

Caractérisation de la turbulence d'un site hydrolien : vers l'effet de la morphologie du fond sur la turbulence dans le Raz Blanchard.

S. GUILLOU^a, R. DUART^b, J. THIEBOT^a, G. GERMAIN^c, N. CHAPLAIN^d, M. IKHENNICHEU^c, A. BOURGOIN^{a,e}, Ph. MERCIER^a, J.F. FILIPOT^b, B. GAURIER^c, R. ATA^e, J. LAVERNE^e, S. BENHAMADOUCHE^e, A. PIETERSE^b, C. MAISONDIEU^c, E. POIZOT^a, J.C. POIRIER^f, C. AUVRAY^g, E. DRONIOU^h, V. ARRAMOUNETⁱ, M. THIEBAUT^b, G. PINON^j

- a. Laboratoire Universitaire des Sciences Appliquées de Cherbourg, UNICAEN, 60 rue Max-Pol Fouchet 50130 Cherbourg-en-Cotentin France, sylvain.guillou@unicaen.fr
- b. France Energies Marines, 15 rue Johannes Kepler, 29200 Brest
- c. IFREMER, 29280 Plouzané, France
- d. IXSurvey, 46 Quai François Mitterrand, 13600 La Ciotat
- e. EDF-LNHE, 6 quai Watier, 78401 Chatou, cedex
- f. SIRENHA, Technocampus Océan, 5 rue de l'Halbrane, 44340, Bouguanias
- g. Naval Energies, 180 rue de Kerlaurent 29490 Guipavas
- h. Dynamocean, 57 rue de Metz, 56000 Vannes
- i. Innosea, 1 rue de la Noë CS 12102 44321 Nantes CEDEX 03
- j. LOMC, UMR 6294, 53, Rue Prony, BP540 - F76058 Le Havre

Résumé :

Les zones d'intérêt pour le placement des hydroturbines marines sont à forts courants et un haut niveau de turbulence. Le but du projet THYMOTE est de caractériser cette turbulence dans ces zones et de mieux comprendre la génération de tourbillon pouvant aller jusqu'à plusieurs dizaines de mètres. La méthodologie employée, basée sur des mesures en bassin, de la simulation haute résolution et des mesures in situ, montre clairement les effets de la morphologie du fond.

Abstract:

Areas of interest for the placement of tidal turbines are in strong currents of high turbulence level. The goal of the THYMOTE project is to characterize this turbulence in these areas and to understand better the generation of vortex that can go up to tens of meters. The methodology, based on measurements in basin, the high-resolution simulations and on the measures in situ, shows clearly the effects of the morphology of the bottom on the flow.

Mots clefs : Energies Marines Renouvelable, Turbulence, Ecoulements

1 Introduction

Les turbines hydroliennes marines seront installées dans des zones à forts courants. La turbulence dans ces sites est généralement élevée. On note de plus l'apparition de grandes structures tourbillonnaire qui viennent éclore en surface, témoignant de l'activité turbulente sous-marine. Les effets des tourbillons sur les turbines ne sont pas les mêmes en fonction de leur longueur caractéristique [1]. Il est admis que la conjonction de forts courants et une morphologie complexe favorise un niveau élevé de turbulence. Dans une partie du Raz Blanchard, le fond marin est constitué de roches et affleurements rocheux tandis que dans une autre partie, il est constitué de galets et de roches formant des corps dunaires. Le rapport des irrégularités de fond à la profondeur est de 0,02 à 0,15. Les effets de ce genre de fond sur l'écoulement et la turbulence dans ce type de zone reste encore à mieux connaître. C'est le but du projet ANR ITE/FEM THYMOTE (2016-2019) avec comme finalité de mieux cerner les impacts potentiels sur les hydroliennes. Ainsi, cette communication a pour vocation à présenter la démarche et des premiers éléments de résultats du projet.

2 Matériels et Méthodes

La démarche adoptée consiste à utiliser trois principales approches, les mesures in situ [2], les expériences en canal [3] et des simulations numériques à haute résolution [4,5], afin de mettre en lumière les phénomènes de génération de la turbulence sur le fond et l'évolution des structures tourbillonnaires le long de la colonne d'eau. Le site d'étude retenu est le Raz Blanchard, situé dans la manche entre le Cap de la Hague (Cotentin) et l'île d'Aurigny (Fig. 1) dans une zone relativement peu profonde (30 à 70 m). C'est le site retenu également pour l'implantation de fermes pilotes. La bathymétrie (Fig. 1) fait apparaître une zone nord avec des dunes de galets de 0,1 à 1 m de diamètre, et une zone sud rocheuse, avec des failles d'un à deux mètres de profondeur.

Deux appareils de mesure ADCP (Acoustic Doppler Currentmeter Profiler) ont été déployés dans la zone d'étude avec comme objectif d'acquérir des données de vitesses et de variance de la vitesse à plusieurs hauteurs dans la colonne d'eau. Les appareils de mesure ADCP utilisés sont de type Teledyne RDI Workhorse Sentinel 600kHz. Chaque appareil est muni de 4 faisceaux qui permettent de calculer la vitesse au centre du faisceau. Le couplage du deuxième appareil permet de remonter aux composantes du tenseur de Reynolds et donc d'enrichir la caractérisation de la turbulence dans la colonne d'eau. La cage (Fig. 2a) a été déposée du 25 septembre au 4 novembre 2017 à la position de coordonnées GPS 49°42,8026' N 2°0,1929' W par une profondeur de 28 m.

Les expérimentations en bassin ont été réalisées dans le bassin à courant d'IFREMER à Boulogne/mer. Une description du dispositif est réalisée en [3, 10]. Le canal a une largeur de 4 m et une profondeur de 2 m. Un obstacle de 25 cm représentatif de la morphologie du fond (5 m) a été installé dans le canal sous un écoulement de 1 m/s correspondant à un nombre de Froude de 0,23, et à un nombre de Reynolds de $2,5 \cdot 10^5$. Les mesures de vitesse ont été réalisées avec la Vélocimétrie par Image de Particules et la Vélocimétrie par Laser Doppler. Deux taux de turbulence (1,5 et 15%) et deux types d'objet (cube et cylindre à base carrée) ont été considérés.

Les simulations locales sont réalisées avec un code basé sur la méthode de Boltzmann sur réseau (LBM) associé à la Simulation des Grandes Echelles (LES) [4,8]. Une première configuration a été mise en place sur la base des expérimentations en canaux réalisées dans le cadre du projet. Ces simulations ont permis de valider l'outil numérique. Une deuxième configuration concerne une portion du Raz Blanchard sur une période de 10 mn dans la zone rocheuse (Fig. 2b). La taille de maille est de 0,5 m.

Parallèlement, le code de calcul d'écoulements environnementaux TELEMAC 3D a été modifié pour réaliser des Simulations aux Grandes Echelles sur une portion du Raz Blanchard. Celui-ci a été confronté aux résultats expérimentaux de la littérature [5] (écoulement au-dessus de dunes) avant d'être appliqué, avec une technique d'emboîtement, en mode LES sur une zone de 9 km² [7,9] (fig. 2a). La taille des mailles horizontales dans cette zone est de 10 m.

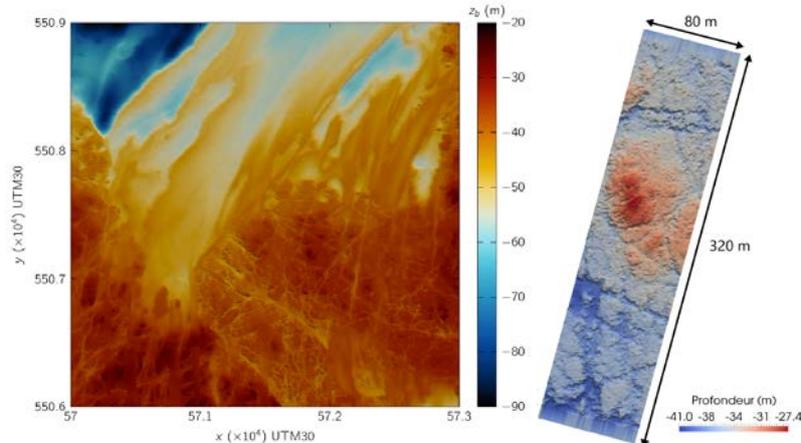


Fig. 1. Morphologie du Raz Blanchard dans la zone prévue pour l'installation des fermes pilotes (données issues du SHOM) : a) La zone de 3 km de côté est celle utilisée par le modèle TELEMAC en mode LES, b) la zone de 320 m x 80 m est celle utilisée dans les simulations locales LBM-LES.



Fig. 2. a) Dispositif de mesures des courants et de la turbulence par ADCP couplés durant la phase de pose dans le Raz Blanchard, b) représentation canonique du fond dans le canal à courant de IFREMER.

3 Résultats et discussion

Les expérimentations en canal ont permis de mettre en évidence la génération des tourbillons par des structures allongées (cylindre à base carrée) et leur éclosion à la surface libre (Fig. 3a). Les simulations locales avec le code LBM-LES corroborent la présence de tourbillons de grande taille à l'aval de l'obstacle (Fig. 3b) et montrent la formation tridimensionnelle des tourbillons sur l'arrête amont de l'obstacle [8].

Les mesures in situ ont permis de renforcer la connaissance de la turbulence par l'établissement de l'énergie cinétique de la turbulence ainsi que de cinq composantes du tenseur de Reynolds sur un profil à la verticale du dispositif (Fig. 4). De plus, elles sont la référence pour les modèles numériques du Raz Blanchard mis au point (Fig. 4).

Les simulations régionales (TELEMAC-LES) avec une stratégie d'emboîtement ont été comparées avec les mesures in situ (Fig. 4)[9]. Les ordres de grandeur sont retrouvés. Ces simulations permettent d'appréhender la dimension spatiale horizontale non accessible par la mesure. Ainsi, ils mettent en

évidence les zones de production de la turbulence sur le platier rocheux (zone Sud) et au niveau des corps dunaires du Nord (voir Fig. 1a). Malgré la dimension de la taille de mail, la création de tourbillons en épingle à cheveux est observée dans la zone dunaire du Nord-Est (Fig. 5a) qui se détachent du fond pour remonter.

Les simulations locales ont été réalisées dans une zone rocheuse du Raz Blanchard autour de la position de l'ADCP (Fig. 1b) en conditions d'un courant de flot (Sud-Nord) sur une période de 10 minutes. La comparaison avec les profils de vitesse et des tensions de Reynolds ont un ordre de grandeur cohérent. Des structures tourbillonnaires apparaissent comme étant clairement générées par la morphologie le fond. Ainsi, la figure 5b montre la génération de tourbillons sur un éperon rocheux. Ceux-ci résultent du détachement d'un tourbillon allongé qui se déforme en tourbillons en épingle à cheveux. Ils finiront par remonter vers la surface. Ceci est à mettre en relation avec les expérimentation/simulation en bassin (Fig. 3).

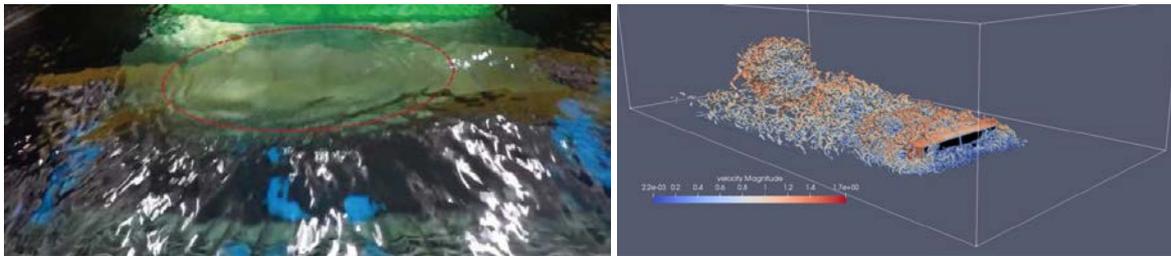


Fig. 3. a) Photo de l'éclosion d'un tourbillon généré par la structure sur le fond, b) iso contours de Λ_2 issus des simulations numériques locales LBM-LES au-dessus du cylindre à base carrée.

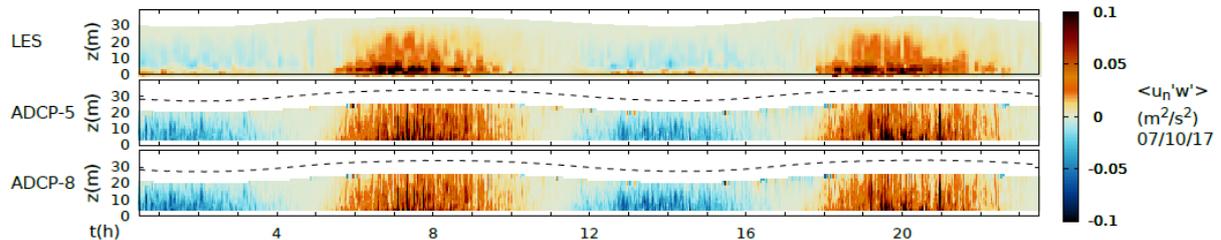


Fig. 4. Evolution temporelle de la composante du tenseur de Reynolds R_{xz} dans le repère de l'ADCP le 07/10/2017. Les résultats de simulations régionales avec TELEMAC-LES sont présentés en haut (LES), le traitement des mesures in situ avec respectivement 5 (ADCP-5) et 8 (ADCP-8) faisceaux est présenté en bas.

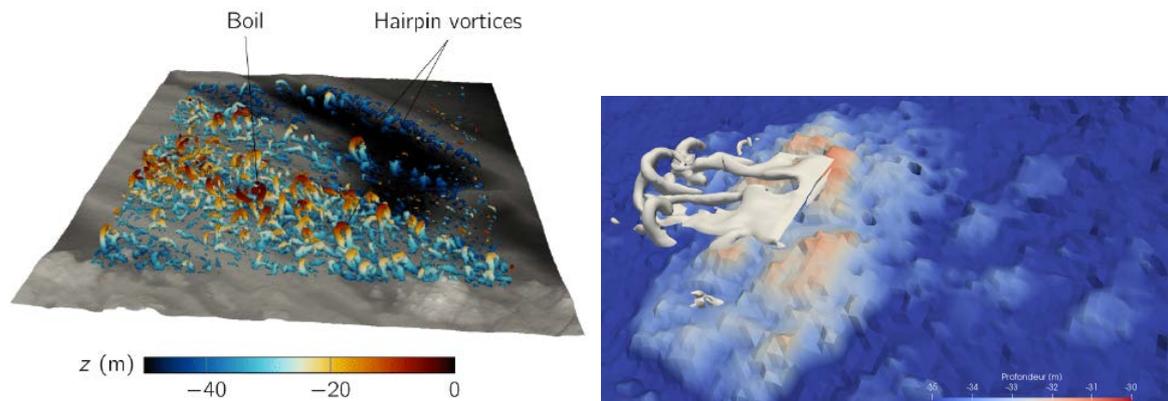


Fig. 5. Structure tourbillonnaire dans les Raz Blanchard (iso contours de Λ_2): a) Tourbillon en épingle à cheveux sur la zone dunaire au nord est du domaine de simulation LES de la simulation TELEMAC-LES; b) Structures turbulentes tubulaires générées par un promontoire rocheux (Dimensions du domaine : 50 m x 80 m) obtenues avec la simulation LBM-LES.

4 Conclusions

La méthodologie déployée basée sur de l'expérimentation en bassin, des mesures en mer et des simulations numérique aux grandes échelles a été validé. Elle a permis de mettre en évidence la présence de la génération de tourbillons par la morphologie du fond. La combinaison des expérimentations en canaux et des simulations ont permis de capturer la génération des tourbillons sur des formes canoniques. Les mesures in situ offrent une caractérisation sur une verticale et dans le temps de la turbulence. Les simulations sur le site du Raz Blanchard sont cohérentes au regard de ces mesures et permettent d'étendre spatialement la caractérisation de la turbulence. Ainsi, elles montrent clairement les détachements tourbillonnaires sur le fond et leur remontée à la surface, et permettent de distinguer les effets des grands corps dunaires à variation douce, des failles et rochers à variation abrupte du plateau rocheux. Ces résultats encore préliminaires seront enrichis bientôt.

Remerciements : Ce travail a bénéficié d'une aide de France Energies Marines et de l'Etat, gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme Investissements d'avenir portant la référence ANR-10-IEED-0006-11

Références

- [1] Clark T.H.E., Turbulence in Marine Environments (TiME): A framework for understanding turbulence and its effects on tidal devices. Proceedings of the 11th European Wave and Tidal Energy Conference, Nantes, 2015, 08B4-3-1.
- [2] Pieterse A., Filipot JF, Maisondieu C., Kilcher L., Chaplain N., Coupled ADCP Measurements for Tidal Turbulence Characterization, 12th European Wave and Tidal Energy Conference Proceeding, Cork, 28-31 August 2017, #894, 8p.
- [3] Ikhennicheu M., Germain G., Gaurier B., Druault P., Experimental Tidal Power Site Bathymetry Representation for Turbulence Characterization, 12th European Wave and Tidal Energy Conference Proceeding, Cork, 28-31 August 2017, #771, 8p.
- [4] Mercier P., Grondeau M., Guillou S.S., Thiébot J., Poizot E., Toward the Modelling of Turbulence at Tidal Stream Power Sites with the Lattice Boltzmann Method, 12th European Wave and Tidal Energy Conference Proceeding, Cork, 28-31 August 2017, #892, 8p.
- [5] Bourgoin A., Guillou S.S., Ata R., Thiébot J., Benhamadouche S., Development of a Large-Eddy Simulation Approach for Tidal Currents Modelling, 12th European Wave and Tidal Energy Conference Proceeding, Cork, 28-31 August 2017, #711, 8p.
- [6] Vermeulen B., Hoitink A.J.F., and Sassi M.G., Coupled adcps can yield complete reynolds stress tensor profiles in geophysical surface flows. Geophysical Research Letters, 38(L06406), 2011.
- [7] Bourgoin A., Guillou S.S., Ata R., Thiébot J., Benhamadouche S., Tidal currents characterization with Large Eddy Simulation, 3th Asian Waves and Tides Energy Conference, 9-12 Sept. 2018, Taipei, Taiwan.
- [8] Mercier Ph., Modélisation de la turbulence engendrée par la morphologie du fond dans le Raz Blanchard : Approche locale (LBM-LES), Thèse, Université de Caen Normandie, 171 p., 2019.
- [9] Bourgoin A., Modélisation de la turbulence engendrée par la morphologie du fond dans le Raz Blanchard : Approche régionale avec TELEMAC-LES, Thèse, Université de Caen Normandie, 150 p., 2019.
- [10] Ikhennicheu M., Druault P., Gaurier B., Germain G., Experimental analysis of the floor inclination effect on the turbulent wake developing behind a wall mounted cube, European Journal of Mechanics – B/Fluids, 72 (2018), 340-352.