

## Caractérisation hydrodynamique sur un littoral à barres festonnées du golfe du Lion (Leucate, France) : mesures in-situ et modélisation.

**Pierre FERRER<sup>1</sup>, Nans BUJAN<sup>2</sup>, Raphaël CERTAIN<sup>1</sup>, Yann LEREDDE<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Université de Perpignan Via Domitia, E.A. 3678, IMAGES,  
52 av Paul Alduy, 66 860 Perpignan Cedex, France  
[pierre.ferrer@univ-perp.fr](mailto:pierre.ferrer@univ-perp.fr)

<sup>2</sup> Université de Montpellier 2, Géosciences Montpellier, UMR 5573 - Lab. GTS,  
cc60, 34095 Montpellier Cedex 05

### **Résumé :**

L'objet de cette communication est la caractérisation hydrodynamique d'un système double de barres festonnées en milieu microtidal. Pour comprendre l'évolution du littoral de Leucate-Plage (Languedoc-Roussillon, France), une campagne de mesures hydrodynamiques in-situ a été réalisée, puis complétée par une étude à l'aide du modèle numérique Quasi-3D SHORECIRC de la houle et des courants dans des conditions plus dynamiques non observées. Les mesures in-situ ont permis de réaliser des cartes de circulation hydrodynamique. Les données modélisées donnent des résultats proches de la réalité en terme d'intensité dans la zone de déferlement, en termes de direction et d'intensité dans la zone de shoaling.

### **Abstract :**

This paper deals with the hydrodynamic study of a microtidal double crescentic bars system. To understand the coastal evolution of Leucate-Plage (Languedoc-Roussillon, France), a hydrodynamic survey has been realized, added to numerical studies with Q-3D SHORECIRC model for more dynamic unobserved conditions. Hydrodynamic maps with observed data have been produced. The numeric hydrodynamic maps show good analogies in the shoaling zone but some difference in the surf zone.

**Mots clés :** barres en festons, microtidal, hydrodynamique, SHORECIRC.

## **1. Introduction.**

Le littoral du golfe du Lion présente plusieurs types de morphologies sous-marines. Ainsi, le littoral au niveau de Sète montre un système double de barres rectilignes alors que celui au niveau de Leucate, auquel on s'intéresse dans cet article, présente un système double de barres festonnées (voir figure 1). La génération de ces systèmes rythmiques serait liée soit à l'infragravité (BOWEN & INMAN, 1971) soit à une auto-organisation (COCO *et al.*, XXXX).

Pour de tels systèmes, des études hydrodynamiques de terrain ont été menées sur la côte aquitaine en milieu méso-tidal (FROIDEFOND *et al.*, 1990 ; CASTELLE *et al.*, 2006b) mais aucune mesure n'a été réalisée en milieu microtidal.

Des études numériques antérieures ont permis de modéliser la génération de barres festonnées et à prédire leur évolution grâce à différents modèles hydro-sédimentaires tels que Morfo55 (GARNIER *et al.*, 2006) ou encore MORPHODYN (CASTELLE *et al.*, 2006a).

Ce travail propose d'étudier les caractéristiques hydrodynamiques d'un système double de barres festonnées en milieu microtidal en utilisant deux types de données. Le premier se base sur des mesures hydrodynamiques de terrain (ADV et ADCP) acquises en janvier 2007 lors d'une campagne d'acquisition intensive à Leucate-Plage (golfe du Lion). Le second viendra compléter la méthode grâce aux modélisations de circulation hydrodynamique faites à partir de SHORECIRC, tout en étudiant la validité de ce modèle dans un tel environnement.

## **2. Site d'étude.**

La zone retenue pour cette expérience se situe à Leucate, dans le golfe du Lion, en Languedoc-Roussillon (voir figure 1). Elle correspond à un des sites méditerranéens des programmes Liteau 2 et Beachmed-e, qui étudient les environnements d'avant-côte à barres sédimentaires.

Ce site microtidal (0,15m de marnage) est dominé par les vagues. Les vents dominants proviennent de terre (NW) ou de mer (E à SE). Ils induisent une surcôte importante, qui peut atteindre 1m à la côte. Les vagues créées par les vents de NW sont généralement faibles (0,3m) avec des périodes allant de 3 à 4 secondes (mer du vent). Les vagues dominantes sont induites par les vents de E à SE. Elles atteignent régulièrement des hauteurs significatives de 3,5m avec des périodes comprises entre 5 et 9 secondes.

La morphologie en pente douce (1%) de l'avant-côte jusqu'au rivage est entrecoupée par deux barres sédimentaires en festons (interne et externe). La barre

externe a une longueur de l'ordre de 600m alors que la barre interne en présente une proche de 400m. Les termes « internes » et « externes » sont repris pour décrire les deux fosses séparatrices. Le sédiment superficiel a une granulométrie de sable fin à granule, généralement bien trié et sa médiane décroît du bord (460 $\mu$ m) vers le large (200 $\mu$ m).

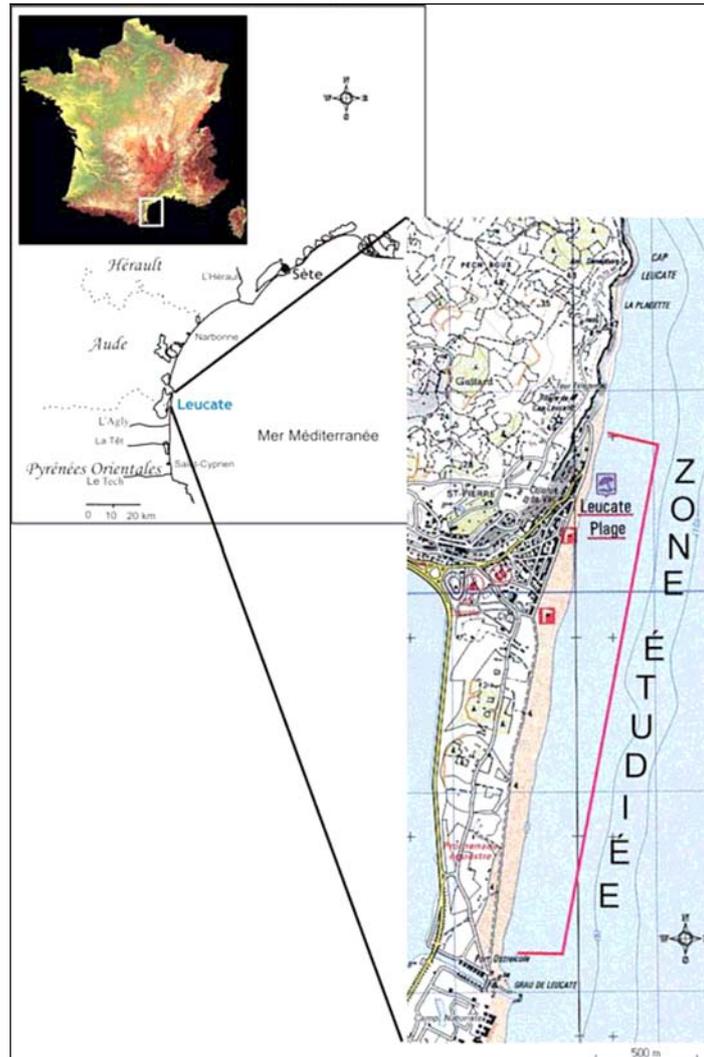


Figure 1 : localisation de la zone d'étude de Leucate.

### 3. Méthodologie.

#### 3.1. Mesures hydrodynamiques in-situ.

Une campagne a été réalisée du 22 janvier au 12 février 2007 à l'aide d'appareils de mesure de la plate-forme technologique GLADYS. Le dispositif instrumental était composé de trois courantomètres / houlographes Acoustic

Doppler Velocimeter ADV (type Vector de NORTEK), de quatre courantomètres Acoustic Doppler Current Profiler ADCP (type Sentinel 600 et 1200 Hz de RD INSTRUMENTS) et d'une bouée DATAWELL positionnée au large de Leucate sur une profondeur de 40m pour l'étude hydrodynamique ; d'un sondeur mono-faisceau couplé à un GPS pour l'étude bathymétrique. Un plan de positionnement précis a été utilisé dans le but d'instrumenter l'ensemble de la barre externe sur un feston entier afin de couvrir au mieux la circulation spatiale complexe et la partie interne correspondante (voir figure 2).

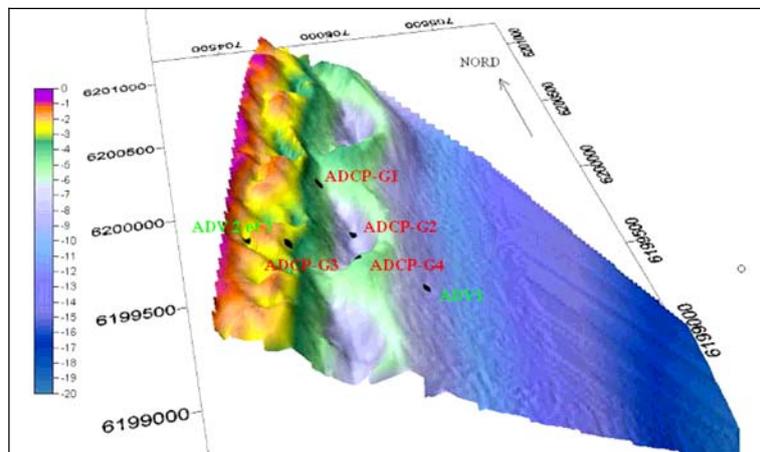


Figure 2 : plan de position des instruments lors de la campagne de mesure hydrodynamique.

Les données brutes ont ensuite été extraites grâce au logiciel WaveMon® développé par *RD instruments* avant d'être traitées grâce à des routines sous Matlab®.

### 3.2. Modélisation à l'aide de SHORECIRC.

SHORECIRC est un modèle développé en 1992 par l'Université du Delaware (EU). Il s'agit d'un modèle de circulation quasi-3D utilisant les courants intégrés sur la verticale (équations de Saint-Venant) couplé au modèle REFDIF qui fournit les forçages de la houle (tensions de radiations et flux de masse) (VAN DONGEREN *et al.*, 1994 ; SVENDSEN *et al.*, 2004). L'originalité de ce modèle quasi-3D est d'introduire une variation semi-empirique des courants sur la verticale et ainsi de mieux représenter les effets 3D de dispersion. On peut alors coupler la vitesse des courants sur le fond et vitesses orbitales sur le fond pour évaluer le transport sédimentaire dans les zones de la colonne d'eau où celui-ci a principalement lieu. Les effets de dérive due aux vents, particulièrement puissants et fréquents dans la région du Languedoc, sont pris en compte. Le modèle a subi

plusieurs modifications afin de prendre en compte les phénomènes de réfraction et donc de pouvoir fonctionner sur des configurations de plage possédant des traits de côte irréguliers et/ou des structures émergées (épis et brise-lames présents en nombre dans la région), et également de prendre en compte les effets de la force de Coriolis ou encore de proposer des frontières latérales ouvertes de types Neumann.

Les premières évolutions de ce modèle furent proposées lors des travaux de thèses (VAN DONGEREN, 1997 ; SANCHO, 1997...). Afin de faire évoluer le modèle, des modélisations sont réalisées pour le golfe du Lion au laboratoire Géosciences Montpellier, avec les travaux de BUJAN (en cours).

#### 4. **Résultats.**

A partir des données enregistrées sur la bouée Datawell, il a été possible d'observer trois coups de mer (tableau 1).

*Tableau 1: caractéristiques de la houle, observées au large pour les différents coups de mers.*

Date	Direction de la houle (en degrés)	Hauteur significative (en mètres)	Période (en secondes)
22 janvier 2007	140	1,2	6
25 janvier 2007	80	1,5	7
30 janvier 2007	80	0,7	6

A partir des mesures acquises et traitées à la côte, des profils verticaux de courants ont été réalisés pour les différents coups de mer observés. Ces profils ont permis de dégager les différents courants littoraux qui entrent en jeu dans la circulation hydrodynamique (voir figure 3A). Nous avons ainsi pu observer des courants longitudinaux tels que la dérive littorale (voir figure 3A, profils verticaux) et le courant induit par le vent et les courants transversaux tels que le courant de retour et celui d'arrachement.

En parallèle, afin de valider l'utilisation du modèle SHORECIRC pour la plage de Leucate-Plage, les conditions météo-marines observées in-situ ont été reproduites par modélisation (voir figure 3B). Lors de cette campagne de mesures, seules des conditions de faible agitation ont pu être enregistrées. Pour valider un modèle, il est plus simple de reproduire des conditions extrêmes (hauteur significative importante, période grande...). Les conditions observées n'étant pas assez dynamiques, le modèle n'a pas été validé dans la zone de

déferlement car le nombre d'appareils de mesure était insuffisant, cependant les courants modélisés sont légèrement sous-estimés par rapport à ceux observés. Dans les zones situées plus au large (zone de shoaling), les résultats modélisés sur le système externe sont plus réalistes avec valeurs de courant et de direction comparables. A partir des résultats, des cartes de circulation hydrodynamique numériques pour des conditions plus dynamiques ont ainsi pu être réalisées et comparées entre elles (voir figure 4). Les données de propagation de la houle, du déferlement de la houle et de circulation hydrodynamique ont pu être comparées de la zone externe jusqu'au bord. Les seuils d'activation des différents systèmes (interne et externe) ont pu être déduits de ces comparaisons.

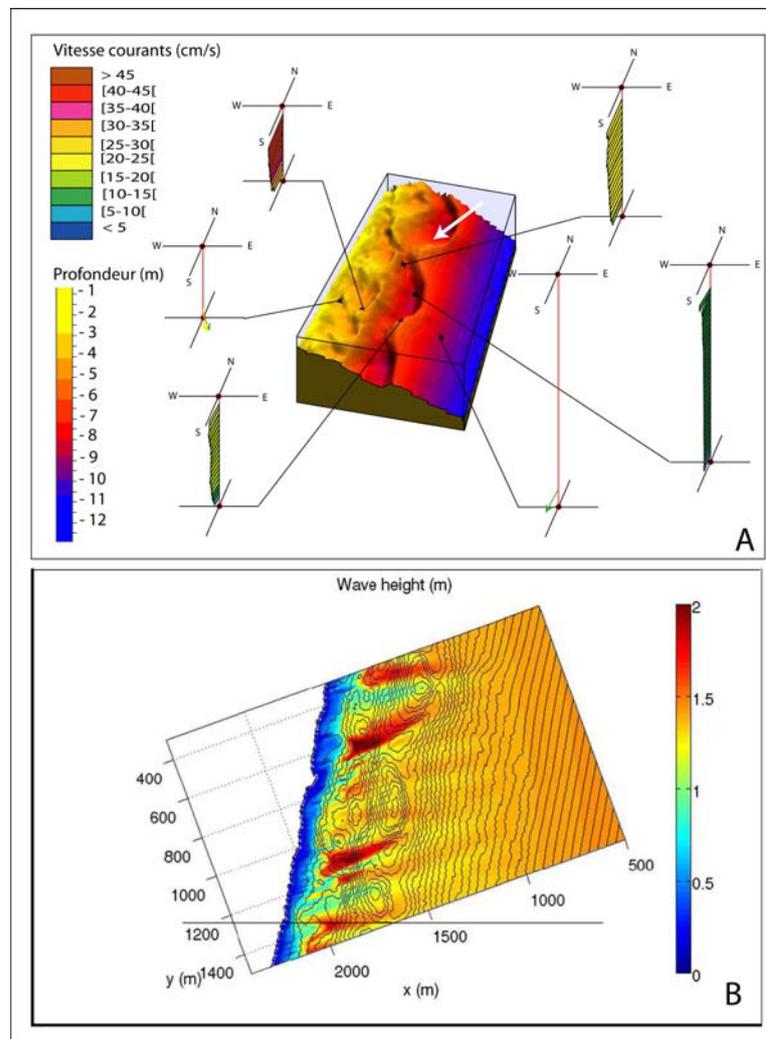


Figure 3 : Exemple de données recueillies et modélisées pour un coup de mer avec une houle de nord-est. A - Mesures in-situ. B - Modélisation de la houle avec SHORECIRC.

A partir des données enregistrées, l'analyse du spectre d'énergie a été réalisée.

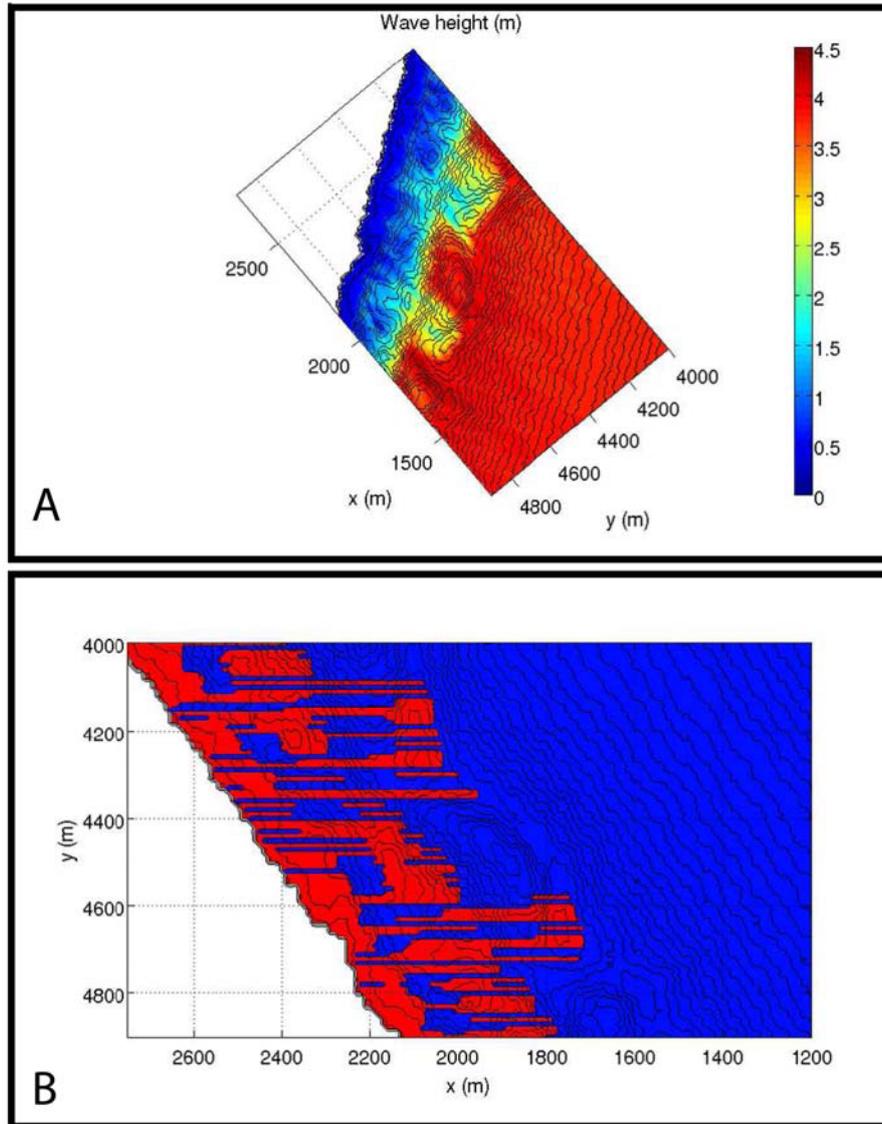


Figure 4 : Exemple de cartes pour une houle d'incidence  $35^\circ$ , une hauteur significative de 4m et une période de 8s. A - Carte de propagation de la houle. B - Carte de déferlement de la houle.

### 5. Interprétation.

Lors de cette campagne, la hauteur significative maximale de la houle, au niveau de la bouée DATAWELL a atteint 2,5m. Hors de cette campagne de mesure, elle est allée jusqu'à 3,5m. La comparaison carte à carte des cartes bathymétriques a montré que pour  $H_s = 3,5m$ , le système externe ne bouge pas.

Les cartes modélisées montrent que le déferlement sur le système externe se produit seulement à partir d'une hauteur significative égale à 4m correspondant ainsi à son seuil d'activation. De même, la comparaison carte à carte des données bathymétriques a montré que le système interne évolue avec une houle de hauteur significative proche de 1m. Ce seuil d'activation a pu être comparé aux données modélisées, et il est possible d'observer un déferlement sur le système interne dès cette hauteur significative ( $H_s = 1m$ ).

Les profils verticaux mesurés et modélisés montrent bien la présence de courants transversaux et longitudinaux liés aux conditions d'entrée du système. Une comparaison des schémas de circulation (voir figure 5) proposés par FROIDEFOND *et al.* (1990) avec les cartes obtenues par modélisation numérique montre par exemple que pour une faible incidence et une hauteur significative inférieure à 4m, l'eau est évacuée par les fosses. Dans le cas d'une augmentation de l'incidence de la houle, le schéma proposé correspond à celui modélisé numériquement avec un décalage de l'évacuation de l'eau vers les cornes.

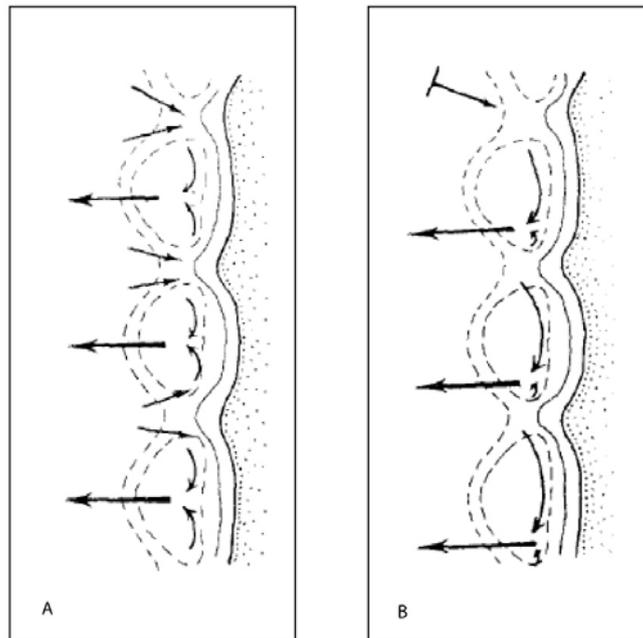


Figure 5 : circulation hydrodynamique au niveau d'une barre festonnée (FROIDEFOND *et al.*, 1990).

Grâce aux différentes cartes obtenues, on constate que la période de la houle a une incidence sur l'intensité des courants indépendamment de la hauteur de la houle à l'approche de la barre externe mais aussi sur le déferlement. Les cartes obtenues permettent d'être en accord avec les prévisions analytiques de HSU *et al.* (2006) concernant la hauteur significative et la période de la houle.

La comparaison des spectres d'énergie de la houle observée à l'entrée du système (bouée DATAWELL) et à la côte (ADV) montre un transfert d'énergie vers l'infragravité à la côte.

## **6. Discussion et conclusion.**

L'utilisation du modèle SHORECIRC présente certaines limites dans notre étude. Ces limites sont dues aux conditions limites d'utilisation de REF/DIF et/ou à la faible extension de la zone (environ 2km ici). Le modèle SHORECIRC nécessite une zone plus large pour prendre en compte le vent par exemple (environ 30km).

Malgré les approximations en terme de direction (quelques degrés), les observations de terrain sont en accord avec la modélisation. Les seuils d'activation des barres dépendent des conditions hydrodynamiques (hauteur significative). Pour la barre externe, il se situe aux alentours d'une hauteur significative de 4m modélisé. Concernant la barre interne, le seuil d'activation a pu être constaté sur les données bathymétriques, il se situe aux alentours d'une hauteur significative de 1m.

En terme de circulation hydrodynamique, les courants modélisés sont légèrement sous-estimés d'un point de vue intensité et dans la même direction que les courants observés dans la zone de shoaling. Concernant la zone de déferlement, le manque d'instruments de mesure ne permet pas de réaliser une comparaison entre la circulation hydrodynamique modélisée et celle observée.

Pour affiner l'utilisation de ce modèle en mer Méditerranée, une nouvelle campagne d'acquisition est en cours sur le site de l'Espiguette (golfe du Lion) afin de valider l'utilisation de ce modèle dans différentes conditions dans un système moins complexe.

## **7. Références bibliographiques.**

- 1 BOWEN, A.J., INMAN, D.L., 1971. *Edge waves and crescentic bars*, Journal of Geophysical Research, 76, 8662-8670.
- 2 BUJAN, N. Application d'un modèle de circulation côtière quasi tridimensionnel à la dynamique des plages du Languedoc-Roussillon. Thèse de doctorat en Géosciences marines, Université de Montpellier II, *en cours*.
- 3 CASTELLE B., BONNETON P., BUTEL R. (2006a) *Modeling of crescentic pattern development of nearshore bars: Aquitanian Coast, France*, Comptes Rendus Geosciences, 338, 795-801.

- 4 CASTELLE, B., BONNETON, P., SENECHAL, N., DUPUIS, H., BUTEL, R., MICHEL, D., 2006b. *Dynamics of wave-induced currents over a multiplebarred sandy beach on the Aquitanian Coast*, Continental Shelf Research, 26 (1), 113-131.
- 5 COCO, G.
- 6 FROIDEFOND, J.-M., GALLISSAIRES, J.-M., PRUD'HOMME, R., 1990. *Spatial variation in sinusoidal on a crescentic nearshore bar: application to the Cap Ferret Coast*. Journal of Coastal Research, 6, 927–942.
- 7 GARNIER, R., BONNETON, P., FALQUES, A., AND CALVETE, D., 2006. *Modélisation de la formation et de l'évolution non linéaires des barres en croissant de la côte Aquitaine*. IX<sup>èmes</sup> journées nationales Génie Côtier - Génie Civil. Brest, pp 205-212.
- 8 GARNIER, R., CALVETE, D., FALQUES, A., CABALLERIA, M., 2006. *Generation and nonlinear evolution of shore-oblique/transverse sand bars*. Journal of Fluid Mechanisms, 567, 327-360.
- 9 HSU, T.W., HSU J.R.C., WENG, W.K., WANG, S.K., OU, S.H., 2006. *Wave setup and set-down generated by obliquely incident waves*. Coastal Engineering, 53, 865-877.
- 10 SANCHO, F.E., 1997. *Unsteady Nearshore Currents on Longshore Varying Topographies*. PhD Thesis in Civil Engineering, University of Delaware, Newark, USA., 319 p.
- 11 SVENDSEN, I. A., HAAS, K., ZHAO, Q., 2004, "Quasi-3D Nearshore Circulation Model SHORECIRC: Version 2.0", Research Report, Center for Applied Coastal Research, University of Delaware, 65 p.
- 12 VAN DONGEREN, A.R., 1997. *Numerical modelling of quasi-3d nearshore hydrodynamics*. PhD thesis, University of Delaware, Newark, USA., p.
- 13 VAN DONGEREN, A.R., SANCHO, F.E., SVENDSEN, I.A., PUTREVU, U., 1994. SHORECIRC: a quasi 3-D nearshore model. In: Proc. 24th International Conference on Coastal Engineering, ASCE, Kobe, pp. 2740–2754.