

Etude comparative des méthodes de calcul du coefficient de réflexion : Application à des données de laboratoire

Emilie WOUSSEN¹, Nadia SENECHAL¹, Arthur BOUCHERIE¹

1. Université de Bordeaux, UMR CNRS 5805 EPOC, Allée Geoffroy Saint-Hilaire, CS 50023, 33615 Pessac, France.

emilie.woussen@u-bordeaux.fr

Résumé :

Cette étude présente un travail préliminaire de comparaison des méthodes de calcul du coefficient de réflexion des ondes longues à partir de données acquises en laboratoire (GLOBEX) dans l'objectif d'étudier des données *in situ*. En zone littorale, on note la présence d'ondes de surface longues dites infragravitaires, liées à la présence de groupe de vagues incidentes. Ces ondes longues subissent des transformations en zone littorale et peuvent sous certaines conditions se réfléchir à la côte en présence notamment d'ouvrages. Des variations de propriétés du milieu dans lequel les ondes se propagent (en particulier la profondeur d'eau) peuvent également entraîner des réflexions partielles d'ondes. Cette étude vise à comparer deux méthodes de calcul du coefficient de réflexion (SHEREMET *et al.*, 2002 et GUZA *et al.*, 1984), dans un premier temps sur des mesures acquises en laboratoire (GLOBEX), afin de les appliquer par la suite sur des mesures *in situ*. Ces deux méthodes dites « PUV methods » sont ainsi comparées sur des données en présence d'une pente de plage douce ultra-dissipative caractérisée par une forte énergie incidente contenue dans la bande infragravitaire. Une différence entre les hauteurs d'ondes IG réfléchies obtenues avec les méthodes de SHEREMET et GUZA a pu être observée en particulier en zone de surf. Cette différence se répercute par la suite sur les coefficients de réflexion calculés pour les 3 tests.

Mots-clés :

Coefficient de réflexion, Ondes infragravitaires, PUV methods, Plage dissipative, Mesures en laboratoire.

Thème 1 – Hydrodynamique marine et côtière

1. Introduction

Les ondes arrivant en zone littorale peuvent être divisées en deux catégories associées à leurs bandes fréquentielles. La première est celle des ondes longues, dites ondes infra-gravitaires (IG) ayant des périodes comprises entre 20 et 240s, de grandes longueurs d'ondes et des fréquences comprises entre 0.004 et 0.05Hz. La seconde est celle des ondes courtes, appartenant à la bande dite onde gravitaire qui sont associées aux vagues, à la houle et la mer de vent. Ces dernières ont des périodes typiques comprises entre 4 et 20s avec des fréquences supérieures à 0.05/0.04Hz. Plutôt que d'utiliser une fréquence de coupure « fixe » séparant les deux bandes fréquentielles, certains auteurs proposent de l'ajuster en fonction des conditions de houle incidente (MARTINS *et al.*, 2021 ; BERTIN *et al.*, 2018), leurs énergies étant généralement liées par interactions linéaires entre les triplets de fréquence aux ondes courtes. En zone de déferlement, plusieurs mécanismes de transformation des ondes courtes ont lieu. En effet, dans cette zone, les ondes courtes se dissipent généralement par déferlement mais dans certaines situations (pente raide en haut de plage, présence de structure) une partie de cette énergie peut également être réfléchiée. Concernant les ondes longues, les processus de leur transformation en zone de surf et de jet de rive restent encore mal compris, notamment pour des conditions de houles énergétiques (BERTIN *et al.*, 2020 ; SENECHAL *et al.*, 2018 ; FIELDER *et al.*, 2015). Les variations de propriétés du milieu dans lequel les ondes se propagent (en particulier la profondeur d'eau) peuvent entraîner des réflexions partielles d'ondes. Ainsi, la série temporelle de l'élévation de la surface de la mer (η) est une superposition d'ondes entrantes et d'ondes sortantes. Dans des environnements dissipatifs à pente douce, la réflexion des ondes courtes incidentes est généralement négligée, néanmoins BERTIN *et al.*, (2020) observe des appariements de fronts d'ondes IG, provoquant une réflexion d'ondes très importante même dans le cas d'une plage à pente douce. Nous nous intéressons donc particulièrement dans cette étude à la réflexion des ondes IG. Pour déterminer la quantité de réflexion de l'énergie des ondes IG entrantes, et pour étudier la transformation de ces ondes, il faut distinguer les signaux entrants et sortants. Pour ce faire, plusieurs méthodes ont été développées en laboratoire puis appliquées à des mesures *in situ*, dans les domaines spectral et temporel, avec un nombre plus ou moins importants de points de mesure. En effet, il existe deux catégories de méthodes, les « PUV methods » utilisant les mesures colocalisées de vitesse et de pression et les « Array methods » utilisant un réseau de capteurs de pression. Dans la présente étude, parmi les deux catégories de méthodes utilisées pour déterminer le coefficient de réflexion nous nous concentrons sur deux méthodes dites « PUV methods ». Les deux méthodes sont celles de GUZA *et al.*, (1984) et SHEREMET *et al.*, (2002), s'appliquant respectivement dans les domaines temporel et spectral, à partir de données colocalisées de pression et de vitesse. D'après BERTIN *et al.* (2018), ces méthodes supposent des vagues d'incidence normale sur des fonds plats et le fait que ces deux hypothèses ne soient pas respectées en eaux peu profondes peut

introduire de grandes erreurs. Ainsi, SHEREMET *et al.*, (2002) ont étudié l'effet de ces hypothèses sur leur méthode et ont conclu que les erreurs relatives des flux d'énergie et des coefficients de réflexion pour leurs données de terrain ne dépassent pas 20%. De plus, l'application de ces méthodes à des données *in situ* « bruyantes » peut entraîner des surestimations des coefficients de réflexion (INCH *et al.*, 2017). Les deux méthodes citées précédemment sont ainsi comparées de manière préliminaire lors de la présente étude sur des données acquises en laboratoire (GLOBEX) dans le but dans un second temps d'être appliquées à des données *in situ*.

2. Matériel et méthode

2.1 GLOBEX

Le projet GLOBEX (Gently Sloping Beach Experiment) avait pour objectif d'obtenir des jeux de données à haute résolution, dans l'espace et dans le temps, de l'évolution cross-shore des ondes courtes et infragravitaires sur une plage artificielle à faible pente (1 :80) (RUESSINK *et al.*, 2013). Il a été réalisé dans le Scheldt Wave Flume de Deltares aux Pays-Bas en 2012. Le canal mesure 110m de long, 1m de large et 1,2m de haut et est équipé d'un générateur de vagues à piston, lui-même équipé de la compensation active de réflexion (ARC). Le plan d'eau en temps calme est à $x = 84,6\text{m}$. Dans cette étude nous nous intéressons aux 41 courantomètres et sondes résistives colocalisées (figure 1) et aux 3 tests de la série A (tableau 1), lors desquels des vagues irrégulières ont été générées suivant des spectres de JONSWAP, dont les paramètres sont rapportés dans le tableau 1.

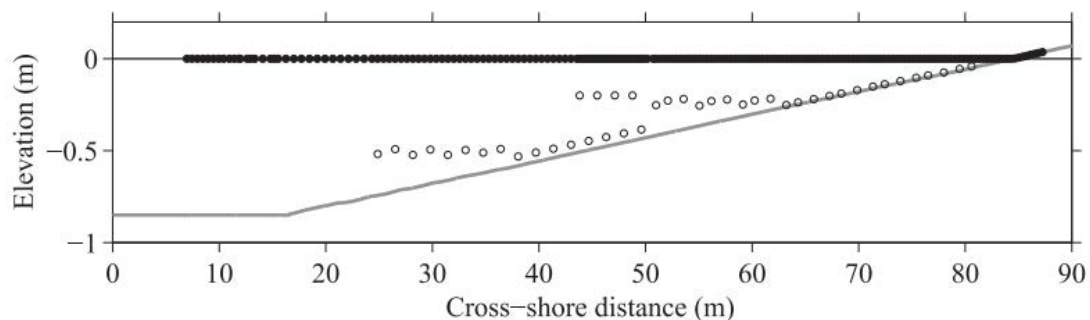


Figure 1. Elévation z en fonction de la distance cross-shore x durant le projet GLOBEX. Avec $x=0$ correspond à la localisation du générateur de vague et $z=0$ au niveau de l'eau en temps calme. Les 43 cercles vides correspondent à la position et la hauteur des courantomètres et capteurs de pression colocalisés (de BAKKER *et al.*, 2014).

Etant dans un canal à houle et donc à échelle réduite, la fréquence de coupure entre les bandes gravitaire et infragravitaire est choisie en fonction du spectre de densité de

Thème 1 – Hydrodynamique marine et côtière

l'élévation de la surface libre mesurée le plus proche du batteur. Les données ont une durée de 69 minutes avec une fréquence d'échantillonnage originale de 100Hz, diminuée à 32Hz pour la présente analyse.

Tableau 1. Différentes situations de simulations (modifié à partir de RUESSINK *et al.*, 2013).

Conditions		H_s (m)	T_p (s)	f_p (Hz)	f_c (Hz)
A1		0,10	1,58	0,63	0,37
A2		0,20	2,25	0,44	0,28
A3		0,10	2,25	0,44	0,28

2.2 Méthodes dites « PUV methods »

Pour ces méthodes, les spectres utilisés pour calculer les coefficients de réflexion, pour chaque condition de vagues, ont été obtenus à partir du découpage des séries temporelles en segment d'environ 4 minutes. Les spectres sont par la suite calculés en utilisant une fenêtre rectangulaire avec un chevauchement de 75%.

2.2.1 L'approche temporelle de GUZA *et al.*, (1984)

La méthode de GUZA *et al.*, (1984) porte sur une approche temporelle s'appliquant seulement aux ondes longues. A partir de données colocalisées de surface libre et de vitesse, permettant de reconstruire les séries temporelles d'élévation de surface des signaux entrants η^+ et sortants η^- , tels que :

$$\eta^{\pm} = \frac{\eta \pm \left(\frac{h}{g}\right)^{1/2} u}{2} \quad (1)$$

avec h la profondeur d'eau et g la constante d'accélération gravitationnelle. Ensuite, le coefficient de réflexion est calculé tel que $R = \eta^+ / \eta^-$ (où η représente l'amplitude de l'onde IG (VAN DONGEREN *et al.*, 2007)

2.2.2 L'approche spectrale de SHEREMET *et al.*, (2002)

En utilisant également des données colocalisées de zeta et de vitesse, l'approche dans le domaine spectrale entier (gravitaire et infragravitaire) (*i.e. théorie linéaire*) de SHEREMET *et al.*, (2002) permet de reconstruire l'énergie entrante et sortante (\mathcal{E}^{\pm}) ainsi que le flux d'énergie associé (F^{\pm}), intégré sur une plage fréquentielle, tels que :

$$s^{\pm}(f, x) = \frac{1}{4} \left[c_{\alpha_{pp}}(f, x) + \left(\frac{h}{g}\right) c_{\alpha_{wm}}(f, x) \pm \left(2\sqrt{\frac{h}{g}}\right) c_{\alpha_{pw}}(f, x) \right] \quad (2)$$

avec $C_{u_{p,u}}$, le cospectre de zeta (nommé p) et de la vitesse (u) et $C_{u_{p,p}}$ et $C_{u_{u,u}}$, les autospectres de p et u respectivement. R^2 est le coefficient de réflexion défini comme le rapport entre le flux d'énergie IG global sortant et entrant à une position x choisie, tel que :

$$R^2(x) = F^-(x)/F^+(x) \quad (3)$$

3. Résultats et discussions

3.1 Hauteurs d'ondes

L'évolution des hauteurs des ondes courtes totales (courbes noires), incidentes (courbes bleues), réfléchies (courbes rouges) en fonction de la distance cross-shore dans le canal (le 0 indiquant la position du batteur) sont visibles sur la figure 2, pour les deux méthodes citées précédemment, pour les 3 conditions de houle (A1, A2, A3).

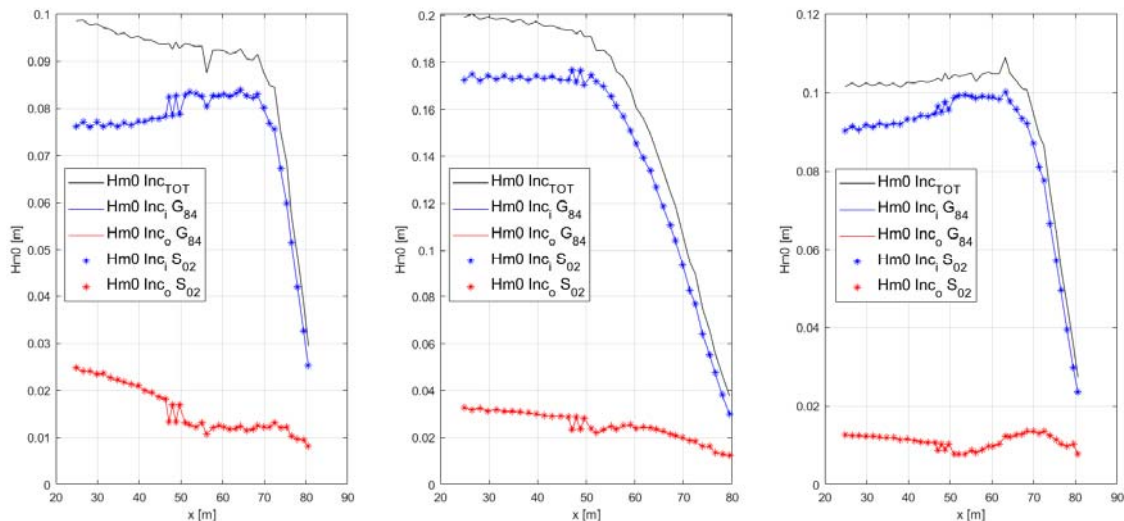


Figure 2. Hauteurs des ondes courtes en fonction de la distance cross-shore obtenues avec les méthodes de GUZA (traits continus) et SHEREMET (étoiles) ; Courbe noire : ondes totales, bleue : ondes incidentes et rouge : ondes réfléchies. Pour les tests avec A1 (gauche), A2(milieu) et A3 (droite).

Il est ainsi possible de noter le début de la zone de déferlement où les hauteurs des ondes courtes diminuent suite au déferlement, aux positions $x=71\text{m}$, $x=51\text{m}$ et $x=63\text{m}$ (pour respectivement A1, A2 et A3). Les hauteurs des ondes réfléchies représentent environ 10% des hauteurs initiales laissant penser à une faible réflexion des ondes courtes pour ce type de plage dissipative. Lorsque l'on observe l'évolution des hauteurs de vagues des ondes IG en fonction de la distance cross-shore pour les 3 tests (A1, A2 et A3) (figure 3), on note que les deux méthodes quoique basées sur des approches et

Thème 1 – Hydrodynamique marine et côtière

des hypothèses différentes donnent des résultats identiques tout le long du profil de plage.

Concernant les ondes IG incidentes (courbes bleues sur la figure 3), il est possible d'observer une augmentation de leurs hauteurs en fonction de leurs distances à la côte, avec les deux méthodes utilisées, avec des valeurs qui augmentent jusqu'à des distances de $x=73\text{m}$, $x=59\text{m}$, $x=71\text{m}$, pour des hauteurs d'environ 0.023m , 0.052m , 0.027m respectivement. Par la suite ces valeurs diminuent puis réaugmentent pour les tests A1 ($H_s = 0.10\text{m}$ et $T_p = 1.58\text{s}$ et A3 $H_s=0.10\text{m}$ et $T_p = 2.25\text{s}$), mais diminuent seulement pour le test A2 qui est le test le plus énergétique ($H_s = 0.20$ et $T_p = 2.25$). L'augmentation de la hauteur des ondes IG peut être due à la génération d'ondes IG en zones de levée par ondes liées (bound waves) (LONGUET-HIGGINS & STEWART., 1962) ou par variation du point de déferlement (moving breakpoint) (SYMONDS *et al.*, 1982).

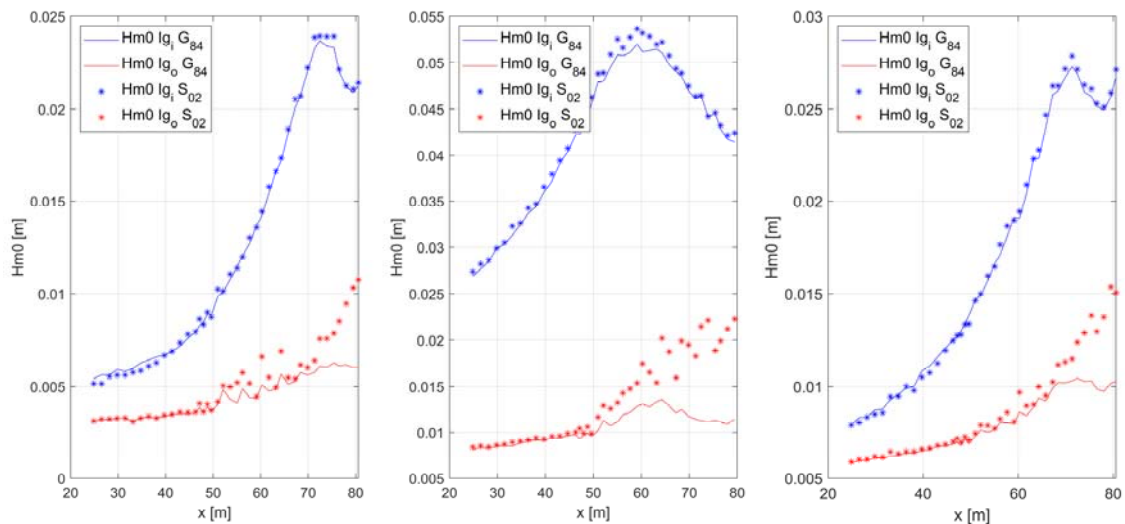


Figure 3. Hauteurs des ondes infragravitaires en fonction de la distance cross-shore obtenues avec les méthodes de GUZA (traits continus) et SHEREMET (étoiles) ; Courbe bleue : ondes incidentes et rouge : ondes réfléchies. Pour les tests avec A1 (gauche), A2(milieu) et A3 (droite).

Concernant les ondes IG réfléchies, il est possible d'observer, une augmentation des hauteurs de vagues des ondes réfléchies obtenues avec la méthode de SHEREMET, pour les distances cross-shore identifiées précédemment comme le début de la zone de déferlement ($x= 71\text{m}$, $x= 51\text{m}$ et $x= 63\text{m}$, respectivement pour A1, A2 et A3). Cette augmentation en direction de la côte ou diminution en direction du large, pourrait correspondre à des processus de deshoaling des ondes « générées » suite à la réflexion, avec une diminution des hauteurs de ces ondes avec l'augmentation de la profondeur. Les hauteurs des ondes IG réfléchies ont alors les mêmes hauteurs que les ondes courtes réfléchies. Avec la méthode de GUZA à partir de ces mêmes distances, on note un

plafonnement des hauteurs de vagues autour de 0.006m, 0.011m, 0.010m, pour les tests A1, A2, A3 respectivement.

3.2 Coefficient de réflexion

La figure 4 montre l'évolution en fonction de la distance cross-shore des coefficients de réflexion (R^2) des ondes IG obtenus à l'aide des méthodes de GUZA (2.2.1) et SHEREMET (équation 3), pour les tests A1, A2 et A3. Jusqu'aux distances de $x=73m$, $x=59m$, $x=71m$, pour les tests A1, A2 et A3 respectivement, les hauteurs d'onde IG incidentes et réfléchies augmentent et les hauteurs incidentes sont supérieures aux hauteurs réfléchies. Les coefficients de réflexion obtenus avec les deux méthodes pour différentes distance cross-shore diminuent de façon similaire en accord avec les hauteurs incidentes et réfléchies.

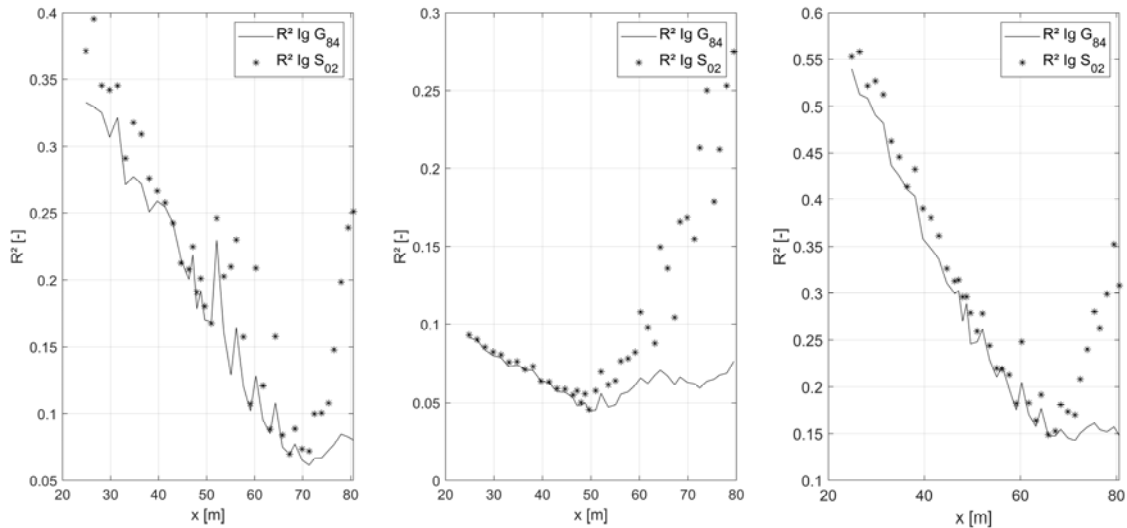


Figure 4. Coefficients de réflexion R^2 des ondes IG obtenus avec les méthodes de GUZA (trait continu) et SHEREMET (étoiles), en fonction de la distance cross-shore. Pour les tests A1 (droite), A2 (milieu) et A3 (droite).

A partir de ces distances les coefficients de réflexion obtenus avec la méthode de SHEREMET augmentent entre 0.07 et 0.25, 0.05 et 0.27 et 0.15 et 0.35. Ceci s'explique par le fait que les réflexions partielles deviennent significatives lorsque les variations des propriétés du milieu sont importantes pour la longueur d'onde (BERTIN *et al.*, 2018), ce qui est le cas notamment pour les variations de pente de plage à l'approche des eaux côtières pour les ondes IG.

4. Conclusion

Cette étude préliminaire a permis de comparer dans un premier temps deux méthodes dites « PUV methods ». Concernant les hauteurs d'ondes courtes aucune divergence n'a

Thème 1 – Hydrodynamique marine et côtière

été observée entre les deux méthodes utilisées malgré des hypothèses d'application des méthodes différentes. Ceci est un point qui doit faire l'objet d'une étude plus approfondie. Par ailleurs, concernant les hauteurs d'ondes IG réfléchies obtenues avec les méthodes de SHEREMET et GUZA, une différence entre les méthodes a pu être observée en particulier en zone de surf. En effet, pour des distances $x=53\text{m}$, $x=51\text{m}$ et $x=58\text{m}$ pour respectivement les tests A1, A2 et A3, la méthode de SHEREMET apporte des hauteurs d'ondes IG réfléchies qui augmentent vers la côte quand la méthode de GUZA, entraîne des hauteurs qui semblent atteindre un palier. Cette différence se répercute par la suite sur les coefficients de réflexion calculer pour les 3 tests, elle fait partie des points à approfondir pour la suite de cette étude. Enfin, dans l'optique d'application à des données *in situ* bruyantes, la méthode utilisée par INCH et al. (2017) est à développer dans le futur.

5. Références bibliographiques

- BERTIN X., de BAKKER A., VAN DONGEREN A., COCO G., ANDRE G., *et al.* (2018). *Infragravity waves: From driving mechanisms to impacts*. Earth-Science Reviews 177, 774–799. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.01.002>
- BAKKER A.T.M. de, TISSIER M.F.S., RUESSINK B.G. (2014). *Shoreline dissipation of infragravity waves*. Continental Shelf Research 72: 73-82. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2013.11.013>
- FIELDER J. W., BRODIE K. L., McNINCH J. E., GUZA R. T. (2015). *Observations of runup and energy flux on a low-slope beach with high-energy, long-period ocean swell*, Geophys. Res. Lett., 42, 9933–9941, doi:10.1002/2015GL066124
- GAILLARD P., GAUTHIER M., HOLLY F. (1980). *Method of analysis of random wave experiments with reflecting coastal structures*. In Coastal Engineering 1980, 204-20. Sydney, Australia: American Society of Civil Engineers. <https://doi.org/10.1061/9780872622647.011>
- GUZA R. T., THORNTON E. B., HOLMAN R. A. (1985). *Swash on steep and shallow beaches*. In Coastal Engineering 1984, 708-23. Houston, Texas, United States: American Society of Civil Engineers. <https://doi.org/10.1061/9780872624382.049>
- INCH K., DAVIDSON M., MASSELINK G., RUSSEL P. (2017). *Correcting wave reflection estimates in the coastal zone*. Coastal Engineering 119: 65-71. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2016.09.004>
- LONGUET-HIGGINS M., STEWART R. (1962). *Radiation stress and mass transport in gravity waves, with application to surf beats*. J. Fluid Mech. 13, 481–504. <http://dx.doi.org/10.1017/S0022112062000877>
- MARTINS K., BONNETON P., LANNES D., MICHALLET H. (2021). *Relation between orbital velocities, pressure and surface elevation in non-linear nearshore water waves*. Journal of Physical Oceanography. <https://doi.org/10.1175/JPO-D-21-0061.1>
- RUESSINK B. G., MICHALLET H., BONNETON P., MOUAZE D., LARA J. L.,

SILVA P.A., PETER WELLENS P. (2013). *Globex: wave dynamics on a gently sloping laboratory beach*. 7th International Conference on Coastal Dynamics, Arcachon, France. pp.1351 - 1362. hal-00909140

SENECHAL N., COCO G., PLANT N., BRYAN K. R., BROWN J., MACMAHAN J. H. M. (2018). *Field observations of alongshore runup variability under dissipative conditions in the presence of a shoreline sandwave*. Journal of Geophysical Research: Oceans, 123, 6800–6817. <https://doi.org/10.1029/2018JC014109>

SHEREMET A. (2002). *Observations of nearshore infragravity waves: Seaward and shoreward propagating components*. Journal of Geophysical Research 107, n° C8: 3095. <https://doi.org/10.1029/2001JC000970>

SYMONDS G., HUNTLEY D., BOWEN A.J. (1982). *Two-dimensional surf beat: long wave generation by a time-varying breakpoint*. J. Geophys. Res. 87, 492–498. <https://doi.org/10.1029/JC087iC01p00492>

Thème 1 – Hydrodynamique marine et côtière