



Influence de l'asymétrie de la houle sur le frottement de fond et le transport sédimentaire

Katell Guizien¹, André Temperville², Fernando G. Seabra Santos³

¹ *Chargée de Recherche au C.N.R.S., Observatoire Océanologique de Banyuls, B.P. 44, 66651 Banyuls sur Mer Cedex, tél. 04 68 88 73 19, e-mail : guizien@obs-banyuls.fr*

² *Professeur Emérite, L.E.G.I., B.P.53, 38041 Grenoble cedex 9, France, tél. 04 76 82 50 68, e-mail : andre.temperville@wanadoo.fr*

³ *Professeur ex-catedra, Départ. de Génie Civil, Université de Coimbra, 3800 Coimbra, Portugal, tél. (+351) 239 797 156.*

Résumé

La formulation du débit sédimentaire sous l'action combinée des houles et des courants est un problème d'importance majeur pour les modèles hydro-sédimentaires. Silva et al. (2001) ont récemment proposé une nouvelle formule paramétrée, basée sur la valeur moyenne du paramètre de Shields pour chaque phase (positive et négative) de l'écoulement. Cette formule, qui est à la fois valable pour les courants seuls et pour l'interaction houle-courant, a été testée pour le cas de houles linéaires ou non mais essentiellement symétriques. Dans la zone de surf, après le déferlement, les houles irrégulières présentent un caractère nettement dissymétrique avec un profil en forme de dent de scie. Nous proposons une modification de la formule pour prendre en compte ce caractère d'asymétrie et des tests de comparaisons sont effectués avec une série de mesures effectuées pour des houles irrégulières par Dibajnia et al. (2001).

Abstract

The sand transport by waves-current interaction is a important problem linked to coastal morphodynamic processes and with difficult accurate prediction. Recently Silva et al. (2001) proposed a new parametrical formula based on the mean value of the Shields parameter for each part of the flow (positive and negative). This formula, available for a current alone and waves-current interaction, has been tested against experiments where waves are linear or nonlinear but only symmetrical. In the surf zone, just after breaking, the waves are irregular and asymmetrical. We propose to modify the formula to take in account this asymmetry and we test the new results against irregular wave experiments of Dibajnia et al. (2001).

1-Introduction

La prévision de l'évolution des fonds marins et de l'érosion des côtes est un défi important pour les années à venir. Ceci est lié d'une part à l'impact des interventions humaines, de plus en plus nombreuses sur les zones côtières dans un but soit économique soit touristique et d'autre part à l'élévation prévue du niveau moyen des mers en relation avec les variations climatiques.

Une modélisation correcte du transport sédimentaire en zone côtière nécessite une représentation correcte de l'hydrodynamique résultant de l'interaction des houles et des courants, ainsi qu'une bonne quantification du débit des matériaux mis en mouvement. Nous envisagerons ici le cas du transport de sable. Afin de pouvoir étudier à la fois les composantes parallèle (« longshore ») et perpendiculaire (« cross shore ») à la côte de ce transport, Silva et al. (2001) ont proposé une formule de transport sous l'action des houles et des courants qui est applicable à la fois pour des courants seuls ou en interaction avec des houles non-linéaires. Le transport pendant chaque phase (positive ou négative) de l'écoulement est fonction du paramètre de Shields moyenné sur cette phase. Les comparaisons avec plus de deux cents mesures ont validé la formule.

Dans la majorité des mesures qui ont servi aux tests de comparaison, les houles, linéaires ou non, sont toutes symétriques par rapport à un plan vertical. Cependant, dans la nature, dans la zone de « surf » (après le déferlement), là où le transport est important, les houles ont un caractère asymétrique marqué avec un profil en forme de dent de scie. Dans ce cas, la formule proposée n'est plus correctement applicable. C'est pourquoi nous proposons ici une adaptation pour prendre en compte le caractère asymétrique des houles irrégulières dans la zone de « surf ». Elle est basée sur la méthode proposée par Isobe et Horikawa (1982) pour représenter une houle irrégulière.

Dans le paragraphe 2 nous rappelons les principes de base de la formule de Dibajnia et Watanabe (1992) –qui sera notée par la suite DW92- et dans le paragraphe 3 la nouvelle formule proposée par Silva et al. (2001), ainsi que les différents tests de comparaison qui ont été faits dans le cadre du programme européen SEDMOC. Une adaptation de la formule est proposée pour le cas des houles asymétriques et une comparaison avec des mesures dans le cas de houles irrégulières est présentée au paragraphe 4.

2-Le modèle de Dibajnia et Watanabe (1992)

Dans un précédent article, Silva et Temperville (2000) ont présenté en détail la formule de transport sédimentaire développée par Dibajnia et Watanabe (1992) pour laquelle ils donnent une paramétrisation analytique dans le cas de l'interaction d'un courant colinéaire à une houle régulière, linéaire ou non, du type houle de Stokes du 2^{ème} ordre ou houle cnoïdale. Cette formule avait été généralisée au cas non-colinéaire moyennant quelques modifications (par rapport à la formulation proposée par Dibajnia en 1995). Nous rappelons maintenant les principes de base.

Considérons un profil temporel de vitesse connu $u(t)$ de période T (figure

1), composé de deux phases de durées respectives T_i , où dans la première la vitesse est positive ($i = c$) et dans la deuxième la vitesse est négative ($i = t$). Les amplitudes des vitesses sinusoïdales équivalentes de chaque phase ($i = c$ et $i = t$) sont notées u_c et u_t , et Ω_c représente la quantité de sable mis en mouvement et transporté pendant la phase positive et Ω'_t la quantité de sable entraîné pendant la phase négative précédente qui n'a pas été déposé et qui est donc transporté pendant la phase positive. Il en est de même pour le transport pendant la phase négative. Les échanges de sable entre les deux phases, dépendent de la valeur de ω_i qui représente le rapport entre le temps de chute des particules dont la vitesse de chute est W et le temps T_i de la phase correspondante.

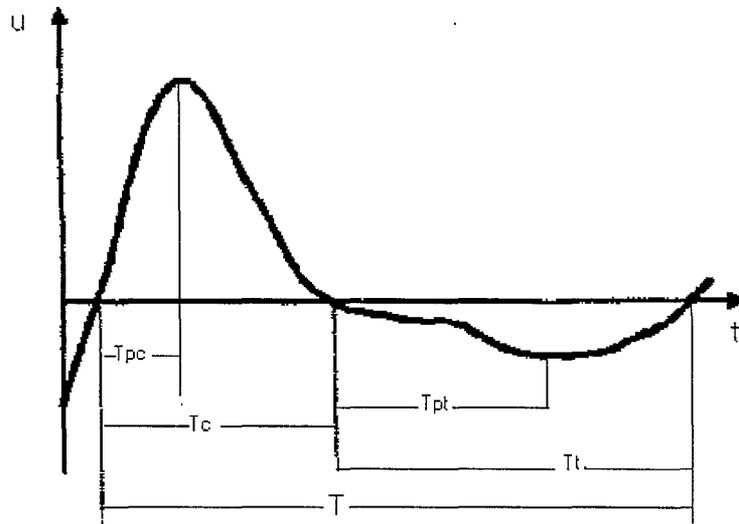


Fig. 1 - Série temporelle des vitesses, définitions
Time series of velocity, definitions

$$u_i^2 = \frac{2}{T_i} \int_0^{T_i} u_2(t) dt \quad \omega_i = \frac{u_i^2}{2(s-1)gd_{50}} \frac{d_{50}}{WT_i} = \Psi_i \frac{d_{50}}{WT_i} \quad (1)$$

$$\Omega_i = \Psi_i \text{Min}\left(1, \frac{\omega_{cr}}{\omega_i}\right) \quad \Omega'_i = \Psi_i \text{Max}\left(0, \left(1 - \frac{\omega_{cr}}{\omega_i}\right)\right) \quad (2)$$

où Ψ_i représente le nombre de mobilité de la phase correspondante, ω_{cr} dépend du régime de transport (fond plat, rides ...), d_{50} est le diamètre médian du sédiment et s la densité relative du sédiment.

Ce modèle estime le transport total q en faisant la différence entre les transports pendant la phase positive et la phase négative selon l'expression :

$$\Gamma = \frac{u_c T_c (\Omega_c^3 + \Omega'_t{}^3) - u_t T_t (\Omega_t^3 + \Omega'_c{}^3)}{T(u_c + u_t)} \quad (3)$$

$$\Phi = \frac{q}{Wd_{50}} = \alpha |\Gamma|^\beta \frac{\Gamma}{|\Gamma|} \quad (4)$$

Dans la formule d'origine de Dibajnia et Watanabe (1992), qui avait été ajustée sur des expériences faites avec du sable de diamètre 0.2mm et dans des conditions de « sheet flow » (charriage), $\alpha = 0.001$, $\beta = 0.55$.

3- Nouveau modèle proposé

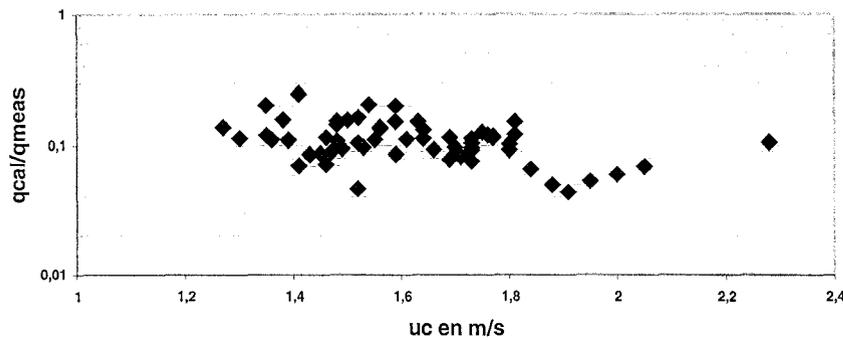
3-1 Formulation du modèle

Au cours du programme européen SEDMOC, Silva et al. (2001) ont analysé la formule DW92 généralisée en 1995 et obtenu les conclusions suivantes :

a) Pour une raison de continuité, dans le cas d'un courant oblique par rapport à la houle, la formule doit être modifiée de la façon suivante.

$$\vec{\Gamma} = \frac{T_c \vec{u}_c (\Omega_c^3 + \Omega_c'^3) + T_t \vec{u}_t (\Omega_t^3 + \Omega_t'^3)}{T_c |u_c| + T_t |u_t|} = \Gamma_x \vec{i} + \Gamma_y \vec{j} \quad (5)$$

a)-rx dw92-Voogt série a



b)-rxf-Voogt série a

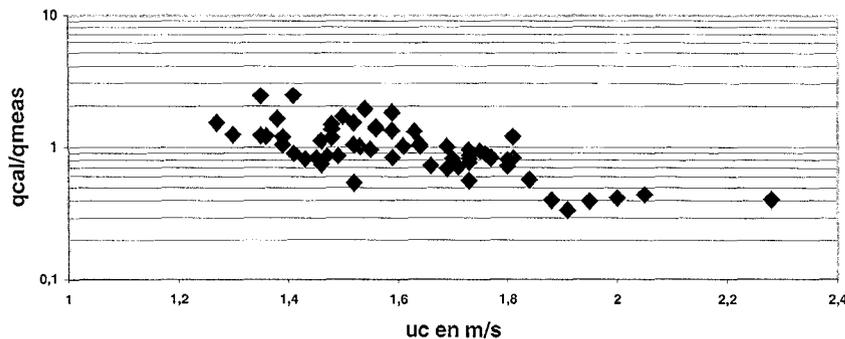


Figure 2- Comparaison du débit sédimentaire donné par deux modèles avec les mesures de Voogt- a)- modèle DW92- b)-nouveau modèle.

Comparison between sediment rate given by two models and Voogt measurements- a)- DW92 model- b)-present model.

Le débit sédimentaire est donné par :

$$\frac{\bar{q}}{W_0 d_{50}} = \alpha |\Gamma|^\beta \frac{\bar{\Gamma}}{|\Gamma|} \quad (6)$$

b) Pour mieux tenir compte de l'effet de la granulométrie, nous prenons par la suite $W_0 = \sqrt{(s-1)gd_{50}}$.

c) La comparaison de la formule avec les résultats de plus de cent expériences réalisées à Delft et référencées par Van Goor et al. (2001), nous a conduit à prendre :

$$\omega_{cr} = 0.5(0.3 + \text{Tanh}(0.75(\theta - 1))) \quad (7)$$

d) Dans le cas d'un courant seul, T_i , \bar{u}_i , Ω_i et Ω'_i sont nuls et $\Gamma = \Omega_c^3$.

Nous avons appliqué la formule pour une série de 60 mesures effectuées en nature par Voogt et al. (1991). Le rapport α du débit sédimentaire calculé sur celui mesuré est présenté sur la figure 2a. Nous constatons que ce rapport qui doit être voisin de l'unité est beaucoup trop faible. La raison est que le frottement de fond de l'écoulement n'est pas pris en compte dans la formule. Pour cela nous proposons de remplacer dans les formules (2) le nombre de mobilité Ψ_i par le nombre de Shields moyen sur chaque phase θ_i où

$$\theta_i = \langle \theta_i(t) \rangle = \frac{f_i \langle u^2(t) \rangle_i}{2} = \frac{f_i u_i^2}{4}$$

Le coefficient de frottement f_i est calculé à l'aide de la formule de Swart (1974) où le maximum de la vitesse orbitale est égal à u_i et la période égale à $2T_i$.

e)-Dans le cas de la nouvelle formule on prend $\alpha = 6.5$ et $\beta = 0.55$.

3-2 Test du modèle

Nous avons testé le nouveau modèle proposé pour la série de 60 mesures de Voogt et al. (figure 2b) et les résultats sont tout à fait corrects. Dans le cas des séries de mesures expérimentales B-C-E-H-I-J réalisées par Riberrink et al. et référencés par Van Goor (2001) pour des houles régulières avec ou sans courant colinéaire, les résultats avec le nouveau modèle (figure 3b) sont meilleurs que ceux obtenus avec le modèle DW92 (figure 3a). Avec le nouveau modèle dans 92% des cas le résultat est dans un rapport 2 par rapport aux mesures alors que le modèle DW92 ne donne que 67% des valeurs dans le rapport 2 et plusieurs cas où le transport est prédit dans la mauvaise direction.

4- Cas des houles asymétriques

Dans le cas des houles que l'on peut observer après le déferlement, les vitesses présentent pour chaque phase un caractère d'asymétrie d'autant plus prononcé que l'on s'approche du rivage. Considérons une houle dont les vitesses

orbitales présentent une asymétrie comme celle présentée sur la figure 4 et où les deux phases sont opposées. Dans le modèle proposé on obtient :

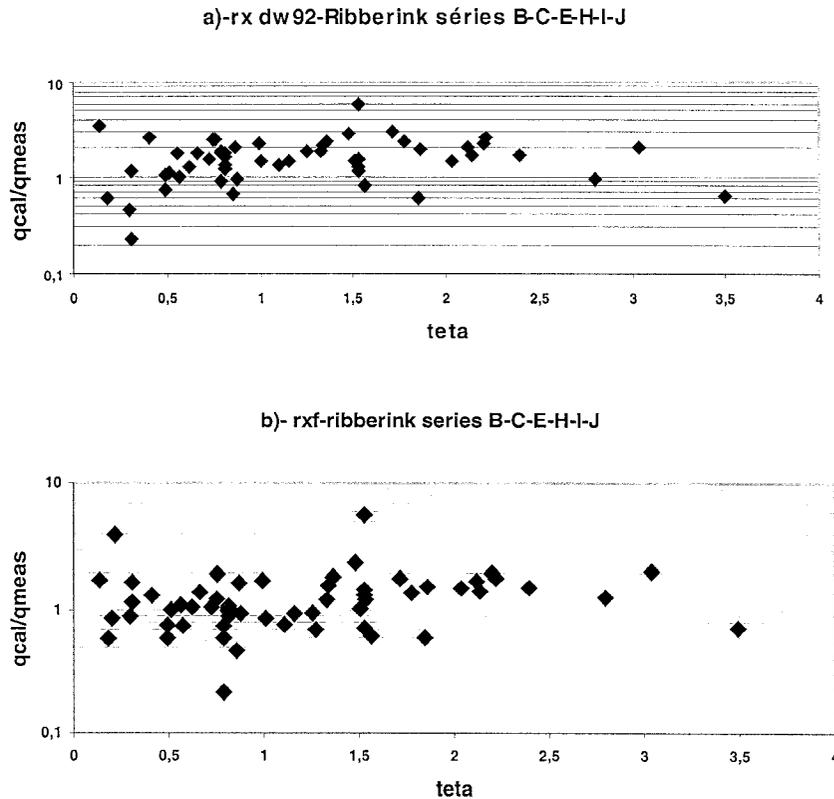


Figure 3- Comparaison du débit sédimentaire donné par deux modèles avec les expériences de Ribberink et al.- a)- modèle DW92- b)-nouveau modèle.

Comparison between sediment rate given by two models and Ribberink et al. experiments- a)- DW92 model- b)-present model.

$$u_c = u_t \quad T_c = T_t = \frac{T}{2} \quad f_c = f_t$$

et ainsi le transport est nul avec la formule proposée ainsi qu'avec DW92. Dans la réalité, le transport n'est pas nul comme l'a observé King dans une série d'expériences qui sont relatées dans Nielsen (1992). Si, pour un tel champ de vitesses nous calculons le frottement de fond à l'aide du modèle de turbulence 1 D-V du type $k-\omega$ développé par Guizien et al. (2001) on obtient une série temporelle non symétrique (Figure 4) et donc $\theta_c \neq \theta_t$. Pour tenir compte de cette réalité, nous calculons dans le modèle proposé les coefficients de frottement f_i en considérant que pour f_c la période est donné par $4T_{pc}$ et pour f_t la période est donnée par $(T - 4T_{pc})$. Le modèle ainsi modifié a été appliqué à la série d'expériences de Dibajnia et al. (2001) pour lesquelles nous disposons des paramètres nécessaires. La figure 5 montre que les résultats obtenus sont dans un rapport 2 avec ceux des expériences pour 90% des cas.

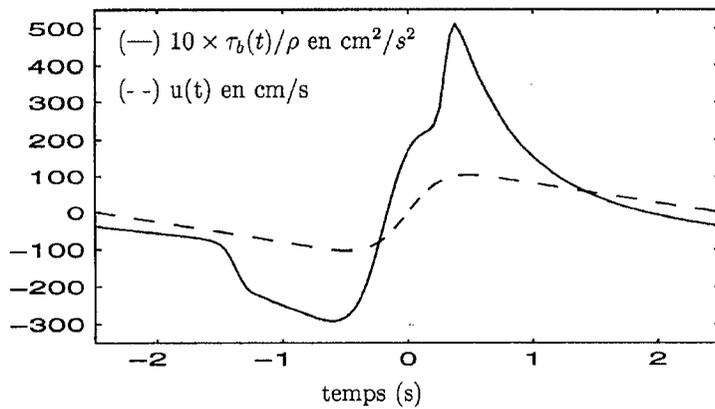


Figure 4-Cas d'une houle en dent de scie- $u(t)$: vitesse- $\tau(t)$: frottement de fond
Saw tooth wave- $u(t)$: velocity- $\tau(t)$: bed shear stress

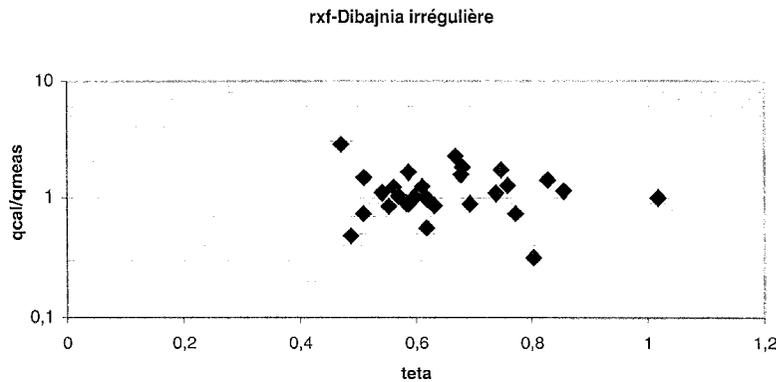


Figure 5- Comparaison du débit sédimentaire donné par deux modèles avec les expériences de Dibajnia et al.- a)- modèle DW92- b)-nouveau modèle.
Comparison between sediment rate given by two models and Dibajnia et al. experiments- a)- DW92 model- b)-present model.

5. Conclusions

Une nouvelle formule paramétrique a été établie pour le débit sédimentaire sous l'action conjuguée des houles et des courants. Elle prend en compte :

- 1) l'obliquité des courants par rapport à la houle.
- 2) la non-linéarité des houles (houle de Stokes du 2^{ème} ordre ou cnoïdale)
- 3) l'asymétrie de la houle par rapport à un plan vertical.
- 4) la paramétrisation des houles irrégulières à l'aide d'une houle équivalente selon la méthode de Isobe et Horokawa (1982). Il serait encore nécessaire d'introduire les effets du déferlement.

Après comparaison avec les résultats de 200 mesures, la formule a donné des résultats dans un rapport inférieur à deux pour plus de 80% des cas.

Les auteurs remercient la CEE pour avoir financé ce travail dans le cadre du projet SEDMOC (contrat MAS3-CT97-0115).

6. Références

Dibajnia M., Watanabe A. (1992)- *Sheet flow under nonlinear waves and currents*, Proc. of the 23th Int. Conf. on Coastal Eng., Venice, pp. 2015-2028.

Dibajnia M. (1995)- *Sheet flow transport formula extended and applied to horizontal plane problems*, Coastal Eng. In Japan, JSCE vol.38(2), pp.179-194.

Dibajnia M., Moriya T. (2001)- *A representative wave model for estimation of nearshore local transport rate*, Coastal Eng. Journal, Vol. 4 n°1, pp.1-38.

Guizien K., Silva P. A., Seabra Santos F.J. (2001)- *Mathematical modelling of sand transport by combined waves and current in the sheet flow regime using R.A.N.S. turbulence models: hindering and flow reversal ejections*- in Van Rijn, L., Davies, A.G., Van de Graaff, J. e J. Ribberink (eds.) *SEDMOC-Sediment transport modelling in marine coastal environments*. Aqua Publications, The Netherlands, pp. BD 1-8.

Isobe M., Horikawa K. (1982)- *Study on water particule velocities of shoaling and breaking waves*, Coastal Eng. Japan n° 25 pp. 109-123.

Nielsen P. (1992)- *Coastal Bottom Boundary Layers and Sediment Transport*, World Scientific Publishing, Advanced series on Coastal Engineering, vol.4.

Silva P. A., Temperville A. (2000). *Prédiction du débit sédimentaire à l'aide de la formule de Dibajnia et Watanabe*, VIIèmes Journées Nationales Génie Civil-Génie Côtier, Caen, France, 17-19 Mai 2000.

Silva P. A., Temperville A., Seabra Santos F.G. (2001). *Parametrized sand transport model for combined currents and waves in rippled and flat bed regimes*, in Van Rijn, L., Davies, A.G., Van de Graaff, J. e J. Ribberink (eds.) *SEDMOC-Sediment transport modelling in marine coastal environments*. Aqua Publications, The Netherlands, pp. CE 1-10.

Swart D.H. (1974). *Offshore sediment transport and equilibrium beach profiles*. Delft Hydraulics Lab., Publ. 131.

Van Goor M.A., Sijm P., van Rijn L. (2001)-*SEDMOC Data base TAP and TAPTS*, in Van Rijn, L., Davies, A.G., Van de Graaff, J. e J. Ribberink (eds.) *SEDMOC-Sediment transport modelling in marine coastal environments*. Aqua Publications, The Netherlands, pp. AA 1-5.

Voogt L., van Rijn L.C., van den Berg J.H. (1991)-*Sediment transport of fine sands at high velocities*, J. Hydr. Eng., n° 117,7, pp.869-890.