

INTERACTION HOULE-COURANT PAR PROFONDEUR FINIE : IMPACT SUR LA CINEMATIQUE

WAVE-CURRENT INTERACTION IN FINITE WATER DEPTH : EFFECTS ON THE KINEMATICS

V. REY^{*}, F. GUINOT^{} et M. LE BOULLUEC^{**}**

^{*} LSEET-LEPI, Université du Sud Toulon-Var, BP 20132 83957 La Garde Cedex

^{**} Hydrodynamique et Océanométrie, Ifremer, Centre de Brest, BP 70, 29280 Plouzané

Résumé

Ce travail expérimental sur les interactions houle-courant avait pour but une meilleure connaissance des profils de courant sur la colonne d'eau en fonction des conditions de houles et de la profondeur d'eau relative. L'instrumentation déployée (sondes limnimétriques, capteurs de pression, courantomètres) ont permis de mettre en évidence d'une part l'impact de la superposition d'une houle et d'un courant sur le profil vertical de l'écoulement moyen, et d'autre part l'effet du courant sur le calcul de la hauteur de la houle à partir de capteurs de pression sur le fond. Cependant, pour les cas étudiés lors de cette campagne expérimentale, l'écoulement en l'absence de vagues restait bien bidimensionnel et peu cisailé, ce qui ne nous a pas permis de mener une étude sur les instabilités telles qu'on avait pu les observer lors d'une précédente campagne, cependant trop peu instrumentée pour une étude détaillée.

Summary

The aim of this large scale basin experiment on wave current interactions was a better understanding of vertical velocity profiles changes due to progressive surface waves. The instrumentation deployed including wave gauges, pressure sensors and current meters allowed precise measurements along the basin. In particular, the effect of waves on the homogenization of vertical profile was measured, and the effect of current on the underestimate of wave height from bottom mounted pressure sensors was demonstrated. However, the current flow without wave was bi-dimensional and weakly sheared, and no study on the current instability as observed in previous experiment could be achieved.

I- INTRODUCTION

Les interactions vagues-courants sont étudiées pour leurs effets :

- à petite échelle, notamment pour les problèmes de mélange et de turbulence,
- à l'échelle des (petites) vagues pour les effets d'advection par les courants, par exemple pour des applications en courantométrie de surface RADAR (mesure du courant moyenné sur une profondeur $\lambda_R/8\pi$, Steward and Joy, 1974),
- à mésoéchelle pour les modèles spectraux de propagation des houles par conservation de l'action.

Ce travail expérimental sur les interactions houle-courant avait pour but une meilleure connaissance des profils de courant sur la colonne d'eau en fonction des conditions de houles et de la profondeur d'eau relative.

Il était motivé par les études menées actuellement sur les hydroliennes, avec en particulier l'étude de l'impact de houles sur la distribution verticale du courant de marée, à partir d'une approche de Boussinesq d'ordre élevé. En outre, il donne des informations intéressantes sur l'impact d'un courant sur les données de houle à partir d'instruments de mesure immergés. En particulier, des études récentes (Swan and James, 2001) numériques et en bassin ont mis en évidence la sous-estimation des hauteurs significatives de vagues calculées à partir de la pression mesurée au fond en présence de courants cisailés lorsque ceux-ci n'étaient pas pris en compte.

Après avoir présenté les conditions expérimentales, les données de courant puis de hauteurs de houles le long de l'écoulement sont discutées.

II- DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Les essais ont été effectués au bassin de génie océanique (BGO) FIRST, La Seyne/Mer, France. Le BGO-FIRST possède une longueur utile de 24 m, et une largeur efficace de 16 m. Sa profondeur maximale est de 5 m. Il est équipé d'un générateur de courant constitué de pompes, d'un batteur à houle sur toute la largeur et d'un dispositif de support XY, travaillant dans un repère Cartésien. A l'extrémité du bassin, une plage absorbante perméable, de forme parabolique de 3 m de long, rend possible les essais avec courants (figure 1).

Le fond se déplace verticalement pour s'adapter à la profondeur désirée. Le plancher mobile a été réglé de manière à avoir une profondeur d'eau de 1m, le puits central étant obturé et les volets de raccordement installés pour permettre la transition de 3 m à 1 m d'eau. Tous les interstices ont été bouchés (trappes/plancher et plancher/murs sur les côtés du bassin).

Le batteur à houle, composé de cylindres oscillants horizontalement, permet à des houles régulières et irrégulières d'être générées, avec une hauteur maximale de 0.8 m, pour des périodes de 0.7 à 3.4 s.

Les houles régulières étudiées étaient de période $T=1.2$ s (avec une hauteur $H=100$ mm), et $T=2$ s ($H=200$ mm).

Les études ont été menées soit sans courant, soit avec des courants de 0.25 ou de 0.50 m/s, dans la direction des vagues et dans le même sens.

Les houles étaient mesurées au moyen de 18 sondes résistives disposées dans la direction de propagation OX. Au droit de chacune des sondes 1 à 13 était fixé sur le plancher un capteur de pression, orienté dans la direction horizontale OY, perpendiculaire à la direction de l'écoulement. Trois courantomètres de type moulinet ont aussi été installés au centre du bassin à différentes profondeurs (0.3m, 0.6m et 0.9m).

L'acquisition pour ces capteurs (sondes à houle, capteurs de pression et moulinets) a été réalisée à 32Hz.

Les mesures de courant ont été faites avec une fréquence d'acquisition de 8Hz à partir d'un courantomètre ADV de type Vector dont on a fait varier la position en X (-10.3 ; -9 ; -7 et 0 m) et la profondeur.

Nous avons par ailleurs vérifié la très bonne reproductibilité des essais, en particulier sans courant et pour $T=2s$ (voir figure 3).

Les positions des sondes et capteurs sont données sur la figure 1.

En présence d'un courant homogène U , la relation de dispersion est donnée par (Jonsson, 1990) :

$$(\omega \pm |U|k^\pm)^2 = g k^\pm \tanh(k^\pm h)$$

avec : ω : pulsation
 g : accélération de la gravité
 h : profondeur d'eau
 k : nombre d'onde

Sous forme adimensionnelle : $(\sqrt{K_o} \pm F_h K^\pm)^2 = K^\pm \tanh K^\pm$

où : $K_o = k_o h$, $k_o = \omega^2 / g$, $K = kh$

les indices zéro correspondant au cas de la profondeur infinie sans courant.

$F_h = U / \sqrt{gh}$ est le nombre de Froude construit sur la profondeur d'eau.

Les solutions sont décrites sur la figure 2.

La propagation de la houle à contre courant n'est plus possible dans le cas $T=1.2s$ et $U=0.50m/s$ comme indiqué sur la figure 2.b, en effet dans ce cas le nombre de Strouhal $\tau = \omega U / g = \sqrt{K_o} F_h$ vaut 0.267, valeur supérieure à la valeur critique $\tau = 0.25$.

L'analyse de Fourier du signal calibré permet de déterminer pour chaque sonde, et chaque capteur de pression, l'amplitude, la fréquence, et la phase de toutes les composantes du signal. La technique utilisée pour séparer les ondes incidente et réfléchie est basée sur une méthode des moindres carrés utilisant la théorie des vagues linéaires en présence d'un courant uniforme appliquée à 3 sondes (Rey et al., 2002).

III - RESULTATS EXPERIMENTAUX

A-PROFILS DE COURANT

Les profils verticaux de courant pour des valeurs nominales de 0.25 m/s et 0.50 m/s sont présentés sur les figures 4, (a) en l'absence de houle, (b) pour une houle de période $T=1.2s$, et (c) pour une houle de période $T=2s$.

Le profil le plus amont ($X=-10.3m$), est situé à 1.7m en aval du début du fond plat.

Le profil de courant est cisailé, pour les deux valeurs de courant.

Les figures 4 a, b et c montrent que le profil tend ensuite vers un cisaillement nul à l'abscisse $X=0m$, cette évolution étant d'autant plus rapide que l'intensité du courant est importante. Les barres d'erreur représentent l'écart-type par rapport aux valeurs moyennes. Les figures 4.b et 4.c montrent que cette homogénéisation verticale est fortement accélérée par la présence d'une houle, en particulier celle de période $T=2s$, car en conditions de faible profondeur.

Par ailleurs, on a représenté sur les figures 5.a et 5.b le courant calculé à partir des capteurs de pression et de la position de la surface libre, respectivement pour des valeurs nominales de 0.25 m/s et 0.50 m/s.

Le courant est calculé en appliquant le théorème de Bernoulli et après correction de la pression mesurée par l'abaissement de la surface libre en présence de courant (de l'ordre de 3 mm pour $U=0.25m/s$ et 5mm pour $U=0.50m/s$), sachant que les capteurs de pression mesurent une pression différentielle par rapport à l'air libre. On observe au niveau du 1^{er} capteur, situé au départ du fond plat une vitesse plus importante, à cause du seuil, un accroissement de la vitesse similaire à celui qu'on avait déjà observé au niveau de la rampe pour l'étude sur la résonance de Bragg (Magne et al, 2005).

Les résultats pour $U=0.50m/s$ sont en bon accord avec les profils des figures 4.a à 4.c, en particulier la vitesse est plus importante au voisinage du fond en présence de la houle de plus grande période ($T=2s$), qui homogénéise le profil vertical de l'écoulement.

La même tendance est observée pour $U=0.25m/s$, mais avec une surestimation systématique du courant, peut-être due au sillage généré par des sondes, d'amplitude d'un même ordre de grandeur que la baisse du niveau d'eau.

B-HAUTEURS DES HOULES

Nous avons représenté sur les figures 6, 7 et 8 les hauteurs de houle le long du bassin, respectivement pour $U=0, 0.25$ et 0.50 m/s, et (a) pour $T=1.2$ s et (b) pour $T=2$ s.

Les résultats présentés concernent les hauteurs calculées à partir des sondes et des capteurs de pression, dans les hypothèses de houle progressive et houle partiellement stationnaire. Le premier harmonique est également présenté pour l'hypothèse de houle progressive.

Pour le calcul de l'onde incidente à la position X_i , la méthode à « 3 sondes » a été utilisée, à partir des données de hauteur et de phase aux positions X_{i-1} , X_i , et X_{i+1} . Enfin, l'influence du courant sur le résultat des capteurs de pression est présentée, ainsi que la sensibilité du résultat au paramètre courant (les extrémités des barres d'erreur correspondent à des courants de 0.2 et 0.3 m/s pour $U=0.25$ m/s et de 0.4 et 0.6 m/s pour $U=0.50$ m/s).

On observe que l'onde est partiellement réfléchiée, excepté pour le cas $T=1.2$ s et $U=0.50$ m/s, avec un coefficient de l'ordre de 4 à 8% pour $T=1.2$ s et de 15 à 20% pour $T=2$ s (voir exemples sur figure 3).

Les données des sondes (déformée de la surface libre) et des capteurs de pression (mesurée au fond) donnent des résultats très similaires en l'absence de courant, avec une hauteur de l'onde incidente à peu près constante le long de l'écoulement. La plus grande dispersion observée pour $T=1.2$ s peut être due à un espacement des points de mesure ($\Delta X=1$ m) non optimum ($\lambda=2.2$ m).

En présence de courant, la hauteur diminue à cause de l'advection par le courant, et les données des capteurs de pression ont tendance à sous-estimer la hauteur de la houle. Cette sous-estimation est supérieure à l'incertitude liée à l'intensité du courant, et n'est que partiellement corrigée par la prise en compte du terme en $\rho U u$, où u est la vitesse d'oscillation au fond due à la houle, dans l'expression de la pression. Cette sous-estimation est expliquée dans Swan et al (2001) par la vorticité de l'écoulement en présence d'un courant.

IV - CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'instrumentation déployée (sondes limnimétriques, capteurs de pression, courantomètres) ont permis de mettre en évidence d'une part l'impact de la superposition d'une houle et d'un courant sur le profil vertical de l'écoulement moyen, et d'autre part l'effet du courant sur le calcul de la hauteur de la houle à partir de capteurs de pression sur le fond.

L'aspect le plus significatif est la sous-estimation systématique de la hauteur de la houle à partir des capteurs de pression situés sur le fond, ce qui semble traduire l'importance de la rotationnalit  induite par la superposition de la houle et du courant (Swan et al, 2001). Cette sous-estimation est bien supérieure aux erreurs calculées à partir d'une incertitude sur le courant.

D'un point de vue de la mesure, cet aspect mérite d'être étudié en détail, en particulier pour les études in situ menées en zone littorale, et en particulier dans la zone de déferlement des vagues, où l'instrumentation, basée sur les mesures de vitesses et/ou de pression est par nécessité souvent disposée sur le fond (Rey et al, 2006).

D'un point de vue de l'homogénéité de l'écoulement moyen, les houles ont tendance à homogénéiser le courant sur la verticale, en particulier dans les conditions eau peu profonde (c'est presque le cas ici pour $T=2$ s). Lors d'une expérience précédente au BGO FIRST, un fond modulé avait été positionné sur la partie médiane de l'axe de propagation des vagues (Magne et al, 2005), et le courant avait tendance à s'évacuer sur les côtés, générant une dispersion importante des vitesses le long de l'écoulement moyen, colinéaire à la houle. Nous avons observé que les houles diminuaient l'intensité de ces instabilités, en particulier pour les ondes longues (voir figure 9). Une expérience est programm e dans ce sens, avec effets tridimensionnels, pour le courant et pour les vagues (selon leur période).

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Conseil Général du Var pour son soutien financier durant le déroulement des expériences menées dans le bassin à houle BGO-FIRST, dans le cadre du GIS HYDRO.

REFERENCES :

- Jonsson, I.G. 1990, « Wave-current interactions », The Sea, B. Le Méhauté and D. Hanes, eds., John Wiley & Sons, New York, 65-120.
- Magne, R., Rey, V. and Ardhuin, F. 2005 Measurement of wave scattering by topography in presence of current, *Phys. Fluids*, 17, 126601.
- Rey, V. , Capobianco, R. and Dulou, C. 2002 Wave scattering by a submerged plate in presence of a steady uniform current, *Coastal Engineering*, 47, 27-34.
- Rey, V., Certain, R., Drevard, D., Meuret, A. et Piazzola, J., 2006, « Mesures de houles partiellement stationnaires en zones côtière et littorale » *Mécanique et Industries*, 7, pp 201-207.
- Stewart, R. H. and Joy, J. W. 1974 HF radio measurements of surface current, *Deep Sea Res.*, 21, pp 1039-1049.
- Swan and James, F. 2001 A simple analytical model for surface waves on depth-varying current, *Applied Ocean Research*, 22, 331-347.

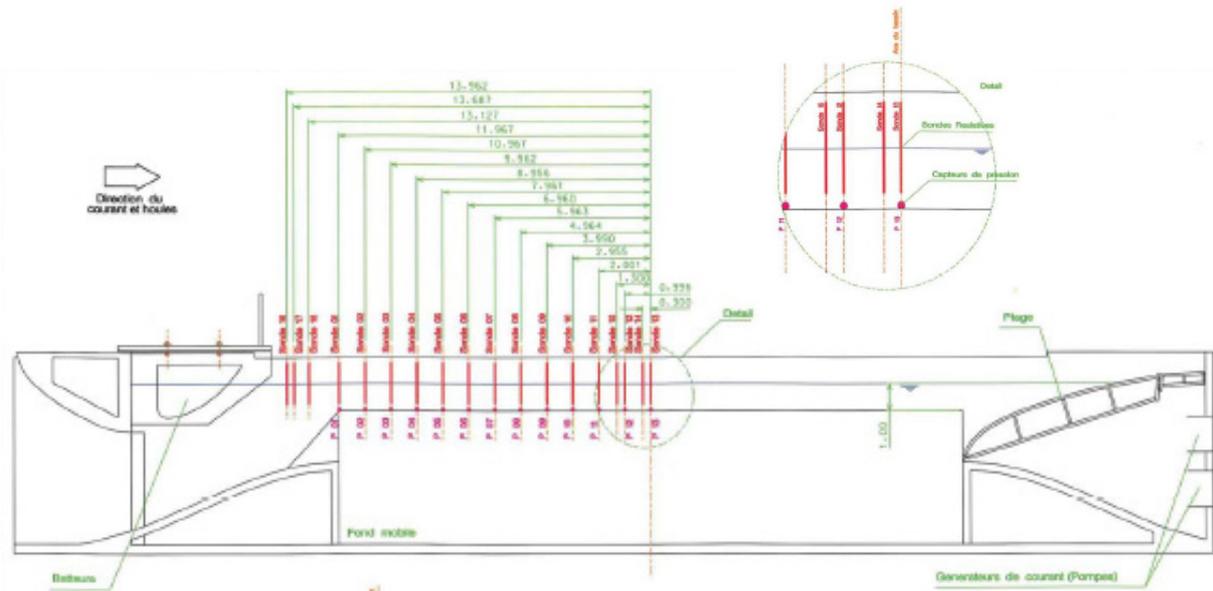


Figure 1 : Schéma du dispositif expérimental

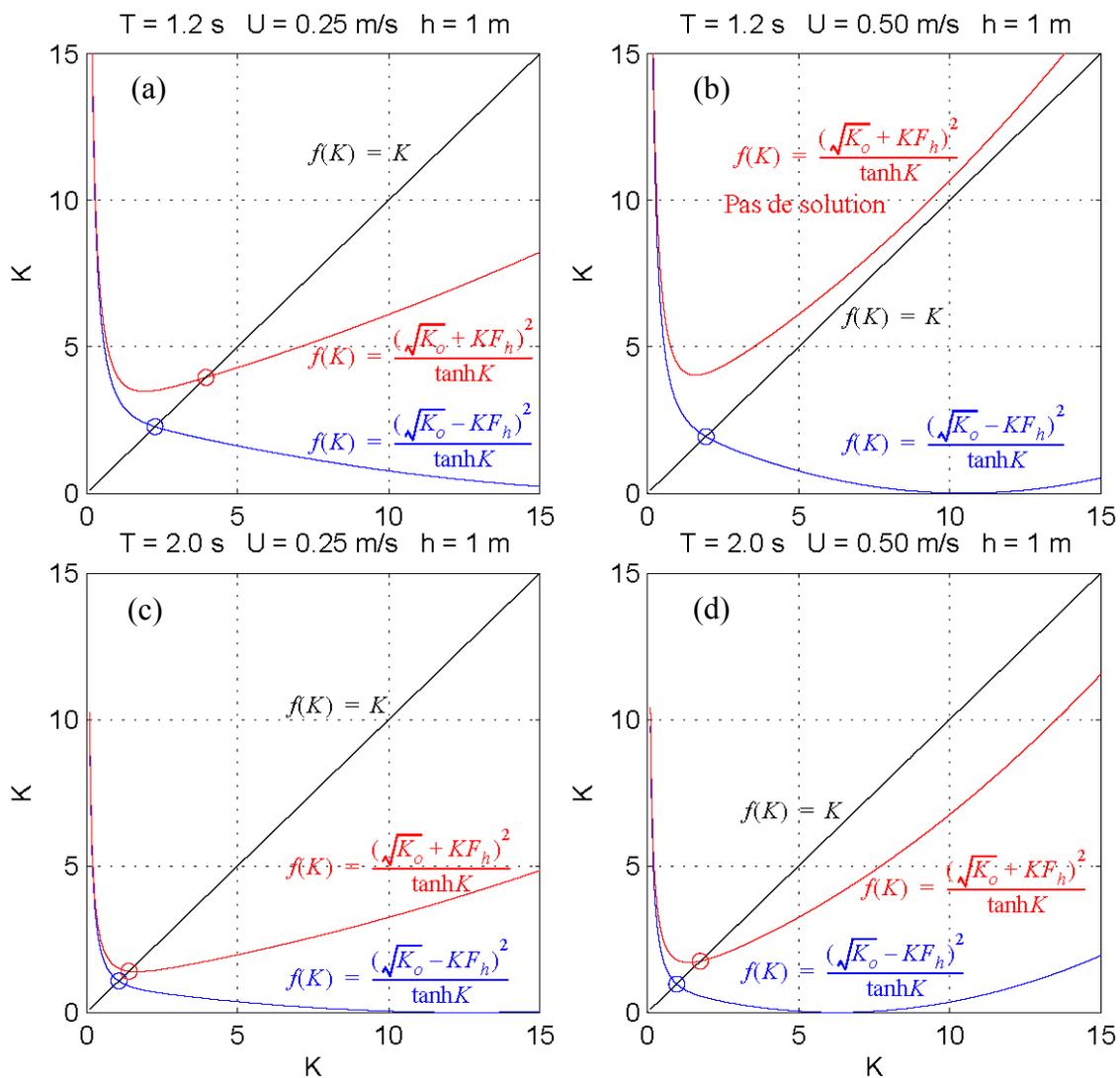


Figure 2 : Propagation de la houle en présence d'un courant uniforme.
Les solutions sont entourées par des cercles

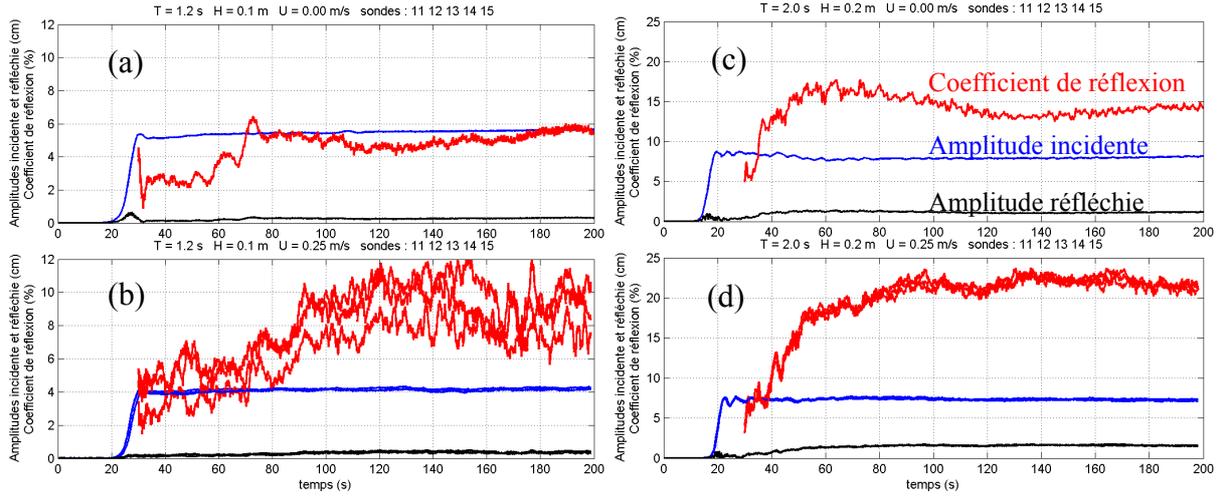


Figure 3 : Amplitudes incidentes et réflexion
 (a) $T=1.2\text{s}$, $U=0.00\text{m/s}$, (b) $T=1.2\text{s}$, $U=0.25\text{m/s}$,
 (c) $T=2.0\text{s}$, $U=0.00\text{m/s}$, (d) $T=2.0\text{s}$, $U=0.25\text{m/s}$,

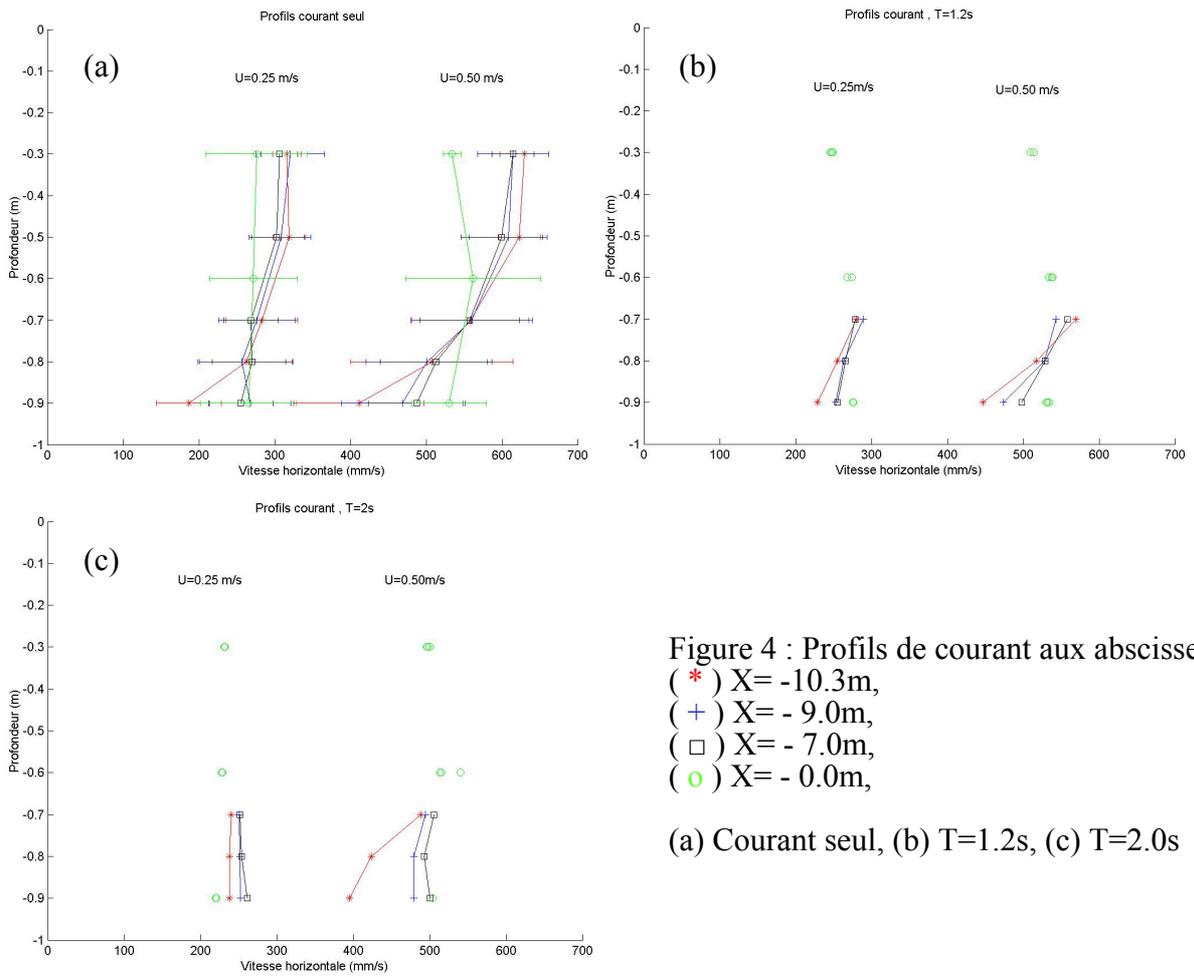


Figure 4 : Profils de courant aux abscisses
 (*) $X = -10.3\text{m}$,
 (+) $X = -9.0\text{m}$,
 (□) $X = -7.0\text{m}$,
 (○) $X = -0.0\text{m}$,

(a) Courant seul, (b) $T=1.2\text{s}$, (c) $T=2.0\text{s}$

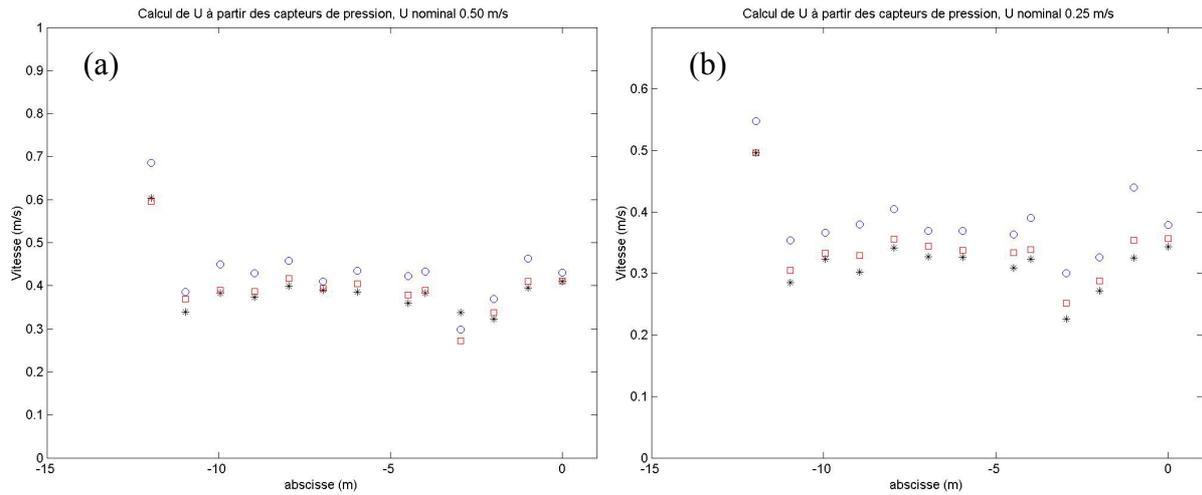


Figure 5 : Vitesses calculées à partir des données de pression au fond
 (a) $U=0.25\text{m/s}$, (b) $U=0.50\text{m/s}$ (*) courant seul, (□) $T=1.2\text{s}$, (○) $T=2.0\text{s}$

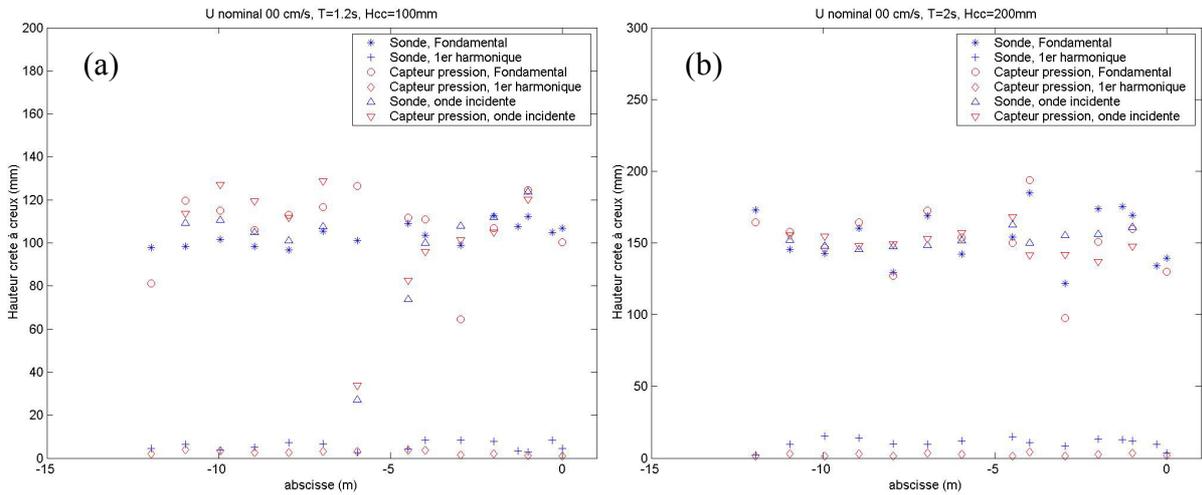


Figure 6 : Hauteurs crête à creux, $U=0.00\text{m/s}$, (a) $T=1.2\text{s}$, (b) $T=2.0\text{s}$

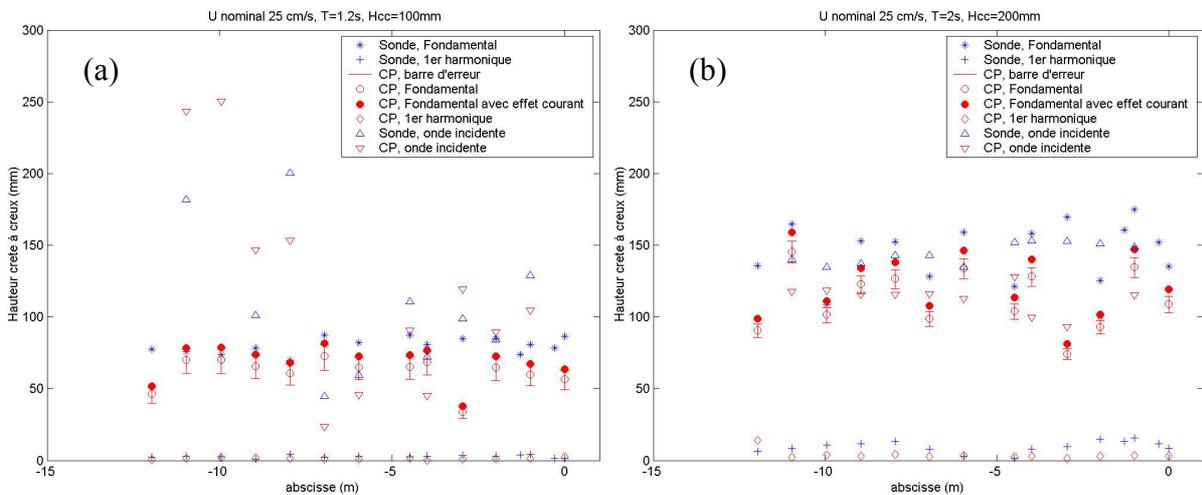


Fig. 7 : Hauteurs crête à creux, $U=0.25\text{m/s}$, (a) $T=1.2\text{s}$, (b) $T=2.0\text{s}$

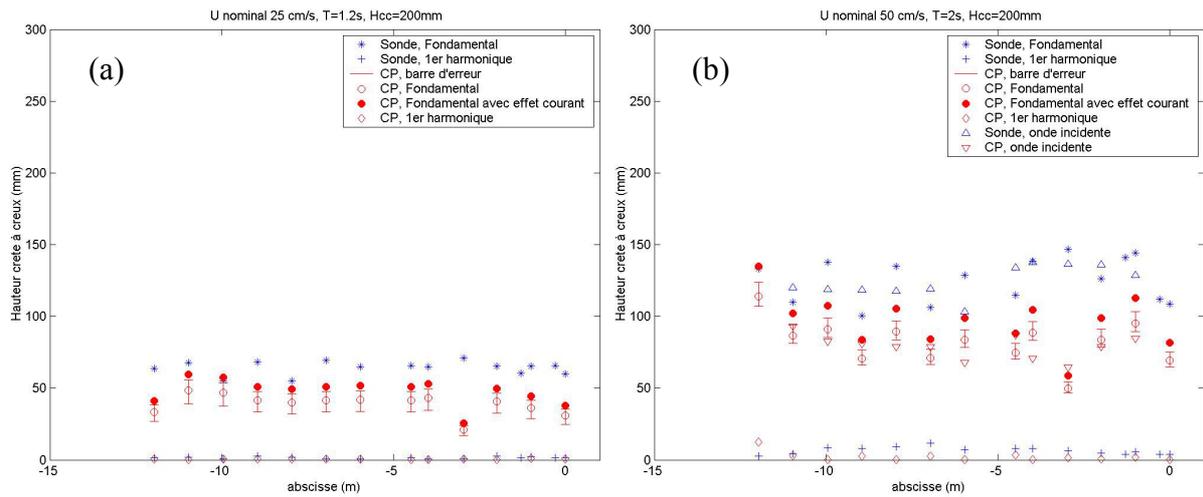


Figure 8 : Hauteurs crête à creux, $U=0.25\text{m/s}$, (a) $T=1.2\text{s}$, (b) $T=2.0\text{s}$

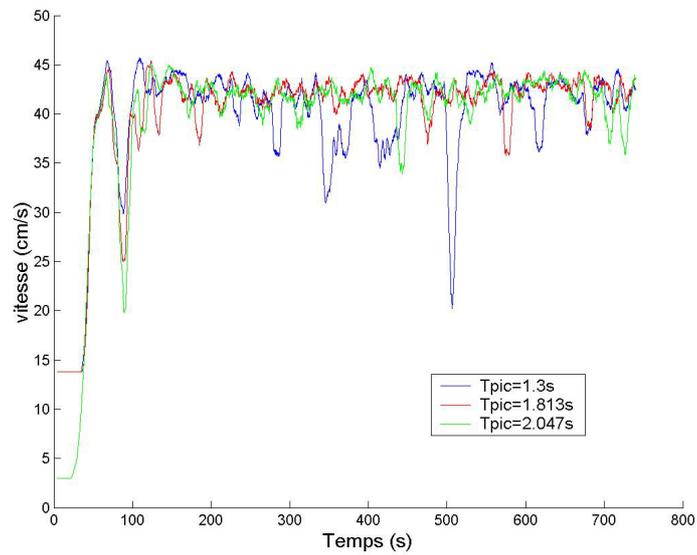


Figure 9 : Vitesses horizontales moyennées mesurées par le vélocimètre acoustique Doppler (ADV), profondeur de mesure 0.5m, mise en route des batteurs à $t=130\text{s}$