

## 2èmes JOURNEES DE L'HYDRODYNAMIQUE

13 au 15 Février 1989 - Nantes

---

### TURBULENCE INDUITE PAR LA HOULE AU VOISINAGE DES OBSTACLES POSES SUR LES FONDS MARINS

J. LE BAS - P. MALETRAS - M. BELORGEY

LABORATOIRE DE MECANIQUE DES FLUIDES  
Faculté des Sciences et Techniques  
25, rue Philippe Lebon  
BP 540  
76058 LE HAVRE CEDEX

#### Résumé

Le champ des vitesses instantanées induit par la houle au voisinage d'un cylindre posé sur les fonds marins, est analysé en modélisation physique dans un canal à houle. Les mesures effectuées par Vélocimétrie Laser, permettent d'accéder, au champ moyen des vitesses, aux taux de turbulence, au frottement turbulent et à la production de turbulence.

Les résultats mettent en évidence des phénomènes dissymétriques entre la phase de sommet et la phase de creux de la vague. Cette dissymétrie traduit le "transport" de turbulence par l'onde de gravité en aval de l'obstacle, par rapport au sens de propagation, alors qu'en amont il reste une zone d'agitation quelque soit la phase de la houle, ce qui peut provoquer remise en suspension, d'où affouillement, et transport des sédiments.

#### Summary

The field of instantaneous velocities induced by the swell in the vicinity of a cylinder lying on the bottom of the sea, is analysed by physical modelisation in a wave channel. Measurements done by Laser velocimetry allow to obtain the mean velocity field, the turbulence rate, the turbulent shear flow and the turbulence production.

The results show dissymmetrical phenomena between the crest phase and the trough phase. This dissymmetry expresses the "transport" of turbulence by the gravity wave below the obstacle, according to the propagation direction, while an area of turbulence remains above the obstacle, whatever the wave phase is. This may induce a new suspension, involving undermining and sediment transport.

## I INTRODUCTION

Les problèmes actuels de conquête et d'exploitation des océans et en particulier la prévision du comportement d'un engin posé sur le fond imposent une analyse proche de la réalité physique en laboratoire, afin de bien séparer l'influence des différents paramètres.

La connaissance du mécanisme déterminant le transport des sédiments, donc la prévision de l'affouillement au voisinage des obstacles ou de l'enfouissement d'objets est encore très imprécise. La plupart des modèles de prédiction font intervenir les lois du mouvement permanent et non le mouvement de la houle, ainsi que la turbulence sous forme de constantes, ce qui n'est pas satisfaisant.

Notre contribution à la connaissance de ce phénomène est axée sur l'analyse du champ cinématique instantané et du champ turbulent au voisinage du fond par Vélocimétrie Doppler à Laser afin de caractériser la modification de la couche limite induite par la houle au voisinage des obstacles posés sur les fonds marins.

Cette étude est réalisée en simulation physique dans un canal à houle.

## II LE CANAL A HOULE ET L'INSTRUMENTATION

### II.1) Le canal à houle

#### II.1.1) La veine d'essai

La longueur totale du canal est de 9 m, la longueur utile (veine d'essai) de 6 m.

Pour la validité des expériences, il faut au moins 3 ou 4 vagues bien formées, d'où une longueur d'onde maximale de 1,5 à 2 m.

La largeur est de 0,8 m et la hauteur de 1 m permettant de simuler des profondeurs infinies pour des houles de faible longueur d'onde.

#### II.1.2) Le générateur de vagues

L'idée directrice était d'obtenir une houle formée et exploitable à une distance du générateur aussi faible que possible, et surtout d'éviter un courant sur le fond dû au déplacement de la pale du batteur. Ce dernier point est satisfait par l'utilisation d'un diffuseur. (BELORGEY - LE BAS, LE BAS)

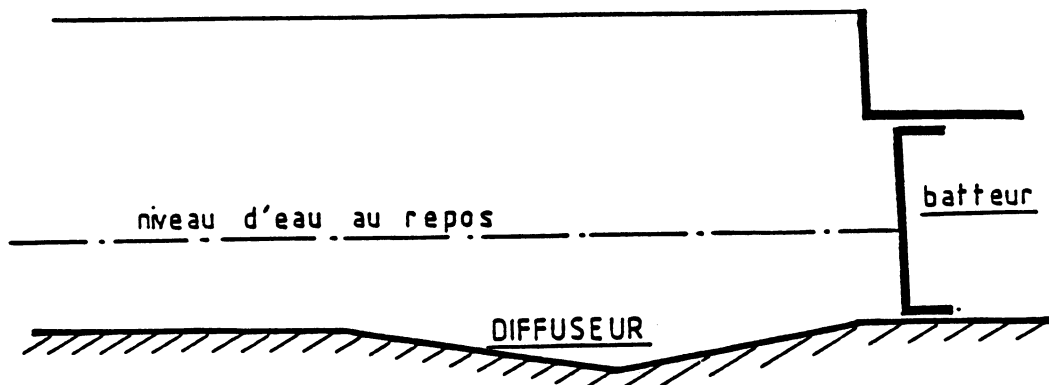


Figure 1

### II.1.3) La plage d'amortissement

D'une façon générale, la plage d'amortissement des canaux à houle est longue et imperméable afin d'amortir l'onde par déferlement et frottement visqueux. Pour des raisons d'encombrement, il était impossible d'utiliser une plage d'amortissement de ce type. Ceci a conduit à la construction d'une plage d'amortissement très courte créant des pertes de charge dans toute la masse fluide.

Les pertes de charges sont créées avec des éléments constituant des plans inclinés poreux placés à différentes hauteurs de la zone d'amortissement. Un seul plan est nécessaire dans le cas de faible hauteur d'eau. Chaque plan est constitué d'une rangée de tiges de P.V.C, d'un filtre type "MEDIA" et d'une feuille d'aluminium déployée.

Cette plage d'amortissement permet d'obtenir un coefficient de réflexion de l'ordre de 5 % sur une distance très courte (1,2 m).

### II.1.4) Instrumentation

Le Laboratoire de Mécanique des Fluides a mis au point une méthode de mesure des vitesses orbitales de la houle par vélocimétrie Doppler Laser.

En raison de ce caractère orbital du mouvement des particules d'eau, si la mesure se fait en continu en un point, nous obtiendrons une vitesse moyenne sensiblement nulle, (en l'absence de courant d'entraînement). Nous sommes donc contraints de déclencher la mesure à des dates bien précises liées à la position locale de la vague et pendant des temps très courts.

A cet effet, il existe une interface entre le détecteur de houle et le compteur de mesure des vitesses. Cette interface inhibe le compteur tant que la vague n'est pas dans une position particulière par rapport au point de mesure.

Le principe est le suivant : le signal provenant du détecteur de houle est analysé par cette interface qui délivre un signal de 0 volt inhibant le compteur. Lorsque le seuil de déclenchement choisi est atteint, le signal délivré passe à + 5 volts pendant un intervalle de temps très court (0,02 s) après une temporisation réglée de manière à ce que la vague atteigne la position choisie pour la mesure.

Cette temporisation dépend de la distance entre la sonde et le point de mesure, et de la célérité de l'onde. Lorsque l'interface délivre une tension de + 5 V, le compteur n'est plus inhibé. Les mesures sont faites sur un court intervalle de temps, puis le compteur est à nouveau inhibé jusqu'au prochain déclenchement.

Ainsi, nous mesurons les composantes des vitesses des particules pour la même position de vagues successives. Etant donné l'ensemencement naturel de l'eau utilisée, environ 80 à 90 mesures sont validées par vague et ceci pour une douzaine de vagues, l'échantillon étant de 1024 valeurs.

Même avec un volume de mesure de l'ordre de 0,6 mm de diamètre, on peut connaître la vitesse jusqu'à une distance de l'ordre de 0,2 mm du fond en utilisant la partie supérieure de ce volume (LE BAS).

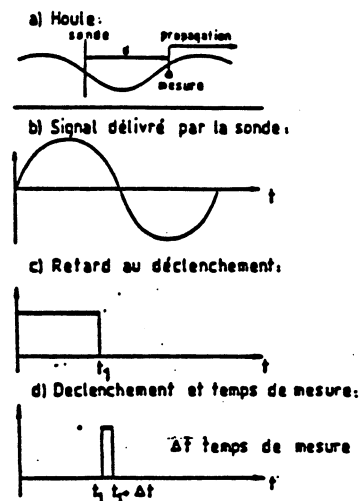


Figure 2

### III ETUDE DU CHAMP CINEMATIQUE INDUIT PAR LA HOULE AU VOISINAGE D'UN CYLINDRE POSE SUR LE FOND

#### III.1) Conditions expérimentales

Le choix des caractéristiques de la houle monochromatique générée dans le canal résulte d'un compromis entre une similitude géométrique respectant la condition de Froude et un fonctionnement optimal de l'ensemble générateur de vagues, canal, plage d'amortissement.

Les ordres de grandeur des conditions réelles sont :

- diamètre du cylindre : 0,50 m
- profondeur d'immersion : 12 m
- amplitude de la houle : 2 m
- période de la houle : 7 s

Une échelle voisine de 1/40 a été retenue connaissant la houle générée dans le canal ; cela nous donne pour les conditions de l'essai un diamètre de cylindre de 12 mm avec les caractéristiques de houle suivantes :

- Profondeur 0,27 m
- Amplitude 47,5 mm
- Période 1,08 s

Le cylindre est fixé de façon rigide sur le fond ; il est placé dans toute la largeur du canal de manière à éviter les effets de bouts. L'angle d'incidence des vagues par rapport à la normale au cylindre est nul.

Les mesures ont été effectuées dans des sections droites perpendiculaires aux faces latérales du canal, de part et d'autre du cylindre et pour deux positions particulières de la vague : le passage du sommet et le passage du creux au droit du plan médian du cylindre.

Nous avons mesuré les composantes longitudinales, verticales et à 45° des vitesses des particules. Les différentes sections droites sont très proches les unes des autres au voisinage du cylindre (pas de 2 mm environ), pour s'écarter davantage au fur et à mesure de l'éloignement de l'obstacle.

Dans ces plans verticaux, les points de mesure sont distants d'environ 0,25 mm au voisinage du fond pour atteindre 1 à 2 mm à la limite de la zone perturbée.

Le temps de mesure pour une phase donnée est de 2 centièmes de seconde. Pour atteindre le nombre d'échantillons souhaité, 1024, la mesure s'effectue ainsi sur une dizaine de vagues successives. Nous avons donc accès à une moyenne des grandeurs mesurées sur plusieurs vagues et non sur une seule.

Ceci n'a que peu d'influence sur les résultats obtenus car nous avons un faible coefficient de réflexion (5%).

Cette acquisition de valeurs étant faite, les données sont entrées dans un ordinateur qui permet de tracer les courbes en utilisant un programme de lissage basé sur la méthode de parabole des moindres carrés.

Etant donné que nous avons besoin des profils horizontaux déduits des profils verticaux mesurés afin de pouvoir calculer la production d'énergie turbulente, il est nécessaire de lisser les courbes et d'obtenir par extrapolation quelques points intermédiaires.

Le principe est le suivant :

- correction des points expérimentaux : l'utilisateur choisit un nombre pair de points, 4 par exemple ; les points expérimentaux sont déplacés de façon à faire passer une parabole au sens des moindres carrés par les 2 points les plus proches de part et d'autre du point considéré.

- apport de points supplémentaires, également suivant une parabole des moindres carrés ; nous pouvons ajuster le nombre de points désirés suivant les directions  $Ox$ ,  $Oy$  et aux lieux des plus fortes pentes.
- lissage final par parabole des moindres carrés.

On dispose ainsi des pentes en chaque point, ce qui nous permettra de calculer la production d'énergie turbulente et d'étudier ses variations suivant l'endroit où l'on se place par rapport au cylindre.

Les lignes de courant seront obtenues à partir des valeurs mesurées de la vitesse en utilisant un logiciel basé sur la méthode B-Spline, mis au point pour notre cas particulier sur IBM PC par Cyrille BERTELLE.

Avant de présenter les résultats, nous allons définir le repère utilisé :

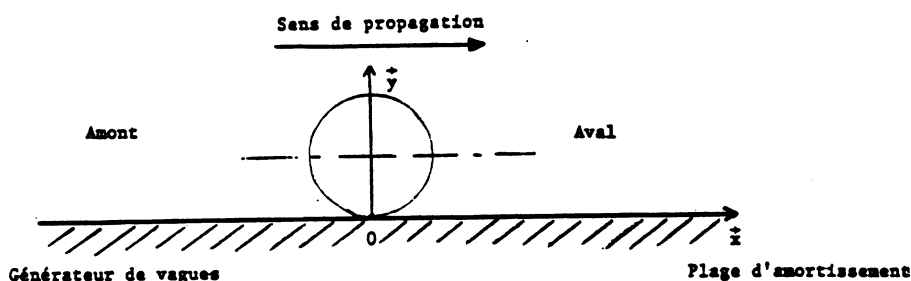


Figure 3

Le sens de référence est le sens de propagation.

La référence de position des vagues est prise par rapport au plan diamétral vertical du cylindre. Ainsi, les mesures effectuées pour le sommet de la vague sont celles qui sont faites lorsque le sommet de la vague passe par le plan diamétral vertical du cylindre et ceci quelque soit la position du point de mesure.

### III.2) Champ cinématique moyen (Figure 4)

#### a) Sommet de la vague :

Les vecteurs vitesses pour différentes sections droites de l'écoulement de part et d'autre du cylindre sont représentés sur la figure.

En amont du cylindre les vecteurs vitesses s'orientent progressivement sans perturbation importante. Par contre en aval, un tourbillon tournant dans le sens orbital de la houle se développe à proximité immédiate du cylindre. Son centre est à une cote légèrement supérieure au rayon du cylindre.

La perturbation du champ moyen ne se fait plus sentir au-delà d'une distance d'environ 8 fois le rayon du cylindre.

L'absence d'autre perturbation laisse penser qu'il n'y a pas de détachement de ce tourbillon.

#### b) Creux de la vague :

Pour cette phase le tourbillon se trouve en amont du cylindre et tourne en sens inverse du sens orbital de la houle, il apparaît plus étendu et d'une structure différente que celui obtenu lors du passage du sommet de la vague.

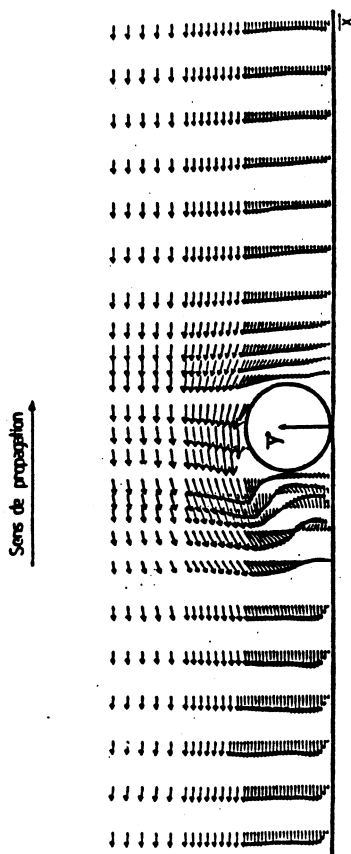
En aval, le mouvement moyen ne semble pas plus perturbé qu'en amont lors du passage du sommet. On trouve une extension du sillage de l'onde de 1,7 cm au sommet et de 1,4 cm au creux, alors que JACOBSEN, BRYNDUM et FREDSEØ prédisent 1,6 cm avec la formule suivante :

$$\frac{L}{D} = 0,8 + 0,064 K$$

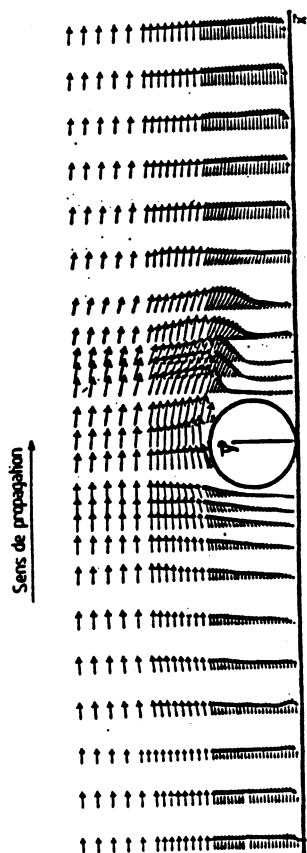
pour  $6 < K \leq 82$

Dans notre cas, le nombre de Keulegan-Carpenter est  $K = \frac{U_m T}{D} = 9$ .

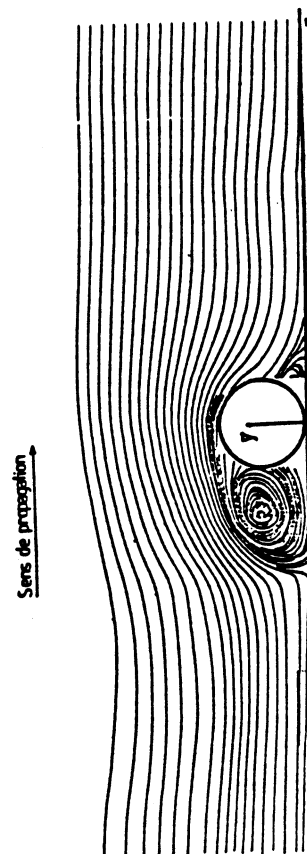
Vecteurs vitesse  
Creux de la vague



Vecteurs vitesse  
Sommet de la vague



Lignes de courant  
Creux de la vague



Lignes de courant  
Sommet de la vague

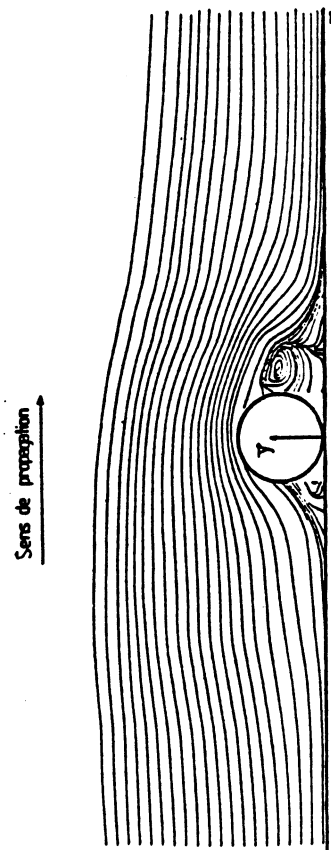


Figure 4

### III.3) Champ turbulent

L'étude du champ turbulent consiste à analyser les termes  $\sqrt{u'^2}$  et  $\sqrt{v'^2}$  puisque nous admettons le problème bidimensionnel. Le micro-ordinateur APPLE II nous donne accès en fait, non pas à  $\sqrt{u'^2}$  mais à  $\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (u_i - \bar{u})^2}$

$$= \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i'^2}$$

N étant le nombre de valeurs pour l'échantillon considéré, nous avons choisi 1024 valeurs par échantillon, ce qui entraîne une mesure sur un nombre de vagues de l'ordre d'une dizaine. Les résultats obtenus sur ces termes de champ turbulent représentent ainsi une moyenne de  $\sqrt{u'^2}$  sur quelques vagues ; la qualité de la houle obtenue dans le canal, et plus particulièrement le faible coefficient de réflexion nous assure de la validité de nos résultats.

Afin de voir les liens entre les évolutions des termes  $\sqrt{u'^2}$  et  $\sqrt{v'^2}$  et celles des composantes horizontales et verticales de la vitesse moyenne, nous présentons les profils des fluctuations horizontales et verticales à côté de ceux des composantes moyennes horizontales et verticales.

A partir des profils de  $\sqrt{u'^2}$  et de  $\sqrt{v'^2}$ , nous pouvons connaître l'évolution de l'énergie cinétique turbulente par unité de masse, cette dernière ayant pour expression :

$$\epsilon_{cT} = \frac{1}{2} (\overline{u'^2} + \overline{v'^2}) \quad \text{dans un écoulement bidimensionnel}$$

#### a) Sommet de la vague en aval du cylindre :

Dans la zone de formation du tourbillon, nous tirons les résultats suivants :

- Les zones de forte turbulence correspondent aux zones de fort gradient de vitesse, que ce soit horizontalement ou verticalement.
- Les valeurs les plus importantes sont atteintes entre  $x = 7$  mm et  $x = 30$  mm, zone d'action du tourbillon et pour des valeurs de  $y$  comprises entre 7 et 14 mm, ce qui correspond à la partie supérieure du tourbillon.
- La zone d'influence du cylindre s'étend jusqu'à  $x = 48$  mm.

#### b) Sommet de la vague en amont du cylindre :

Comme attendu, l'énergie cinétique turbulente est beaucoup plus faible dans cette zone qu'en aval du cylindre ; cependant, elle n'est pas négligeable, ce qui traduit une agitation pour des valeurs de  $x$  comprises entre - 7 et - 30 mm.

Nous confirmerons ce résultat en analysant les termes de production de turbulence.

#### c) Creux de la vague en amont du cylindre :

C'est dans cette zone que se forme le tourbillon lors du passage du creux de la vague dans le plan médian du cylindre.

Comme pour le sommet de la vague, les pics de turbulence correspondent aux zones de fort gradient de vitesse.

Nous constatons également que les fluctuations de vitesse les plus importantes sont localisées entre  $x = - 7$  mm et  $x = - 24$  mm et à une cote correspondant au centre du tourbillon mis en évidence par les lignes de courant.

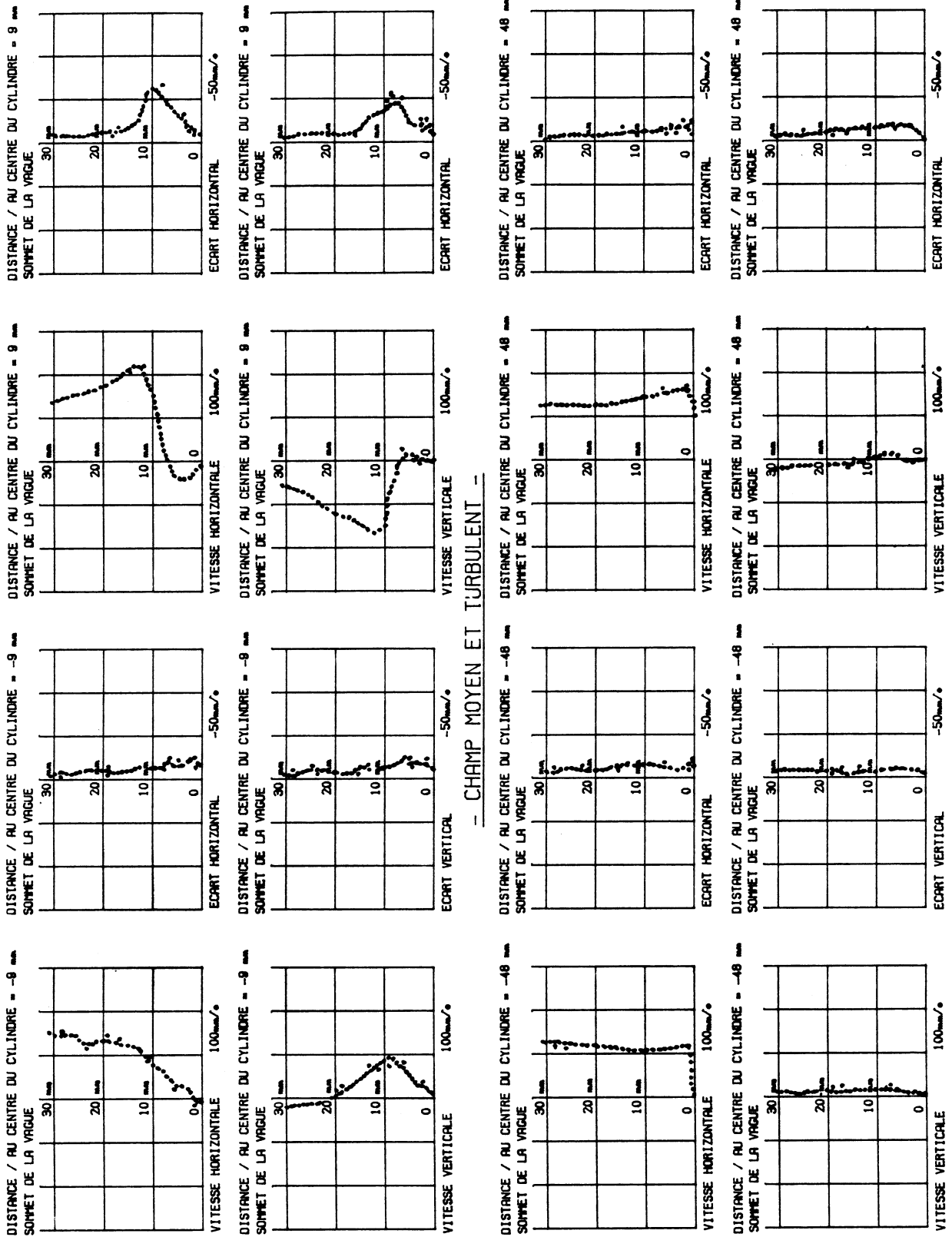


Figure 5



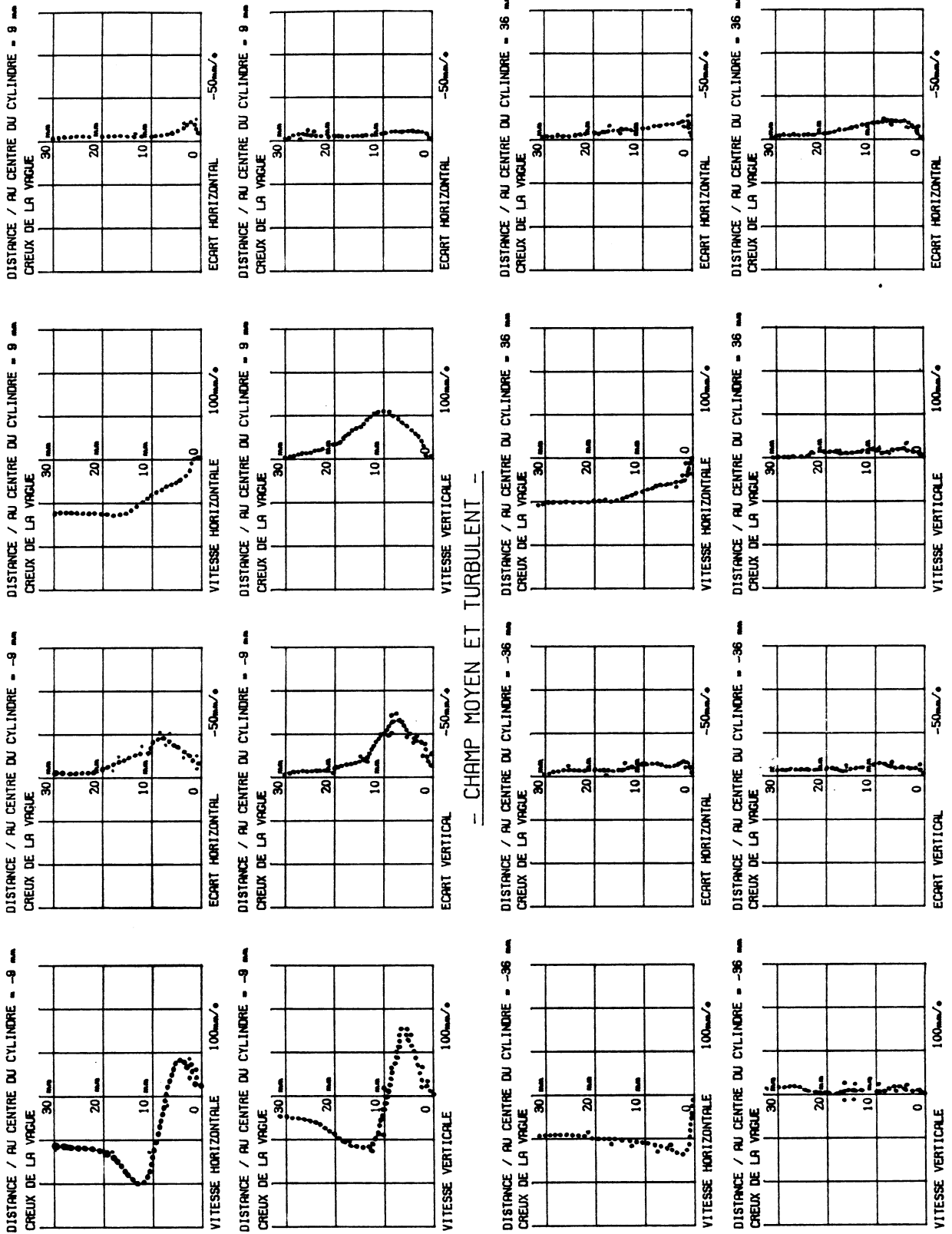


Figure 6

- CHAMP MOYEN ET TURBULENT -

## II. Production de turbulence

Rappelons l'équation de l'énergie cinétique turbulente par unité de masse

$$\frac{D\overline{q^2}}{Dt} = - \overline{u'_k u'_i} \frac{\partial \overline{u}_i}{\partial x_k} + \nu \left( \overline{\frac{\partial u_i}{\partial x_k} \frac{\partial u_i}{\partial x_k}} + \overline{\frac{\partial u_i}{\partial x_k} \frac{\partial u_k}{\partial x_i}} \right) + \frac{\partial}{\partial x_k} \left[ \overline{u_k \left( q^2 + \frac{p'}{\rho} \right)} - \nu \frac{\partial \overline{q^2}}{\partial x_k} - \nu \frac{\partial \overline{u'_i u'_k}}{\partial x_i} \right]$$

Revenons sur le terme de production d'énergie turbulente :

$$- \overline{u'_k u'_i} \frac{\partial \overline{u}_i}{\partial x_k} = - \overline{u'^2} \frac{\partial \overline{u}}{\partial x} - \overline{u'v'} \frac{\partial \overline{u}}{\partial y} - \overline{u'v'} \frac{\partial \overline{v}}{\partial x} - \overline{v'^2} \frac{\partial \overline{v}}{\partial y}$$

$$\begin{aligned} \text{avec } U_1 &= u \\ U_2 &= v \\ U_3 &= 0 \end{aligned}$$

Nous allons étudier l'évaluation de la somme de ces termes. Afin de confirmer les différences existant entre le passage du sommet et le passage du creux au droit du cylindre, nous allons étudier les termes de production de turbulence en présence des tourbillons (donc en aval pour le sommet et en amont pour le creux), puis dans les zones sans tourbillon.

### a) Analyse des termes de production de turbulence en présence des tourbillons

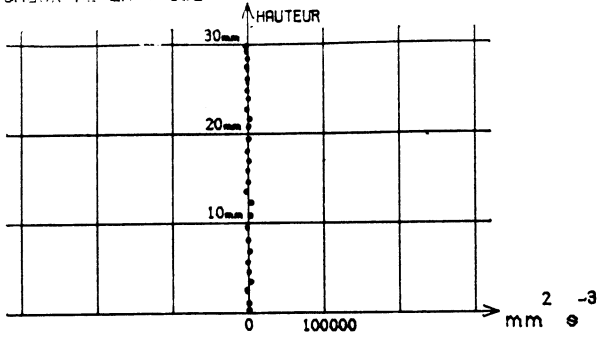
Sur les figures présentées ; la courbe supérieure représente la somme des termes de production en aval au passage du sommet et la courbe inférieure représente cette même quantité en amont au passage du creux.

Les constatations que nous pouvons faire sont les suivantes :

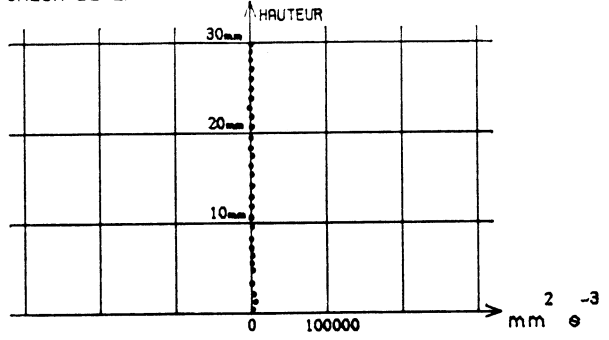
- L'échange d'énergie entre le mouvement turbulent et le mouvement moyen est plus important au voisinage immédiat du cylindre lors du passage du creux. L'intensité des termes de production et la dispersion constatées font apparaître une agitation plus intense dans cette zone.

- Le signe des termes de production de turbulence nous montre que le centre des tourbillons correspond à des échanges dans le sens champ moyen vers champ turbulent, alors qu'à la partie supérieure de ces structures, il existe un transfert d'énergie vers le champ moyen. Ceci semble provenir de l'accélération du fluide devant contourner l'obstacle et le tourbillon comme on peut le constater sur les figures représentant les lignes de courant.

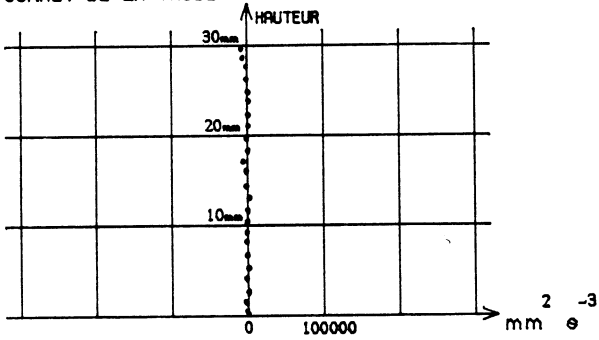
DISTANCE / AU CENTRE DU CYLINDRE = 24 mm  
CREUX DE LA VAGUE



DISTANCE / AU CREUX DE DU CYLINDRE = 9mm  
CREUX DE LA VAGUE



DISTANCE / AU CENTRE DU CYLINDRE = -24 mm  
SOMMET DE LA VAGUE



DISTANCE / AU CENTRE DU CYLINDRE = -9 mm  
SOMMET DE LA VAGUE

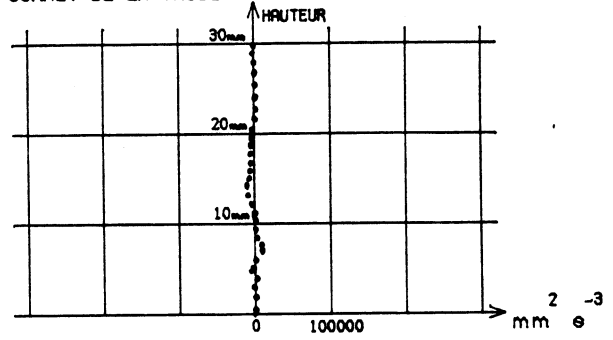
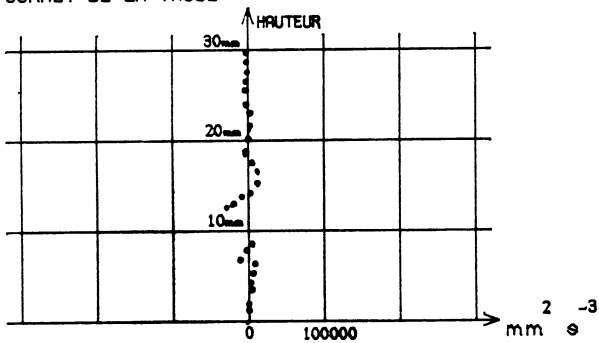
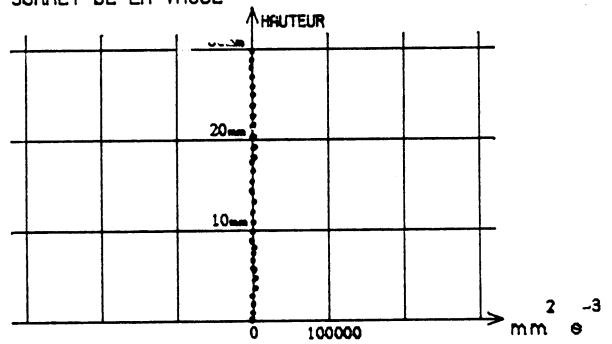


Figure 7 : Production de turbulence

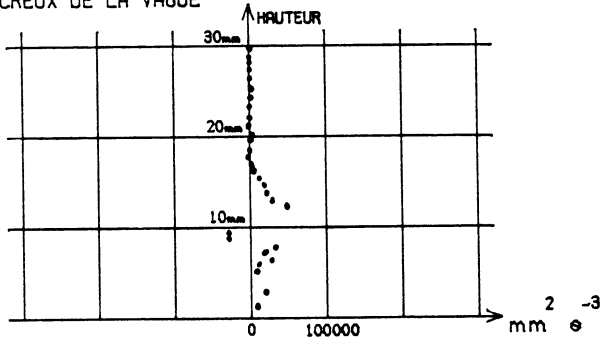
DISTANCE / AU CENTRE DU CYLINDRE = 9mm  
SOMMET DE LA VAGUE



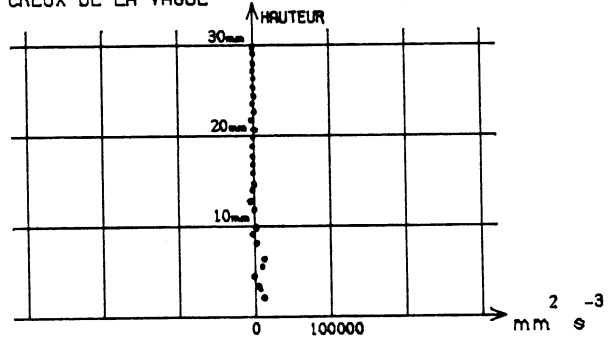
DISTANCE / AU CENTRE DU CYLINDRE = 36mm  
SOMMET DE LA VAGUE



DISTANCE / AU CENTRE DU CYLINDRE = -9mm  
CREUX DE LA VAGUE



DISTANCE / AU CENTRE DU CYLINDRE = -36mm  
CREUX DE LA VAGUE



- La zone de production de turbulence (positive ou négative) ne s'étend que jusqu'à  $x = \pm 30$  mm, ce qui correspond à 2 fois  $\frac{1}{2}$  le diamètre du cylindre de part et d'autre de son axe.

b) Analyse des termes de production de turbulence dans les zones sans tourbillon

Il s'agit des échanges d'énergie dans la zone aval pour le passage du creux et dans la zone amont lors de la phase de sommet.

La somme des termes de production de turbulence est nettement plus faible que précédemment.

Les termes de production de turbulence sont plus importants en amont du cylindre en phase de sommet qu'en aval en phase de creux. Nous confirmons ainsi l'hypothèse précédente sur la nature différente des phénomènes existants entre la phase de sommet et celle de creux.

Lors du passage du sommet de la vague, un tourbillon hydrodynamique se développe en aval du cylindre, créant une forte production de turbulence et une demi période plus tard, lors du passage du creux, les termes de production de turbulence sont redevenus pratiquement nuls pour le même domaine spatial.

Par contre, lors du passage du creux de la vague, il se développe un autre tourbillon en amont du cylindre et une demi période plus tard, lors du passage du sommet, il reste des termes de production de turbulence non négligeables.

On peut donc supposer que l'agitation engendrée par le passage du sommet de la vague (en aval) est transportée et dissipée par la propagation de l'onde, alors que l'agitation provoquée par le passage du creux de la vague (en amont du cylindre) ne peut être transportée dans le sens de propagation du fait de la présence de l'obstacle et par conséquent sa dissipation est beaucoup plus réduite.

Donc quelle que soit la phase de la houle, il reste une zone d'agitation localisée en amont du cylindre et au proche voisinage de celui-ci, ceci peut provoquer une remise en suspension plus importante des sédiments composant le fond.

#### IV CONCLUSION

L'objet de cette étude était de caractériser la turbulence induite par la houle au voisinage d'un cylindre posé sur le fond d'un canal à houle en étudiant le champ des vitesses moyennes et le taux de turbulence.

Ce but a été atteint en mettant en oeuvre le canal à houle du Laboratoire de Mécanique des Fluides de l'Université du Havre, associé à la technique de mesure par Vélocimétrie Doppler à Laser mise au point pour son application à la houle par ce même laboratoire.

Nous apportons une réponse pour les phases de sommet et de creux ; les autres phases seront à étudier dans une campagne de mesures ultérieure.

Le résultat le plus significatif de cette étude est la différence entre les phases de creux et celles de sommet traduisant le transport de turbulence par l'onde de gravité en aval de l'obstacle, alors qu'en amont il reste une zone d'agitation quelque soit la phase de la houle, ce qui peut provoquer une remise en suspension plus importante des sédiments composant le fond. Cette zone reste assez limitée au voisinage du cylindre.

Nos mesures ont été réalisées avec un fond lisse ; afin d'apporter une contribution à l'explication des phénomènes de transport sédimentaire influant sur les phénomènes d'affouillement et d'enfouissement, il serait bon de placer dans le canal à houle un fond mobile composé de particules solides susceptibles d'être mises en mouvement par le fluide.

Le mouvement des sables sous l'action des vagues et la mise en suspension de sédiments ont été étudié notamment par HALLERMEIER, SKAFEL, DEIGAARD, VONGVISESSOMJAI, SUNAMURA en l'absence d'obstacle.

Par contre, l'influence d'un objet situé sur le fond, ou au voisinage de celui-ci, n'a pas été étudié de façon systématique, en prenant en compte les phénomènes turbulents.

Il convient donc de poursuivre dans cette voie en adoptant, par exemple, le schéma suivant :

- analyse de la couche limite sur fond rigide modélisant les rides en l'absence de cylindre puis avec un obstacle.

- analyse de la remise en suspension de particules solides sous l'action d'un champ turbulent donné.

- analyse de la cinématique et de la dynamique sédimentaire au voisinage d'un obstacle placé sur un fond sableux dans un canal à houle.

L'intérêt de cette démarche étant de comprendre l'influence des différents paramètres indépendamment les uns des autres avant de procéder à la modélisation physique du phénomène naturel.

#### REMERCIEMENTS

Etude réalisée dans le cadre du contrat D.R.E.T. N° 85/177.

BIBLIOGRAPHIE

## BELORGEY-LE BAS :

Etude par Vélocimétrie Doppler à Laser du champ des vitesses instantanées dans la houle produite en laboratoire. La Houille Blanche N°5 p.363-368 1984

## BELORGEY- LE BAS-GRANDJEAN :

Application of the Laser Doppler Velocimetry to the study of the turbulence generated by the swell in the vicinity of walls or obstacles.  
Third International Symposium on applications of laser anemometry to fluid mechanics - Lisbonne - Juillet 1986.

## BELORGEY-BROSSARD-GRANDJEAN-JARNO :

Influence de la turbulence sur les efforts exercés par la houle sur un un cylindre de longueur finie - 1987.

## BOWIE :

Forces exerted by waves on a pipeline at or near the ocean bottom.  
Technical paper n° 77-11. Prepared for U.S Army corps. of engineers, Coastal Engineering Research Center - 1977.

## BROSSARD :

Contribution à l'étude de la turbulence à travers l'analyse d'un écoulement généré par la houle entre 2 plaques.  
Thèse de 3ème cycle - Juillet 1986.

## BRYNDUM-JACOBSEN-BRAND :

Hydrodynamic forces from wave and current loads on marine pipelines.  
O.T.C 4454 - 1983.

## DEIGAARD-FREDSØE-HEDEGAARD :

Suspended sediment in the surf zone. Journal of Waterway , Port, Coastal and ocean Engineering. Vol 112 N°1 - Janvier 1986.

## GRACE-ZEE :

Wave forces on rigid pipes during ocean test data. Journal of the Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, ASCE, Vol. 107, N°WW2 - May 1981.

## HADDAD et JAFFRIN :

Détermination des efforts sur un pipeline immergé.  
Rapport de fin d'études établi en exécution du contrat CNEOX N°75/5148 - 1976.

## HALLERMEIER :

Sand motion initiation by water waves : two asymptotes. Journal of the waterway, Port, Coastal and Ocean Division. Proceedings of the American Society of civil Engineers, Vol 106, N°WW3 - Aug. 1980.

## HUANG-HUDSPETH :

Pipeline stability under finite amplitude waves. Journal of the Waterway, Port, Coastal and Ocean Division. Proceedings of the American Society of civil Engineers, ASCE, VOL.108, N°WW2 - May 1982.

## JACOBSEN-BRYNDUM-FREDSØE :

Determination of flow kinematics close to marine pipelines and their use in stability calculations. O.T.C 4833 - 1984.

## JARNO :

Analyse de la cinématique de la houle en eau peu profonde.  
Rapport de stage D.E.A Energétique Rouen - 1985-86.

## JARNO :

Etude de l'action de la houle sur un cylindre horizontal à faible nombre de Keulegan-Carpenter.  
Université du Havre, I.F.P N°11344 - Décembre 1987.

## JENSEN :

Large scale vortices in the wake of a cylinder placed near a wall.  
Second International Conference on Laser Anemometry, advances and applications. Strathclyde - 21-23 Sept. 1987.

## LE BAS :

Etude expérimentale du champ des vitesses instantanées dans un canal à houle.  
Thèse de 3ème cycle - 1983.

## LE BAS-BELORGEY :

Analyse de la turbulence influant sur la remise en suspension des sédiments sur les fonds marins.  
Colloque d'océanologie côtière. Bordeaux - Octobre 1985.

## LE BAS :

Etude de la couche limite générée par les vagues sur le fond d'un canal à houle.  
Thèse de Doctorat Sciences Physiques - Juin 1986.

## LEEUWESTEIN :

Scour around submarine pipelines.  
PET INF INT, N 1602, p. 16-26 - Août 1984.

## NATH-YAMAMOTO :

Forces from fluid flow around objects.  
NOAA Institutional Sea Grant Contact 2-35187, Oregon State University - 1974.

## PRIEST :

Wave forces on exposed pipelines on the ocean bed. OTC Proc. 1971.

## SARPKAYA-RAJABI :

Hydrodynamic drag on bottom-mounted smooth and rough cylinders in periodic flow.  
OTC 3761 - 1979.

## SKAFEL-KRISHNAPPAN :

Suspended sediment distribution in wave field.  
J. Water Port Coastal ocean div (ASCE) N°2, p. 215-230 - May 1984.

## SUNAMURA :

Laboratory offshore sediment-transport and a model for eroding beaches.  
17th International Conference on Coastal Engineering, Sydney, 23-28 Mars 1980.

VASSELIN :

Acquisition et traitement de données pour vélocimétrie Doppler à Laser.  
Rapport de stage D.E.A Instrumentation et Commande - 1986-87.

VONGUISESSOMJAI-SILVESTER :

Wave forces on submerged objects. 1976.

VONGUISESSOMJAI :

Oscillatory ripple geometry. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE,  
Vol 110, N°3 - Mars 1984.

VONGUISESSOMJAI :

Profile of suspended sediment due to wave action. J. Water Port Coastal  
Ocean div. (ASCE), N°1, p. 35-53 - Janvier 1986.

WILSON-CALDWELL :

Force and stability measurements on models of submerged pipelines.  
OTC 1224, Proc. 1970.

WRIGHT-YAMAMOTO :

Wave forces on cylinders near plane boundaries. Journal of the Waterway  
port coastal and ocean division, ASCE, Vol 105, WW1, p. 1-13 - Février 1979.

YAMAMOTO-NATH :

High Reynolds Number oscillating flow by cylinders.  
Coastal Engineering oscillating flow, chapter 136 - 1976.