



## Modélisation hydro-sédimentaire du Raz Blanchard

Gaspard MINSTER<sup>1</sup>, Olivier BLANPAIN<sup>2</sup>, Stéphanie DESMARE<sup>2</sup>,  
France FLOC'H<sup>3</sup>, Amandine NICOLLE<sup>1,4</sup>, Benoît ZERR<sup>1,5</sup>

1. ENSTA-Bretagne, OSM, 2 rue François Verny, BP 92208, 29806 Brest cedex 9, France. [gaspard.minster@ensta-bretagne.fr](mailto:gaspard.minster@ensta-bretagne.fr) ; [amandine.nicolle@ensta-bretagne.fr](mailto:amandine.nicolle@ensta-bretagne.fr) ; [benoit.zerr@ensta-bretagne.fr](mailto:benoit.zerr@ensta-bretagne.fr)
2. Service hydrographique et océanographique de la marine, Département hydrodynamique côtière (HDC) – Courants, SHOM, 13, rue du Chatellier, CS92803, 29228 Brest Cedex 2, France.  
[stephanie.desmare@shom.fr](mailto:stephanie.desmare@shom.fr) ; [olivier.blanpain@shom.fr](mailto:olivier.blanpain@shom.fr)
3. Domaines Océaniques UMR 6538, IUEM, Place Nicolas Copernic, 29280 Plouzané, France. [france.floch@univ-brest.fr](mailto:france.floch@univ-brest.fr)
4. Station Biologique de Roscoff, Laboratoire Adaptation et Diversité en Milieu Marin (AD2M), UMR 7144, Place Georges Teissier, CS90074, 29688 Roscoff cedex, France.
5. Lab-STICC, UMR CNRS 6285, Brest, France.

### Résumé :

Dans le cadre du projet ANR EMR\_ITE PHYSIC (Processus Hydro-Sédimentaires en Interaction avec les Courants extrêmes), un modèle hydro-sédimentaire haute résolution du Raz Blanchard est développé à l'aide de TELEMAC. L'objectif de cette modélisation est de prendre en compte à la fois les processus micro-échelles tels que la saltation des galets et les conditions hydro-sédimentaires de la zone d'étude.

Le modèle sera confronté aux observations collectées pendant les campagnes prévues pour le projet afin de le valider. Sachant que le Raz Blanchard est une zone à très forts courants où l'instrumentation se fait difficilement, la validation et la paramétrisation du modèle pour les courants s'appuiera également sur les données de la base de données courant du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) disponibles sur la zone.

**Mots-clés :** Modélisation hydro-sédimentaire, TELEMAC, Raz Blanchard, Courants.

### 1. Introduction

Dans le cadre de l'AMI Fermes Pilotes de l'ADEME, le déploiement des premières hydroliennes est prévu dans le Raz Blanchard en 2017. Le Raz Blanchard a été choisi car c'est un site à forte hydrocinétique. C'est une zone de courants extrêmes (voir figure 1) caractérisée par un fort transport sédimentaire qui est difficilement mesurable. Connaître parfaitement ce transport sédimentaire est une nécessité avant l'installation d'un champ d'hydroliennes.

## Thème 2 – Dynamique sédimentaire

La couverture sédimentaire aux abords du passage du Fromveur et du Raz Blanchard est caractérisée par une granulométrie grossière et étendue. Les différentes tailles de particules impliquent un arrangement particulier du lit sédimentaire (pavage, variation de la porosité et de la rugosité) et un comportement hydraulique particulier (entrave, masquage, exposition). Or la connaissance de la dynamique de tels sédiments soumis aux forts courants de marée et à la houle est extrêmement pauvre. En effet, la dynamique de faciès sédimentaires complexes (grossiers hétérométriques) a généralement fait l'objet de recherches basées principalement sur des études en canal pour des applications en domaine fluvial.

La littérature concernant les formules qui prédisent les flux et la composition du transport solide est très fournie. Toutes ces approches nécessitent une calibration de certains de leurs paramètres. Ces différentes formulations sont valables sous différentes conditions de forçages hydrodynamiques.

La conception d'un modèle numérique représentatif passe par :

- la connaissance des caractéristiques du lit sédimentaire (granulométrie, forme des grains, porosité, structure verticale, rugosité) ;
- l'identification et la caractérisation des processus physiques déterminants dans ces faciès ;
- la calibration et la validation des formulations choisies en les confrontant à la réalité du milieu.

Si le premier point est de l'ordre de la caractérisation statique de la zone, le deuxième doit se baser sur une observation des mécanismes du mouvement. Cette démarche a été réalisée au sud du Raz Blanchard par BLANPAIN (2009). Il fait ressortir deux points à prendre en compte lors du calcul du transport sédimentaire de particules grossières soumises à un forçage important : l'incapacité de la formulation de mise en mouvement de Shields à reproduire les observations in-situ dans des conditions hydro-sédimentaires extrêmes et une dynamique par bouffée où les particules vont se mettre en mouvement de saltation. Dans des conditions hydro-sédimentaires similaires, WILLIAMS (1990) a observé que 60% de la charge totale se déplace pendant ces évènements qui ne durent que 24% du temps.

L'objectif de cette étude est de développer un modèle 3D hydro-sédimentaire régional du raz Blanchard qui couvrira les conditions hydro-sédimentaires réelles de la zone d'étude et sera nourri des observations *in situ* et des simulations micro échelles. Les questions scientifiques traitées ici seront : la modélisation de la trajectoire de sédiments grossiers dans un fluide lourd, la quantification du débit solide à différentes profondeurs, l'interprétation de ces résultats au niveau macro-échelle et leur intégration dans un modèle régional. Les verrous auxquels nous proposons de nous attaquer sont : (i) la prise en compte des efforts visqueux et inertiels dus au fluide sur le sédiment grossier de forme non-sphérique et leur impact sur la mobilisation et la saltation du sédiment, (ii) la modélisation des chocs inter-particules, (iii) enfin le changement

d'échelle, qui est un problème rencontré dans de nombreuses disciplines de la physique et qui sera ici primordial pour améliorer la modélisation hydro-sédimentaire 3D sur une zone de quelques kilomètres de côté.

Dans un premier temps, le modèle de saltation qui sera adapté à notre environnement est présenté. Dans un second temps, les étapes conduisant à la modélisation régionale sont décrites.

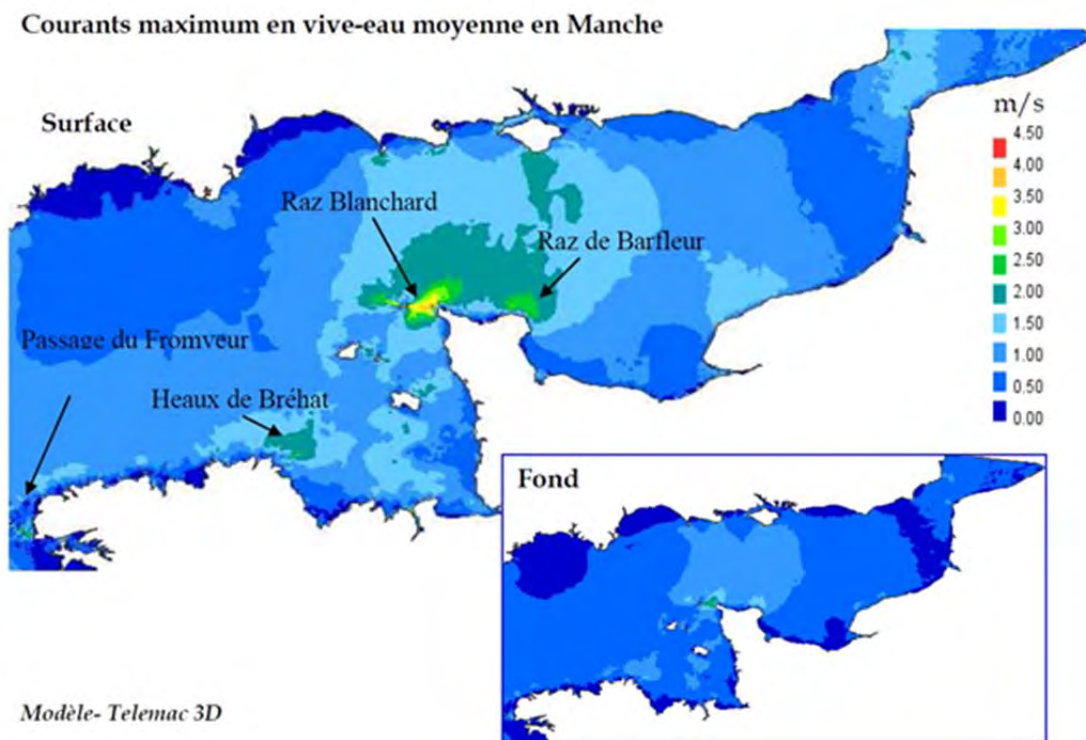


Figure 1. Carte des vitesses max établie grâce aux modèles de courants de marée 3D du SHOM.

## 2. Méthodologie envisagée

### 2.1 Modélisation semi-analytique de trajectoires complexes en milieu fluide

De la même manière que le charriage, le mode de transport par saltation s'effectue dans des conditions particulières d'écoulement. Dans notre cas, on souhaite modéliser la saltation de particule grossière dans un environnement extrême. La majorité des articles concernant la saltation considère un milieu éolien où la densité du fluide est négligeable par rapport à celle de la particule. Dans un fluide lourd tel que l'eau de mer, où la densité relative au solide est proche de l'unité, les forces de masses ajoutées (inertielles) ne sont plus négligeables. De plus, les particules considérées sont en général fines et sphériques. Or, le site d'étude du Raz Blanchard présente plutôt des sédiments grossiers

## Thème 2 – Dynamique sédimentaire

type galet (10 cm de diamètre), dans des conditions d'écoulement extrêmes (12 noeuds de courant tidal).

Le modèle en cours d'adaptation dans le cadre de ces travaux est détaillé par BERZI *et al.* (2016) et JENKINS et VALANCE (2014). Ce modèle se base sur la recherche de trajectoire de rebond périodique d'une particule (figure 2). Un flux de particules de diamètre identique est considéré dans le calcul de contraintes et de rétroaction sur l'écoulement. L'écoulement initial suit un profil de couche limite laminaire (suivant un modèle de longueur de mélange de Prandtl). Ce modèle consiste en un problème aux valeurs limites, résolu sous forme de différences finies. La particule est suivie dans son mouvement, les équations sont paramétriques en exprimant le temps en fonction de la vitesse verticale et de la position verticale de la particule. La dissipation d'énergie dans le fluide au niveau du choc est prise en compte, sa formulation étant basée sur des données expérimentales (BELADJINE *et al.*, 2007).

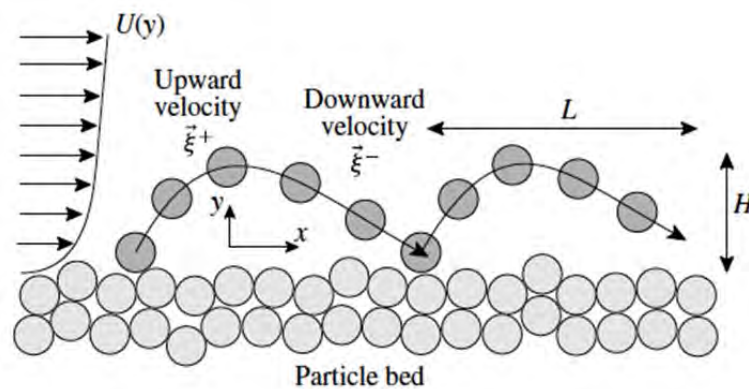


Figure 2. Adaptation du modèle de saltation périodique dans l'air à un fluide lourd (BERZI *et al.*, 2016).

Les données d'entrée sont le nombre de Reynolds et le nombre de Shields, ou en dimensionnel le diamètre de la particule et la vitesse à l'infinie de l'écoulement dans la colonne d'eau. Les constantes inconnues du problème à ajuster pendant l'étape de résolution sont la hauteur de la trajectoire, la longueur de la trajectoire, l'angle de rebond et la vitesse à l'impact. Les variables inconnues du problème sont la vitesse de l'écoulement, la vitesse verticale de la particule et sa vitesse horizontale, sa position verticale et sa position horizontale. Afin de forcer la solution aux limites de la trajectoire (vitesse nulle en  $y = H$ , et autre condition relative à l'angle et à l'énergie dissipée au sol), la résolution des équations concernant les vitesses durant la phase de montée dans la colonne d'eau se fait séparément de la résolution pour la phase de descente. Ce modèle permet d'obtenir les conditions en terme de Shields et de Reynolds nécessaires à la mise en place d'un régime de saltation. Il permet également de définir la taille de particule susceptible d'être présente à une certaine hauteur dans la colonne

d'eau. Selon les conditions de flux en entrée, en lien avec les mesures in situ réalisées sur la zone, il sera possible de fournir une estimation du flux de particule solide par saltation par classes de taille et par hauteur (proportionnel au temps passé par chaque particule à une certaine hauteur).

Des adaptations pourront être apportées à ce modèle afin de prendre en compte par exemple la forme, les efforts de portance, de masse ajoutée et d'inertie, un profil de vitesse comprenant un modèle de turbulence différent... Le fond rocheux du Raz-Blanchard serait assez rugueux voire même chaotique par endroit avec des structures complexes, des blocs de granite se chevauchant, etc... Il serait intéressant de voir l'impact de la rugosité du fond sur la trajectoire des particules. L'impact d'un fond rugueux est à prendre en compte au niveau de la transmission de quantité de mouvement au moment du choc. Il sera intéressant d'estimer dans notre cas l'importance relative de ce phénomène. La déformation du fond pourrait être également prise en compte mais se posera alors la question de la périodicité de la trajectoire si la longueur de rugosité devient trop importante par rapport à la taille des particules.

## 2.2 Calcul des paramètres hydrodynamiques des sédiments grossiers

En suivant l'exemple des travaux réalisés en architecture navale au bassin d'essai des carènes (DGA) sur des petits engins autonomes de formes variées, les paramètres de masse ajoutée (inertiels) et de coefficients de frottement (visqueux) des différents types de sédiments grossiers présents sur la zone d'étude seront calculés à partir de simulations basées sur les équations Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS). A l'inverse des formes simples telles que les sphères, qui sont largement documentées dans la littérature, les formes quelconques nécessitent des essais en bassins (extrêmement coûteux) ou des essais numériques via un modèle RANS. La modélisation des processus micro-échelles, rendue possible grâce à la maturation des codes de calcul basés sur des équations RANS (FLOC'H *et al.*, 2008 ; FLOC'H, 2011 ; FLOC'H *et al.*, 2015), permet aujourd'hui de mieux appréhender les facteurs gouvernant la dynamique d'un mélange de particules grossières.

## 2.3 Comparaison du modèle micro-échelle aux formulations paramétrées usuelles

Le débit solide résultant à chaque hauteur via le modèle précédent sera comparé avec les formulations empiriques existantes les plus pertinentes (BLANPAIN, 2009 ; HOUSSAIS, 2013). Il s'agira de réaliser des calculs simples de type cas test pour plusieurs débits solides et profils de vitesse incidents avec les deux types de modélisation.

Les différences observées entre les deux types de méthodes seront quantifiées et mises en relation avec les limites des modèles et les processus pris en compte (notamment, la portance des particules et les chocs inter-particules pris en compte dans le nouveau

## Thème 2 – Dynamique sédimentaire

modèle et peu ou pas dans les formulations empiriques couramment utilisés dans des milieux énergétiques modérés).

De nouvelles possibilités de paramétrisation seront proposées et comparées à l'étude micro-échelles. La paramétrisation la plus satisfaisante sera implémentée dans un modèle hydro-sédimentaire régional haute-résolution. Le modèle TELEMAC est déjà maîtrisé par les partenaires de l'étude et dispose d'une configuration 2D validée hydrodynamiquement (voir figure 3) sur la zone d'étude (THIEBOT *et al.*, 2015 ; NICOLLE *et al.*, 2009).

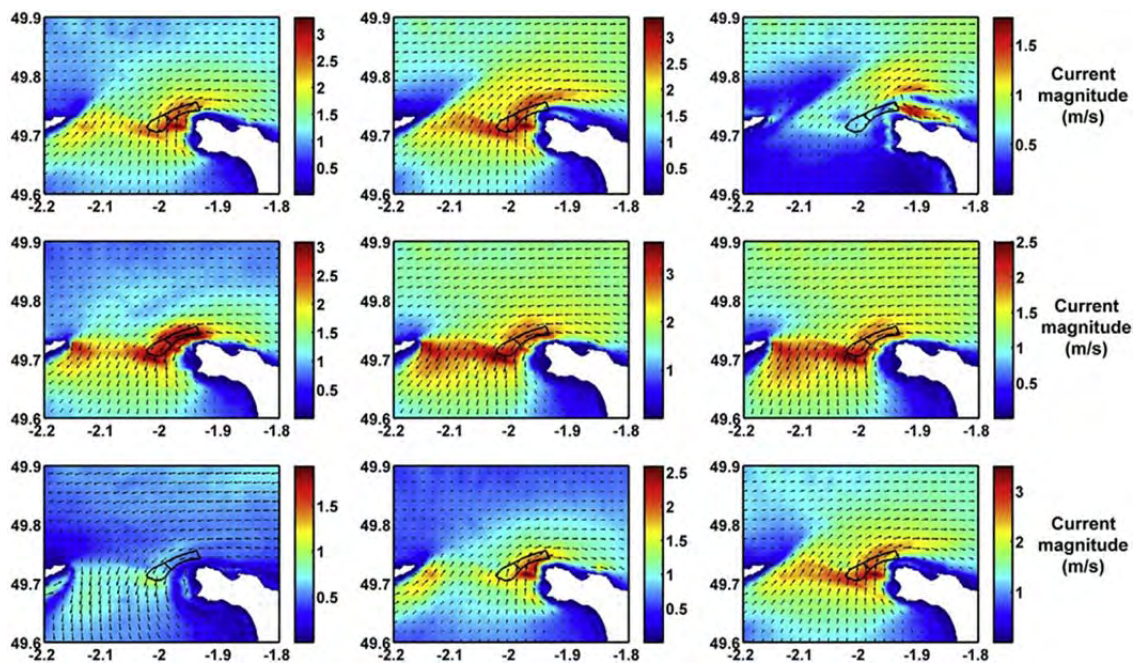


Figure 3. Vitesses des courants de marée barotrope pour une marée moyenne, de gauche à droite des figures pour la Pleine Mer, Pleine Mer + 1/8 de la durée de la marée, Pleine Mer + 2/8 de la durée de la marée (THIEBOT *et al.*, 2015).

### 2.4 Validation

Un protocole expérimental est actuellement en cours de conception dans le canal de l'IPR (Institut de Physique de Rennes) pour valider le modèle de (BERZI *et al.*, 2016) adapté à notre site d'étude. Les données acquises dans le cadre de la campagne en mer prévue par l'ANR permettront de valider le modèle semi-analytique micro-échelle ainsi que la nouvelle paramétrisation du transport sédimentaire. Les données de la base de données de courant du SHOM (voir figure 4) permettront quant à elles de valider la configuration 3D TELEMAC du Raz Blanchard sur tout le domaine modélisé.

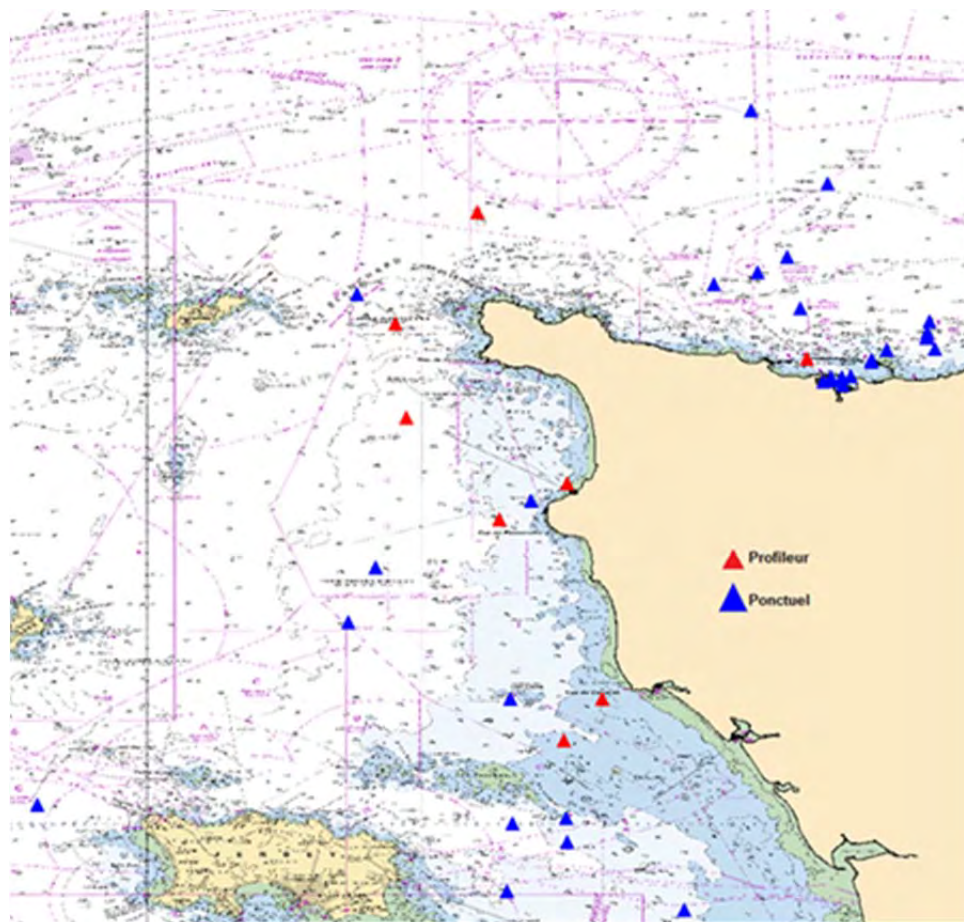


Figure 4. Données de courants de la base de données du SHOM disponibles sur la zone d'étude.

### 3. Conclusion

Ce poster synthétise les différentes étapes qui vont être réalisées afin d'améliorer la quantification du débit solide dans des conditions extrêmes d'écoulement. Les premiers résultats en terme de trajectoires périodiques de saltation de sédiments grossiers seront présentés. Ce travail permettra dans un premier temps de définir à l'échelle d'une hydrolienne la quantité de sédiments présents à chaque altitude selon sa taille caractéristique. Dans un second temps, le modèle régional TELEMAC pourra être adapté à de telles conditions et ses résultats exploités pour le transfert de sédiments à travers la Manche. Le changement d'échelle est un point délicat à traiter. Il est difficile d'estimer à quel point la paramétrisation des processus micro-échelles va apporter une amélioration aux formulations actuelles. Le processus le plus complexe à intégrer est sans ambiguïté les chocs inter-particules, il faudra définir l'importance relative de ce processus dans la concentration de particule en saltation.

## Thème 2 – Dynamique sédimentaire

Enfin, la validation du transport sédimentaire à partir des mesures *in situ* dépend de la réussite des campagnes de mesures prévues dans ce projet. Ceci représente le principal risque du projet mais en fait également son originalité.

### 4. Références

- BERZI D., JENKINS J.T., VALANCE A. (2016). *Periodic saltation over hydrodynamically rough beds: aeolian to aquatic*. Journal of Fluid Mechanics, Vol. 786 pp 190-209. <http://dx.doi.org/10.1017/jfm.2015.601>
- BLANPAIN O. (2009). *Dynamique sédimentaire multiclasse: de l'étude des processus à la modélisation en Manche*. Thèse de Doctorat, Université de Rouen.
- BELADJINE D., AMMI M., OGER L., VALANCE A. (2007). *Collision process between an incident bead and a three-dimensional granular packing*. Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics, Vol. 75(6), pp 1–12. <http://dx.doi.org/10.1103/physreve.75.061305>
- FLOC'H F. (2011). *Prédiction de trajectoires d'objets immergés par couplage faible entre modèles d'écoulement et équations d'Euler-Newton*. Thèse, UBO.
- FLOC'H F., LAURENS J.M., KERAMPRAN S., LEROUX J.B. (2008). *Trajectory prediction by coupling Euler-Newton equations and flow models*. 11th Numerical Towing Tank Symposium, Sept. 7-9, Landéda, France.
- FLOC'H F., KERAMPRAN S., LEROUX J.B., LAURENS J-M. (2015). *2D free motions observation in a bidimensional hydrodynamic tunnel*. Flow Measurement and Instrumentation, Vol. 45, pp 18-27.
- HOUSSAIS M. (2013). *Étude expérimentale du transport en rivière par charriage d'un sédiment bimodal : vers un modèle général du transport à plusieurs tailles de grains*, Thèse de Doctorat, Université Paris VII.
- JENKINS J.T., VALANCE A. (2014). *Periodic trajectories in aeolian sand transport*. Physics of Fluids, Vol. 26(7), Article 073301. <http://dx.doi.org/10.1063/1.4885576>
- NICOLLE A., KARPYTCHEV M., BENOÎT M. (2009). *Amplification of the storm surges in shallow waters of the Pertuis Charentais (Bay of Biscay, France)*. Ocean Dynamics, Vol. 59(6), pp 921-935. <http://dx.doi.org/10.1007/s10236-009-0219-0>
- THIEBOT J, BAILLY DU BOIS P., GUILLOU S. (2015). *Numerical modeling of the effect of tidal stream turbines on the hydrodynamics and the sediment transport*. Application to the Alderney Race (Raz Blanchard), France, Renewable Energy, Vol. 75, pp 356-365. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.021>
- WILLIAMS J.J. (1990). *Video observations of marine gravel transport*. Geo-Marine Letters, Vol. 10, pp 157–164. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02085931>