



## Efforts induits par les déferlantes sur les éoliennes en mer

**Jean-François FILIPOT<sup>1</sup>, Paul RENAUD<sup>1,2</sup>, Florian HULIN<sup>1,2,3</sup>,  
Marc BATLLE MARTIN<sup>1,4,8</sup>, Marc PREVOSTO<sup>1</sup>, Alan TASSIN<sup>3</sup>,  
Jeffrey C. HARRIS<sup>4</sup>, Nicolas JACQUES<sup>2</sup>, Christophe PEYRARD<sup>5</sup>,  
Maria TELES<sup>5</sup>, Camil MATOUG<sup>1</sup>, Fabien LECKLER<sup>1</sup>, Arne NESTEGÅRD<sup>6</sup>,  
Erik ASP HANSEN<sup>7</sup>**

1. France Energies Marines, 525 Av. De Rochon, 29280, Plouzané France.  
*jean-francois.filipot@france-energies-marines.org*
2. ENSTA Bretagne, UMR CNRS 6027, IRDL, 2 rue François Verny, 29806 Brest, France..
3. Ifremer, RDT, 29280 Plouzané, France.
4. LHSV, Ecole des Ponts, EDF R&D, Chatou, France.
5. EDF R&D/LNHE, 6 quai Watier, 78400 Chatou, France.
6. DNV, Høvik, Norvège.
7. DNV, Hellerup, Danemark.
8. Saitec Offshore Technologies, Leioa, Espagne.

Les efforts de vagues sur les éoliennes offshore fixes et flottantes ont été largement étudiés au cours des 20 dernières années. Cependant, pour les vagues déferlantes, les recommandations normatives sont limitées. Il s'agit d'une lacune importante pour l'industrie. De plus, les charges de vagues extrêmes sur les éoliennes fixes et flottantes peuvent différer considérablement en raison (i) des différences de profondeur d'eau qui influencent la dynamique des vagues et (ii) des interactions vague-structure dues au mouvement induit par les vagues sur les systèmes flottante.

Ce travail répond à ce manque de connaissances et d'orientation et présente une méthodologie spécifique pour prendre en compte les efforts de vagues extrêmes, y compris les efforts de claqué induits par les vagues déferlantes dans la conception des éoliennes en mer, avec les spécificités des systèmes flottant.

Les travaux s'appuient sur les résultats obtenus dans le cadre du projet collaboratif DIMPACT :

- 1- La définition d'un critère de déferlement et d'une sévérité de déferlement pour les vagues linéaires ;
- 2- Une relation empirique entre la sévérité des déferlantes et l'effort hydrodynamique induit sur un cylindre ;
- 3- Une nouvelle approche pour définir les états de la mer de design à partir d'une approche de conception basée sur les efforts, plutôt qu'à partir de la hauteur maximale des vagues uniquement. Il s'appuie sur l'évaluation de l'amplitude de

## Lectures spéciales

- l'effort hydrodynamique associée à une vague donnée, en prolongeant notamment les résultats de DERAKHTI *et al.*, (2018), sur la sévérité des déferlantes ;
- 4- Une formule d'ingénierie tenant compte des spécificités des systèmes flottants (RENAUD *et al.*, 2023a, 2023b), en affinant la formule classique des charges hydrodynamiques d'ingénierie et en incorporant l'effet de l'inclinaison et des mouvements du flotteur sur l'effet des charges de vagues déferlantes et non déferlantes ;
  - 5- La mise en œuvre dans les solveurs aéro-hydro-servo-élastiques (DIEGO & Open FAST) d'une nouvelle méthode d'évaluation de la charge houlomotrice extrême à partir de la seule connaissance des propriétés linéaires des vagues.

Les résultats ci-dessus ont été obtenus et validés à l'aide d'expériences en canal menées à l'Ifremer (HULIN *et al.*, 2022), étudiant l'impact d'une variété de vagues déferlantes sur un cylindre équipé de capteurs d'efforts et monté sur un hexapode capable de reproduire des inclinaisons et des mouvements similaires à ceux subis par une éolienne flottante en mer. D'autres études numériques avec un solveur CFD (BATLLE MARTIN *et al.*, 2023) complètent les résultats du projet en termes de compréhension des charges de claquement sur le cylindre.

### Références

- BATLLE MARTIN M., HARRIS J.C., FILIPOT J.-F., HULIN F., TASSIN A., RENAUD P. (2023). *Deep water focused breaking wave loads on a fixed cylinder*, Coastal Engineering, Vol. 186, 104397, <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2023.104397>
- DERAKHTI M., BANNER M.L., KIRBY J.T. (2018). *Predicting the breaking strength of gravity water waves in deep and intermediate depth*. Journal of Fluid Mechanics, 848, R2, doi:10.1017/jfm.2018.352
- HULIN F., TASSIN A., FILIPOT J.-F., JACQUES N. (2022). *Experimental investigation of the hydrodynamic loads induced by breaking wave impacts on a SPAR-type floating offshore wind turbine*. Proceeding of the 18<sup>th</sup> Journées de l'Hydrodynamique, 22-24 November 2022, Poitiers, France.
- RENAUD P., HULIN F., BATLLE MARTIN M., SCOLAN Y.-M., TASSIN A., JACQUES N., HARRIS J.C., FILIPOT J.-F. (2023a). *Semi-analytical load models accounting for the tilt and motion of a cylinder impacted by a plunging breaking wave*, in Proceedings of the ASME 42<sup>nd</sup> International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE2023). <https://doi.org/10.1115/OMAE2023-107740>
- RENAUD P., BATLLE MARTIN M., HULIN F., HARRIS, J.C., FILIPOT, J.-F., SCOLAN Y.-M. (2023b). *Semi-analytical load models describing the progressive immersion of a fixed vertical cylinder in a breaking wave*. Ocean Engineering, 276, 114116. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4290313>

## **Breaking wave loads on offshore wind turbines**

**Jean-François FILIPOT<sup>1</sup>, Paul RENAUD<sup>1,2</sup>, Florian HULIN<sup>1,2,3</sup>,  
Marc BATLLE MARTIN<sup>1,4,8</sup>, Marc PREVOSTO<sup>1</sup>, Alan TASSIN<sup>3</sup>,  
Jeffrey C. HARRIS<sup>4</sup>, Nicolas JACQUES<sup>2</sup>, Christophe PEYRARD<sup>5</sup>,  
Maria TELES<sup>5</sup>, Camil MATOUG<sup>1</sup>, Fabien LECKLER<sup>1</sup>, Arne NESTEGÅRD<sup>6</sup>,  
Erik ASP HANSEN<sup>7</sup>**

1. France Energies Marines, 525 Av. De Rochon, 29280, Plouzané France.  
*jean-francois.filipot@france-energies-marines.org*
2. ENSTA Bretagne, UMR CNRS 6027, IRDL, 2 rue François Verny, 29806 Brest, France..
3. Ifremer, RDT, 29280 Plouzané, France.
4. LHSV, Ecole des Ponts, EDF R&D, Chatou, France.
5. EDF R&D/LNHE, 6 quai Watier, 78400 Chatou, France.
6. DNV, Høvik, Norway.
7. DNV, Hellerup, Denmark.
8. Saitec Offshore Technologies, Leioa, Spain.

Wave forces on fixed and floating offshore wind turbines have been extensively studied over the past 20 years. However, for breaking waves, normative recommendations are limited. This is a significant gap for the industry. In addition, extreme wave loads on fixed and floating wind turbines can differ significantly due to (i) differences in water depth that influence wave dynamics and (ii) wave-structure interactions due to wave-induced motion on floating systems.

This work responds to this lack of knowledge and guidance and presents a specific methodology to consider extreme wave forces, including breaking wave induced slamming forces in the design of offshore wind turbines, covering the specificities of floating systems.

The work builds on the results of the DIMPACT collaborative project:

- 1- The definition of a breaking criterion and a breaking severity for linear waves;
- 2- An empirical relationship between the severity of breaking waves and the induced hydrodynamic force on a cylinder;
- 3- A new approach to defining design sea states from a force-based approach, rather than from maximum wave height alone. It is based on the evaluation of the amplitude of the hydrodynamic force associated with a given wave, by extending the results of DERAKHTI *et al.*, (2018), on the severity of breaking waves;
- 4- An engineering formula taking into account the specificities of floating systems (RENAUD *et al.*, 2023a, 2023b), refining the classical formula of engineered

## *Lectures spéciales*

hydrodynamic loads and incorporating the effect of tilt and float motion on the effect of breaking and non-breaking wave loads;

- 5- The implementation in aero-hydro-servo-elastic solvers (DIEGO & Open FAST) of a new method for evaluating the extreme wave load based solely on the knowledge of the linear properties of waves.

The above results were obtained and validated using flume experiments conducted at Ifremer (HULIN *et al.*, 2022), studying the impact of a variety of breaking waves on a cylinder equipped with force sensors and mounted on a hexapod capable of reproducing inclinations and movements similar to those experienced by floating offshore wind turbines. Further numerical studies with a CFD solver (BATLLE MARTIN *et al.*, 2023) complement the results of the project in terms of understanding the slamming loads on the cylinder.

### **References**

BATLLE MARTIN M., HARRIS J.C., FILIPOT J.-F., HULIN F., TASSIN A., RENAUD P. (2023). Deep water focused breaking wave loads on a fixed cylinder, *Coastal Engineering*, Vol. 186, 104397, <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2023.104397>

DERAKHTI M., BANNER M.L., KIRBY J.T. (2018). Predicting the breaking strength of gravity water waves in deep and intermediate depth. *Journal of Fluid Mechanics*, 848, R2, doi:10.1017/jfm.2018.352

HULIN F., TASSIN A., FILIPOT J.-F., JACQUES N. (2022). Experimental investigation of the hydrodynamic loads induced by breaking wave impacts on a SPAR-type floating offshore wind turbine. *Proceeding of the 18th Journées de l'Hydrodynamique*, 22-24 November 2022, Poitiers, France.

RENAUD P., HULIN F., BATLLE MARTIN M., SCOLAN Y.-M., TASSIN A., JACQUES N., HARRIS J.C., FILIPOT J.-F. (2023a). Semi-analytical load models accounting for the tilt and motion of a cylinder impacted by a plunging breaking wave, in *Proceedings of the ASME 42nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE2023)*. <https://doi.org/10.1115/OMAE2023-107740>

RENAUD P., BATLLE MARTIN M., HULIN F., HARRIS, J.C., FILIPOT, J.-F., SCOLAN Y.-M. (2023b). Semi-analytical load models describing the progressive immersion of a fixed vertical cylinder in a breaking wave. *Ocean Engineering*, 276, 114116. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4290313>