

Nouvelles capacités du bassin à houle et courant de l'IFREMER pour la caractérisation des hydroliennes

Benoît GAURIER, Grégory GERMAIN, Jean-Valéry FACQ et Thomas BACCHETTI

IFREMER, Laboratoire Comportement des Structures en Mer
bgaurier@ifremer.fr

25 novembre 2021



Les hydroliennes sont soumises à de nombreuses contraintes environnementales qu'il faut appréhender



© L. IKHENNICHEU

- variations bathymétriques : structures tourbillonnaires (IKHENNICHEU et al. 2019)
- nature des fonds : présence de gros sédiments en suspension (MINSTER 2019)
- couche limite au fond : cisaillement vertical (MASON-JONES et al. 2013)
- interaction houle-courant : cisaillement et vitesses orbitales (DRAYCOTT et al. 2019)
- houle en surface : mouvement du flotteur pour turbine flottante (VAN DER PLAS 2014)
- turbulence de l'écoulement : fluctuations de l'écoulement (DURÁN MEDINA et al. 2017)

Le bassin à houle et courant de l'IFREMER est un moyen adapté aux essais d'hydrolienne

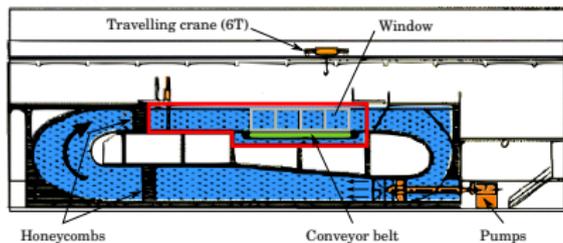


Schéma du bassin de Boulogne

- section $4 \times 2 \text{ m}^2$
- courant jusque $2,2 \text{ m/s}$
- régulation de la turbulence par nid d'abeille : $I_{\infty} = 1,5 \% \text{ ou } 15 \%$
- génération des vagues grâce à un batteur à houle



Moitié supérieure du nid d'abeille



Vue supérieure du bassin et batteur à houle

Une maquette d'hydrolienne originale à l'échelle 1/20^{ème} y a été développée



Maquette de l'hydrolienne

- diamètre $D = 0,7 \text{ m}$
- moteur, contrôleur et codeur : vitesse de rotation c^te et mesurée
- collecteur tournant pour transmettre la mesure

- mesure du couple Q et de la poussée T sur le rotor
- mesure de 2 forces et 3 moments en pied de chacune des 3 pales
- positionnée en amont des joints : pas d'effet de friction

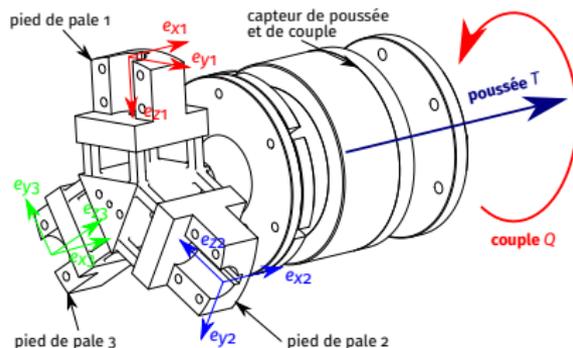


Schéma de l'instrumentation étanche du rotor

Sommaire de la présentation

- 1 Introduction
- 2 Nouvelles capacités du bassin**
- 3 Quelques exemples d'application
- 4 Conclusion

La dotation du CPER MARCO 2014 - 2020 a permis de financer de l'équipement de pointe au bassin



- Laser Doppler Velocimetry 3C : mesure ponctuelle de la vitesse du courant dans les 3 dimensions et à haute fréquence
- Changement du plancher du bassin : intégration de l'instrumentation et mobilité du fond à la surface
- Amélioration du système Particle Image Velocimetry : renforcement du mât laser et changement de la caméra HD

La sonde LDV-3C est un outil très performant pour la quantification de la turbulence dans le bassin

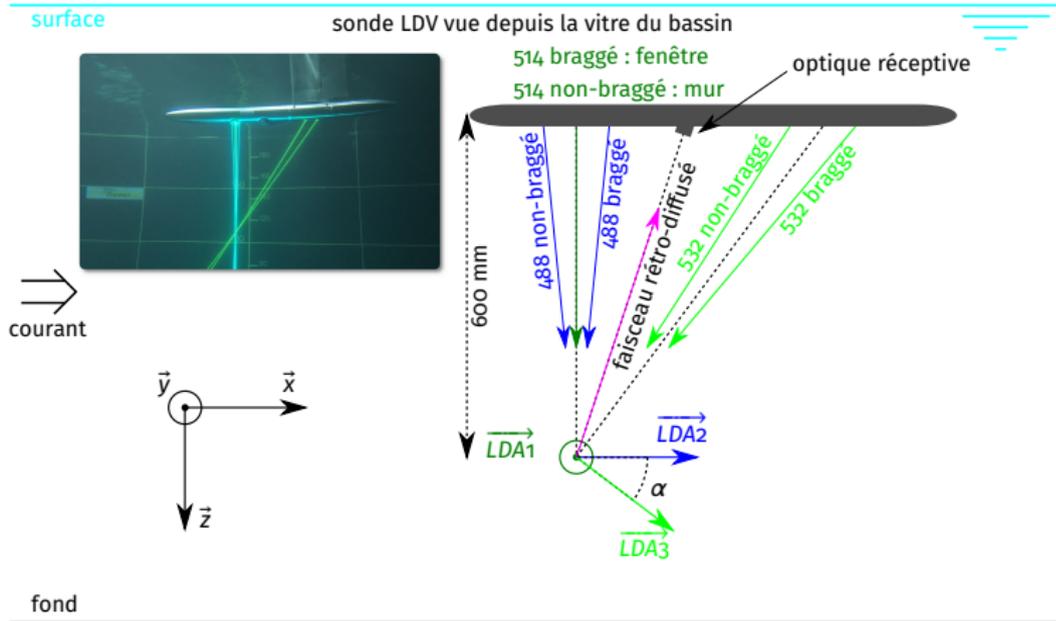
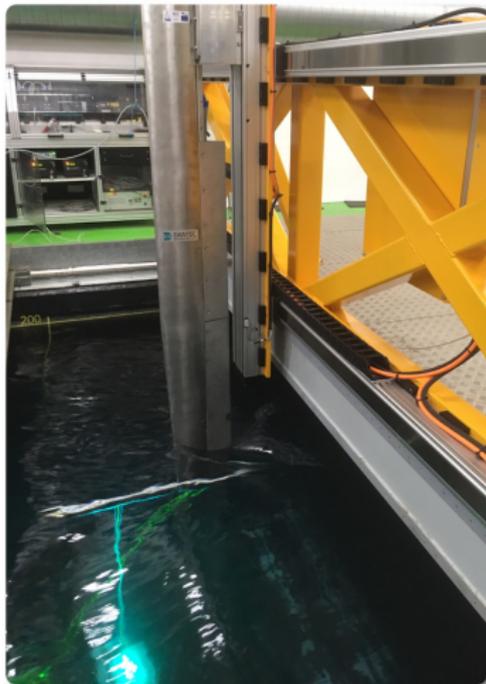


Schéma du fonctionnement de la sonde LDV-3C

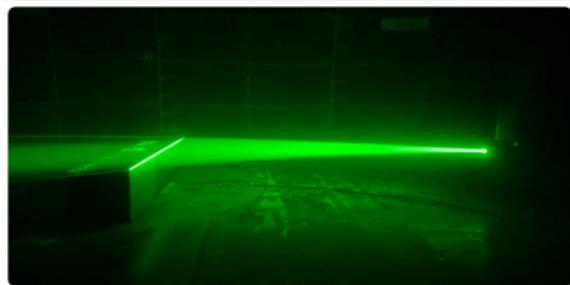
- Permet de connaître : le tenseur de Reynolds complet, $U^{3D}(t)$ et I^{3D}

Un système de positionnement automatisé de la sonde a été spécialement développé pour la maintenir



Tables de déplacement automatisé maintenant la sonde immergée

- Montage sur les passerelles
- Précision inférieure à 0,1 mm
- Débattement correspondant à la section d'essais

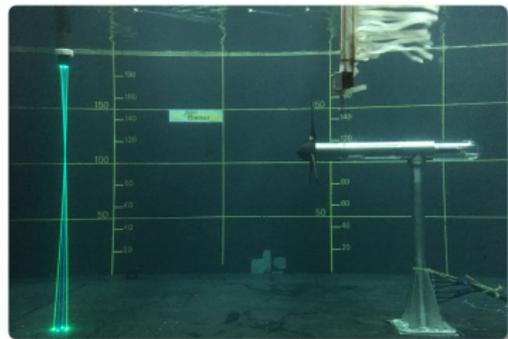


Laser PIV près du fond du bassin, maintenu par ce système de déplacement

Le fond relevable permet l'accès direct aux maquettes fixées au fond et l'intégration de l'instrumentation



Fond relevable en position haute supportant la maquette HydroQuest



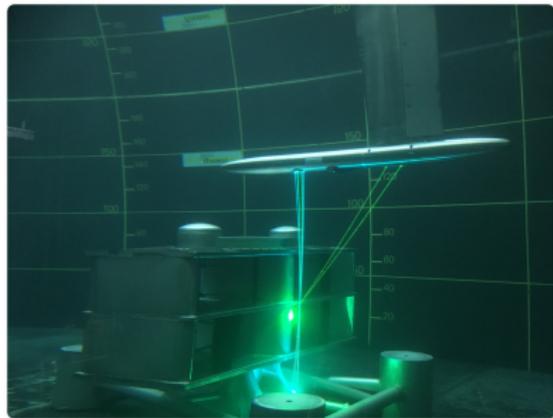
Balance d'efforts intégrée dans le plancher permettant la mesure en surface

- Les maquettes peuvent être fixées directement au fond du bassin
- Présence d'un plateau tournant autorisant les modifications d'orientation
- L'instrumentation est intégrée dans le plancher :
 - ▶ pas de modification de l'écoulement incident
 - ▶ pas de perturbation liée à la surface libre

Sommaire de la présentation

- 1 Introduction
- 2 Nouvelles capacités du bassin
- 3 Quelques exemples d'application**
- 4 Conclusion

La reproduction des conditions d'essais Paimpol-Bréhat sur la machine HydroQuest a été effectuée au bassin



Positionnement et mesure du sillage de la machine HydroQuest par LDV-3C

Conditions d'essais

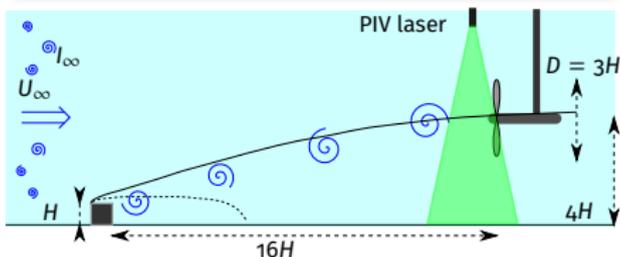
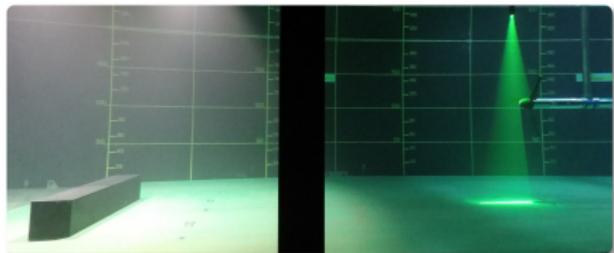
- profils de courant cisailés
- interaction houle-courant
- orientation de la maquette

Mesures

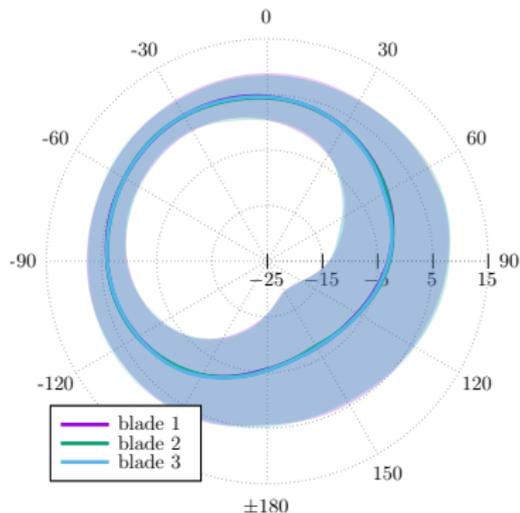
- efforts sur la machine
- performances et sillages

⇒ **thèse de Martin Moreau**

L'hydrolienne IFREMER a été soumise à un gradient de vitesse et à une turbulence de fond réalistes



Montage expérimental et répartition angulaire de l'effort de traînée des pales



Conditions d'essais

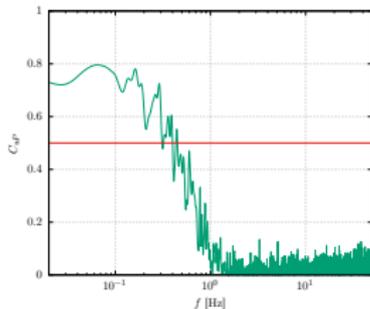
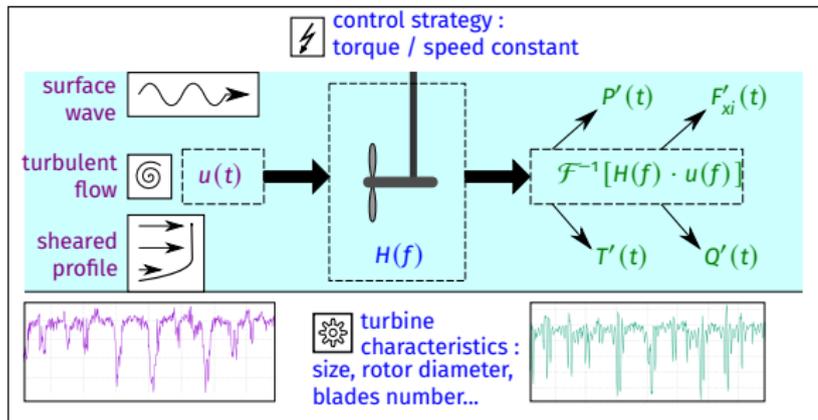
- profils de courant cisillés
- structures turbulentes
- distances maquette - obstacle

Mesures

- efforts sur rotor et pales
- vitesses amont champs proche

⇒ **thèse de Maëlys Magnier**

Une méthode RAO a été adaptée pour la détermination des fonctions de transfert spectrales des hydroliennes

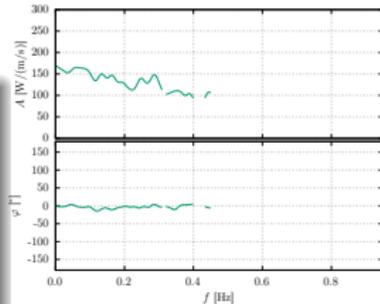


Fonction de cohérence

Méthode de calcul

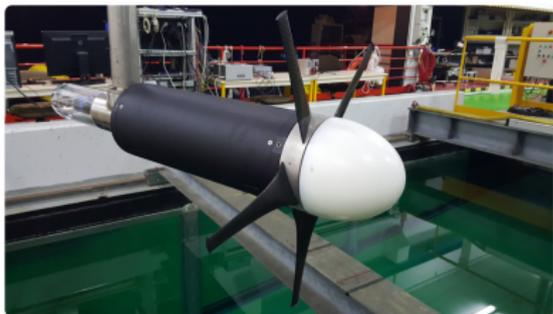
- PSD de $u(t)$ et $P(t)$
- cohérence $C_{uP}(f)$
- si $C_{uP} > 0.5$ alors

$$H(f) = G_{uP}(f) / G_{uu}(f)$$

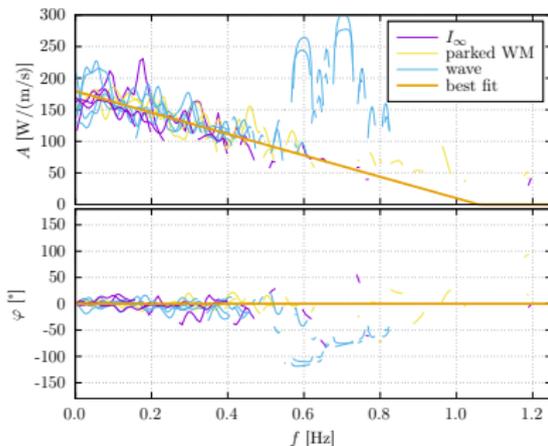


$$H(f) = A(f)e^{i\varphi(f)}$$

Les fonctions de transfert des machines IFREMER et Sabella ont été comparées dans MONITOR et REALTIDE



Maquette de l'hydrolienne Sabella avec 5 pales

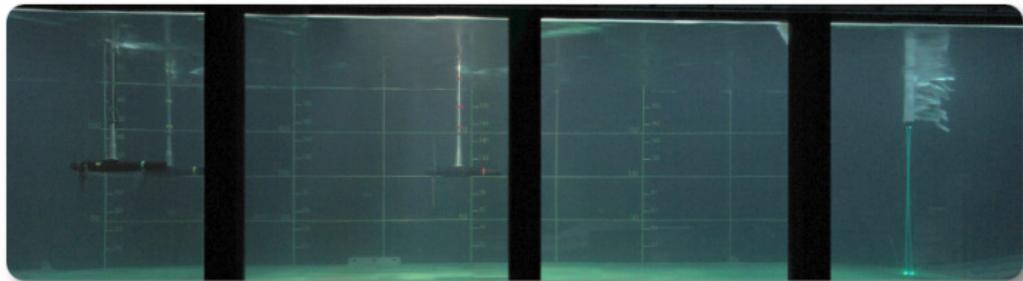


Fonction de transfert générique turbine IFREMER

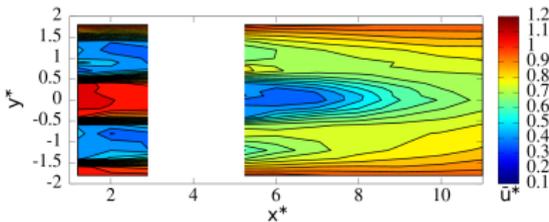
Conclusions

- comparaison des amplitudes $A(f)$ et phases $\varphi(f)$
- détermination d'une réponse générique par machine
- permet de reconstruire $P'(t)$ en fonction d'une mesure de $u(t)$
 - ▶ extension pour une ferme, intégration sur le réseau, dimensionnement

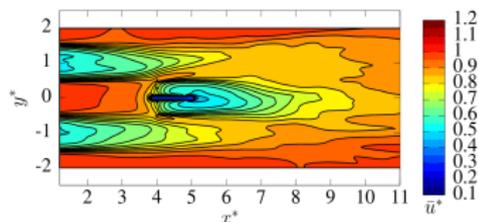
Une base de données avec 3 hydroliennes a été constituée et sert pour des validations numériques



Montage expérimental avec les 3 machines et mesure du sillage par LDV-2C



sillage expérimental pour $I_\infty = 3\%$



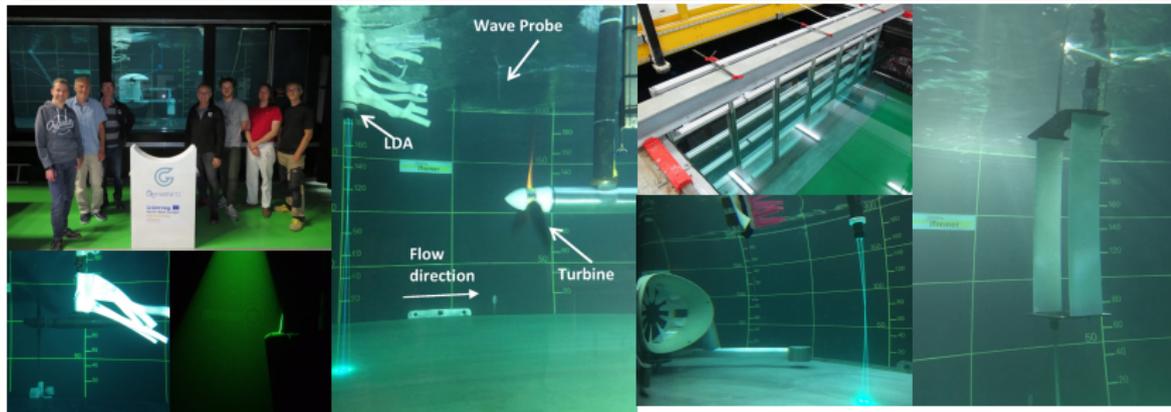
sillage numérique calculé avec Dorothy

- mesure des sillages pour 3 positions de l'hydrolienne aval et 2 I_∞
- mesure des performances et des efforts sur les 3 machines

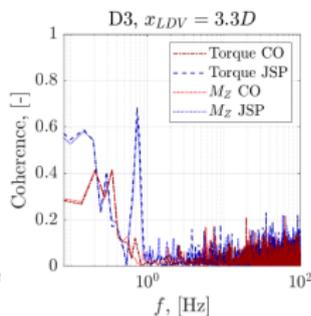
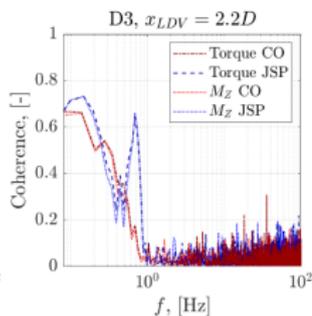
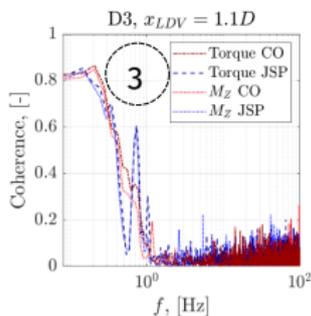
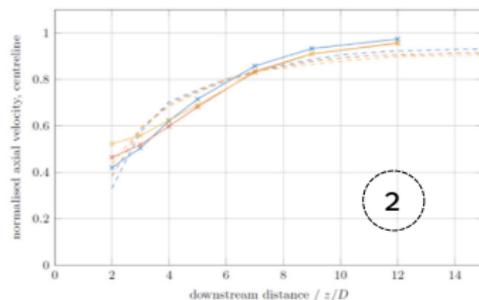
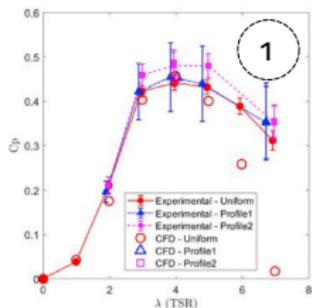
Le projet MaRINET2 a permis d'accueillir 12 projets entre 2017 et 2021 au bassin de Boulogne

Caractérisation des performances d'hydroliennes

- mesure des coefficients de performance
- interaction avec des écoulements complexes
- mesure du sillage et/ou des efforts



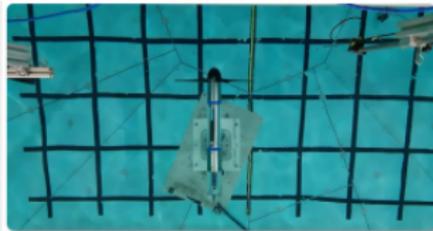
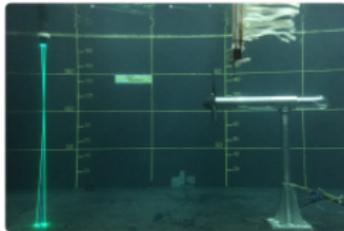
Certains de ces essais ont fait l'objet de valorisation



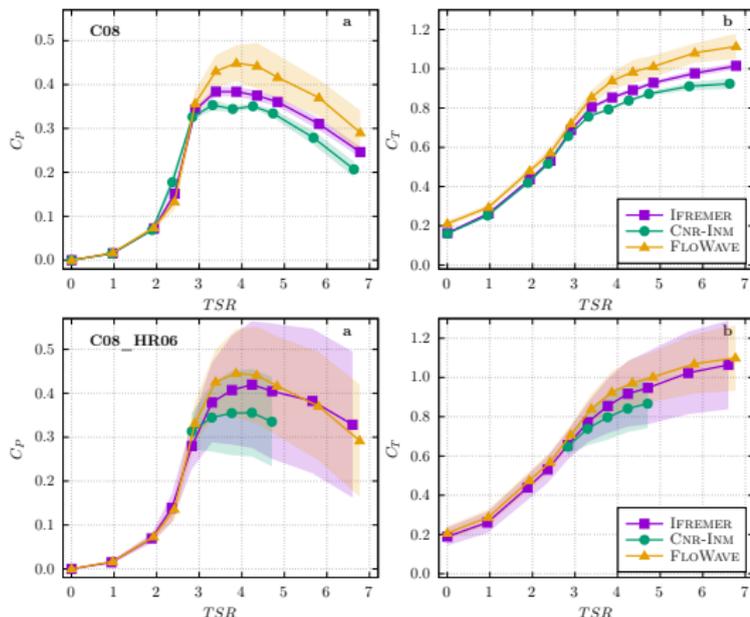
- 1 comparaison expe./num. des performances d'une hydrolienne (LLOYD et al. 2021)
- 2 comparaison expe./num. du sillage d'une hydrolienne (EBDON et al. 2021)
- 3 fonction de cohérence entre couple/chargement pales et vitesse amont (ALLMARK et al. 2021)

Le Round-Robin hydrolien a eu lieu dans 3 installations européennes, générant de la houle et du courant

- le bassin de circulation de Boulogne
- le bassin de traction du CNR-INM de Rome
- le bassin circulaire FLOWAVE d'Édimbourg



Les résultats de performance montrent des disparités entre les bassins allant jusqu'à 20% sur les C_p !



Raisons principales

- difficultés de générer des conditions d'écoulement similaires entre les bassins
- effets de blocage
- effets de la turbulence
- interaction houle-courant

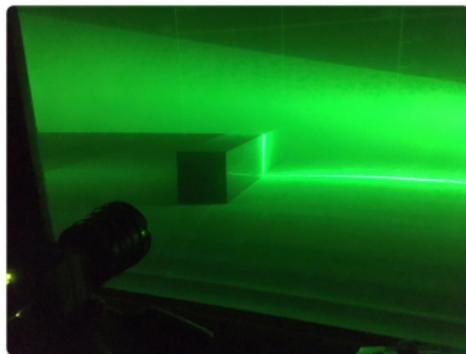
Sommaire de la présentation

- 1 Introduction
- 2 Nouvelles capacités du bassin
- 3 Quelques exemples d'application
- 4 Conclusion**

Ces extensions ont été utilisées et valorisées à plusieurs reprises depuis leur installation

2 thèses soutenues et 2 thèses en cours

- 2019 : M. Ikhennicheu - univ. de Lille
- 2020 : B. Gaurier - Normandie univ.
- 2023 : M. Moreau - univ. de Lille
- 2023 : M. Magnier - univ. de Lille



Mesure simultanée des efforts et du sillage d'une perturbation bathymétrique

Bilan MaRINET2

- Trans-National Access :
 - ▶ 12 projets accueillis
 - ▶ variété des projets
- Round-Robin :
 - ▶ interaction houle-courant
 - ▶ différences entre bassins

Trois projets européens

- RealTide, Met-Certified et MaRINET2

Nombreuses publications de rang A sur le thème des EMR

- 2 en 2018, 3 en 2019, 13 en 2020
- 6 en 2021



Merci de votre attention!

Bibliographie

-  ALLMARK, M. et al. (2021). "A phenomenological study of lab-scale tidal turbine loading under combined irregular wave and shear flow conditions". In : *Journal of Marine Science and Engineering* 9.6, p. 593.
-  DRAYCOTT, S. et al. (2019). "An experimental investigation into non-linear wave loading on horizontal axis tidal turbines". In : *Journal of Fluids and Structures* 84, p. 199-217.
-  DURÁN MEDINA, O. et al. (2017). "Turbulence analysis and multiscale correlations between synchronized flow velocity and marine turbine power production". In : *Renewable Energy* 112, p. 314-327.
-  EBDON, T. et al. (2021). "The impact of turbulence and turbine operating condition on the wakes of tidal turbines". In : *Renewable Energy* 165, p. 96-116.
-  IKHENNICHEU, M. et al. (2019). "Experimental investigation of the turbulent wake past real seabed elements for velocity variations characterization in the water column.". In : *International Journal of Heat and Fluid Flow* 78. June, p. 108426.
-  LLOYD, C. et al. (2021). "Validation of the dynamic load characteristics on a Tidal Stream Turbine when subjected to wave and current interaction". In : *Ocean Engineering* 222. November 2020, p. 108360.
-  MASON-JONES, A. et al. (2013). "Influence of a velocity profile & support structure on tidal stream turbine performance". In : *Renewable Energy* 52, p. 23-30.
-  MINSTER, G. (2019). "Modélisation du processus de saltation en milieu extrême : Application au raz Blanchard". Thèse de doct. Université Bretagne Loire.
-  VAN DER PLAS, P. C. A. (2014). "The effect of platform motions on turbine performance". Thèse de doct. Delft University of Technology, p. 1-94.