

5^e JOURNÉES DE L'HYDRODYNAMIQUE

22, 23, 24 mars 1995 – ROUEN

**RÉFLEXION DE LA HOULE PAR UN OBSTACLE
IMMERGÉ SUR UN FOND ÉRODABLE**

Max BELZONS

Département de Physique des Systèmes Désordonnés, SETT,
URA 1168 du CNRS, Université de Provence, case 161, 13397 MARSEILLE Cedex 20

Tél: 91288319 Fax: 91288225

Vincent REY

Laboratoire de Sondages Electromagnétiques de l'environnement Terrestre (L.S.E.E.T)
URA 705 du CNRS, Université de Toulon et du Var, BP 132, 83957 LA GARDE Cedex

Tél: 94142409 Fax: 94142417

RÉSUMÉ

L'action d'une onde de surface partiellement stationnaire sur un fond érodable, a été étudiée dans un canal à houle. Le fond consistait en une surface de sable initialement aplanie sur laquelle on maintenait en affleurement un obstacle rectangulaire solide situé sous un ventre de l'onde de surface. On a examiné les étapes du développement de l'érosion du fond ainsi que l'évolution de l'onde de surface en utilisant des systèmes de détection ultra sonore rapides et précis. A chaque étape de l'évolution, on distingue le profil lointain, où se formeront finalement des barres satisfaisant à la condition de Bragg, du profil au voisinage de l'obstacle. Le profil lointain est tout à fait indépendant du profil local qui est fortement influencé par la vorticité induite au coin aval de l'obstacle. Le coefficient de réflexion du profil ultime a été mesuré et comparé à celui du profil initial. Le rôle de l'amplitude de l'onde sur la dynamique de l'érosion est clairement mis en évidence. Il s'avère que la position de l'obstacle dans le champ est un facteur essentiel pour la modélisation de l'interaction onde-fond.

ABSTRACT

The action of a partially-standing wave on an erodible bed has been studied in a wave tank. The bed consisted in an initially flattened sand surface over which a rectangular solid bar was laid and maintained. The stages of development of the bed scouring as well as the evolving surface wavefield have been investigated using, rapid, accurate, ultra-sonic detection systems. At any stage, the bed profile exhibits a far-field in which bars will be ultimately formed with wavelength satisfying the Bragg condition, apart from a near-field located in the vicinity of the solid bar. The far-field is revealed quite independent from the local scouring which is strongly affected by the vorticity induced at the downstream corner of the solid bar. The reflection coefficients of both the initial and the ultimate bed, have been measured and compared. The role of the wave amplitude in the dynamics of the erosion is clearly demonstrated. The location of the solid bar in the wavefield is revealed a prominent factor in modeling the wave-bed

1/. INTRODUCTION

La faible profondeur d'eau et de fortes variations de la topographie du fond au voisinage du littoral constituent une protection naturelle de la côte contre les effets de la houle incidente, d'une part dissipée par atténuation visqueuse, d'autre part réfléchi partiellement. Cette réflexion partielle des ondes de gravité par des obstacles est particulièrement intéressante en génie côtier pour la protection d'ouvrages et a conduit à de nombreuses études théoriques et expérimentales. Pour des ouvrages en littoraux sableux, cette topographie peut évoluer de façon significative, conduisant d'une part à la fragilisation des ouvrages, et d'autre part à une modification des caractéristiques de la houle.

Nous avons effectué des études en laboratoire de houle monochromatique d'incidence normale au dessus d'un fond solide ou constitué de sédiments (sable modèle) en présence d'obstacles rectangulaires totalement ou partiellement immergés. Notre travail consistait en l'étude de l'interaction dynamique entre l'onde de surface et le fond. Nous nous sommes intéressés récemment à l'évolution couplée de l'onde de gravité et de la topographie du fond érodable en présence d'un obstacle solide et d'une plage partiellement réfléchissante.

Après un rappel succinct du modèle hydrodynamique et du dispositif expérimental, nous présentons les résultats de l'étude qui d'une part permettent de distinguer l'érosion locale de l'érosion lointaine et qui, d'autre part, mettent en évidence le rôle de la phase de l'onde et de la vorticité au voisinage de l'obstacle, tant en ce qui concerne l'érosion du fond que le coefficient de réflexion.

2/. MODÈLE THÉORIQUE ET DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

L'écoulement du fluide (vitesses, déformation de la surface libre, champs de pression, coefficient de réflexion) est calculé à partir de la théorie potentielle linéaire des ondes, particulièrement intéressante pour l'étude hydrodynamique du fait de son large champ d'applications, des obstacles rectangulaires simples (marche rectangulaire, plaque immergée) jusqu'aux fonds variables de grandes dimensions (Rey [1] et [2]).

Cette méthode suppose un écoulement potentiel linéaire sur un fond solide et imperméable. Cependant, les expériences dans notre canal à houle ont montré qu'elle apporte de bonnes informations sur la nature de l'écoulement dans son ensemble (Belzons et al. [3]; Guazzelli et al. [4]; Rey et al. [5]), malgré la présence d'effets dissipatifs et de faibles vorticités et non linéarités. En outre, l'évolution lente de la topographie du fond comparée à la période de l'onde permet de supposer le fond figé à un instant donné et la très faible vitesse verticale du fluide à l'interface eau-sédiment un fond imperméable.

Les caractéristiques détaillées du canal à houle et de son instrumentation ont été présentées dans [6]. Ce canal est de petites dimensions (longueur 4.70 m, largeur 39 cm et hauteur 15 cm). Un batteur mu par un moteur linéaire permet maintenant de produire des houles très diverses et en particulier linéaires ou non, dont la fréquence du fondamental peut varier de 0.6 à 5.5 Hz. Une plage d'inclinaison variable, située à l'autre extrémité du canal réfléchit partiellement l'onde incidente, produisant le taux d'onde stationnaire (TOS) désiré. Dans la

partie médiane du canal, le fond est formé d'un sédiment modèle constitué de billes de verre de diamètre $80 \mu\text{m} \pm 25 \mu\text{m}$, préalablement décompacté et nivelé selon un plan horizontal à ± 0.5 mm près. En amont et en aval, ce fond se prolonge par deux plaques imperméables horizontales et au même niveau, ce qui délimite la zone de mesure. La topographie initiale de l'ensemble du fond à étudier est complétée par des obstacles divers (éventuellement mobiles), placés à proximité du sédiment en respectant la symétrie cylindrique de l'écoulement.

Deux systèmes de mesures (écho-sondeurs à ultrasons) sont fixés sur un chariot mobile le long du canal. L'un mesure la topographie du fond, l'autre l'amplitude de l'onde de surface le long de ce fond avec, dans les deux cas, une résolution de l'ordre de $100 \mu\text{m}$. La mesure de la topographie du fond se fait lorsque le batteur est arrêté et au bout d'un temps cumulé d'érosion Δt . Ces mesures très rapidement réalisées (moins d'une minute), sont faites en nombre suffisant pour obtenir l'évolution temporelle de la topographie du fond depuis l'apparition des rides initiales jusqu'au profil ultime. Le temps de mesure de l'enveloppe de l'onde de surface est plus long (5 mn), et doit se faire avec une amplitude incidente suffisamment faible si l'on veut éviter que l'érosion se poursuive lors de la mesure. L'analyse harmonique de ce régime linéaire ou faiblement non linéaire fournit, en particulier, le coefficient de réflexion du fond.

3/. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Nos travaux antérieurs sur l'interaction dynamique entre l'onde de surface et le fond constitué de sédiments étaient focalisés sur l'étude de l'onde de gravité et de la topographie du fond érodable. Dans un premier temps, l'étude de seuils de mise en mouvement de particules, et de la formation de rides et de barres avait permis de valider les capacités de notre dispositif expérimental de petite taille à décrire correctement des phénomènes observés dans des bassins de grande dimension ou in situ (Rey [6]; Rey et al.[7]). Nous avons ensuite estimé quantitativement l'affouillement au voisinage d'obstacles solides rectangulaires (Rey et al.[8] et [9]). L'interprétation des résultats s'aidait largement des conclusions de nos études de propagation d'ondes au dessus de fonds solides (Belzons et al.[3]; Guazzelli et al.[4]; Rey et al. [5]). La présente étude met l'accent sur deux aspects particuliers mais importants: le rôle de la réflexion de la plage sur le pouvoir réfléchissant des obstacles, et celui de l'interaction de l'onde avec le profil local fond-obstacle.

Nous avons étudié en eau de profondeur 6 cm, l'évolution d'un fond constitué du sédiment modèle et d'un obstacle rectangulaire transversal de hauteur 3 cm, de largeur 4.5 cm, éventuellement muni d'un arrondi aval de 5 mm de rayon, maintenu dans la position d'affleurement du fond initialement plan. Le côté amont de l'obstacle était placé sous un ventre de l'onde incidente engendrant l'érosion, de fréquence $f_0 = 1.5$ Hz, de longueur d'onde $\lambda_0 = 46.5$ cm, et d'amplitude $a = 14$ mm ou $a = 19$ mm. Pour chacune de ces deux amplitudes, deux type d'obstacles ont été utilisés: l'un entièrement rectangulaire, l'autre avec le coin aval arrondi. En suivant l'évolution temporelle de chacun des 4 profils ainsi obtenus, on pouvait mettre en évidence soit le rôle de l'amplitude, soit celui de la vorticité aval induite par l'obstacle. D'autre part, pour chacun des 4 profils ultimes, on a mesuré le coefficient de réflexion pour une onde

de faible amplitude ($a = 5$ mm) n'érodant pas le fond et de fréquence comprise entre 1 et 1.7 Hz, et on a comparé ces résultats à ceux obtenus dans les mêmes conditions pour le fond initial.

Le calcul de la réflexion d'une houle par un obstacle a fait l'objet de nombreuses études (récemment Sturova [10] et [11], Molin et Betous [12]). Elles supposent en général une réflexion nulle de l'onde transmise, c'est à dire l'absence de tout corps réfléchissant en aval de l'obstacle (plage, haut fond...). Cette condition n'est évidemment pas réalisée dans le cas de l'érosion côtière où le TOS de l'onde est un des facteurs déterminants pour la formation des barres. Lors d'expériences précédentes nous avons pu observer le rôle de la réflexion de la plage, et en particulier celui de la phase de l'onde réfléchie, sur le développement de l'érosion à proximité d'un obstacle (Cesselin [13]). Une étude préalable du coefficient de réflexion en module et en phase, a donc été effectuée pour le fond plan en présence de la plage seule et dans les mêmes conditions que l'étude de la réflexion globale (plage et obstacle). Les résultats expérimentaux du module du coefficient de réflexion global obtenus par la suite pour le fond plan, sont comparés à ceux que donne le modèle théorique où sont introduites les valeurs expérimentales de l'amplitude et de la phase ϕ_p de l'onde réfléchie par la plage. On peut constater sur la Fig.1 le bon accord entre expérience et théorie si l'on tient compte de la très rapide variation du coefficient de réflexion théorique avec la phase ϕ_p dont la détermination expérimentale est assez peu précise. La présence de la marche perturbe l'écoulement à la fois localement par introduction de vorticité puis en provoquant éventuellement un affouillement sous jacent, et à grande distance par modification du TOS. L'examen de la topographie des fonds va permettre de distinguer nettement ces deux types de perturbations, dont le coefficient de réflexion tient compte globalement.

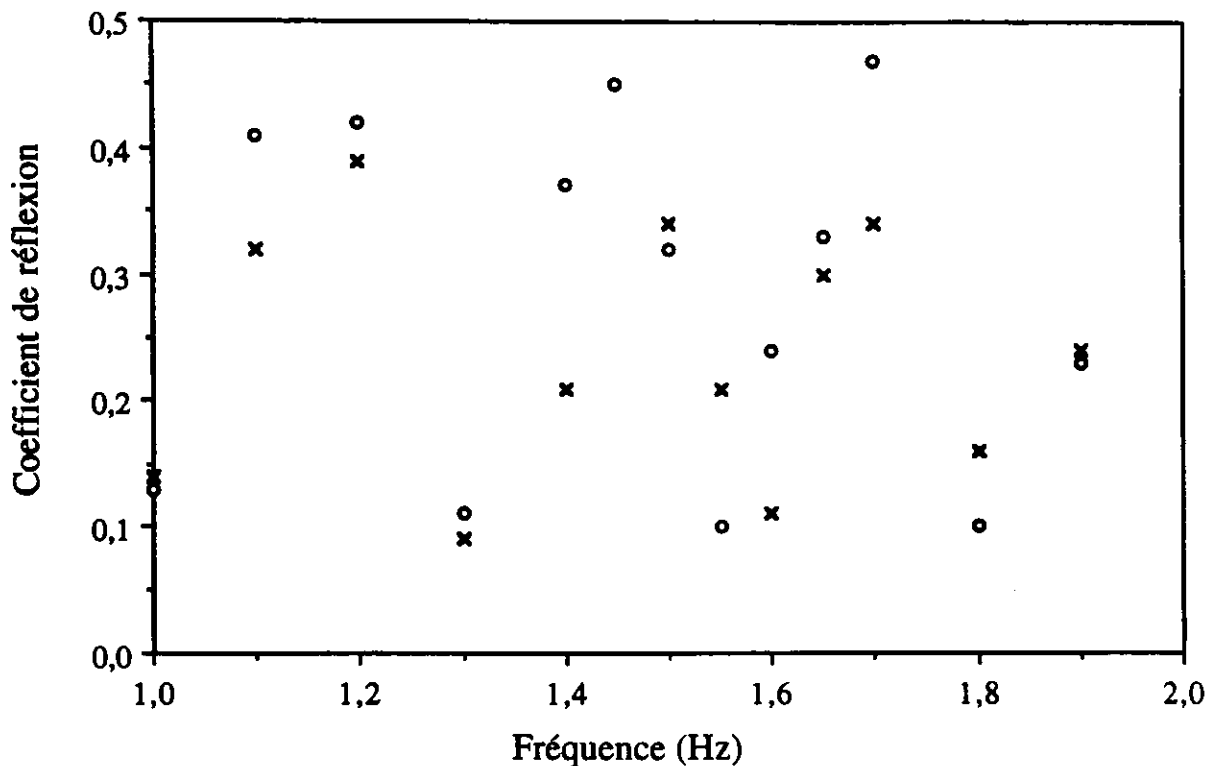


Figure 1: Coefficient de réflexion initial (barre sur fond horizontal) mesuré (X) et calculé (O).

3.1/. Topographie des fonds

Au cours de l'évolution temporelle de chacun des 4 profils étudiés on distingue toujours l'érosion lointaine de l'érosion locale; ainsi à grande distance de l'obstacle (en pratique au delà de $\lambda_0/2$), on observe, essentiellement en amont, une formation progressive de rides puis de barres approximativement espacées de $\lambda_0/2$, et une érosion très différente à proximité immédiate de l'obstacle (affouillement) (Fig.2, 3, 4 et 5). L'effet de protection de l'aval par la barre est très net, surtout aux temps courts.

3.1.1/.Rôle de la forme de la marche pour une amplitude donnée de l'onde incidente

En comparant l'évolution des profils obtenus avec la même amplitude $a = 14$ mm, soit pour la marche aigüe (Fond N°1, Fig 2), soit pour la marche avec arrondi aval (Fond N°2, Fig.3), on constate que l'érosion lointaine est très semblable, alors que l'érosion locale est différente. En l'absence d'affouillement sous jacent (temps courts), l'érosion locale, dominée par les vortex émis en aval par la marche, sera la plus importante dans le cas de la marche aigüe (Cesselin [13]). Puis aux temps longs ($\Delta t \geq 80$ mn) et pour le fond N°1, un affouillement sous jacent va modifier fondamentalement l'interaction onde-obstacle. Par contre, pour un même temps cumulé d'érosion Δt , les profils lointains amont et aval, sont pratiquement superposables et donc indépendants du profil local. L'examen de l'évolution des profils obtenus avec la même amplitude $a = 19$ mm, soit pour la marche aigüe (Fond N°3, Fig.4) soit pour la marche avec arrondi aval (Fond N°4, Fig.5) conduit aux mêmes conclusions, bien que l'évolution sous jacente apparaisse ici beaucoup plus tôt et dans les deux cas. On notera que cette érosion sous jacente ne semble pas corrélée à la vorticité car elle apparaît ici plus rapidement pour la marche arrondie que pour la marche aigüe.

3.1.2/.Rôle de l'amplitude pour une forme donnée de marche

En comparant l'évolution des profils obtenus pour la marche aigüe soit pour $a = 14$ mm (Fond N°1, Fig.2) soit $a = 19$ mm (Fond N°3, Fig.4), on constate une évolution tout à fait similaire aussi bien en ce qui concerne l'érosion locale que l'érosion lointaine; le rythme s'accroît simplement avec a (comparer par exemple les profils à $\Delta t = 40$ mn, $a = 14$ mm et $\Delta t = 20$ mn, $a = 19$ mm). Les profils ultimes (respectivement à $\Delta t = 140$ mn et $\Delta t = 80$ mn) sont tout à fait semblables. L'amplitude joue le même rôle dans le cas de la marche avec arrondi aval. En effet l'évolution des profils est similaire aux temps courts, le rythme augmentant avec a (comparer les profils à $\Delta t = 20$ mn, $a = 14$ mm et $\Delta t = 7$ mn, $a = 19$ mm). Avec $a = 19$ mm, l'affouillement sous-jacent devient ensuite la caractéristique essentielle de l'érosion locale, accroît le rythme de l'érosion lointaine en aval et le diminue en amont (les profils lointains amont sont similaires dans les deux cas pour $\Delta t \geq 40$ mn).

Dans tous les cas, le profil lointain reste indépendant du profil local (seule l'efficacité de l'érosion en dépend).

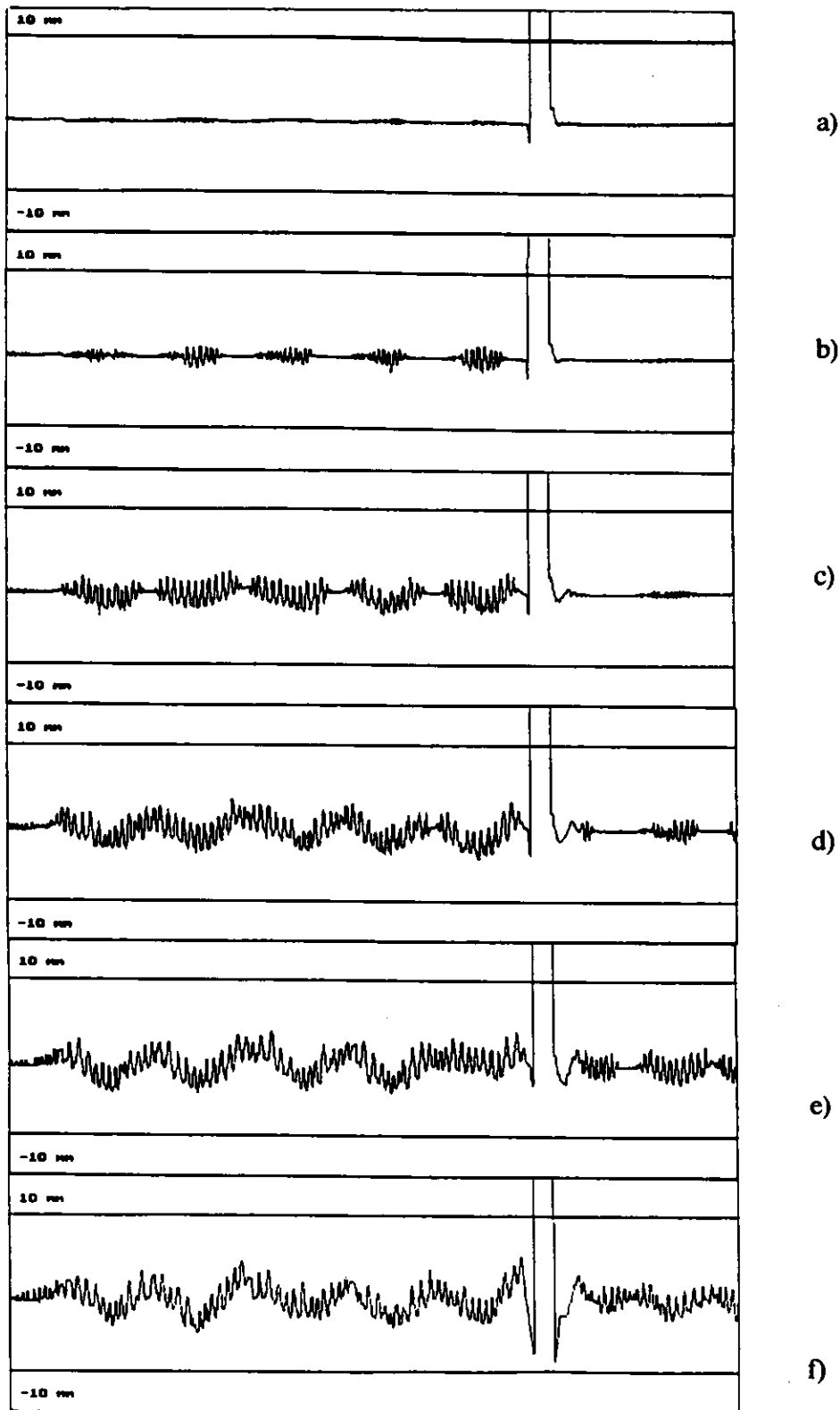


Figure 2: Evolution chronologique de la topographie du fond (N°1) pour la marche aigüe et une amplitude de l'onde incidente $a = 14$ mm.

a) temps cumulé d'érosion $\Delta t = 2$ mn; b) $\Delta t = 7$ mn; c) $\Delta t = 20$ mn; d) $\Delta t = 40$ mn; e) $\Delta t = 80$ mn; f) $\Delta t = 140$ mn. Les traits horizontaux à -10 et $+10$ mm par rapport au fond initial, donnent l'échelle verticale, la barre de largeur 4.5 cm donne l'échelle horizontale.

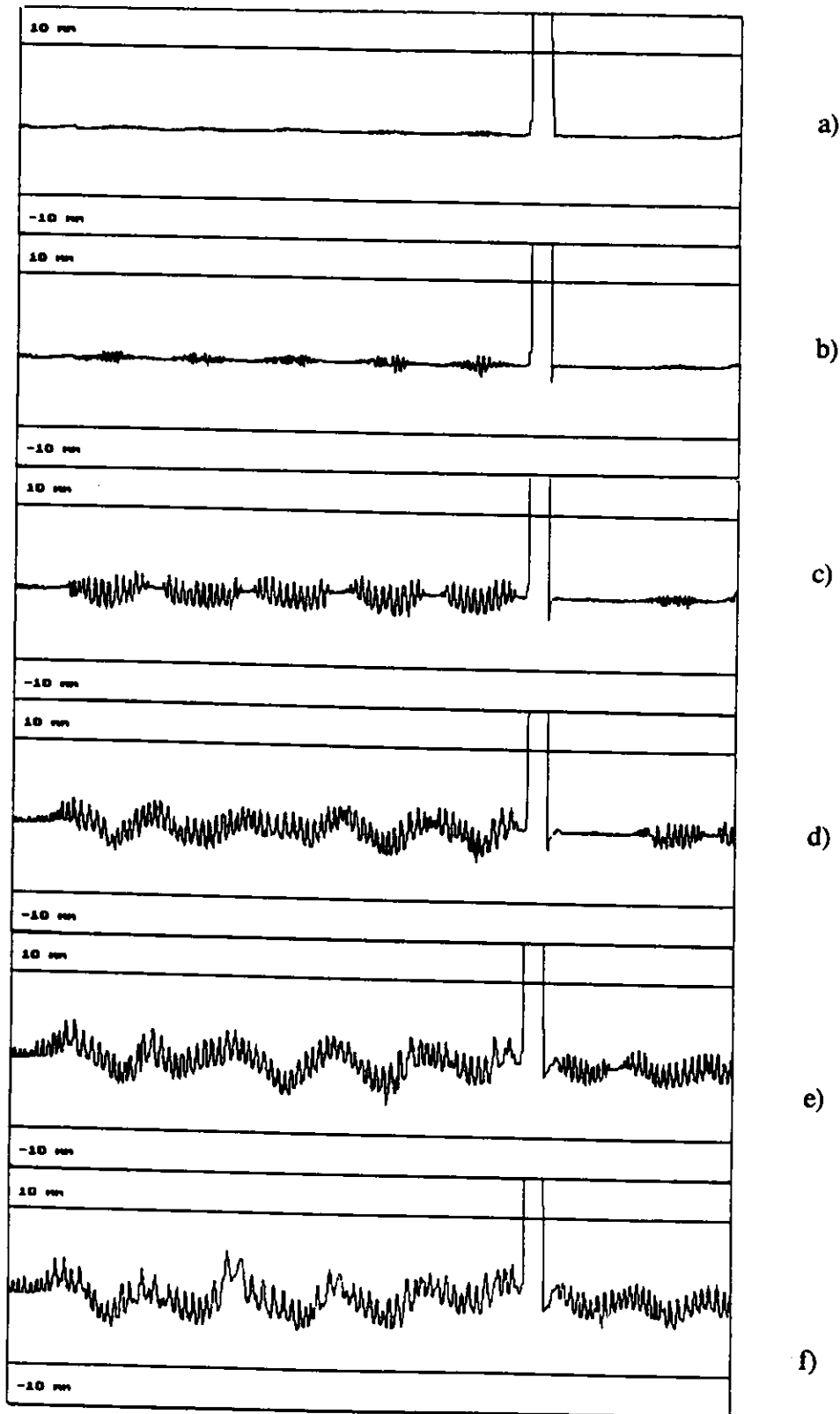


Figure 3: Evolution chronologique de la topographie du fond (N°2) pour la marche avec arrondi aval et une amplitude de l'onde incidente $a = 14$ mm.

a) $\Delta t = 2$ mn; b) $\Delta t = 7$ mn; c) $\Delta t = 20$ mn; d) $\Delta t = 40$ mn; e) $\Delta t = 80$ mn; f) $\Delta t = 140$ mn.

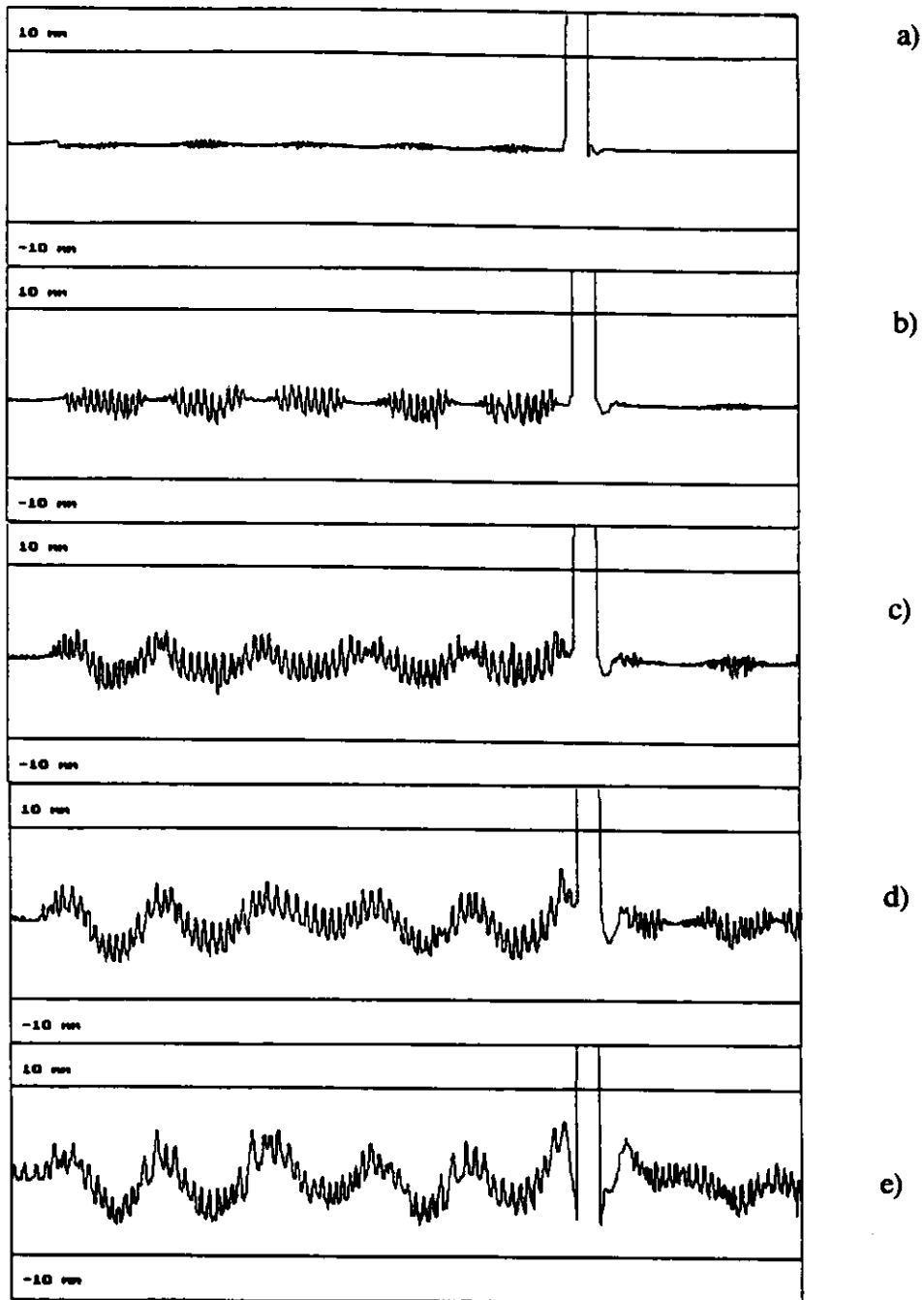


Figure 4: Evolution chronologique de la topographie du fond (N°3) pour la marche aiguë et une amplitude de l'onde incidente $a = 19$ mm.

a) $\Delta t = 2$ mn; b) $\Delta t = 7$ mn; c) $\Delta t = 20$ mn; d) $\Delta t = 40$ mn; e) $\Delta t = 80$ mn.

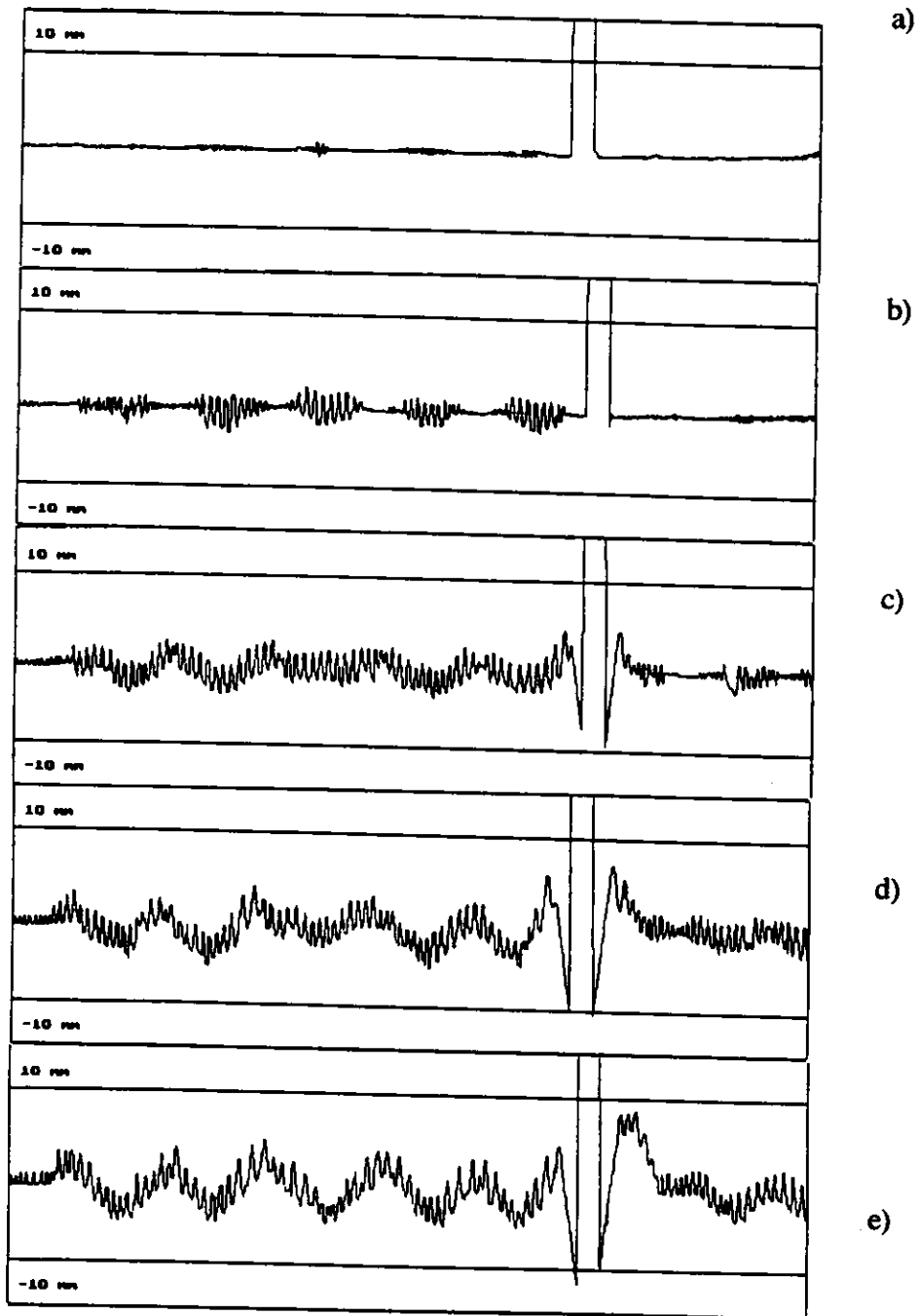


Figure 5: Evolution chronologique de la topographie du fond (N°4) pour la marche avec arrondi aval et une amplitude de l'onde incidente $a = 19$ mm.

a) $\Delta t = 2$ mn; b) $\Delta t = 7$ mn; c) $\Delta t = 20$ mn; d) $\Delta t = 40$ mn; e) $\Delta t = 80$ mn.

3.2./Coefficient de réflexion

On compare le coefficient de réflexion mesuré à faible amplitude pour chacun des 4 profils finaux, au coefficient de réflexion initial correspondant (barre sur fond plan). On constate que si l'allure générale du graphe initial est conservée, des modifications faibles mais significatives apparaissent qui peuvent être corrélées au profil du fond. Ainsi on constate qu'en l'absence d'affouillement sous jacent (fond N°2, fig 8), le coefficient de réflexion est, de façon générale, augmenté par l'érosion. En outre cette augmentation est maximale autour de la fréquence d'érosion f_0 , ce qui correspond bien à une résonance de Bragg entre l'onde et le profil lointain modulé en $\lambda_0/2$. La résonance de Bragg doit se manifester aussi pour les 3 autres profils qui loin en amont de l'obstacle, sont tous modulés en $\lambda_0/2$; cependant son effet sur $R(f)$ (qui tient compte de la totalité du profil) peut être affaibli, voire anihilé, par l'affouillement sous jacent. Ainsi le fort affouillement sous jacent obtenu pour le fond N°4 (Fig. 9) est corrélé à une diminution sensible de $R(f)$, en particulier dans la région de f_0 . En comparant les coefficients de réflexion des fonds N°1 et N°3 au coefficient de réflexion du fond N°2, l'effet d'un faible affouillement sous jacent (absent du fond N°2), n'est pas net; ceci est sans doute dû au fait que les profils lointains de ces fonds ne sont pas suffisamment proches. On constate en effet la corrélation entre le coefficient de réflexion et la totalité du profil, en remarquant que les coefficients de réflexion les plus proches sont bien obtenus pour les fonds N°1 et N°3 qui sont globalement les plus similaires.

4/.CONCLUSIONS

Les résultats présentés ici mettent tout d'abord en évidence le rôle de la phase de l'onde réfléchi par la plage sur le phénomène d'érosion par le fait que le coefficient de réflexion initial, qui conditionne le développement de l'érosion, doit obligatoirement en dépendre fortement. En effet ce n'est que lorsque la valeur expérimentale de la phase de l'onde réfléchi est prise en compte dans le modèle numérique, que le résultat est en bon accord avec l'expérience. Ceci confirme les résultats de Cesselin [13] sur le rôle de la position de l'obstacle sur l'érosion obtenue, et souligne l'acuité du positionnement lorsque l'obstacle doit participer à la protection du littoral.

Les résultats obtenus montrent par ailleurs que si le rythme de l'érosion dans son ensemble est régi par l'amplitude de l'onde, on distingue toujours l'érosion locale de l'érosion lointaine; l'érosion locale est régie aux temps courts par la vorticité induite par la marche, alors que cette vorticité n'affecte pas l'allure de l'érosion lointaine mais seulement son rythme, même dans le cas d'un important affouillement sous jacent. Ainsi le profil lointain est toujours indépendant du profil local. On constate en outre que seuls les profils lointains ont une modulation reproductible et non pas les profils locaux. Ceci est à rapprocher du fait que la modulation de Bragg des profils lointains peut être décrite dans un modèle linéaire, alors que l'érosion locale est essentiellement non linéaire et donc très sensible aux "conditions initiales".

En ce qui concerne la corrélation entre le profil et le coefficient de réflexion $R(f)$, on constate que l'érosion ne modifie qu'assez peu le coefficient de réflexion initial, et ne produit une augmentation significative de $R(f_0)$ qu'en l'absence d'affouillement sous jacent. L'effet

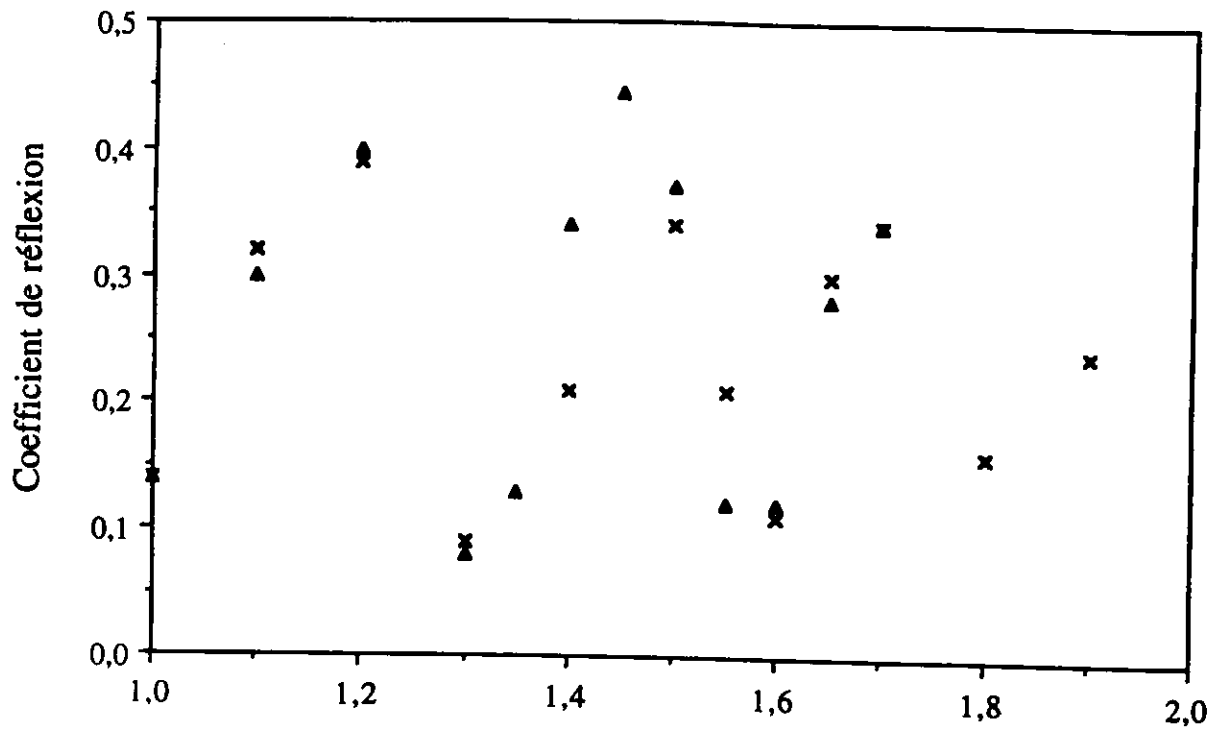


Figure 6: Coefficient de réflexion pour le fond N°1 avant érosion (X) et pour un temps cumulé d'érosion $\Delta t = 140$ mn (▲).

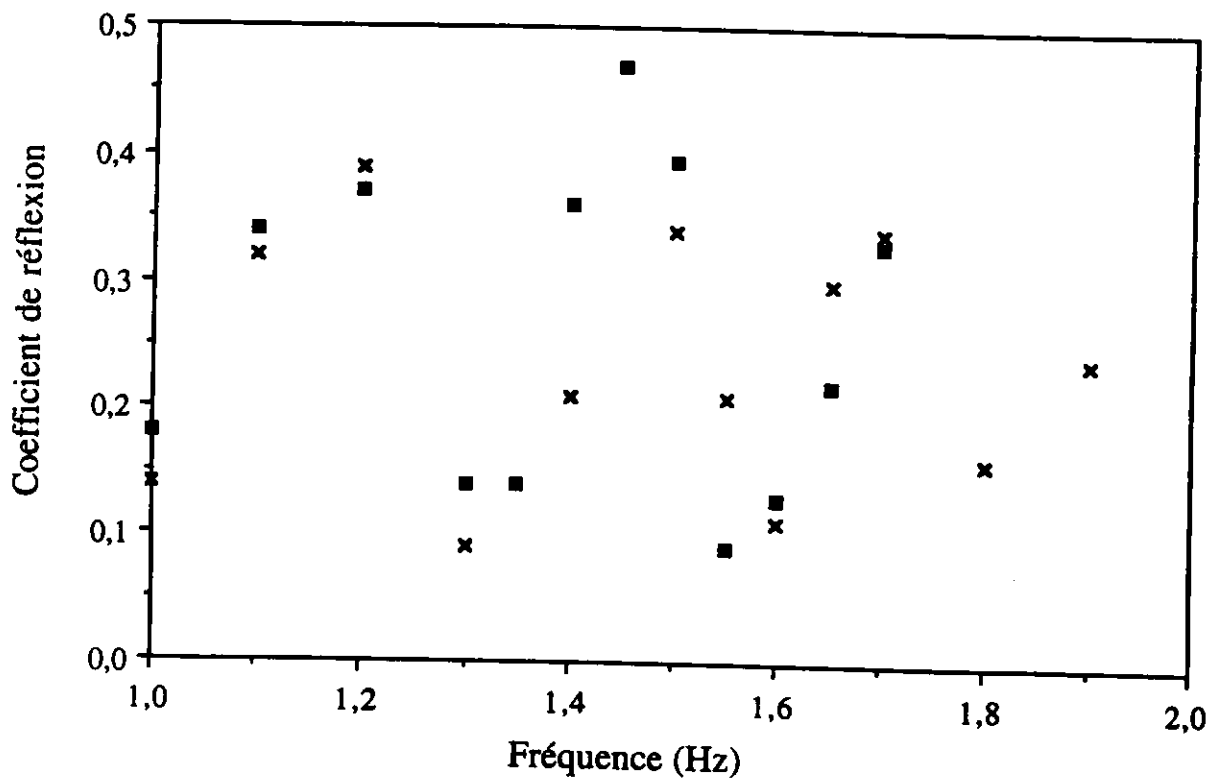


Figure 7: Coefficient de réflexion pour le fond N°3 avant érosion (X) et pour un temps cumulé d'érosion $\Delta t = 80$ mn (□).

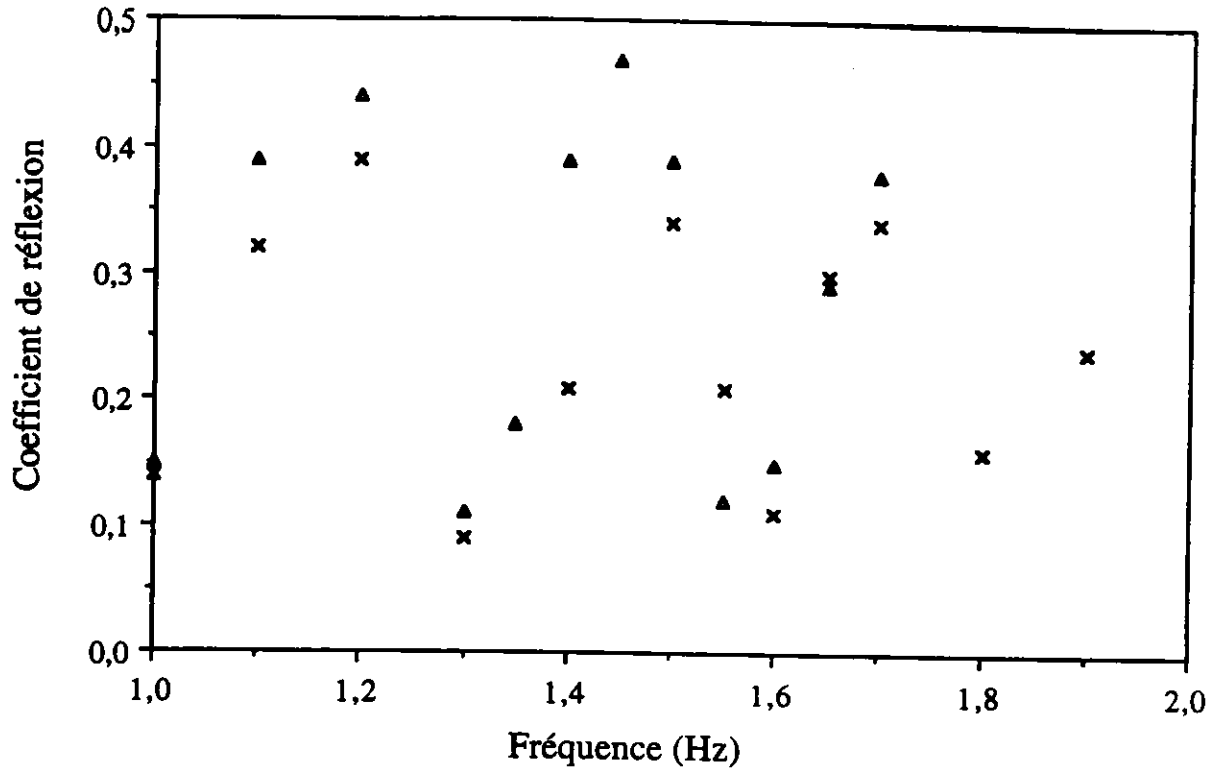


Figure 8: Coefficient de réflexion pour le fond N°2 avant érosion (X) et pour un temps cumulé d'érosion $\Delta t = 140$ mn (Δ).

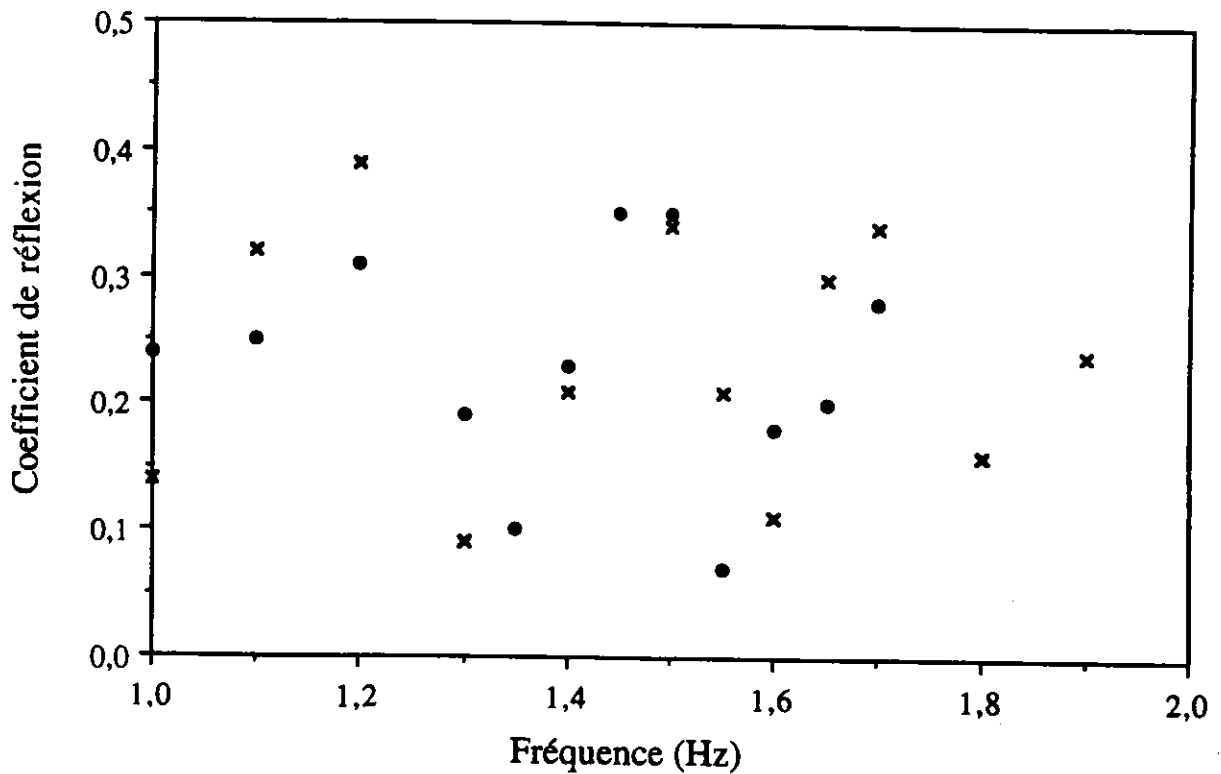


Figure 9: Coefficient de réflexion pour le fond N°4 avant érosion (X) et pour un temps cumulé d'érosion $\Delta t = 80$ mn (●).

d'un affouillement sous jacent sur l'évolution de $R(f)$ n'a pas été mesuré directement mais peut être mis en évidence de façon indirecte par la diminution amont et l'augmentation aval du rythme d'érosion corrélativement observées sur les profils .

La grande similitude des séquences d'évolution temporelle des fonds N°1 et 3 semble montrer que l'érosion dépend essentiellement d'une efficacité de l'ensemencement du fluide en particules proportionnelle au carré de l'amplitude a de l'onde incidente. En effet le coefficient de réflexion de ces fonds pour la fréquence d'érosion f_0 reste très proche de sa valeur initiale pour le fond plat, par conséquent l'érosion est essentiellement régie par la quantité de particules éjectées à partir du fond. Si l'on fait alors l'hypothèse d'une efficacité d'éjection en a^2 (soit proportionnelle à l'énergie cinétique du fluide au fond, ce qui semble raisonnable), la hiérarchie des séquences d'érosion et leur éventuelle similitude, s'explique assez bien en examinant le rôle conjoint de l'amplitude et du temps cumulé d'érosion Δt . Ainsi lorsqu'on passe de $a = 19$ mm à $a = 14$ mm, la diminution de l'efficacité dans le rapport 1.8 sera approximativement compensée par un doublement du temps d'érosion et donc du nombre de processus d'émission. C'est bien ce que l'on constate par la similitude des profils $a = 14$ mm, $\Delta t = 40$ mn et $a = 19$ mm, $\Delta t = 20$ mn, ainsi que $a = 14$ mm, $\Delta t = 80$ mn et $a = 19$ mm, $\Delta t = 40$ mn; de même la hiérarchie de l'érosion des autres séquences confirme cette hypothèse; par exemple le profil pour $a = 14$ mm est moins érodé à 140 mn que le profil pour $a = 19$ mm ne l'est à $\Delta t = 80$ mn.

Enfin, si nous nous sommes limités jusqu'ici aux houles régulières, les nouvelles possibilités du batteur permettront d'étendre notre étude d'interactions dynamiques houle-sédiments à des cas plus complexes de conditions de houle.

Références:

- [1] Rey, V. 1992 Propagation and local behaviour of normally incident gravity waves over varying topography, *European Journal of Mechanics B/Fluids*, **11**, 213-232.
- [2] Rey, V. 1994 A note on the scattering of obliquely incident surface gravity waves by cylindrical obstacles in waters of finite depth, *European Journal of Mechanics B/Fluids*, accepté pour publication.
- [3] Belzons, M., Rey, V. and Guazzelli, E. 1991 Subharmonic Bragg resonance for surface water waves, *Europhysics Letters* **16**, 189-194.
- [4] Guazzelli, E., Rey, V. and Belzons, M. 1992 Higher-order Bragg reflection of gravity surface waves by periodic beds, *J. Fluid Mech.* **245**, 301-317.
- [5] Rey, V. Belzons, M. and Guazzelli, E. 1992 Propagation of surface gravity waves over a rectangular submerged bar, *J. Fluid Mech.* **235**, 453-479.
- [6] Rey, V. 1991 Propagation d'ondes de gravité au dessus de fonds solides ou constitués de sédiments: application à l'étude d'interactions dynamiques ondes-sédiments, thèse de l'Université de Provence, Marseille.
- [7] Rey, V. Davies, A. and Belzons, M. 1994 On the formation of bars by the action of waves on an erodible bed: a laboratory study, *J. Coastal Res.*, accepté pour publication.
- [8] Rey, V. Belzons, M. and Cesselin, N. 1994 Laboratory experiments on sediments erosion induced by partially standing waves, *Proceedings of Euromech 310*, sous presse.
- [9] Rey, V. Cesselin, N. et Belzons M. 1994 Interaction dynamique ondes de gravité-fond constitué de sédiments en présence d'obstacles rectangulaires, III^e journées génie civil-génie côtier, Sète mars 1994.
- [10] Sturova, I.V. 1991 Propagation of plane surface waves over an underwater obstacle, *Journal of applied mechanics and technical physics*, **32**, n°3, 348-355.
- [11] Sturova, I.V. 1991 Propagation of plane surface waves over a rectangular bar with overhang and partially capped rectangular trench, *Journal of applied mechanics and technical physics*, **32**, n°5, 684-691.
- [12] Molin, B. et Betous, P. 1993 Atténuation de la houle par une dalle horizontale immergée et perforée. 4^e journées de l'Hydrodynamique, 1, 2 et 3 mars 1993, Nantes.
- [13] Cesselin N., 1992 Etude de l'érosion d'un fond sableux sous l'action de la houle littorale, stage de DEA Sciences de l'environnement marin, Université d'Aix-Marseille II.