

10^{èmes} JOURNÉES DE L'HYDRODYNAMIQUE

Nantes, 7, 8 et 9 mars 2005

**MESURE DE LA DIFFUSION DES VAGUES PAR LA
TOPOGRAPHIE EN PRESENCE DE COURANT**

***MEASUREMENT OF WAVE SCATTERING BY TOPOGRAPHY IN
PRESENCE OF CURRENTS***

R. MAGNE^{1,2}, V. REY², F. ARDHUIN¹

¹ Centre Militaire d'Océanographie, EPSHOM, 13 rue du Chatellier, 29609 Brest

² LSEET-LEPI, Université de Toulon et du Var, BP 20132,
83957 La Garde cedex

Résumé

La diffusion des vagues au-dessus d'un fond sinusoïdal en présence de courant est étudiée expérimentalement. Les vagues sont générées dans un bassin à houle avec et sans courant, et sont propagées au-dessus de 5 barres sinusoïdales, avant d'être absorbées sur une plage. Le décalage Doppler des fréquences résonantes (Bragg), ainsi que l'amplification de la réflexion des vagues due au courant sont observés expérimentalement. La réflexion engendrée par la plage, bien que faible, modifie significativement la réflexion au-dessus des barres.

Summary

Wave scattering over a sinusoidal bottom in presence of an ambient current is investigated experimentally. Waves were generated in a flume with or without current and propagated over a patch of 5 sinusoidal bars before dissipating on a beach. The Doppler shift of resonant Bragg frequencies and the amplification of the wave reflection due to the current are experimentally observed. Weak reflections over the beach have significant influence on the wave reflection over the bars.

INTRODUCTION

La réflexion des vagues par des topographies périodiques a été largement étudiée, en particulier pour leur rôle possible en terme de protection du littoral (e.g. Bailard et al., 1992 et Heathershaw, 1982). Davies (1982) et Davies et Heathershaw (1984) ont montré théoriquement et expérimentalement que les vagues peuvent être fortement réfléchies par une série de barres, lorsque leur longueur d'onde est égale à deux fois la longueur d'onde du fond. Ce phénomène est appelé résonance de Bragg. Leur théorie, non valide à la résonance, a été améliorée par Mei (1985), et suivie par de nombreux auteurs (Kirby, 1986 ; Hara et Mei, 1987 ; Rey, 1992 ; Rey et al., 1996 ; Guazzelli et al., 1992). O'Hare et Davies (1983) ont considéré l'application de ce phénomène pour la protection du littoral et ont trouvé numériquement que l'amplitude des vagues peut tout aussi bien diminuer ou augmenter en aval des barres, en fonction de la position de l'enveloppe de l'onde (stationnaire) par rapport aux crêtes des barres. Récemment, Yu et Mei (2000) ont confirmé et généralisé ces observations analytiquement, en introduisant la relation de phase entre les barres et la réflexion de la plage. L'extension de la théorie de Mei (1995) par Kirby (1986) en présence d'un courant a mis en évidence un décalage des fréquences résonantes et une amplification de la réflexion des vagues. Bien que les courants soient orientés essentiellement le long de la plage dans la zone de surf, l'influence des courants peut être significative sur le talus continental où d'importantes dunes de sable sont générées par les courants de marée, pouvant provoquer une forte réflexion (voir par exemple Knaapen et Hulsher, 2002 ; Schmidt et al., 2004).

Dans cette étude, nous examinons expérimentalement l'effet d'un courant ambiant sur la résonance de Bragg, en particulier sur la réflexion des vagues par un fond sinusoïdal. L'expérience s'est déroulée dans le bassin à houle BGO-FIRST à la Seyne/Mer. Après une description du dispositif expérimental dans la partie 2, la partie 3 se concentrera sur les coefficients de réflexion observés pour des vagues régulières et irrégulières avec ou sans courant. Les conclusions suivront en partie 4.

II-TECHNIQUES EXPERIMENTALES

Le bassin à houle 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, un batteur à houle sur toute la largeur et 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, rend possible les essais avec courants. Le fond se déplace verticalement pour s'adapter à la profondeur désirée. Cependant, cette profondeur minimale était de 1.9 m. Pour l'étude de la diffusion de Bragg, la périodicité du fond à la résonance doit être plus grande que 1.9 m, pour que les vagues soient influencées par le fond. Considérant la longueur du bassin, seules 5 longueurs d'onde du fond peuvent être construites. De plus, l'amplitude des barres doit être assez importante pour produire une réflexion non dominée par celle de la plage absorbante. Pour cette étude, la profondeur est fixée à $H=1.9$ m, et une topographie sinusoïdale $h(x)$ faite de contreplaquée marine est installée sur le fond. Les rides ont une amplitude de $a=0.4$ m et une longueur d'onde $\lambda=2.5$ m. La topographie sinusoïdale incluant 5 longueur d'ondes fait 10 m de long, plus des rampes d'ajustement de 3 m à l'avant et à l'arrière. La largeur de ce fond est de 9 m, centré sur les 16 m de large du bassin.

Le batteur à houle, composé de cylindres oscillants horizontaux, 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. Des houles régulières et irrégulières sont étudiées. Les houles régulières ont une période comprise entre 1.4 et 2.9 s avec une amplitude $A=0.05$ m. Les houles irrégulières (spectre de Jonswap, $\gamma=3.3$) ont des périodes au pic de 1.3, 1.813, 2.047 s,

et des amplitudes significatives de 0.6 m sans courant et 0.5 avec. La génération du courant est fournie par des pompes. Les études qui suivent sont exécutées avec un courant de vitesse U de 0 ou de 0.32 m/s, colinéaire avec la direction des vagues et dans le même sens. Les paramètres adimensionnels sont : la hauteur des barres $a/H=0.21$, la pente maximale du fond $2\pi a/\lambda=1$, la pente des vagues kA varie de 0.02 à 0.1, et kH de 0.5 à 2.32. Ces paramètres apparaissent trop importants pour une application stricte de ces théories (basées sur un développement en pente du fond (Kirby, 1988) et sur des vagues linéaires (Rey, 92)) qui sont utilisées dans les parties suivantes pour interpréter les mesures.

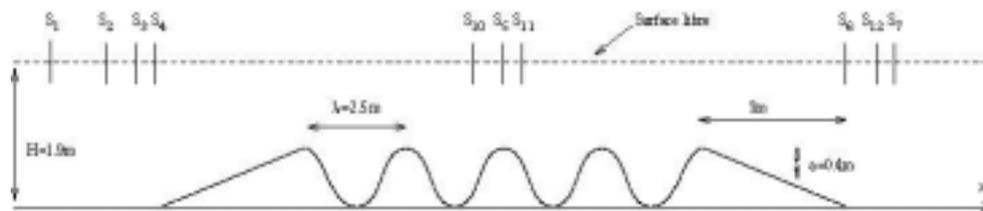


Figure 1. Dispositif expérimental

Les mesures sont effectuées à l'aide de 9 sondes synchrones, qui sont notées de S1 à S9, et la mesure de courant avec des micro-moulinets et un vélocimètre acoustique ADV (Acoustic Doppler Velocimeter). Quatre sondes en amont de la structure, une au milieu, et deux en aval rendent possible la mesure des vagues arrivant sur le fond et transmises au-delà. Deux autres (S8, S9) sont ajoutées le long de l'axe y pour mesurer les variations transversales, qui se sont révélées négligeables. L'espacement est tel que, $x_2-x_1=1.05$ m, $x_3-x_2=1.45$ m, $x_4-x_3=0.8$ m, $x_5-x_4=0.45$ m et $x_7-x_6=1.25$ m, où x_n , $n=1,\dots,12$ représentent les positions respectives des sondes. Pour les mesures des vagues irrégulières, 2 sondes de plus (S10, S11) sont ajoutées au milieu des barres et une autre (S12) à la fin, et $x_{10}-x_5=0.8$ m, $x_5-x_{11}=0.5$ m, $x_6-x_{12}=0.8$ m, $x_{12}-x_7=0.5$ m.

La décomposition de Fourier du signal calibré permet de déterminer pour chaque sonde, l'amplitude, la fréquence, et la phase de toutes les composantes du signal. La technique utilisée pour séparer les ondes incidente et réfléchie et calculer le coefficient de réflexion est basée sur une méthode des moindres carrés utilisant la théorie des vagues linéaires appliquée à 3 sondes (Suh et al., 2001, Rey et al., 2002).

II-RESULTATS EXPERIMENTAUX

A-HOULES MONOCHROMATIQUES

Le coefficient de réflexion en amplitude avec et sans courant en fonction du nombre d'onde résonant normalisé $2k/l$ est présenté sur la figure (2). k est le nombre d'onde de l'onde correspondant à la fréquence f générée par le batteur à houle pour une hauteur d'eau de $h=1.5$ m sans courant. l est le nombre d'onde du fond tel que $l=2\pi/\lambda$, avec λ la distance entre deux crêtes du fond. Les résultats expérimentaux sont comparés avec deux modèles basés sur une théorie linéaire des ondes planes. L'approximation de Kirby (1988), basée sur un développement en perturbations, appelée dans la suite « méthode approchée » fournit le coefficient de réflexion avec et sans courant pour une topographie purement sinusoïdale ; et donc ne peut représenter les effets des rampes d'ajustement en amont et aval des barres. L'algorithme de Rey (1992) appelé dans la suite « méthode exacte » est basé sur une décomposition du fond en une série de marches avec conditions de continuités de flux et de

pression aux frontières de chaque marche. Les calculs numériques avec la méthode exacte sont faits sans courant pour la topographie réelle, et incluent les rampes d'ajustement.

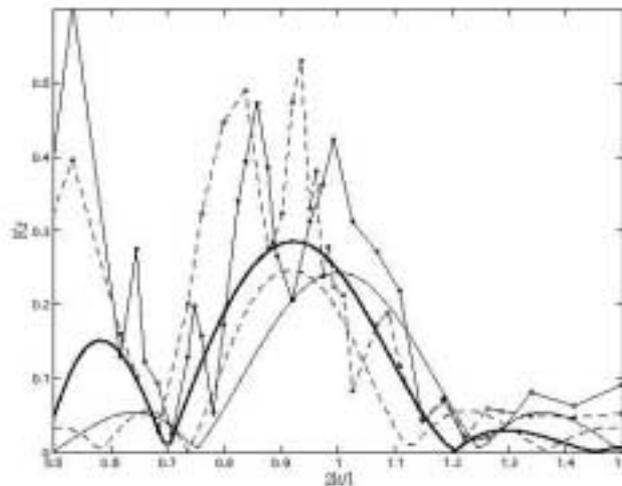


Figure 2. Coefficient de réflexion.

Les mesures sont représentées avec des marqueurs “°”. Les lignes pleine et pointillé sont respectivement la réflexion avec et sans courant. Les résultats de la méthode approchée sont tracés avec (ligne en trait plein) et sans le courant (pointillés). La ligne en trait plein en caractère gras représente les résultats de la méthode exacte (sans courant) incluant les modes évanescents.

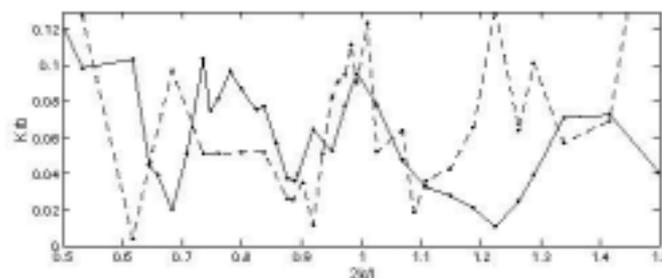


Figure 3. Réflexion de la plage (observations).

Les lignes discontinue et continue représentent respectivement la réflexion avec et sans courant.

1. Résonance de Bragg

Sans courant, on observe un maximum de réflexion centré sur le principal pic résonant, environ $2k/l=0.9$ au lieu de $2k/l=1$, prévu par la méthode approchée (Fig.2). La méthode exacte incluant les modes évanescents, prédit, pour la topographie expérimentale exacte, un pic résonant aussi décalé vers $2k/l=0.9$. Ce décalage est aussi cohérent avec l'analyse spectrale de la diffusion de Bragg, où la réflexion des vagues est liée linéairement au spectre du fond, et ce même pour une topographie abrupte (Arduin et Herbers, 2002 ; Mei et Hancock, 2003 ; Magne et al., 2005). L'ajout des rampes aux extrémités du fond sinusoïdal modifie le spectre du fond, et décale aussi son pic comme le montre la figure 4, de $2k/l=1$ à $2k/l=0.9$. La résonance de Bragg n'intervient pas exactement pour la composante spectrale l correspondant à l'espacement entre deux crêtes du fond, mais à la composante pic du spectre total du fond incluant les rampes.

Les deux théories, qui supposent des houles linéaires (Rey, 1992 ; Kirby 1988) sous-estiment le principal pic résonant du coefficient de réflexion K_r . La théorie de Kirby est limitée aux faibles pentes des rides, et ne peut donc représenter avec précision des conditions de pente du fond de 45 degrés ($2\pi a/\lambda=1$). Cependant, la méthode exacte n'est pas limitée par la pente du fond, et sous-estime également la réflexion. La réflexion au-dessus des barres doit donc être influencée par d'autres paramètres.

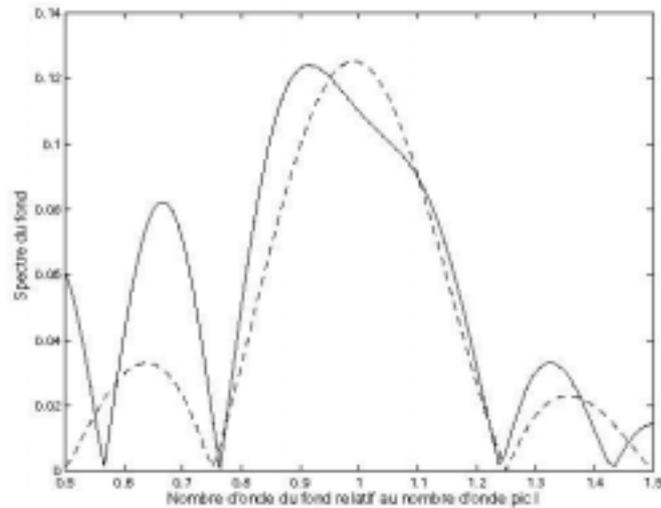


Figure 4. Spectre du fond avec (ligne pleine) et sans les rampes d'ajustement (discontinue).

2. Réflexion de la plage

La réflexion observée K_r est significativement plus grande que celle attendue autour du pic de résonant, et moindre à l'exacte résonance (Fig.2). Un trou similaire sur K_r , bien que plus petit, a aussi été observé durant l'expérience de Heathershaw (1982), (ses figures 6a-b), mais aucune interprétation n'a été donnée. Récemment, Yu et Mei (2000) ont montré que la réflexion de la plage, plus précisément, la relation de phase entre les barres et la réflexion de la plage a une influence significative sur la réflexion des vagues par des barres sinusoïdales et « contribue à une différence qualitative sur les conditions de résonance de Bragg », ce qui peut expliquer ce trou. Des tests numériques ont été faits avec le modèle de Rey (1992), introduisant la réflexion de la plage comme condition limite supplémentaire. Les coefficients de réflexion pour le domaine expérimental complet sont calculés pour une réflexion de la plage (K_{rb}) de 10%, ce qui correspond approximativement aux mesures (Fig.3). Différentes phases ϕ_b pour l'onde réfléchie par la plage sont testées. La figure (5) suggère que le coefficient de réflexion (sans la réflexion de la plage, Fig.5a) est modulé par les vagues réfléchies par la plage, et varie avec ϕ_b (Fig.5b-c). Par conséquent, la réflexion de la plage et la phase de l'onde réfléchie sont à prendre en considération pour nos observations.

En utilisant les valeurs mesurées de K_{rb} et ϕ_b (Fig.3 et 6) dans la méthode exacte pour corriger le coefficient de réflexion, on obtient la figure (7), où la ligne discontinue est le coefficient de réflexion corrigé. Cette correction n'améliore pas significativement les résultats en amplitude au niveau du pic résonant, probablement à cause d'une incertitude dans la mesure de la phase (estimée avec seulement 2 sondes). Néanmoins, un meilleur accord est trouvé pour les hautes et basses fréquences résonantes des vagues, concordant avec les oscillations du coefficient de réflexion.

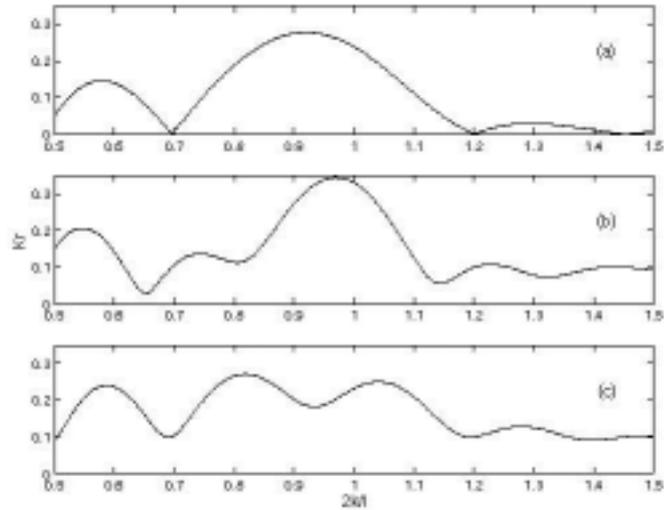


Figure 5. Coefficient de réflexion.

(a) $K_{r_b}=0$, (b) $K_{r_b}=0.1$ et $\phi_b=3.2$ rds, (c) $K_{r_b}=0.1$ et $\phi_b=5.2$ rds.

Quand les vagues sont réfléchies par la plage, une partie est re-réfléchi par les barres, piégeant de l'énergie entre les barres et la plage. On a alors un coefficient de transmission K_t (Fig.7) plus grand que 1 aux basses fréquences, correspondant à des interférences de phases constructives entre les barres et la plage. La forme du coefficient de transmission (K_t), tracé en pointillé sur la figure (7), fait ressortir la corrélation entre le piégeage d'énergie, où $K_t > 1$, et la sous estimation de K_r souligné dans la partie précédente. Ce piégeage d'énergie pourrait également être expliqué par des effets possibles de réfraction, due à la largeur du fond ajoutée inférieure à la largeur efficace du bassin. La variation transverse de l'onde incidente s'est révélée négligeable en amont du fond sinusoïdal. En aval du fond sinusoïdal, l'absence de sonde n'a pas permis de le vérifier.

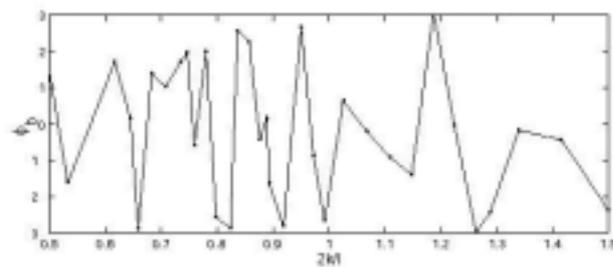


Figure 6. Phase de l'onde réfléchi par la plage (sans courant).

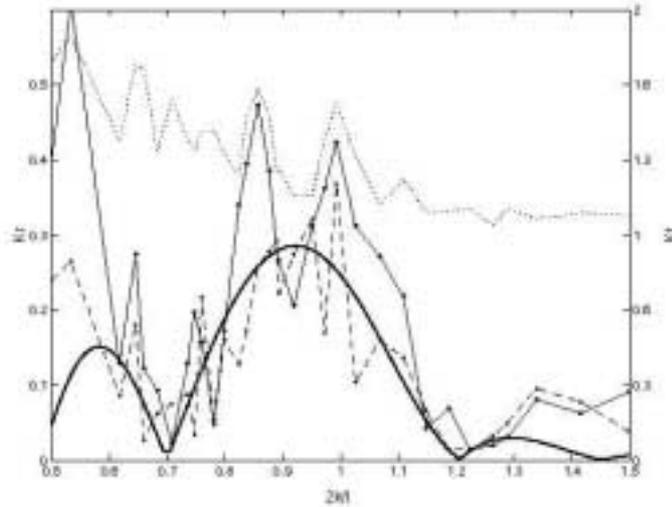


Figure 7. Coefficient de réflexion (Kr) sans courant, corrigé avec la réflexion de la plage (discontinue), coefficient de transmission (Kt) en pointillés, sinon même légende que Fig.2.

3. Influence du courant sur la réflexion

En présence de courant, le pic de réflexion est décalé vers les faibles nombres d'onde, et la réflexion est amplifiée (Fig.2). Bien que Kr prédit par la théorie de Kirby (1988) ne corresponde pas en détail aux valeurs mesurées, il y a un bon accord entre les décalages Δk vers les basses fréquences observés et prédits. Le décalage expérimental $\Delta k = 0.08 \cdot l/2 \pm 10\%$ est en accord avec la méthode approchée ($\Delta k = 0.085 \cdot l/2$). Ce décalage dû au courant peut être estimé en considérant la modification des conditions de résonance onde-fond. La résonance de Bragg correspond à une concordance de phase entre l'onde incidente et réfléchie, impliquant des interférences constructives qui amplifient alors la réflexion. Dans le cas de fond pratiquement plat, ce phénomène intervient pour un nombre d'onde de l'onde égale à 2 fois celui du fond. En utilisant la relation de dispersion,

$$(\omega \pm Uk^\pm)^2 = (\sigma^\pm)^2 = gk^\pm \tanh(k^\pm h), \quad (1)$$

où σ^\pm sont les fréquences intrinsèques dans le système de coordonnées se déplaçant à la vitesse U, l'évolution de phase δ de l'onde de nombre d'onde k pour un aller-retour sur une longueur d'onde du fond λ est définie par,

$$\delta(f) = \int_{0,\lambda} k^+ dx + \int_{\lambda,0} k^- dx. \quad (2)$$

La résonance intervient à la fréquence telle que $\delta(f) = 2\pi$. Pour une topographie sinusoïdale, à cause de la non-linéarité de la relation de dispersion (Eq.1), δ n'est pas exactement égal à 2π et la condition de résonance de Bragg diffère légèrement de $2k/l = 1$ (Rey, 1992). La fréquence exacte de résonance (avec et sans courant) peut être trouvée en résolvant numériquement $\delta(f) = 2\pi$. Le décalage en fréquence du au courant calculé à partir de (Eq.2) ($\Delta k = 0.09 \cdot l/2$) est cohérent avec la valeur observée.

B-HOULES IRREGULIERES

1. Diffusion de Bragg et influence du courant

Les figures suivantes (Fig.8a-f) montrent les énergies incidentes et réfléchies en fonction du nombre d'onde résonant normalisé $2k/l$ avec et sans courant pour 3 positions au-

dessus du fond sinusoïdal : en amont, au milieu et en aval comme l'illustre la figure (1). Les observations sont comparées avec la méthode approchée de Kirby (1988) avec et sans courant, appliquée à chaque composante du spectre incident observé. Après une transformée de Fourier du jeu de données, l'algorithme de calcul de réflexion est appliqué à chaque composante fréquentielle. Les spectres obtenus pour les vagues incidentes et réfléchies sont ensuite moyennés sur les fréquences (avec les 10 voisines) afin d'obtenir les spectres finaux.

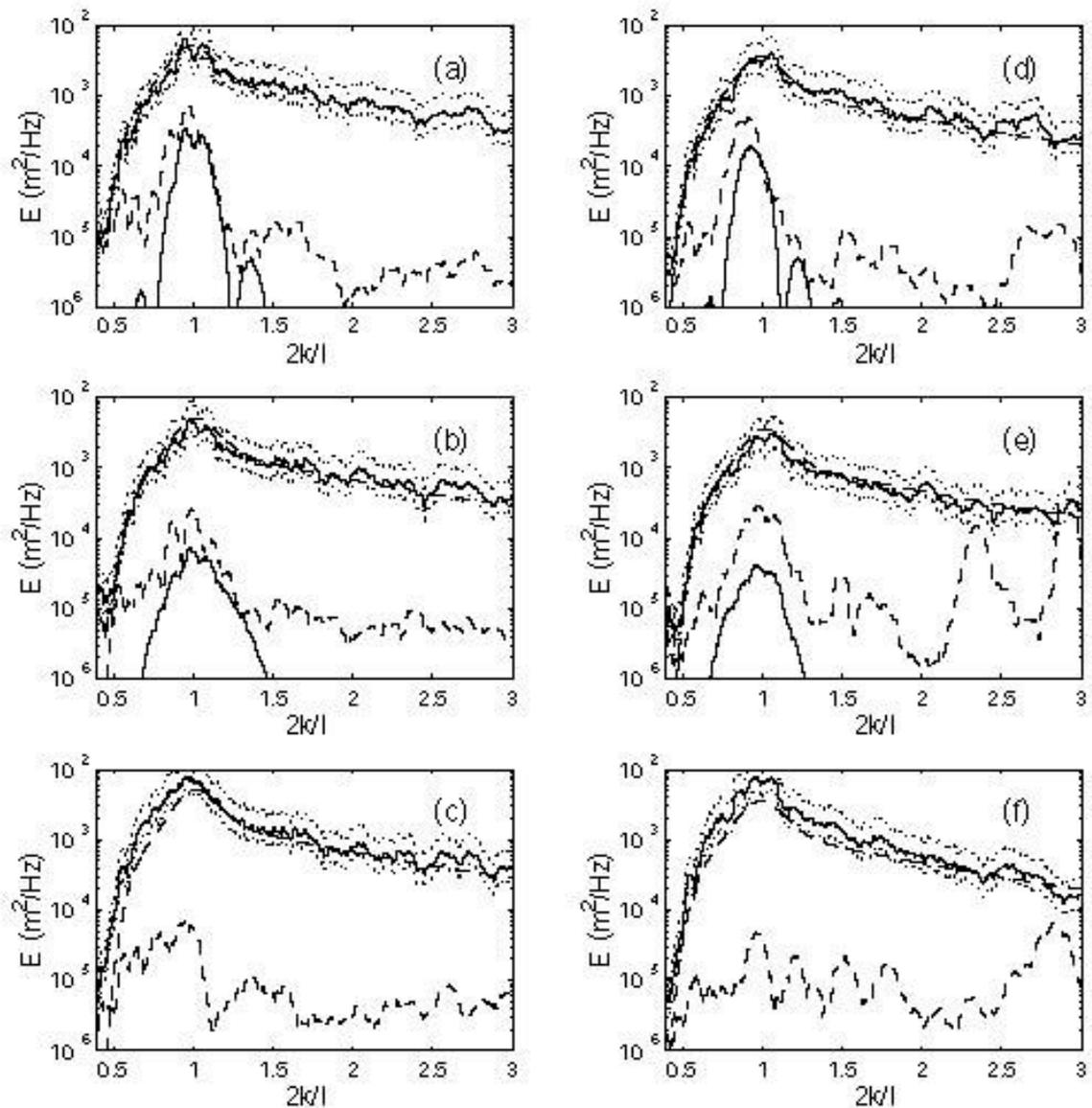


Figure 8. Evolution du spectre (échelle log en ordonnées) en amont (a,d), au milieu (b,e), et en aval (c,f) des barres, avec (d, e, f) et sans (a, b, c) courant, pour une période pic de $T=1.813s$.

Les lignes en trait plein et discontinue supérieures sont respectivement les spectres incident observé et théorique générés par le batteur à houle. La ligne discontinue inférieure est l'énergie réfléchie mesurée. La ligne pleine inférieure est la théorie, Kirby (1988), avec et sans le courant. L'intervalle de confiance à 95% est représenté par 2 spectres limites en pointillés.

Le spectre incident est donné par un spectre de Jonswap, avec une période pic de $T=1.813$ s. La réflexion observée est centrée autour de $2k/l=0.9$, comme dans le cas monochromatique. La théorie de Kirby sous-estime la réflexion, mais suit la tendance des mesures. Le spectre incident (Fig.8a) fait apparaître un trou centré autour de la fréquence résonante, à cause des interférences destructives, entre les vagues incidentes et les vagues réfléchies par les barres dans un premier temps puis re-réfléchies par le batteur à houle. Avec et sans courant, la réflexion diminue au-dessus des barres, et devient quasi nulle en aval, comme prévu par la théorie linéaire. En présence de courant, le spectre réfléchi est décalé vers les faibles nombres d'onde. Pour le même signal incident généré par le batteur, il est intéressant de noter que la réflexion est amplifiée en présence de courant (aligné et dans le même sens que les vagues), ce qui est en accord avec les résultats trouvés pour les vagues régulières.

2. Vagues en aval des barres

Les mesures expérimentales montrent une amplification du spectre incident en aval des barres (également observé pour le spectre incident de période pic $T=2.047$ s, non représenté ici). O'Hare et Davies (1993) et Yu et Mei (2000) ont trouvé numériquement et analytiquement que l'amplitude des vagues ne décroît pas systématiquement au-dessus du fond, mais peut aussi augmenter, dépendant de la relation de phase entre l'enveloppe de l'onde et la position des crêtes des barres. Yu et Mei (2000) ont trouvé un « troisième cas » correspondant dans leur papier à la « région III », où les vagues incidentes et réfléchies décroissent dans un premier temps au-dessus des barres, puis croissent en aval de celles-ci. « La phase de la réflexion de la plage par rapport à celle des barres détermine comment l'énergie est transférée localement, et explique donc le changement qualitatif de la réponse des vagues ». Se propageant au-dessus des barres, l'onde incidente fournit de l'énergie à l'onde réfléchie par effet de diffusion. Une fois la plage atteinte, en fonction de la relation de phase entre les barres et la réflexion de la plage, l'onde réfléchie par la plage peut être soit en phase ou en opposition de phase avec l'onde réfléchie par les barres. Après re-réflexion par les barres, on a alors un transfert d'énergie soit dominant ou négligeable de l'onde réfléchie à l'onde incidente. Dans notre cas, la contribution positive de la réflexion de la plage domine en aval des barres (comparé à l'effet de diffusion). L'énergie est piégée entre la plage et les barres, et la hauteur des vagues est plus importante dans cette région. Le cas étudié ici illustre bien la limitation pour des applications réelles en terme de protection du littoral pour des plages à réflexion modérée.

3. Diffusion non-linéaire des vagues

Les vagues même peu pentues peuvent se comporter de manière différente à cause des effets non-linéaires de diffusion de Bragg. Liu et Yue (1998) ont classé les résonances de Bragg, et présenté une nouvelle classe (III), impliquant des interactions résonantes entre 1 composante du fond et 3 composantes de surface, qui peuvent être du même ordre de grandeur que la diffusion de classe I (onde-onde-fond) et classe II (onde-onde-fond-fond) (e.g. Guazzelli et al., 1992). Pour étudier les effets possibles de la non linéarité de la surface sur la résonance de Bragg, on compare le coefficient de réflexion calculé directement à partir de l'énergie incidente et réfléchie (correspondant à la figure 8.a), avec le coefficient de réflexion des mesures des vagues régulières. Ils sont représentés sur la figure (9) avec une ligne respectivement discontinue et pointillée. Les faibles différences observées ne sont pas significatives comparé aux incertitudes de mesures, en particulier la modification de la réponse de la plage à des vagues aléatoires comparée à des vagues monochromatiques.

L'accord général de la réponse du spectre observé, et la superposition des résultats linéaires, suggèrent que la non linéarité des vagues joue un rôle mineur dans notre expérience, ce qui laisse penser que Bragg de classe I domine la réflexion (comparé à la classe III).

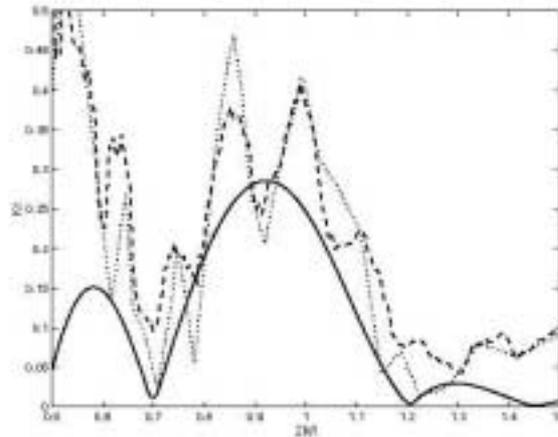


Figure 9. Coefficient de réflexion, $T=1.813$ s, $U=0$ m/s, en amont des barres.

III-CONCLUSION

L'effet du courant sur la diffusion des vagues au-dessus d'un fond sinusoïdal a été étudié dans ce travail pour des vagues régulières et irrégulières. Les calculs basés sur la théorie des ondes planes linéaires de Rey (1992), incluant les modes évanescents, et Kirby (1988), incluant les effets de courant ont été comparés aux résultats expérimentaux pour la réflexion. Pour des vagues régulières, la position du pic de résonance sans courant est bien prévu par la méthode exacte. La méthode de Kirby calcule la réflexion au-dessus de barres sinusoïdales, mais n'inclue pas les rampes d'ajustement, ce qui implique, un léger décalage des pics de résonance avec et sans courant par rapport aux mesures. Cependant, le décalage observé du pic de résonance du au courant, est en accord avec l'effet prédit par Kirby. Concernant l'amplitude de la réflexion, des différences significatives sont observées entre la théorie et les mesures. La réflexion de la plage et sa phase modifient significativement le coefficient de réflexion, ce qui peut en partie expliquer la sous-estimation prévue par les modèles, mais aussi, la modulation observée près du pic de réflexion. Pour les vagues irrégulières, le décalage du pic résonant et l'amplification de la réflexion à cause du courant sont également observés.

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

- Ardhuin F., Herbers T.H.C. 2002 : Bragg scattering of random surface gravity waves by irregular seabed topography, *J. Fluid Mech.*, **451**, 1-33
- Ardhuin F., Herbers T.H.C., Jessen P.F., O'Reilly W.C. 2003 : Swell transformation across

- the continental shelf. Part I : Attenuation and directional broadening, *J. Phys. Oceanogr.*, **33**, 1921-1939
- Bailard J.A., Devries J.W., Kirby J.T. 1992 : Considerations in using Bragg reflection for storm erosion protection, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, **118**, 62-74
- Davies A.G. 1982 : The reflection of water-wave energy by undulations on the seabed , *Dynamics of Atmos. And Oceans*, **6**, 207-232
- Davies A.G., Heathershaw A.D. 1984 : Surface-wave propagation over sinusoidally varying topography, *J. Fluid Mech.*, **144**, 419-433
- Guazzelli E., Rey V., Belzons M. 1992 : Higher-order Bragg reflection of gravity surface waves by periodic beds, *J. Fluid Mech.*, **245**, 301-317
- Hara T., Mei C.C. 1987 : Bragg scattering of surface waves by periodic bars : theory and experiment, *J. Fluid Mech.*, **178**, 221-241
- Heathershaw A.D. 1982 : Seabed-wave resonance and sand bar, *Nature*, **451**, 343-345
- Kirby J.T. 1986 : A general wave equation for waves over rippled, *J. Fluid Mech.*, **162**, 171-186
- Kirby J.T. 1988 : Current effects on resonant reflection of surface water waves by sand, *J. Fluid Mech.*, **186**, 501-520
- Knaapen M.A.F., Hulscher S.J.M.H. 2002 : Regeneration of sand waves after dredging, *Coastal Engineering*, **46**, 277-289
- Magne R., Ardhuin F., Rey V., Herbers T.H.C. 2005 : Topographical scattering of waves : A spectral approach, *submitted to Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*
- Mei C.C. 1985 : Resonant reflexion of surface water waves by periodic sandbars, *J. Fluid Mech.*, **152**, 315-335
- Mei C.C., Hancock M.J. 2003 : Weakly non linear surface waves over a random seabed, *J. Fluid Mech.*, **475**, 247-268
- O'Hare T.J., Davies A.G. 1993 : Sand bar evolution beneath partially-standing waves:laboratory experiments and model simulations, *Continental Shelf Res.*, **13**, 1149-1181
- Rey V. 1992 : Propagation and local behaviour of normally incident gravity waves over varying topography, *Eur. J. Mech. B, Fluids.*, **11**, 213-232
- Rey V., Belzons M., Guazzelli E. 1992 : Propagation of surface gravity waves over a rectangular submerged bar, *J. Fluid Mech.*, **235**, 453-479
- Rey V., Guazzelli E., Mei C.C. 1996 : Resonant reflection of surface gravity waves by one-

dimensional doubly sinusoidal beds, *Phys. Fluids.*, **6**, 1525-1530

Rey V., Capobianco R., Dulou C. 2002 : Wave scattering by a submerged plate in presence of a steady uniform current, *Coastal Engineering.*, **47**, 1, 27-34

Schmitt T., Mitchell N.C., Ramsay A.T.S. 2004 : Sediment transport pattern of two nearshore sandbanks inferred from time-lapse surveying of sand dunes, *MADRID 2004, 2nd international workshop on Marine Sandwave and River Dune Dynamics*, 270-274, Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.

Suh K.D., Park W.S., Park B.S. 2001 : Separation of incident and reflected waves in wave-current flumes, *Coastal Engineering.*, **43**, 149-159

Mei C.C., Yu J. 2000 : Do longshore bars shelter the shore, *J. Fluid Mech.*, **404**, 251-268