Simulation numérique et validation expérimentale à échelle laboratoire d'une hydrolienne bio-inspirée

Cédric Ngamo Kouandop[1], Valentin Helle[1], Clémence Floch[1], Ansoumane Keita[1], Leane Peyrot[1], Olivier Bain[1], Arnaud Coutu[1]

Affiliation 1 : Institut Polytechnique UniLaSalle, Université d'Artois, GéoLab, Rue Pierre Waguet, BP 30313, 60026 Beauvais, France

Introduction :

Selon le ministère de la transition énergétique en France l'énergie des combustibles fossiles représente plus de 46,3% de l'énergie utilisée en 2020. Pour pallier ce problème, la France a commencé une transition vers des énergies plus propres. En juillet 2021, le ministère de la transition écologique a publié les chiffres clés des énergies renouvelables en France. Ces chiffres montrent une évolution de 8.3% à 13.1% des énergies renouvelables consommées entre 2005 et 2020. La part des énergies renouvelables dans la consommation finale brute d'énergie reste toutefois en deçà de l'objectif fixé par la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) de 23% pour la France en 2020. Pour atteindre l'objectif de 33% pour 2030, l'ensemble des énergies renouvelables vont devoir être développées sur le sol français.

Parmi ces énergies, l'énergie des courants marins ou fluviaux est encore peu exploitée en France. Selon, le ministère de la transition énergétique en France, les hydroliennes ne produisent seulement que 0,1% de l'énergie consommée en France. Pourtant, selon l'ADME, la France a un potentiel de production d'énergie par hydroliennes compris entre 3 GW et 5 GW. Ces chiffres correspondent à la puissance de 1092 à 1820 éoliennes selon l'office of Energy efficiency and renewable energy (2019). On estime le potentiel de production d'énergie de l'usine marémotrice de la Rance située en Bretagne à environ 240 MW par an, ce qui équivaut à elle seule à la consommation électrique de 225.000 habitants, soit la ville de Rennes. (World Energy Council-Marine Energy). Bien qu'étant une voie de développement indispensable à l'atteinte des objectifs de la PPE, les hydroliennes ont certaines contraintes d'installation à respecter : elles doivent être situées à une profondeur de 20 à 50 m avec des courants marins entre 1 $m.s^{-1}$ et 3 $m.s^{-1}$ et ont un rendement maximum de 60%. Or, la vitesse des courants marins change en fonction du lieu d'implantation et impact directement la productivité des hydroliennes installées. Afin de garantir la viabilité des hydroliennes comme source pérenne d'énergie, il est donc nécessaire d'optimiser les pales des hydroliennes installées afin de maximiser leur rendement.

Une voie d'innovation possible pour augmenter ce rendement est le biomimétisme. Le biomimétisme consiste à s'inspirer de la nature pour améliorer les procédés créés par l'Homme. C'est une méthode efficace qui a porté ses fruits sur de nombreux sujets. L'entreprise australienne nommée Bio Power System en est l'exemple parfait, en développant une hydrolienne plus résistante à la corrosion de l'eau inspirée de la peau du thon. Concevoir une hydrolienne reste toutefois un processus long et coûteux. Pour optimiser le rendement des hydroliennes tout en minimisant les coûts et le temps de développement, la simulation numérique est un outil tout désigné. Or la simulation numérique nécessite une validation expérimentale afin de fournir des résultats robustes.

L'objectif de ce travail est de proposer de nouvelles pales d'hydroliennes bio-inspirées plus efficaces que les pales usuellement utilisées, par une méthodologie de conception, simulation numérique et validation sur banc d'essais, à petite échelle. La simulation numérique permettra de mettre en évidence l'augmentation du rendement des hydroliennes par une solution bio-inspirée. Un banc d'essais sera également conçu à échelle laboratoire afin de valider les résultats obtenus par simulation. Ces résultats permettront de valider la mise en place d'une hydrolienne bio-inspirée à échelle pilote en conditions réelles d'utilisation.

Matériel et Méthodes

Les plans des pales bio-inspirées des hydroliennes ont été réalisées avec l'outil Adobe Illustrator et leur conception en 3D avec le logiciel CATIA V5 (Figure 1,A). Les données utilisées pour le dimensionnement proviennent d'images de nageoires de baleines. Une fois les pales modélisées, l'hydrolienne est alors assemblée sous CATIA V5 et importée sur le logiciel Xflow pour réaliser les simulations numériques. Le site d'implantation choisi est Raz Blanchard en Bretagne, possédant le courant de marée le plus puissant d'Europe. Le courant atteint une vitesse moyenne de 12 nœuds, soit 6.2 m/s. Les données de simulation s'appuient donc sur les caractéristiques du site d'implantation. Les premières simulations effectuées ont permis de mettre en évidence une meilleure efficacité des pales bio-inspirées par rapport aux pales traditionnelles, avec une augmentation du rendement de l'ordre de 15%. La validation expérimentale de ces résultats doit être menée à petite échelle et cela nécessite la conception d'un banc d'essais adapté. Le banc d'essais à immersion conçu mesure 20 cm de haut, 20 cm de large pour 50 cm de long. Les parois sont en plexiglas afin d'assurer la transparence du banc et la résistance au débit d'eau utilisé à moindre coût (Figure 1,B). Des raccords ont été placés de part et d'autre du banc d'essais afin de permettre la circulation de l'eau ainsi que l'injection d'un traceur colorimétrique afin de suivre les turbulences induites par l'hydrolienne. Les hydroliennes miniatures sont extraites du logiciel CATIA V5 et imprimées en 3D en PETG (matériau résistant à l'eau et peu coûteux) afin de réaliser ces essais.

Figure 1 : A : Pale bio-inspirée reconstitué en 3D, B : Banc d'essai pour la simulation en miniature

Conclusion

Les premiers résultats de simulation obtenus montrent une augmentation du rendement de l'ordre de 15% avec les pales inspirées des nageoires de baleines à bosse. Le banc d'essais a été conçu et les tests de reproductibilité ont été réalisés avec succès. Ces premiers résultats sont encourageants et mettent en avant l'utilité du biomimétisme dans la conception de procédés. Les expériences de validation sont actuellement en cours et de nouvelles solutions bio-inspirées sont à l'étude, tel que l'ajout de serrations sur les pales, inspiré des hirondelles, afin de minimiser également les risques de cavitation et de limiter les frottements au niveau des pales.

Références bibliographiques

Hammoudi, Z. ; Absi, R.; Abbassi, I.E.; Darcherif, A.-M., Simulation bidimensionnelle d'une hydrolienne à axe vertical dans un courant marin. XIVèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil. Paralia CFL, Toulon, France, 2016, 487–496.

Hauville, F.; Lecuyer-Le Bris, R.; Deniset, F.; Fasse, G., Optimisation de la loi de calage d'un propulseur cycloïdal. 16èmes Journées de l'Hydrodynamique. Marseille, France, 2019, 13.

Resch, G.; Held, A.; Faber, T.; Panzer, C.; Toro, F.; Haas, R., Potentials and prospects for renewable energies at global scale. Energy Policy, Transition towards Sustainable Energy Systems, 2008, 36, 4048–4056.