



**HAL**  
open science

## Transformation des ondes en zone de surf et de swash

Olivier David de Drézigué, Damien Sous, Vincent Rey, Adrien Lambert

► **To cite this version:**

Olivier David de Drézigué, Damien Sous, Vincent Rey, Adrien Lambert. Transformation des ondes en zone de surf et de swash. CFM 2009 - 19ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2009, Marseille, France. hal-03390954

**HAL Id: hal-03390954**

**<https://hal.science/hal-03390954v1>**

Submitted on 21 Oct 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Dynamique de la nappe d'eau sous forçage de la marée sur la plage du Truc Vert

O. DAVID DE DREZIGUE<sup>ab</sup>, D. SOUS<sup>a</sup>, A. LAMBERT<sup>c</sup>, F. GOAUD<sup>a</sup> et V. REY<sup>a</sup>.

a. LSEET, Université de Toulon et du Var, 83957 La Garde, France

b. Marine Nationale, Centre d'Instruction Naval, Saint Mandrier, France

c. Geosciences Montpellier, université Montpellier 2, Montpellier, France

## Résumé :

*Une série de mesures a été réalisée sur la plage du Truc Vert, Aquitaine, France, dans le cadre du programme Ecors, campagne de qualification des modèles de morpho-dynamique des plages sableuses. Une ligne de 18 capteurs de pressions a été déployée sur un axe cross-shore de la berme au bas de la zone intertidale, combinant des capteurs immergés et enfouis dans le sable, afin de mieux caractériser la dynamique de la nappe d'eau sous forçage des différentes ondes incidentes (marée, houle, swash). Cette étude montre la bonne précision des données dans la description de la réponse aux ondes de marées, la présence d'une « bosse » près de la limite du run up et l'affaiblissement des amplitudes des ondes courtes lors des infiltrations dans le sable, la plage se comportant comme un filtre passe-bas.*

## Abstract :

*As part of the ECORS program, which is a qualification campaign for sandy beach morphodynamics model, an instrumental field study has been conducted on the Truc Vert beach in Aquitaine, France. A key-point of the understanding of sandy beaches dynamics is the knowledge of the interactions between surface and groundwater hydrodynamics, in particular between swash and beach watertable, and their impact on accretion and erosion processes above the still water level. A dedicated cross-shore line of 18 relative pressure sensors has been deployed from the berm to the intertidal lowest point, combining buried and free sensors. This study aims first to test the ability of the measurement device in describing the response of watertable under macro-tidal forcing and energetic swell conditions. Results show the presence of a hump near the run up limit and the sandy beach acting as a low-pass filter and a damping medium.*

**Mots clefs :** plage sableuse, nappe d'eau, hydrodynamique, capteur de pression.

## 1 Introduction

L'étude de la morpho-dynamique des plages sableuses présente un intérêt majeur dans plusieurs domaines: scientifique, afin d'améliorer notre connaissance des interfaces terre/mer ; économique et écologique, afin de tenter de préserver notre environnement actuel ; et enfin militaire, dans l'hypothèse de la préparation d'éventuelles opérations amphibies. Ces problématiques deviennent cruciales dans le contexte actuel de dérèglement climatique et la lente montée des eaux des océans qui en résulte.

La nappe d'eau ou surface phréatique, prolongement de la surface libre de la mer dans le sable est soumise au forçage d'un large spectre d'ondes incidentes (marées, houle, swash). L'étude des processus hydrodynamiques en jeu est incontournable pour une meilleure description du transport sédimentaire en zone de surf/swash où se transforment les ondes incidentes. En effet de nombreuses études montrent l'importance des interactions entre la nappe d'eau et le swash sur les processus d'érosion et d'accrétion au dessus du niveau moyen de la mer [1].

Dans le cadre du programme ECORS, qui est une campagne de qualification des modèles de morpho-dynamique des plages sableuse, une série de mesures in-situ a été menée sur la plage du Truc-Vert, Aquitaine. L'objectif principal est de décrire les dynamiques des zones de surf et de swash d'une plage dotée d'une double barre et à système macrotidal avec une attention particulière sur les oscillations de la nappe d'eau et l'impact sur le transport sédimentaire.

Il s'agit, dans un premier temps, d'évaluer la capacité de l'instrumentation et de la méthode à décrire précisément les évolutions du toit de la nappe d'eau de part et d'autre de la surface sableuse sous un forçage des ondes de marées. La première partie de ce papier concerne la description du site étude, de l'instrumentation et de la méthode d'analyse, la seconde partie présente les résultats obtenus pendant plusieurs cycles de marée selon différents types de forçages, et enfin la troisième partie présentera les conclusions et les perspectives.

## 2 Site expérimental – Méthode

### 2.1 Site expérimental

La plage du Truc Vert est située à environ 10 km au Nord de la pointe du Cap Ferret et à 90 km au Sud de l'embouchure de l'estuaire de la Gironde. C'est une plage méso-macrotidale, orientée Nord-Sud, à pente douce composée de sable moyen de diamètre environ 350  $\mu\text{m}$  et soumise à une houle océanique, principalement de secteur Ouest/Nord-Ouest. La plage du Truc Vert est généralement constituée de deux barres sableuses [2] :

- une barre pré-littorale festonnée située environ à 400-450 m de la laisse de basse mer. Sa longueur d'onde moyenne est de 1000 m. La partie parallèle au rivage se situe à environ 4.5 m de profondeur tandis que les cornes se trouvent à 2m sous l'eau ;
- un système de barre/baïne en zone intertidale dont la morphologie est très variable.

La relative large zone intertidale (environ 200 m) permet de déployer les instruments et de les récupérer à marée basse tandis qu'ils enregistrent lorsque la marée est haute. De fortes conditions énergétiques ont été rencontrées lors de la campagne de mesures qui a duré 4 semaines, incluant une tempête avec des vagues d'hauteurs significatives de 8.2 m et de période 18 s, combinant une marée de 5m d'amplitude.

### 2.2 Instrumentation

Une série de 20 capteurs a été déployée pour couvrir une section cross-shore de la plage, de la berme à la partie la plus basse de la zone intertidale. Elle est composée d'une ligne de capteurs de pressions et de courantomètres à effet Doppler alternativement immergés et émergés selon les cycles de marées. En complément, des barres d'acier supportant 2 ou 3 capteurs ont été partiellement enfouies dans le sable afin de permettre, simultanément, une description verticale et horizontale de la surface libre, et ce, de part et d'autre du fond sableux. La figure 1 montre le déploiement des capteurs selon l'axe cross-shore de la plage.

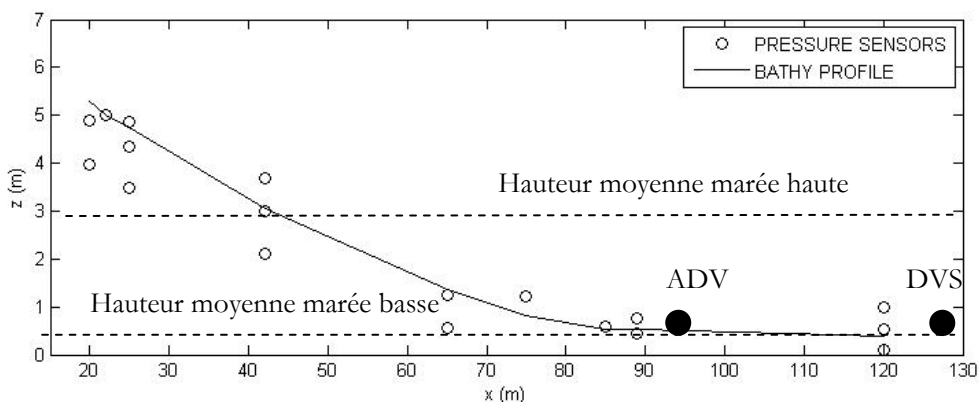


FIG 1. – Profil de la plage avec le déploiement de l'instrumentation

Tous les capteurs de pression mesurent des pressions relatives, en comparaison de la pression atmosphérique et utilisant des échelles de données de 0-400 mb ou 0-800 mb avec une précision de 0.1 %. Ils sont protégés par un voile poreux afin d'empêcher les sédiments de s'infiltrer et de toucher les membranes [3], [4]. Tous les capteurs de pressions sont reliés à un data log (de type ALMEMO 2590-9), lui-même relié à un PC portable via un réseau en fibre optique, permettant un enregistrement des données en direct. L'acquisition s'est effectuée sur la base d'un échantillonnage à 5.9 Hz sur toute la durée de l'étude. Les deux courantomètres employés sont de type ADV (Acoustic Doppler Velocimeter, Nortek SA) et DVS (Doppler Velocimeter Sampler, RDI), leurs emplacements étant présentés sur la figure 1.

## 2.3 Méthode

Toutes les données ont été récupérées une fois par jour, et notamment les données des courantomètres, placés en bas de plage et autonomes. Les séries de mesures sont continues sur une période de 24 heures, donc deux cycles de marées. Les enregistrements des capteurs de pressions s'effectuent en mA, puis converties en hauteurs d'eau (m) prenant en compte le fait qu'en zone de surf le champ de pression est quasi-hydrostatique [5]. Les hauteurs d'eau sont donc calculées à partir de la relation :

$$P = \rho gh \quad (1)$$

P : pression enregistrée par le capteur (Pa)

$\rho$  : masse volumique de l'eau salée ( $\text{kg.m}^{-3}$ )

g : accélération de la gravité ( $\text{m.s}^{-2}$ )

h : hauteur d'eau au dessus du capteur (m)

Les grandes conditions énergétiques rencontrées ont induit d'importantes variations bathymétriques (jusqu'à 70 cm d'érosion/accrétion sur une période de 24 heures), ainsi qu'un possible léger déplacement ou inclinaison des barres d'acier et capteurs de pressions. Etant donnée la précision requise pour décrire les évolutions de la surface libre, une attention particulière a été portée sur le positionnement des senseurs avec des relevés GPS différentiels journaliers du profil cross-shore et des capteurs. De plus, la mesure du positionnement relatif des capteurs par rapport à la surface sableuse a été effectuée avec un mètre de façon journalière.

Pour la mesure des capteurs enfouis, le sable est supposé se comporter comme un support poreux qui ne modifie pas la pression exercée sur le capteur, qu'il soit sec ou saturé en eau.

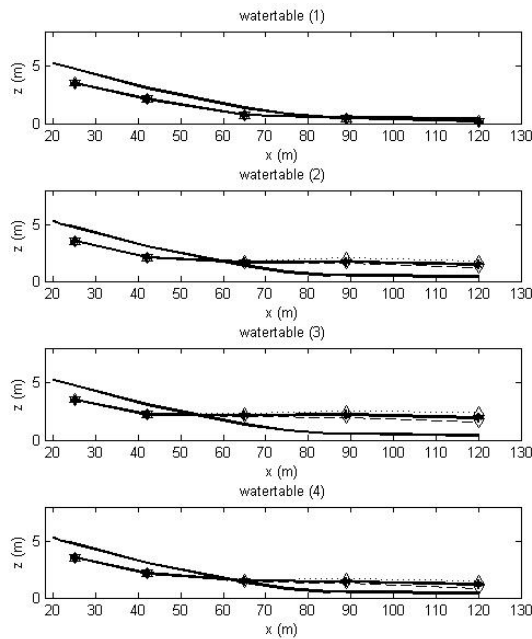
Les premières analyses de mesures montrent qu'une petite erreur résiduelle existe entre les données de capteurs positionnés à la verticale sur une même barre en acier, c'est-à-dire le positionnement du toit de la nappe d'eau, et ce, quelle que soit leur position relative par rapport au fond sableux : sous le sable, de part et d'autre ou totalement hors du sable. Cette erreur, de l'ordre de quelques centimètres, s'est retrouvée être constante pour un même couple de capteurs sur une période test de 5 jours, malgré les évolutions bathymétriques, c'est-à-dire malgré les variations de la hauteur de sable au dessus des capteurs. Cette observation confirme la précédente hypothèse suggérant que le sable n'intervient pas dans le positionnement du toit de la nappe d'eau à partir de capteurs de pressions enfouis sous le sable. L'origine de cette différence systématique est certainement liée à une erreur dans la localisation des capteurs (en z, ainsi que la verticalité des barres), la précision et calibration des capteurs. Des études complémentaires sont en cours pour déterminer avec précision l'origine de cette erreur, et pouvoir ainsi l'éliminer.

De plus, afin d'éliminer les perturbations à proximité des membranes des capteurs de pression, un seuil minimal de détection de 2 cm a été appliqué sur les enregistrements.

## 3 Résultats et analyse

Les figures 2 et 3 représentent le tracé de la nappe d'eau pour un cycle de marée, respectivement pour les journées des 20 et 22 mars 2008. Afin de filtrer les oscillations rapides et de ne conserver que le forçage dû à la marée, les données sont moyennées sur une fenêtre temporelle glissante de 169.5 s. Il est cependant intéressant de conserver et de faire apparaître les niveaux maximum et minimum enregistrés sur cette même fenêtre glissante, ce sont les lignes pointillées avec triangles hauts et triangles bas, respectivement, sur les graphes (1) à (8) des figures 2 et 3.

Les conditions énergétiques incidentes rencontrées lors des journées du 20 et 22 mars sont les suivantes : hauteur significative ( $H_s$ ) de 1-4 m et une amplitude de marée de 3.55-3.75 m, respectivement. Ces données ont été fournies par une bouée à houle localisée au large de la plage mouillée par 20 m de fond. La comparaison des graphes des figures 2 et 3, notamment en ce qui concerne les lignes pointillées, montre bien les différentes conditions énergétiques incidentes.

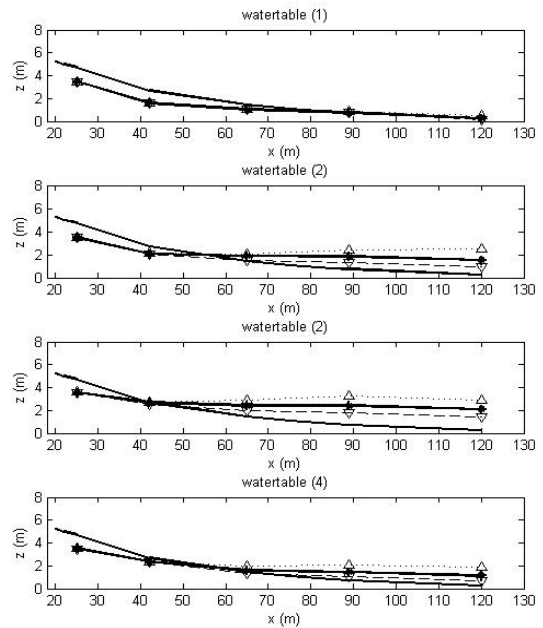


Du haut vers le bas :

- (1) position de la nappe d'eau, marée basse
- (2) position de la nappe d'eau, marée montante
- (3) position de la nappe d'eau, marée haute
- (4) position de la nappe d'eau, marée descendante

La ligne trait gras plein est le profil bathy cross-shore. Les pointillés/triangle up sont les maximums d'élévations et les pointillés/triangle down sont les minimums d'élévations calculés sur une fenêtre de 169.5 s. La ligne pleine entre les deux est la hauteur moyennée sur la même période.

FIG. 2 – Elévation de la nappe d'eau sur un cycle de marée le 20 mars



Du haut vers le bas :

- (5) position de la nappe d'eau, marée basse
- (6) position de la nappe d'eau, marée montante
- (7) position de la nappe d'eau, marée haute
- (8) position de la nappe d'eau, marée descendante

La ligne trait gras plein est le profil bathy cross-shore. Les pointillés/triangle up sont les maximums d'élévations et les pointillés/triangle down sont les minimums d'élévations calculés sur une fenêtre de 169.5 s. La ligne pleine entre les deux est la hauteur moyennée sur la même période.

FIG. 3 – Elévation de la nappe d'eau sur un cycle de marée le 22 mars

La nappe d'eau, ou encore surface phréatique dans le sable, est la surface d'équilibre au niveau de laquelle la pression d'eau interstitielle (du milieu poreux) est égale à la pression atmosphérique. Le toit de la nappe d'eau est considéré comme le prolongement de la surface libre moyenne de la mer dans le sable. Cependant, il est généralement observé [1] que la surface de la nappe phréatique n'est pas horizontale et présente une pente positive vers la côte comme le montrent les figures 2 et 3. Les capteurs les plus hauts (figure 1) ne sont pas actifs donc on peut supposer que cette pente diminue et s'arrondit sous la berme. On peut remarquer, de même, que les oscillations rapides de la surface libre de la mer (vagues) ne se propagent que très peu dans le sable. En effet, la différence d'amplitude entre maximums et minimums d'oscillations existant au niveau des ondes incidentes se réduit très fortement dans le sable. Cela indique clairement que le sable agit comme un filtre passe bas [6] et [7].

La figure 4 montre les variations d'élévation de surface libre et du toit de la nappe d'eau sur un cycle complet de marée le 22 mars. Dans un souci de simplification, une interpolation linéaire a été appliquée entre les différents points de mesures.

L'analyse de la figure 4 permet de distinguer deux phases distinctes, notamment en regardant plus précisément la réponse du capteur placé en  $x=42$  m. En effet, le comportement de la nappe d'eau est sensiblement différent entre la marée montante (lignes pleines) et la marée descendante (lignes pointillées).

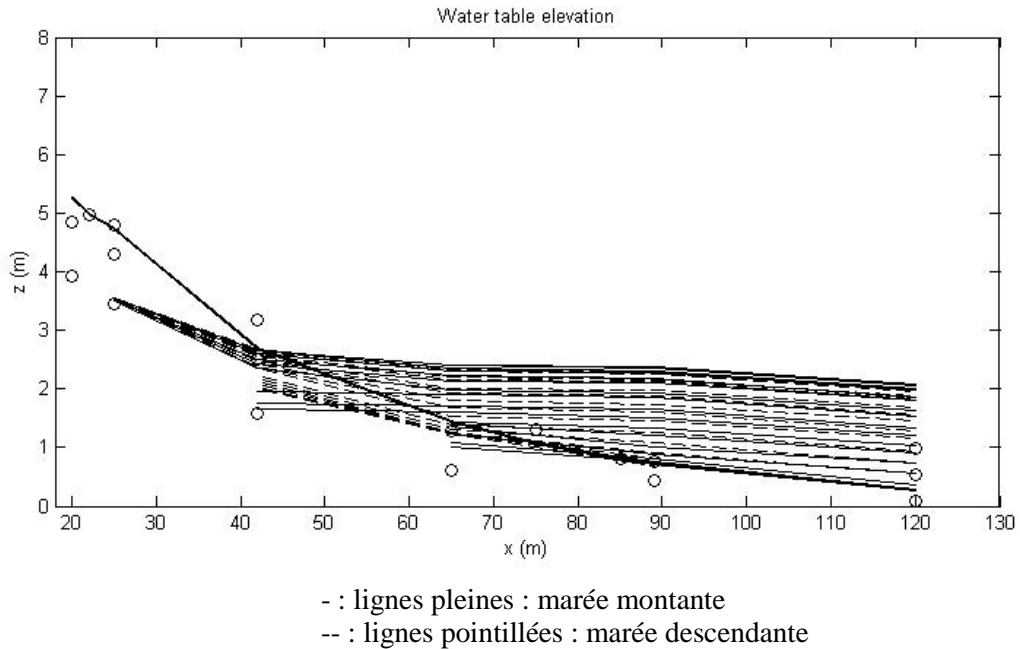


FIG. 4 – Elévation de la nappe d'eau sur un cycle de marée le 22 mars

Durant la première phase, la nappe d'eau est horizontale et suit la montée de la surface libre jusqu'à un certain niveau où une légère pente apparaît, en comparaison des niveaux relevés par un capteur plus au large, en  $x=65$  m. Cette pente orientée vers la plage, s'explique par les infiltrations d'eau dues au swash et qui ont tendance à accroître légèrement l'élévation de la nappe d'eau [8] [9]. Une « bosse » apparaît ainsi dans la nappe d'eau et se propage vers les  $x$  décroissant au rythme de la marée montante et des infiltrations qui en résultent. Selon la figure 5, la hauteur de cette « bosse » peut être estimée à environ 30 cm, mais des analyses complémentaires sont nécessaires afin de mieux la caractériser.

La deuxième phase, qui correspond à la marée descendante, montre un profil de nappe bien différent. En effet, une forte pente apparaît et qui s'accroît avec le retrait des eaux. La forme de la nappe, entre les capteurs positionnés en  $x=42$  et  $65$  m, n'est certainement pas la forme réelle. En effet un découplage est supposé se créer entre la surface libre de la mer et la nappe d'eau, laissant la place à une surface sableuse dominée par les exfiltrations d'eau.

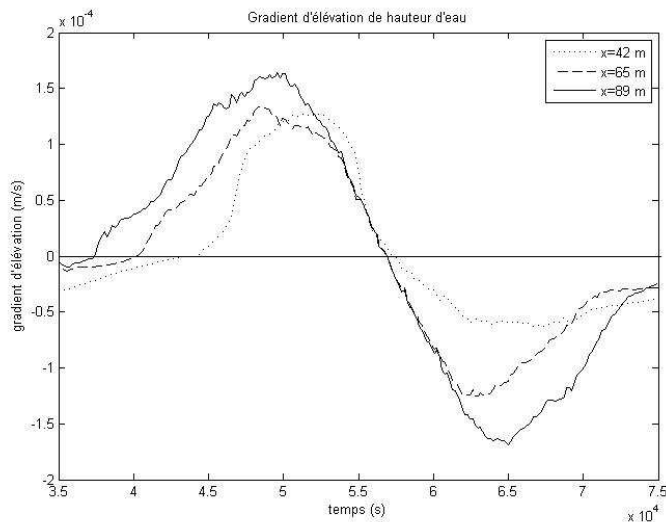


FIG. 5 – Gradient d'élévation de hauteurs d'eau sur un cycle de marée le 22 mars pour les capteurs en positions  $x=42/65/89$  m

La figure 5 montre les gradients d'élévation de hauteurs d'eau des capteurs en positions  $x=42/65/89$  m. La droite  $y=0$  correspond à une vitesse d'élévation nulle, donc aux situations d'étalement de basse et de haute

mer. Les extremums de célérités correspondent aux situations de mi-marées (maximum positif : marée montante ; maximum négatif marée descendante). Cette figure montre bien la différence flot et jusant, notamment pour les enregistrements du capteur le plus proche de la berme, en  $x=42$  m, où la vitesse d'élévation de la nappe en marée montante est rapide et sensiblement identique à celle des autres capteurs plus en aval de la plage, mais est plus lente et découplée des autres lors de la marée descendante (la vitesse d'affaissement maximum est environ deux fois plus lente que la vitesse d'élévation maximale).

Ces remarques montrent bien qu'une plage sableuse est capable d'absorber plus rapidement de l'eau qu'elle ne peut en libérer lors du jusant.

#### 4 Conclusions et perspectives

Ce papier présente les premiers résultats d'analyse d'une campagne de mesure sur le terrain effectués sur la plage du Truc Vert, dans le cadre du programme Ecors. L'objectif à long terme est de caractériser la réponse de la nappe d'eau aux différents forçages que sont les marées, les ondes courtes et longues (ondes infragravitaires) et le swash dans l'optique d'une meilleure modélisation de la morpho-dynamique des plages sableuses.

L'originalité de cette démarche est le nombre et la disposition des capteurs de pressions qui permettent une meilleure description de la nappe. Les premiers résultats sont encourageants : précision du positionnement, visualisation de l'asymétrie entre marée montante et marée descendante, confirmation de l'existence d'une « bosse » due aux infiltrations. Cependant des analyses complémentaires plus précises sont nécessaires afin de mieux caractériser les phénomènes physiques susceptibles d'intervenir dans le mécanisme complexe du transport sédimentaire : affiner encore la précision des données, mieux décrire la « bosse » d'élévation et étudier les interactions de la nappe avec les ondes aux plus hautes fréquences, notamment les ondes infragravitaires.

#### References

- [1] HORN, D. P. Measurements and modeling of beach groundwater flow in the swash-zone: a review. *Continental Shelf Research*, 26, 622-652, 2006.
- [2] SENECHAL, N., BONNETON, P. and DUPUIS, H. Infragravity wave frequency structure on a double-barred beach. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 36, pp. 654- 661, 2002.
- [3] HORN, D. P. Beach groundwater dynamics. *Geomorphology*, 48, 121-146, 2002.
- [4] TURNER, I.L. and NIELSEN, P. Rapid water fluctuations within the beach face: implications for swash sediment mobility. *Coastal Engineering* 32, 45-59, 1997.
- [5] LIN, P. and LIU, P. L.-F. A numerical study of breaking waves in the surf zone. *J. Fluid Mechanic.* 359, 239-264, 1998.
- [6] HEGGE, B. J. and MASSELINK, G. Ground-water responses to wave run-up: an experimental study from western Australia. *Journal of Coastal Research* 7(3), 623-634, 1991.
- [7] LEWANDOWSKI, A. and ZEIDLER, R. B. Beach-groundwater oscillations. *Proceedings of the 16<sup>th</sup> conference of Coastal Engineering*, pp. 2051-2065, 1978.
- [8] LANYON, J. A., ELIOT, I. G. and CLARKE, D. J. Groundwater-level variation during semidiurnal spring tidal cycles on a sandy beach. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research.* 33, 377- 400, 1982.
- [9] TURNER, I.L. The total water content of sandy beaches. *Journal of Coastal Research* 15, 11-26, 1993.