



Caractérisation des profils de courants pendant des événements de tempête sur une plage à barre rectiligne en milieu microtidal

**Nicolas ROBIN¹, Raphaël CERTAIN¹, Cécile GODON¹, Nicolas ALEMAN¹,
Mathieu GERVAIS^{1,2}, Frédéric BOUCHETTE³, Samuel MEULE⁴,
Jean-Paul BARUSSEAU¹, Pierre FERRER¹,
Yann BALOUIN², Elena BRAMBILLA³**

1. IMAGES-Université de Perpignan Via-Domitia, 52 Av Paul Alduy, 66860 Perpignan, France.
nicolas.robin@univ-perp.fr
2. BRGM, Service Géologique Régional du Languedoc-Roussillon, 1039, rue de Pinville, 34000 Montpellier, France.
3. cc 51, Institut de Mathématique et de Modélisation, CNRS/Université Montpellier II, France.
4. CEREGE, Europole Méditerranéen de L'Arbois, 13545, Aix-En-Provence, France.

Résumé :

Une campagne de deux mois s'est déroulée durant l'hiver 2008-2009 sur la plage de Sète (Languedoc-Roussillon) afin d'améliorer la compréhension des processus hydrodynamiques qui contrôlent l'évolution des barres en milieu microtidal. Il s'avère qu'il existe un grand nombre de distributions des vitesses dans la colonne d'eau en relation avec le climat météo-marin. De plus, l'analyse fine de la courantologie pendant un événement de tempête indique de grandes différences entre le montant et le tombant. Ce nouveau jeu de données destiné à appréhender les processus sur l'ensemble de la colonne d'eau permettra d'affiner les modèles numériques 2DV et 3D existants.

Abstract:

A field campaign of two months took place during winter 2008-2009 in Sète (Languedoc-Roussillon) to improve the understanding of hydrodynamic processes that control the straight bars in microtidal environment. It turns out that there are a large number of configurations of current speeds in the whole of the water column in connection with the meteo-marine climate. Furthermore, the fine analysis during a storm event indicates a great difference between the rising and the falling. This new set of data is intended to improve the knowledge on hydrodynamic processes in the whole of water column and will allow refining the existing 2DV and 3D numerical models.

Keywords:

Hydrodynamique – Barres subtidales – Profil de courant – Courant moyen transversal et longitudinal – Microtidal

1. Introduction

Le littoral du golfe du Lion présente plusieurs types de morphologies sous-marines (BARUSSEAU & SAINT-GUILY, 1981 ; ROBIN *et al.*, 2010). La plage de Sète se caractérise par la présence d'un système à deux barres pseudo-rectilignes. La réponse de l'évolution du trait de côte sur les plages de ce type est complexe et à mettre en liaison avec la dynamique de ces corps sédimentaires (RUESSINK & KROON, 1994 ; RUESSINK & TERWINDT, 2000 ; VAN ENCKEVORT & RUESSINK, 2003). Leur rôle est double : elles vont permettre de canaliser les courants longitudinaux, mais elles vont également agir en atténuant l'énergie de la houle induisant une protection naturelle pour la partie haute de la plage (CERTAIN *et al.*, 2005).

Le travail présenté ici repose sur l'acquisition de données hydrodynamiques inédites, dans le cadre d'une campagne de mesures sur la plage de Sète (décembre 2008 - fin février 2009). Cette campagne a permis d'obtenir des informations précises sur la courantologie dans l'ensemble de la colonne d'eau pour des profondeurs inférieures à 5 m. Ce type de données est rare et est généralement relatif à des profondeurs plus importantes (BOURRIN *et al.*, 2008). Pourtant ces données verticales sont nécessaires à la compréhension fine de l'évolution du système afin de mieux paramétrer les modèles numériques 2DV et 3D de la morphodynamique côtière, notamment par une meilleure discrétisation des courants sur la verticale (SPIELMANN, 2002 ; SHI *et al.*, 2003 ; MEFTAH *et al.*, 2008).

L'objectif de ce travail est de décrire précisément l'évolution temporelle des paramètres du courant (intensité et direction) sur le revers de la barre interne lors d'événements météo-marins contrastés. Un épisode de tempête a été l'objet d'une attention particulière au vu de sa contribution majeure dans le forçage de la morphodynamique littorale.

2. Site d'étude

La zone d'étude se situe dans le sud de la France, en région Languedoc-Roussillon. Le lido reliant Sète à Marseillan présente une orientation de 45°N et sépare la lagune de Thau de la mer Méditerranée (figure 1A). Cette région est caractérisée par une amplitude de marée particulièrement faible, inférieure à 0,3 m en vive-eau moyenne. L'effet des phénomènes météorologiques (vents, pression atmosphérique, ...) peut cependant induire des variations plus importantes du plan d'eau avec une surcôte pouvant couramment atteindre 1 m au niveau du rivage (CERTAIN, 2002). Il existe deux régimes de vent dominants opposés : (1) le marin d'orientation Est à Sud-Est dépassant rarement les 20 m s⁻¹ ; (2) la tramontane d'orientation Ouest à Nord-Ouest avec une intensité pouvant atteindre fréquemment 40 m s⁻¹. La houle joue un rôle très important dans la morphodynamique de la plage de Sète (CERTAIN, 2002 ; GERVAIS *et al.*, 2010). Les hauteurs significatives mesurées au large de Sète par une bouée Datawell directionnelle à 30 m de profondeur (CETMEF) entre 1988 et 2001 sont inférieures à 0,8 m pendant 70% du temps. Leurs périodes sont généralement comprises

entre 3 et 4 s. Les hauteurs supérieures à 2 m représentent moins de 13% des observations réalisées. Dans 2% des cas, elles dépassent 4 m avec des périodes de 5 à 10 s.

Le site d'étude présente un système de deux barres sédimentaires relativement parallèles au trait de côte et séparées par des fosses de lévigation (figure 1B). La granulométrie des sédiments est comprise dans la classe des sables fins à moyens avec une diminution vers le large. La présence de barres sableuses vient cependant perturber cette évolution graduelle par une nature de sédiment plus grossière dans les fosses (CERTAIN *et al.*, 2005).

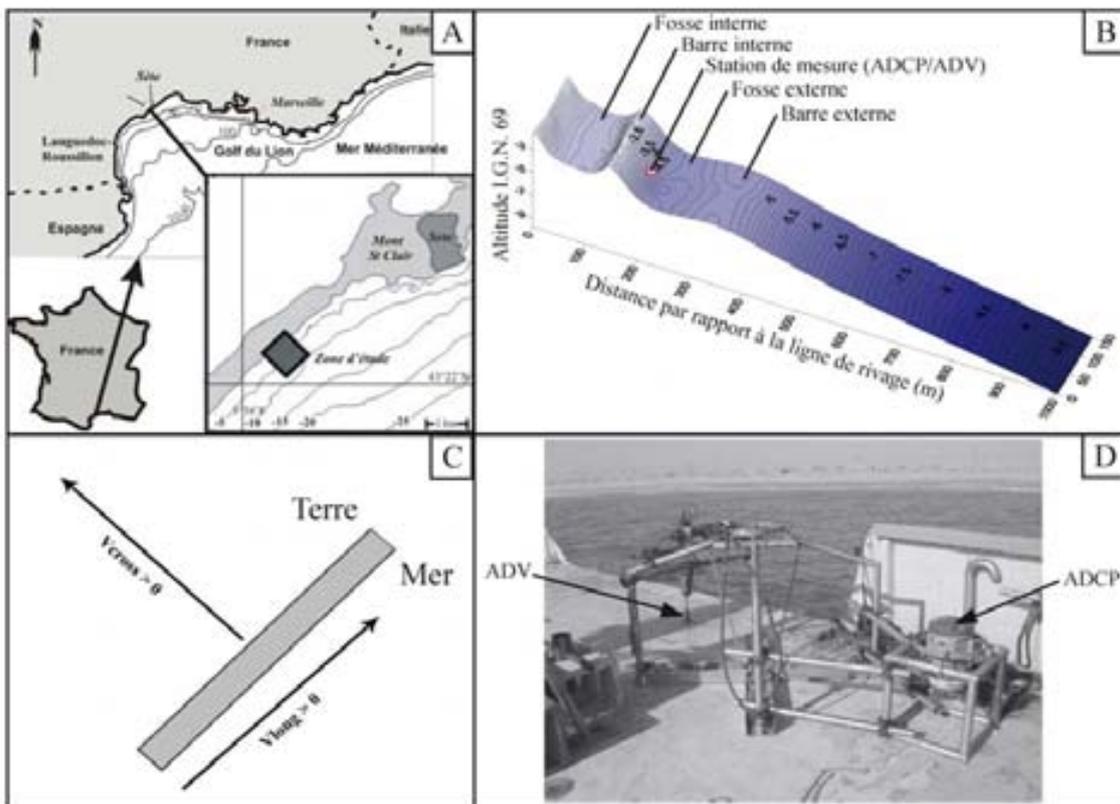


Figure 1. Localisation de la zone d'étude (A), modèle numérique de terrain de la plage de Sète montrant les morphologies et l'emplacement de la station de mesure (B), repère des vitesses de courant (C) et photographie de la station de mesure (D).

3. Méthodologie

Un parc instrumental comprenant plusieurs houlographes-courantomètres a été mis en place entre le 15 décembre 2008 et le 25 février 2009 selon un profil perpendiculaire au trait de côte. Les résultats sont présentés pour une station de mesure située sur le revers de la barre interne à 4,10 m de profondeur (figure 1B, 1D). Cette station possède l'originalité de pouvoir accueillir un courantomètre profileur à effet Doppler (ADCP) ainsi qu'un courantomètre traditionnel (ADV) positionné de telle façon qu'il mesure les

Thème 1 – Hydrodynamique côtière

caractéristiques du courant entre le fond et la première cellule de l'ADCP (GODON *et al.*, 2009). Ainsi, grâce à cette structure, il est possible d'obtenir un grand nombre de points de mesures dans l'ensemble de la colonne d'eau.

L'ADCP 600 kHz avec module de houle (RDI) permet l'acquisition de profils de courant sur toute la colonne d'eau suivant une taille de cellule de 15 cm. Sa fréquence d'acquisition est de 2 Hz avec des bursts d'une minute toutes les trois minutes pour les données de courant et de vingt minutes toutes les trois heures pour la houle. Les caractéristiques de la houle ont été obtenues par une analyse spectrale standard utilisant une transformée de Fourier. La fréquence de coupure utilisée est comprise entre 0,05 Hz et 0,3 Hz (domaine gravitaire). Afin d'avoir une donnée de courant plus proche du fond, l'ADV a été implanté sur la même structure et mesure à 0,15 m du fond. Il est sous le sable à partir du 01 février. Un changement de repère des données de vitesse est effectué afin d'obtenir la représentation d'un courant longitudinal parallèle à la côte (positif vers le nord-est) et un courant transversal (positif vers la côte, figure 1.C). La vitesse moyenne (burst de 1 minute prenant en compte l'action du vent, de la marée et de la houle) et la direction du courant est également présentée. Les conditions de vent ont été obtenues auprès de la station de Météo-France située dans le port de Sète.

4. Résultats

La campagne de mesures s'est déroulée entre le 15 décembre 2008 et le 25 février 2009. Nous avons choisi de présenter les résultats du point de mesure situé sur le revers de la barre interne pour trois événements météo-marins clés se déroulant annuellement sur la plage de Sète. Un ensemble de bursts de chaque événement sont détaillés.

4.1 Période de beau temps

Les conditions du 29 janvier 2009 à 17h53 sont caractéristiques d'une période de beau temps où la hauteur significative de la houle est inférieure à 0,3 m et la vitesse du vent proche de $1,5 \text{ m s}^{-1}$. Cette période se caractérise par des vitesses de courant moyen très faibles (inférieures à $0,1 \text{ m s}^{-1}$) dans l'ensemble de la tranche d'eau (figure 2C2). La direction du courant présente une variabilité importante ($\pm 115^\circ$) oscillant entre 5° N et 120° N (figure 2D2).

4.2 Période avec vent de terre

La période illustrant cet événement correspond à la dernière grosse tempête d'ouest qu'a subi le sud de la France, le 24 janvier 2009. Cet épisode fut moins fort sur la plage de Sète que dans le Sud du Golfe du Lion mais provoqua des vents de terre (direction 300° N , sensiblement perpendiculaire au trait de côte) d'une intensité proche de 19 m s^{-1} . Une légère houle de 0,5 m provenant du secteur 150° N est enregistrée simultanément sur le revers de la barre interne. Dans la colonne d'eau, la vitesse du courant moyen présente un cisaillement marqué de la partie supérieure (0 à 0,93 m de profondeur) et

des vitesses moyennes pouvant atteindre $0,5 \text{ m s}^{-1}$. Une intensité proche de $0,2 \text{ m s}^{-1}$ entre $0,93 \text{ m}$ de profondeur et le fond (figure 2C2) caractérise le niveau inférieur. Une légère diminution de celle-ci est constatée avec la profondeur, beaucoup plus marquée par la donnée de l'ADV située à $0,15 \text{ m}$ du fond ($0,1 \text{ m s}^{-1}$). La présence d'un courant moyen plus soutenu qu'en période de beau temps s'explique par une augmentation de la hauteur significative de la houle induisant une accentuation de l'intensité de la composante longitudinale (figure 2B2). L'action du vent se fait aussi ressentir graduellement dans la colonne d'eau suivant un pivotement dans le sens horaire de la direction des courants moyens et une augmentation de la vitesse des courants via la composante transversale (figure 2B2, 2C2 et 2D2). Il est intéressant de noter la dissymétrie de la composante transversale entre le fond (dirigé vers la côte, probablement lié à un courant de compensation (upwelling)) et la surface (vers le large sous l'action du vent et à l'opposé du sens de propagation de la houle).

4.3 Période de tempête

La tempête du 31 janvier au 03 février 2009 est choisie pour illustrer les caractéristiques de la courantologie pendant des événements de tempête (pic à $H_s=3,25 \text{ m}$ sur le glacis et $H_s=2,25 \text{ m}$ sur la barre interne, direction de $100-130^\circ \text{ N}$, figure 2A). Six périodes clés ont été sélectionnées suivant trois phases : le montant (3, 4, 5), le pic (6) et le tombant (7, 8, 9) de la tempête.

Pendant le montant de la tempête, les courants présentent les caractéristiques d'une période influencée par l'action du vent, à savoir : des vitesses moyennes inférieures à $0,2 \text{ m s}^{-1}$ et des directions très variables (figures 2C3, 2D3, 2C4, 2D4). Seul le premier mètre de la tranche d'eau est affecté par des vitesses plus intenses pouvant atteindre $0,4 \text{ m s}^{-1}$ (figure 2C4). Ces observations s'appliquent jusqu'à une hauteur significative de 2 m sur la barre interne. A partir de ce seuil, le profil de courant subit un changement marquant avec l'augmentation de l'intensité de la composante longitudinale de façon croissante avec la profondeur (excepté pour les données de l'ADV près du fond qui présentent une intensité moins importante, figure 2B5). La vitesse transversale reste faible (inférieure à $0,1 \text{ m s}^{-1}$) et ne semble pas influencée par la présence d'un courant de retour. Ce comportement induit un profil des courants moyens original avec des vitesses plus faibles à la surface et sur le fond (entre $0,2$ et $0,35 \text{ m s}^{-1}$), et un courant maximum au milieu de la tranche d'eau ($0,55 \text{ m s}^{-1}$, figure 2C5). Au cours du montant, la direction des courants s'uniformise de plus en plus dans l'ensemble de la colonne d'eau en relation avec l'augmentation de la hauteur significative de la houle.

Lors du pic de tempête ($H_s=2,25 \text{ m}$), l'intensité et la direction du courant est homogène dans l'ensemble de la colonne d'eau ($0,7 \text{ m s}^{-1}$ en moyenne, figures 2C6 et 2D6). La composante longitudinale est largement dominante ($0,8 \text{ m s}^{-1}$) et l'apparition d'un courant de retour ($0,18 \text{ m s}^{-1}$) est observable à partir de 1 m de profondeur jusqu'au fond sur la composante transversale (figure 2B6).

Thème 1 – Hydrodynamique côtière

Le tombant de la tempête se caractérise par la persistance d'une intensité plus forte des courants comparée à celle observée pour des hauteurs significatives identiques du montant. Les vitesses et les directions restent homogènes dans l'ensemble de la colonne d'eau jusqu'à des Hs de 1,5 m. La présence d'un courant de retour touchant l'ensemble de la tranche d'eau est observée mais est inférieure en intensité à la composante longitudinale (figures 2B7 et 2B8).

5. Discussion-Conclusion

L'analyse des données de courant montre des différences significatives entre les différents scénarii météo-marins s'appliquant sur le site de Sète et plus généralement sur des sites influencés alternativement par des épisodes de tempête marine (influence de la houle) ou terrestre (influence du vent de terre).

- 1) Les périodes de beau temps sans houle sont caractérisés par des vitesses de courant très faibles et des directions très hétérogènes dans l'ensemble de la colonne d'eau certainement très peu morphogènes ;
- 2) Les périodes avec un fort vent de terre présentent des vitesses fortes sur le premier mètre de la tranche d'eau avec une direction pouvant être opposée à celle de la houle si elle est présente. Par contre, en dessous de cette profondeur, les courants sont de beaucoup plus faible intensité avec une signature de la houle marquée ;

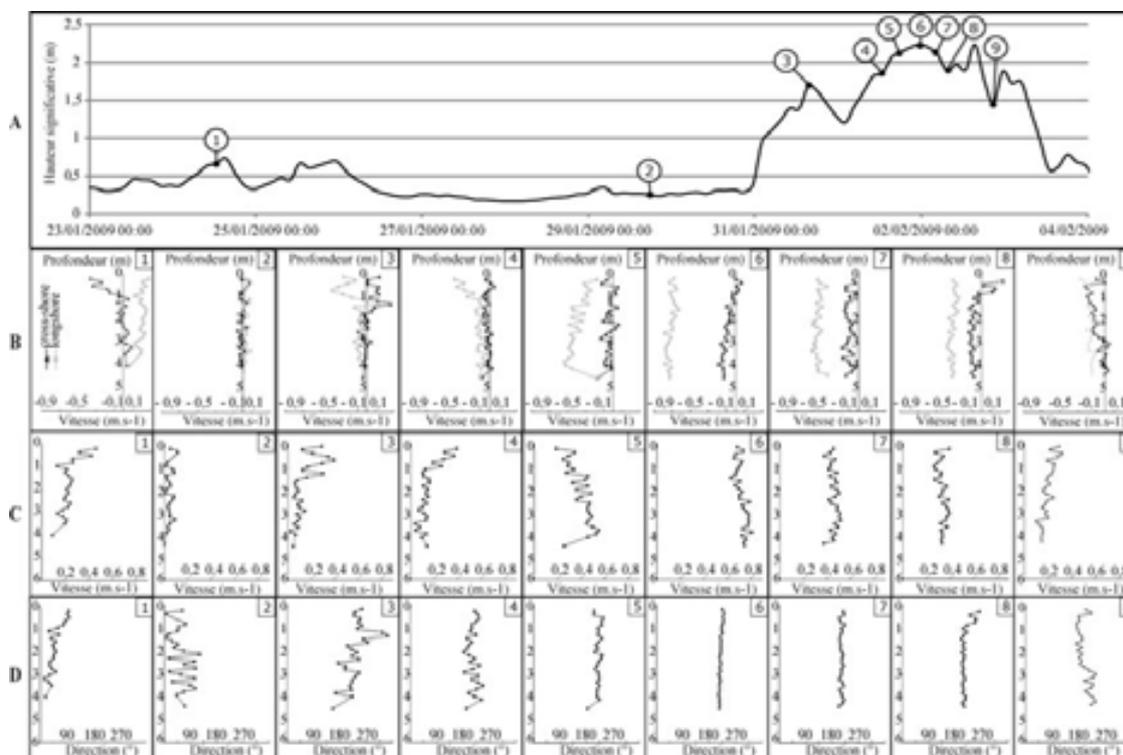


Figure 2. Hauteur significative de la houle pendant la campagne (A) ; intensité de la composante longitudinale (positif vers le nord-est) et transversale (positif vers la côte) (B) ; vitesse moyenne (C) et direction du courant (D).

3) Le pic de la période de tempête se caractérise par une homogénéité du profil des courants et de leur direction avec une influence principale du courant longitudinal. Ce constat confirme les observations de CERTAIN (2002) pour d'autres événements de tempête sur le même site.

La mise en place du courant de retour se déclenche à partir du pic de tempête et reste en place pendant le tombant jusqu'à des Hs proches de 1,5 m. Son action s'avère finalement limitée temporellement par rapport à la durée totale de la tempête. Le résultat le plus marquant de ce travail de mesure est qu'il existe un grand nombre de distributions des vitesses dans la colonne d'eau sur le revers de la barre sableuse en relation avec le climat météo-marin en place. Cette étude a permis également de montrer un découplage des processus de fond de ceux du reste de la colonne d'eau durant les périodes de beau temps et de moyenne énergie. Ce constat ne s'applique pas pendant les conditions de forte énergie mais pose néanmoins des questions méthodologiques sur l'identification du sens du transport sédimentaire (charriage et suspension) et de son intensité à partir d'un seul point de mesure pendant ces périodes dites « constructives » pour le haut de plage.

L'analyse fine de la courantologie pendant un événement de tempête permet de mettre en lumière une distinction significative entre le montant et le tombant. L'intensification du courant se produit à partir d'un seuil de Hs proche de 1.86 m pendant le montant. Lors du tombant, pendant un long laps de temps de 21h, les vitesses de courants restent élevées jusqu'à des Hs proches de 1,5 m. Au vu de ces résultats la délimitation d'un événement de tempête se pose. Ces observations apportent également des éléments importants dans la compréhension de la dynamique sédimentaire pendant ces périodes de tempête ainsi que des informations pour une meilleure discrétisation sur la verticale des modèles numériques 2DV et 3D pendant ces événements très morphogène pour le système (GERVAIS *et al.*, 2010). Toutefois, ces résultats devront être complétés par l'étude des autres points de mesures situés sur le profil instrumenté.

6. Remerciements

Cette étude est financée par le programme MICROLIT RELIEFS INSU/SHOM piloté par le SHOM et l'Université de Perpignan ainsi que l'ANR VULSACO piloté par le BRGM. La plateforme GLADYS (www.gladys-littoral.org) a mis à disposition son parc d'équipement. Patrick Barthe, les marins et l'équipe des plongeurs d'Helios Marine sont remerciés pour leur aide durant la campagne de terrain.

7. Références bibliographiques

BARUSSEAU J.P., SAINT-GUILY B. (1981). Disposition, caractères et mode de formation des barres d'avant-côte festonnées du littoral du Languedoc-Roussillon (France). *Ocea. Acta.*, 4, 3, pp 297-304.

Thème 1 – Hydrodynamique côtière

- BOURRIN F., DURRIEU DE MADRON X., HEUSSNER S., ESTOURNEL C. (2008). *Impact of winter dense water formation on shelf sediment erosion (evidence from the Gulf of Lions, NW Mediterranean)*. *Continental Shelf Research*, 28 (15), pp 1984-1999. doi:10.1016/j.csr.2008.06.006
- CERTAIN R. (2002). *Morphodynamique d'une côte sableuse microtidale à barres : Le Golfe du Lion (Languedoc-Roussillon)*. Thèse de l'Univ. de Perpignan, 209 p.
- CERTAIN R., MEULE S., REY V., PINAZO C. (2005). *Wave transformation on a microtidal barred beach (Sète, France)*. *Journal of Marine Systems*, 38, pp 19-34. doi:10.1016/j.jmarsys.2005.06.001
- GERVAIS M., BALOUIN Y., BELON R., CERTAIN R., ROBIN N., BERNE S. (2010). *Impacts des tempêtes sur la morphologie d'un littoral microtidal : le site du Lido de Sète à Marseillan, Golfe du Lion*. XIèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Les Sables d'Olonne, pp 263-274. doi:10.5150/jngcgc.2010.032-G
- GODON C., ROBIN N., ALEMAN N., GERVAIS M., CERTAIN R., MEULE S., BOUCHETTE F., BALOUIN Y., BRAMBILLA E. (2009). *Hydrodynamique d'une plage à barre rectiligne en milieu microtidal*. 12^{ème} Congrès des Sédimentologues Français (ASF), 25-31 octobre 2009, Rennes.
- MEFTAH K., OUAHSINE A., SMAOUT H., SERGENT P. (2008). *Etude numérique pour la formation et la migration de structures sous-marine : application à la plage de Rousty*. X^{èmes} JNGCGC, Sophia-Antipolis, pp 395-404. doi: 10.5150/jngcgc.2008.039-M
- ROBIN N., CERTAIN R., VANROYE C., BARUSSEAU JP., BOUCHETTE F. (2010). *Typologie des barres d'avant-côte du golfe du Lion et impact des ouvrages côtiers : apport de la technologie LIDAR*. XI^{èmes} Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Les Sables d'Olonne, pp 549-556. doi:10.5150/jngcgc.2010.064-R
- RUSSINK B.G., KROON A., (1994). *The behaviour of a multiple bar system in the nearshore zone of Terschelling, the Netherlands: 1965-1993*. *Marine Geology*, 121, pp 187-197. doi:10.1016/0025-3227(94)90030-2
- RUSSINK B.G., TERWINDT J.H.J. ((2000). *The behaviour of nearshore bars on the time scale of years: a conceptual model*. *Marine Geology*, 163(1-4), pp 289-302. doi:10.1016/S0025-3227(99)00094-8
- SHI F., SVENDSEN I.A., KIRBY J.T., SMITH J.M. (2003). *A curvilinear version of a Quasi-3D nearshore circulation model*. *Coastal Engineering*, 49 (1-2), pp 99-124. doi:10.1016/S0378-3839(03)00049-8
- SPIELMANN K. (2002). *Modélisation de la dynamique morphologique d'un profil de plage*. Thèse de l'Univ. de la Méditerranée, 270 p.
- VAN ENCKEVORT I.M.J., RUSSINK B.G. (2003). *Video observations of nearshore behaviour. Part 1 : alongshore uniform variability*. *Continental Shelf Research*, 23, pp 501-512. doi:10.1016/S0278-4343(02)00234-0