juste à l'arrière du cylindre qui constitue le sillage proche, sera le siège de deux

tourbillons contrarotatifs. Les vorticités de signes contraires issues des couches limites développées sur chaque coté du cylindre vont alimenter ces deux tourbillons. Un point d'instabilité appelé point selle et noté A sur la figure 5 apparaît, tant que l'écoulement est symétrique et s'éloigne de l'arrière du cylindre au cours du mouvement. La distance entre les points A et B définis sur la figure 5 est notée L est communément appelée longueur de la zone de recirculation. La mesure de cette distance a fait l'objet d'études théoriques et numériques SARPKEYA & GARRISON [1963], TA PHUOC LOC & BOUARD [1985]. Nous proposons une comparaison des configurations de l'écoulement au cours du temps avec les résultats obtenus par CHAMI [1997] et RAJAONA et al. [1998]. Nous nous intéressons à l'évolution de la zone de recirculation au démarrage de cet écoulement accéléré.

La visualisation montre deux phases principales lors de la formation du sillage. Pendant la première phase symétrique, le sillage est principalement composé de deux tourbillons contrarotatifs qui voient leur taille augmenter en fonction de l'avance du cylindre. Lorsque les deux tourbillons sont de taille suffisamment importante la zone de cisaillement qui sépare les deux cellules oscille et la phase dissymétrique débute. Les oscillations gagnent en amplitude jusqu'au lâcher du premier tourbillon. Lorsque le premier tourbillon est lâché, le sillage est devenu instable et on assiste à un lâcher alterné formant une allée tourbillonnaire du type VON KARMAN.

Nous avons reporté sur la figure 6 les longueurs de la zone de recirculation. Numériquement, elle a été mesurée en effectuant un test sur le signe de la composante u_x de la vitesse des points situés sur l'axe des abscisses à l'aval du cylindre. Expérimentalement, elle a été obtenue en analysant la visualisation de l'écoulement de la façon suivante : le film de l'écoulement est réalisé puis analysé image par image, le logiciel utilisé pour cette analyse est PHOTOSHOP de la société ADOBE. Ce logiciel permet de déterminer à partir de la distance entre deux points de l'image, la distance réelle entre deux points de l'espace physique. Le point A est repéré visuellement sur l'image et on a ainsi accès à la distance AB qui correspond à la longueur de la zone de recirculation.

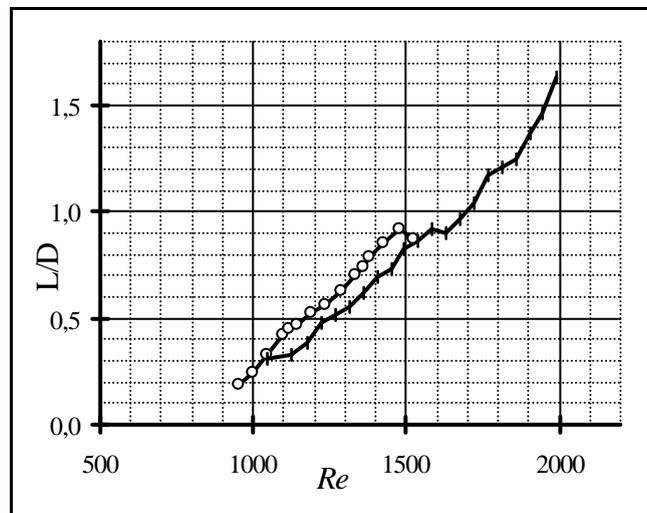


Figure 6 : Comparaison des longueurs de la zone de recirculation accélération de 0.5mm/s^2 , méthodes numérique (°) et expérimentale (◇).

Sur les courbes de la figure 6 on a reporté en abscisse le nombre de REYNOLDS instantané Re et en ordonnée la longueur de la zone de recirculation adimensionnelle L/D . Les deux courbes sont très voisines jusqu'au décrochement qui apparaît pour le nombre de REYNOLDS de 1500 sur le modèle numérique. En effet le modèle numérique montre que la zone de recirculation se déstabilise plus tôt que ne le montre l'expérience. Il convient de noter que ce décrochement correspond à un lâcher de tourbillon. Cette instabilité numérique prématurée de la zone de recirculation est attribuée au nombre de particules tourbillonnaires très fortement concentrées. Les

valeurs expérimentales de la longueur de la zone de recirculation continuent d'augmenter jusqu'à un nombre de REYNOLDS instantané d'environ 2000.

Une étude rapide a été faite pour savoir quel rôle peut jouer une turbulence amont dans le cas de l'écoulement accéléré. Pour cela, une grille a été installée à l'avant de la maquette. Les mailles obliques de dimension 5mmx3mm sont retenues. Les dimensions sont choisies de manière à couvrir complètement en largeur l'ensemble tracté dans l'eau. On donne au paramètre d/D , rapport de la distance de la grille au nez du cylindre sur D , les valeurs 1, 1.5, 2, infini. D'une part, les résultats montrent que la turbulence amont a un effet net sur la longueur de la zone de recirculation. En particulier il est raisonnable de penser qu'elle est plus homogène au droit du cylindre pour les faibles valeurs de d/D . D'autre part, l'évolution de L/D dans le cas $d/D = \text{infini}$, c'est-à-dire configuration sans grille, montre que le cylindre traverse lors de son déplacement deux zones où l'homogénéité de la turbulence change. Ces résultats sont reportés sur la figure 7.

*Zone de Recirculation L/D
avec et sans grille de pré-turbulence*

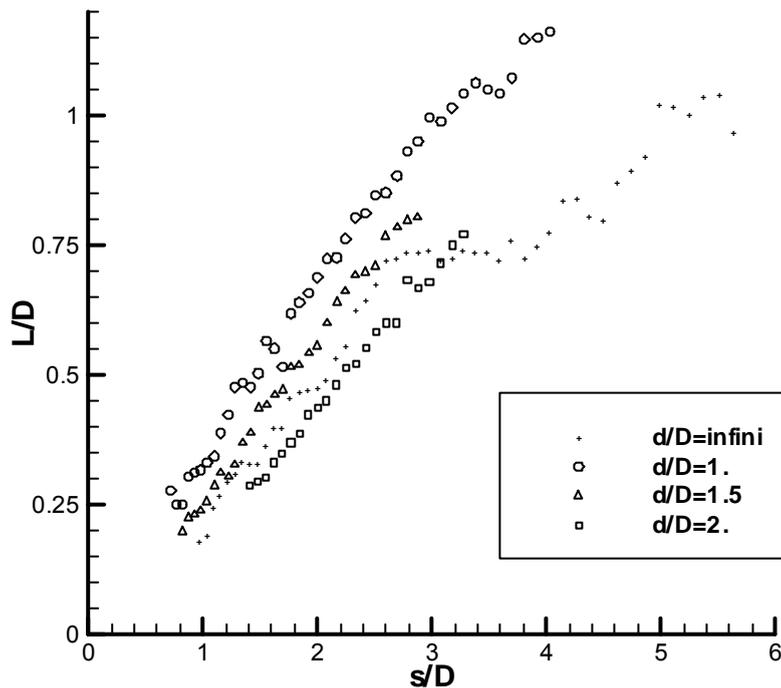


Figure 7 : Influence de la grille de pré turbulence pour plusieurs valeurs de d/D
 d = distance Grille/cylindre ; D = diamètre du cylindre ; $a = 0.040 \text{ m/s}^2$

2) Cylindre en écoulement oscillant loin de la surface libre.

Nous nous situons dans le cas décrit à la figure 1, mais le rapport H/D est grand, très supérieur à 4. Il est bien connu qu'au delà de cette immersion, les effets de la surface libre sont négligeables. Nous proposons une étude de l'évolution de la longueur de corrélation. Pour différentes valeurs de β et de KC , on mesure L/D pour la première demi-période. L'ensemble des résultats obtenus est consigné sur la Figure 8.

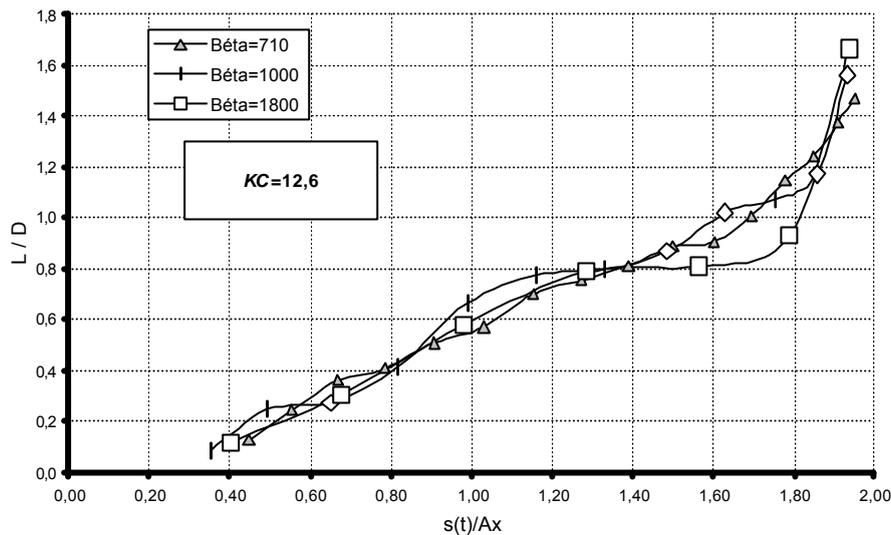


Figure 8 : Evolution de L/D en fonction du paramètre s/Ax pour différentes valeurs de β .

Le bon regroupement des courbes montrent que le paramètre significatif est ici le rapport s/Ax et non le rapport s/D comme dans le cas du cylindre en accélération uniforme. Par ailleurs, trois parties se distinguent sur cette figure : Une zone où la croissance de L/D est linéaire qui est nettement due à l'accélération, une zone plateau presque de niveau constant qui correspond à la phase de décélération, et une phase de forte croissance où le tourbillon diffuse très rapidement ce qui correspond à la zone d'arrêt du cylindre. Ce comportement de la zone de recirculation est d'autant plus répétitif que l'amplitude de l'oscillation le permet. Ainsi pour les amplitudes plus faibles, l'allure générale de la courbe est respectée mais le regroupement des points est moins franc.

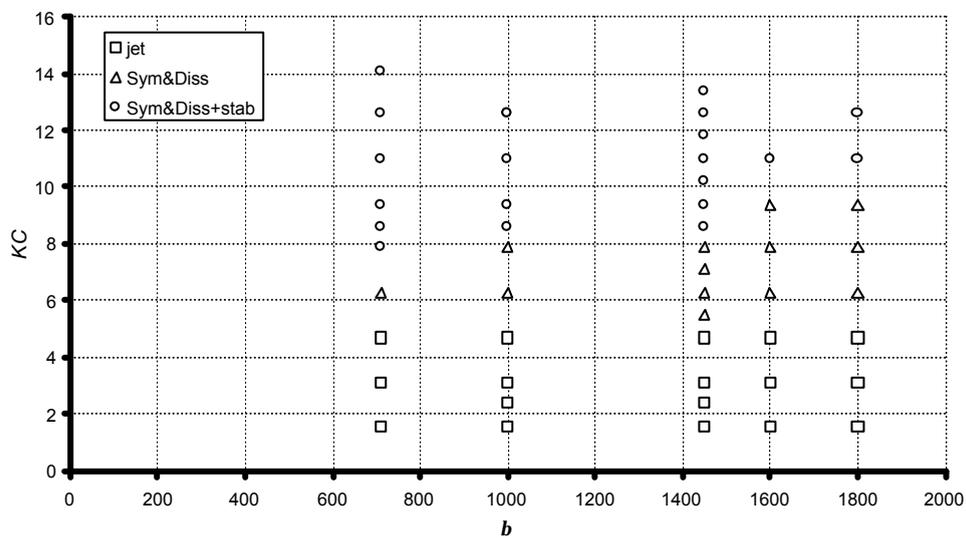


Figure 9 : Carte de sillage dans le plan (β, KC) pour les expériences.

Si nous nous intéressons à la configuration après la démarrage, nous pouvons renseigner sur les types de sillages. La figure 9 regroupe les trois types de sillage que nous avons observés. Un sillage du type « jet », qui a été observé par TATSUNO et BEARMAN (1990) mais pour des valeurs plus faibles de β . Ce type de sillage est plutôt stable et bien observable tant que l'amplitude du cylindre est faible. Un type de sillage formé par la succession de deux tourbillons symétriques qui se dissymétrisent rapidement pour de nouveau se re symétriser. Ce sillage est très instable dans son ensemble. L'effet de cette répartition des tourbillons est très nettement

observable sur le comportement de la force de portance. On l'observe pour des valeurs de β entre 600 et 1800 et pour une gamme de KC entre 6 et 10. Le troisième type de sillage occupe le plan (β, KC) lorsque KC est grand. Dans ce cas un comportement symétrique qui est attiré par une configuration dissymétrique stable. Ce type de sillage correspond aux plus grandes amplitudes des vibration et caractérisent la synchronisation entre le mouvement oscillatoire et le lâcher tourbillonnaire.

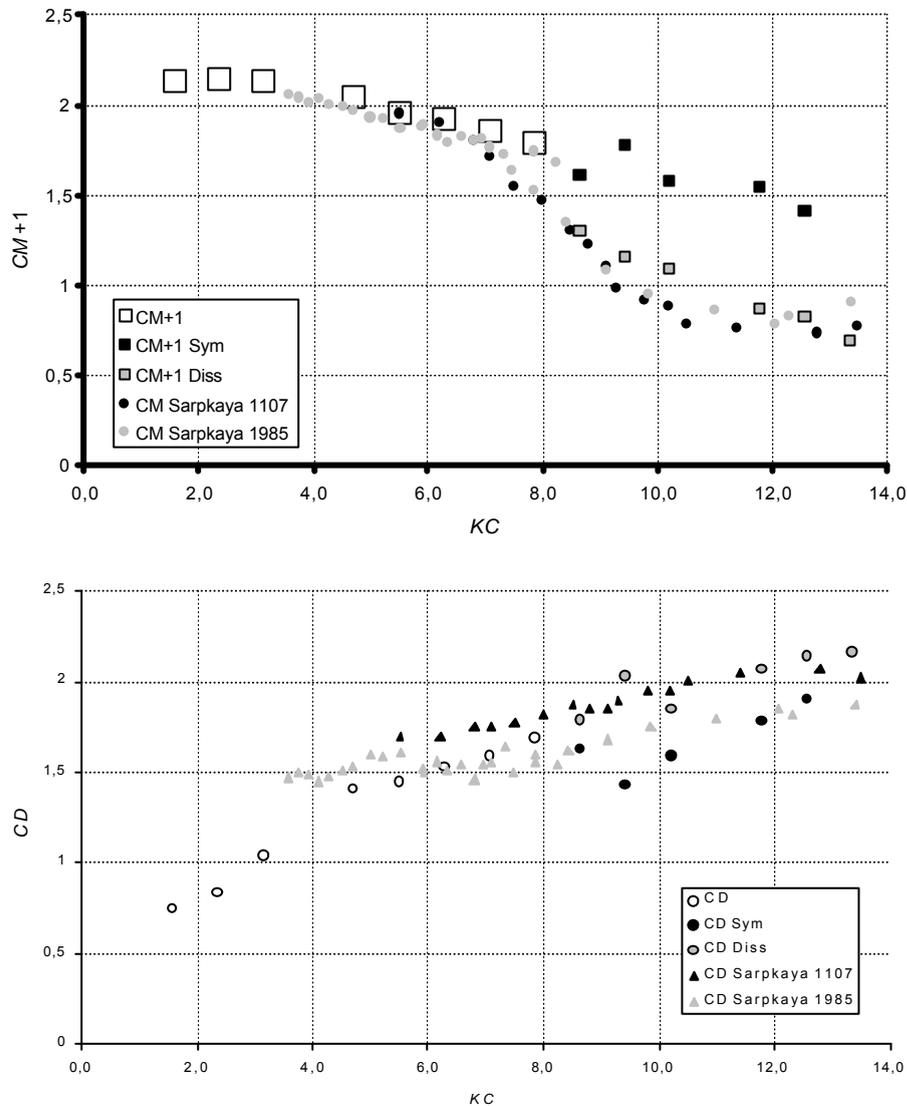


Figure 10 : Coefficients de masse ajoutée (a) et d'amortissement (b) pour différentes valeurs de β . Comparaison avec les essais de Sarpkaya (1976).

Nous reportons sur les figures 10-a et 10-b les valeurs des coefficients CM et CD du cylindre. Ces valeurs sont tout à fait classiques et bien connus. Il faut cependant remarquer que selon la nature du sillage la coefficient de masse ajoutée peut varier de façon très significative.

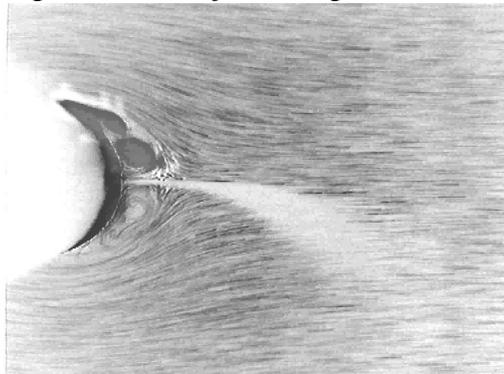
En particulier, la présence d'un sillage stable et bien dissymétrique a pour effet d'abaisser très significativement le CM . Ce qui corrobore le fait que dans ce cas le fluide fournit de l'énergie au cylindre. Ce qui a pour effet de diminuer les effets d'inertie. Ce résultat est cependant moins net sur le coefficient de traînée. On voit bien que lorsque le sillage est symétrique la traînée diminue.

V ETUDE DES EFFETS DE SURFACE LIBRE

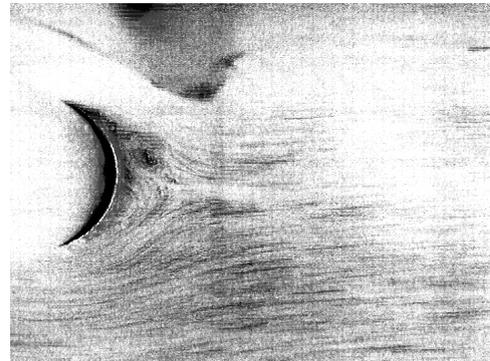
Afin d'analyser les effets de la surface libre nous proposons une étude phénoménologique de la façon dont s'organisent les tourbillons en présence de surface libre. Pour cela nous avons comparé sur les figures la configuration observée dans la phase d'initiation du mouvement.

Nous représentons sur la figure 11 les images dans le cas d'un cylindre en mouvement périodique plan horizontal près et loin de la surface libre. Ces images correspondent à une configuration de l'écoulement pour un pas de temps de 0.04 s. Les paramètres adimensionnels sont le nombre de Keulegan Carpenter correspondant à $Ax/D = 1.4$, le paramètre de Stokes $\beta = 1800$ et $\delta/D = 12$ et 0.5. H étant la profondeur d'immersion du cylindre de diamètre D . Les figures a, c, e, g correspondent au paramètre $\delta/D = 12$, les figures b, d, f, h pour $\delta/D = 0.5$. La période du mouvement est de 1s ; on représente le sillage proche pour un aller retour du cylindre. Les figures a, c montrent l'évolution du sillage pendant la phase de décélération. Les deux tourbillons restent bien symétriques et augmentent de taille par le fait que la décélération favorise le phénomène de diffusion. Les figures e et g montrent que la symétrie du sillage reste conservée même si le cylindre rentre dans le sillage qu'il vient de créer. On observe que les tourbillons sont laminés par le cylindre. Les images b, d, f et h montrent l'organisation du sillage ainsi que l'évolution de la surface libre pour les mêmes instants. Elles montrent en particulier l'existence d'un jet qui s'accompagne d'un creusement de la surface libre et d'un bourrelet (b). Au niveau de la surface libre, le bourrelet engendre un déferlement qui emprisonne une bulle d'air (d et f). Par ailleurs le jet est cassé lorsque le cylindre arrive en bout de trajectoire et revient dans son sillage. Au niveau du sillage il n'y a plus de symétrie, la diffusion des tourbillons lors de la décélération est inhibée par la proximité de la surface libre. Une forte dépression aspire le tourbillon inférieur qui contourne alors le cylindre sans effet de diffusion. On observe aussi la rotation d'une zone fluide significative autour du cylindre, ainsi que l'ont observé LIN et ROCKWELL.

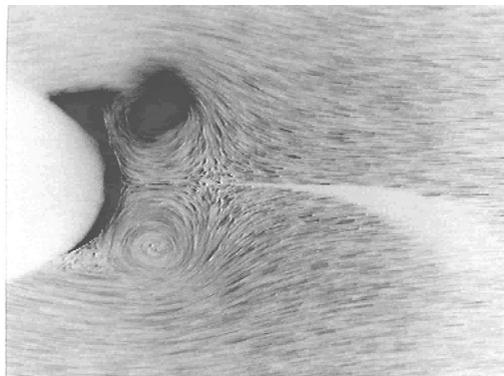
Nous présentons maintenant les coefficients hydrodynamiques en fonction du paramètre d'immersion δ/D . Ces résultats sont reportés sur la figure 12 a, b. Ils correspondent à un KC de 25, un β de 547 et δ/D varie dans la plage 0.8 à 4. Ils montrent clairement que ces coefficients augmentent de façon très significative lorsque la surface libre est proche du cylindre.



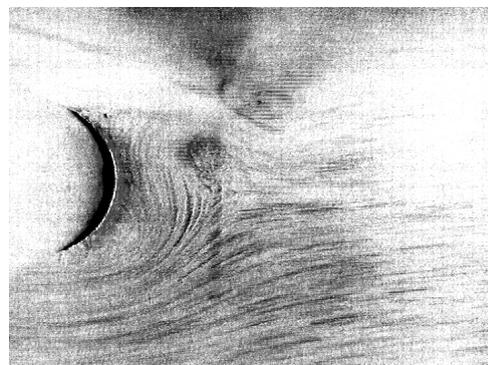
t=0.28 s a)



b)



t=0.44 s c)



d)

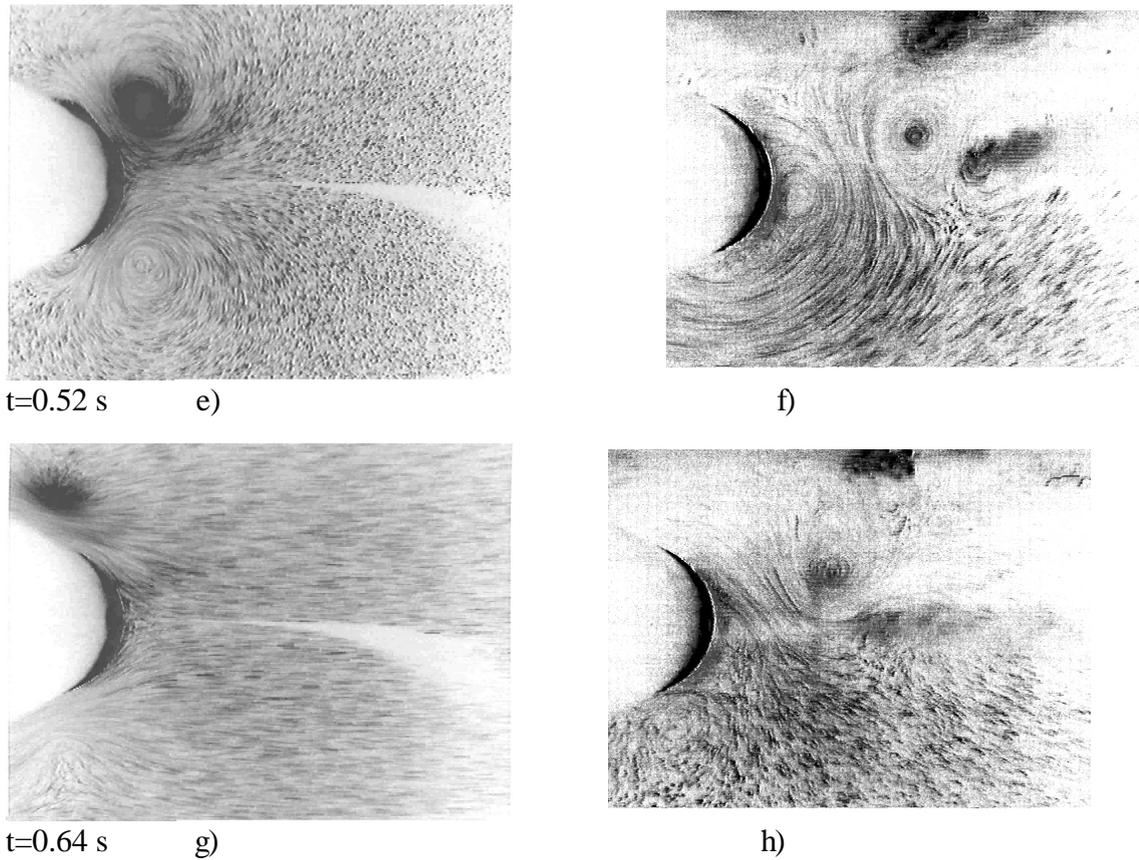


Figure 11 : Cylindre oscillant loin (a, c, e, g) et près (b, d, f, h) de la surface libre
 $KC = 8.80$; $\beta = 1800$; $\delta/D=12$ et $\delta/D=0.5$.

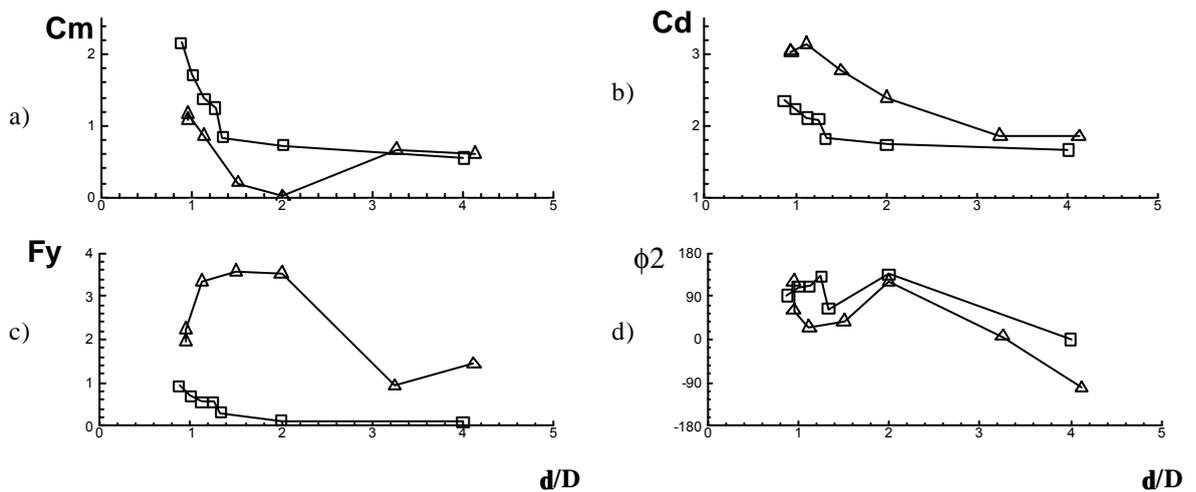


Figure 12 : Coefficients hydrodynamiques a), b) et Amplitude et phase de l'harmonique 2 de F_z c), d) en fonction de l'immersion du cylindre δ/D pour $KC = 25$, $\beta = 547$, (carré) et pour $KC = 8$, $\beta = 1378$, (Δ).

L'évolution de l'amplitude et de la phase de l'harmonique 2 des efforts verticaux montrent que la dissymétrisation du sillage augmente avec la proximité de la surface libre. On représente ces évolutions sur les figures 12 c et d. On constate que l'amplitude de l'harmonique 2 de la force de portance augmente en même temps que sa phase par rapport au mouvement se rapproche de 90

°.Un phénomène d'amplification est observé pour $KC=8$ et $\beta = 1378$. Ce phénomène se traduit par une augmentation de l'amplitude de F_v , de même la phase se rapproche de 90° . Ce

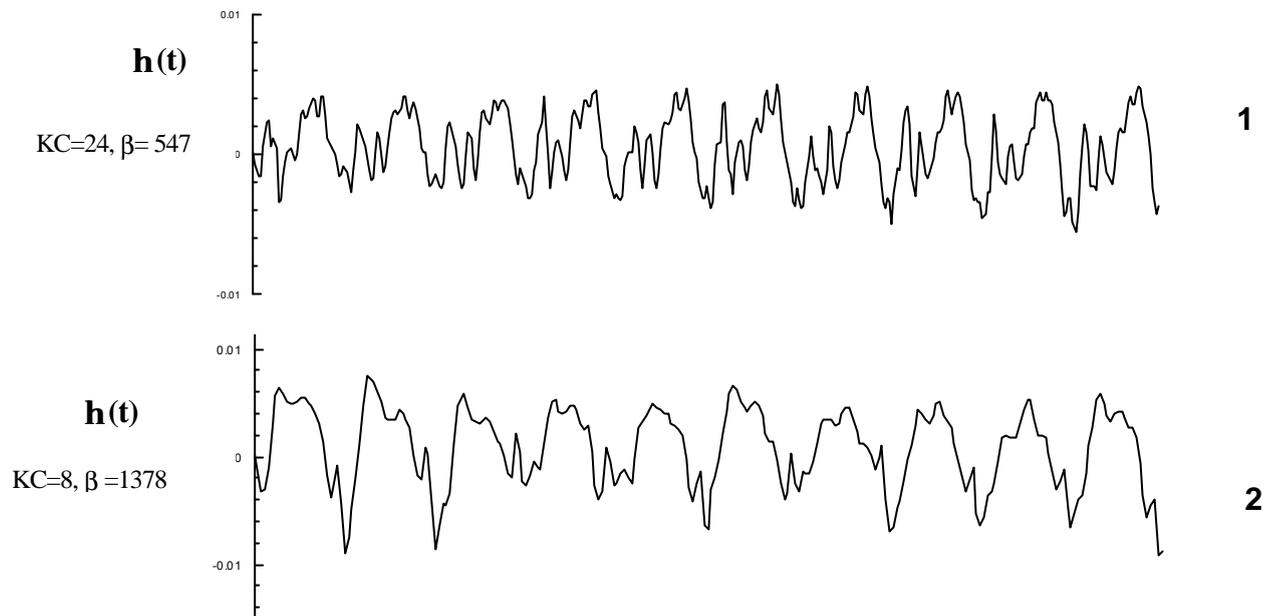


Figure 13 : Elévation de la surface libre relevée par la sonde à houle pour $KC=25$, $\beta = 547$, 1 et pour $KC=8$, $\beta = 1378$, 2.

Les figures 13 - 1 et 2 représentent les élévations de la surface libre relevées au droit de la sonde à houle placé à un rayon derrière le cylindre. On retrouve pour les deux conditions expérimentales rapportées ici une certaine similitude dans le profil de ces signaux. Une étude plus approfondies de ces profils sera présentée dans un prochain travail.

CONCLUSIONS :

Nous avons présenté une méthode d'analyse des effets de la séparation de l'écoulement sur un cylindre en mouvement d'oscillation plan dans l'eau bin et près d'une surface libre. Ces résultats constituent les premières investigations et ont montré que la méthode expérimentale présentée permet de faire l'acquisition de la configuration du sillage proche en même temps que les efforts de traînée et de portance du cylindre. Cette étude a permis d'établir les résultats suivants : La phase de validation a permis de retrouver les résultats de la littérature pour le cas du cylindre en mouvement impulsif ou oscillatoire. Pour les écoulements oscillatoire en milieu infini, la synchronisation entraîne une stabilisation du sillage et ne prend place que lorsque le sillage est asymétrique, le paramètre significatif pour étudier le développement de la zone de recirculation est le rapport s/Ax . On montre que le paramètre β n'a d'effet que pour les faibles KC .

Dans le cas du cylindre proche de la surface libre, une étude phénoménologique fine en début de mouvement a montré les différences avec ce qui se passe milieu infini. En particulier, la présence d'un jet provoque la formation d'un bourrelet suivi d'un déferlement. Lors de cette phase, une ou plusieurs bulles peuvent être emprisonnées. La configuration du sillage est asymétrique et le tourbillon ne se forme que du côté opposé à la surface libre. Cela a un effet aggravant sur les coefficients hydrodynamiques, notamment sur la masse ajoutée, le coefficient d'amortissement et les efforts de portance. L'observation du mouvement des tourbillons montrent un mouvement d'ensemble s'éloignant de part et d'autre du cylindre à la manière d'

BIBLIOGRAPHIE

- Batchelor G.K.** (1967) : « An Introduction to fluid dynamics », Cambridge University Press, Cambridge.
- Bouard R. , Coutanceau M.** (1980) : « The early stage of development of the wake behind an impulsively started cylinder for $40 < Re < 104$ », J. Fluid Mech. Vol. 101, pp 583-607
- Chami A.** (1997): « Etude Numérique et expérimentale de l'écoulement accéléré autour d'un cylindre circulaire », Thèse de Doctorat de l'Université du Havre.
- Dutsch H., Durst F., Becker S., Lienhart H.** (1998) : « Low-Re flow around an oscillating circular cylinder at low Keulagan Carpenter number », JFM, Vol. 360, p. 249-271.
- Etienne S.** (1999) : « Contribution à la modélisation de l'écoulement de fluide visqueux autour de faisceaux de cylindres circulaires », Thèse de Doctorat de l'Université Aix-Marseille II.
- Finaish** (1991) : « On vortex structures and processes over bluff bodies in impulsive flow », Experiments in Fluids, Vol. 11, pp 262-267.
- Gentaz L., Alessandrini B., Delhommeau G.** (1994) : « Numerical simulation for propagation of gravity waves in viscous fluid : resolution of two-dimensional unsteady Navier-Stokes equations », Modelling of Coastal and Estuarine Processes, pp153-162.
- Gerrard J.H.** (1961) : « An experimental investigation of the oscillating lift and drag of a circular cylinder shedding turbulent vortices », Experiments in Fluids, Vol. 11, pp 205-227.
- Sarpkaya T., Sutton P** (1991) : « Interaction of vortex couple with a free surface », Experiments in Fluids, Vol 11, pp 205-217.
- Lecoite Y., Piquet J.** (1988) : « Computation of the wake past an oscillating cylinder », Boss, pp.457-470.
- Lin J. C., Rockwell D.** (1999) : « Horizontal oscillations of a cylinder beneath a free surface: vortex formation and loading », Journal of Fluids Mechanics, Vol. 389, pp 1-26.
- Rajaona R.D., Levenez M., A. Chami, M. Lebey** (1998) : « On the asymmetry mechanisms in the near wake of a cylinder in accelerated flows », Proceedings of OMAE, ASME, Lisboa, Paper N°
- Sarpkaya T.** (1976) : « Vortex Shedding and resistance in harmonic flow about smooth and rough circular cylinder at high Reynolds numbers », Technical Report N° NPS-59SL76061 et 62. Naval Postgraduate School, Monterey, California.
- Sarpkaya T., Garrison C.J.** (1963) : « Vortex formation and resistance in unsteady flows », Journal of Applied Mechanics, Vol. 11, pp 16-24.
- Ta Phuoc Loc, Bouard R.** (1985) : « Numerical solutions of the early stage of unsteady viscous flow around a circular cylinder: a comparison with experimental visualization and measurements », Journal of Fluid Mechanics, Vol. 160, pp. 93-117.
- Tatsuno M., Bearman P.W.** (1990) : « A visual study of the flow around an oscillating circular cylinder at low Keulagan-Carpenter numbers and low Stokes numbers », Journal of Fluid Mechanics, Vol. 211, pp 157-182.
- Williamson C. H. K.** (1985) : « Sinusoidal flow relative to a circular cylinder », Journal of Fluid Mechanics, Vol. 155, pp 144-174.