

Étude et optimisation d'un système hydrolien bio-inspiré de type aile oscillante passive

L. DUARTE^a, N. DELLINGER^b, G. DELLINGER^c,
A. GHENAIM^d, A. TERFOUS^e

a. Université de Strasbourg, leandro.duarte@icube.unistra.fr

b. Laboratoire ICube, dellinger@unistra.fr

c. ENGEES Strasbourg, guilhem.dellinger@engees.unistra.fr

d. INSA Strasbourg, abdellah.ghenaim@insa-strasbourg.fr

e. INSA Strasbourg, abdelali.terfous@insa-strasbourg.fr

Résumé

À l'heure de repenser la production et les grands réseaux de distribution d'énergie, en France et dans le monde, le potentiel de production hydroélectrique à l'aide de micro centrales est important et reste encore peu exploité. Un des concepts novateurs permettant de répondre à cette problématique est le système hydrolien du type aile oscillante passive, un biomimétisme de la nage d'animaux aquatiques. Ce dispositif de récupération d'énergie consiste en une aile décrivant des mouvements périodiques de tangage et pilonnement, entièrement induits par les interactions fluide-structure

Mots clés : Énergie renouvelable, système hydrolien, aile oscillante passive, interaction fluide-structure

1 Introduction

Un système hydrolien de type aile oscillante passive consiste en l'utilisation d'un profil hydrodynamique monté sur des supports élastiques, permettant de produire de l'électricité à partir d'un courant d'eau. L'énergie cinétique de l'écoulement est convertie en énergie mécanique à travers les mouvements oscillatoires décrits par l'aile : le pilonnement et le tangage. Cette énergie mécanique est ensuite récupérée au sein d'un générateur électrique produisant de l'électricité.

Les mouvements de pilonnement et tangage se font suivant un plan perpendiculaire à la direction principale de l'écoulement, conforme illustré dans la figure 1. À la différence des systèmes actifs ou semi-passifs, l'aile oscillante passive ne prévoit pas de moteurs pour piloter ses mouvements oscillatoires. Le synchronisme entre la dynamique de l'écoulement et les mouvements de l'aile, permettant la récupération d'énergie, est assuré par le choix adéquat de l'ensemble de ses paramètres structuraux.

Depuis l'évocation de l'idée en 2009 [4], nombre d'études numériques et expérimentales ont été menées afin de prouver la faisabilité d'un tel système hydrolien de type aile oscillante passive [6]. Il a été montré que la position de l'axe de tangage et la raideur de rotation sont des paramètres cruciaux pour atteindre le régime de récupération d'énergie [4]. Plus récemment, des études numériques [5] ont proposé une optimisation paramétrique du système avec l'axe de tangage fixé à un tiers de la corde. Cette configuration optimale a été ensuite vérifiée expérimentalement [2].

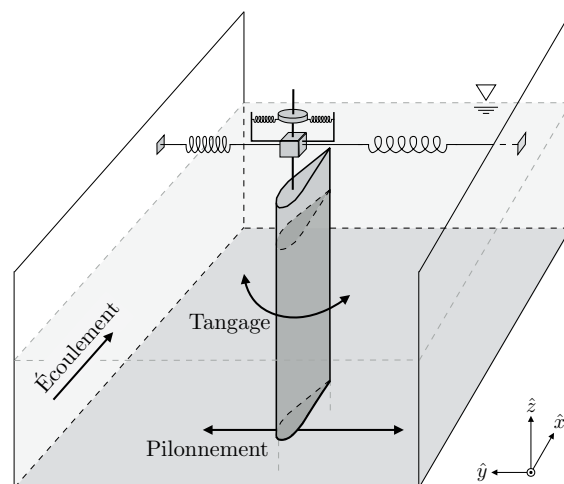


FIGURE 1 – Représentation simplifiée d'un système hydrolien de type aile oscillante passive, soulignant les directions des mouvements de pilonnement et tangage, ainsi que la direction principale de l'écoulement.

Malgré les progrès notables accomplis ces dernières années, peu d'études se sont consacrées à l'investigation du système pour des différentes positions de l'axe de tangage. À cette fin, un prototype expérimental a été conçu dans le cadre du présent travail de recherche. Dans un premier temps, une étude des différentes réponses du système a permis de délimiter les zones dans l'espace paramétrique favorisant la récupération d'énergie [3]. Ensuite, les performances énergétiques du système ont été évaluées pour des différents emplacements de l'axe de tangage.

2 Matériel et méthode

Une photo de l'installation expérimentale est proposée dans la figure 2. Le prototype consiste en un profil NACA0015 ① de corde $c = 120$ mm et envergure $b = 480$ mm. L'aile est montée sur l'arbre à travers un dispositif glissant ② permettant de placer l'axe de tangage à une position précise sur la corde. Le palier de l'arbre ③ est monté sur le rail de pilonnement par un chariot glissant ④. Des ressorts de traction ⑤ sont utilisés pour la raideur de pilonnement. Le mouvement linéaire de pilonnement est converti en mouvement de rotation à travers une liaison rigide ⑥ avec un système à poulie-courroie ⑦. L'ensemble de pilonnement est ainsi relié à un servomoteur jouant le rôle de générateur électrique. De manière analogue, un système à poulie-courroie ⑧ permet de relier le mouvement de tangage à un deuxième servomoteur. Les position et vitesse de pilonnement et tangage sont mesurées à l'aide d'encodeurs incrémentaux montés sur l'arbre des servomoteurs. Ces mesures alimentent un système de contrôle ⑨ permettant un réglage fin des paramètres structuraux du système.

Une étude expérimentale menée précédemment a déterminé les plages de valeurs de l'emplacement de l'axe de tangage et de la raideur de rotation permettant au système de présenter une réponse adaptée à la récupération d'énergie [3]. Ce type de réponse est caractérisé par des oscillations auto-entretenues symétriques de grandes amplitudes. Dans le présent travail, on s'intéresse aux performances énergétiques du système pour différents points de fonctionnement.

Le principal paramètre permettant de quantifier l'efficacité du système est le rendement hydraulique η_h , défini par le quotient entre la puissance récupérée et la puissance hydraulique disponible dans la section balayée par l'aile :

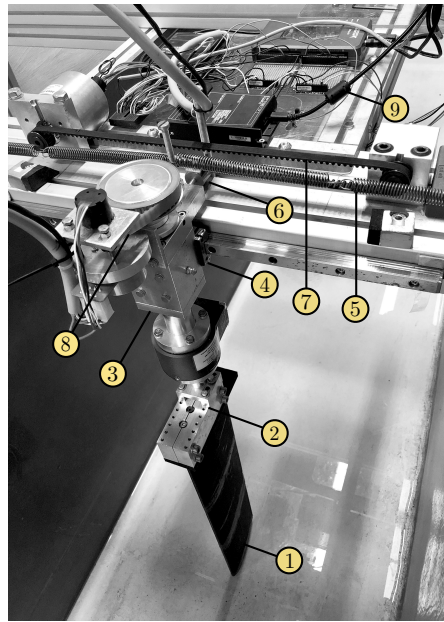


FIGURE 2 – Prototype expérimental du système hydrolien à aile oscillante passive. Adapté de [3].

$$\eta_h = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0+\Delta t} \frac{c_y \dot{y}(t)^2}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^3 S} dt \quad (1)$$

La puissance utile récupérée par le système correspond, en l'occurrence, à la puissance dissipée par le frottement visqueux de pilonnement. Ce frottement est proportionnel à la vitesse de pilonnement \dot{y} par un coefficient c_y . La puissance hydraulique disponible correspond à l'énergie cinétique débitée par l'écoulement à travers la section S balayée par le système, avec ρ la masse volumique du fluide et U_∞ la vitesse de l'écoulement libre.

3 Résultats et discussion

Trois points de fonctionnement ont été choisis à l'intérieur de l'espace des paramètres pour lesquels la réponse du système est adaptée à la récupération d'énergie [3]. Chaque configuration est caractérisée par l'emplacement de l'axe de tangage l_θ^* et la raideur de rotation k_θ^* , donnés sous forme adimensionnelle :

- $P_1 : l_\theta^* = 0.33, k_\theta^* = 0$
- $P_2 : l_\theta^* = 0.39, k_\theta^* = 0.05$
- $P_3 : l_\theta^* = 0.45, k_\theta^* = 0.15$

Pour chaque cas, des mesures de position et vitesse de pilonnement et tangage ont été effectuées durant un intervalle de temps d'environ quinze période d'oscillation de l'aile. Avec ces données, on a pu calculer le rendement hydraulique du système conforme défini par l'équation 1.

Outre le rendement hydraulique η_h , des paramètres cinétiques du mouvement oscillatoire décrit par l'aile sont également calculés. Parmi ces paramètres, on distinguera notamment la fréquence d'oscillation f , l'amplitude de pilonnement y_0 et l'amplitude de tangage θ_0 . Les résultats sont présentés de manière synthétique dans le tableau 1.

TABLE 1 – Paramètres cinétiques et rendement hydraulique de l’aile oscillante passive pour les trois points de fonctionnement.

	P_1	P_2	P_3
f	0.42 Hz	0.55 Hz	0.48 Hz
y_0	87.6 mm	86.4 mm	85.2 mm
θ_0	53°	72°	71°
η_h	11.4 %	18.2 %	13.0 %

D’après les résultats expérimentaux, le point de fonctionnement P_2 est le plus performant, avec un rendement hydraulique de 18.2 %. Cette configuration correspond à l’emplacement de l’axe de tangage à une distance de 39 % de la corde à partir du bord d’attaque. Le meilleur rendement hydraulique est accompagné d’une fréquence d’oscillation et d’une amplitude de tangage légèrement plus élevées que dans les deux autres cas. L’amplitude de pilonnement reste à peu près constante pour les trois points de fonctionnement.

4 Conclusion

La performance énergétique d’un système hydrolien à aile oscillante passive a été étudiée expérimentalement. Grâce à une conception permettant le placement précis de l’axe de tangage sur la corde de l’aile, ainsi que l’implémentation d’une technique de réglage actif des paramètres structuraux du système, trois différents points de fonctionnement ont été considérés. D’après les résultats expérimentaux, on a constaté que la performance énergétique du système peut augmenter de presque un facteur deux si on déplace l’axe de tangage de la position standard d’un tiers de corde.

Références

- [1] J.-L. Bal and B. Chabot. Les énergies renouvelables. État de l’art et perspectives de développement. *Comptes Rendus de l’Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science*, 333(12) :827 – 834, 2001.
- [2] M. Boudreau, G. Dumas, M. Rahimpour, and P. Oshkai. Experimental investigation of the energy extraction by a fully-passive flapping-foil hydrokinetic turbine prototype. *Journal of Fluids and Structures*, 82 :446 – 472, 2018.
- [3] L. Duarte, N. Dellinger, G. Dellinger, A. Ghenaïm, and A. Terfous. Experimental investigation of the dynamic behaviour of a fully passive flapping foil hydrokinetic turbine. *Accepted for publication in the Journal of fluids and structures*, 2019. Accepted for publication.
- [4] Z. Peng and Q. Zhu. Energy harvesting through flow-induced oscillations of a foil. *Physics of Fluids*, 21(12) :123602, Dec 2009.
- [5] J.-C. Veilleux and G. Dumas. Numerical optimization of a fully-passive flapping-airfoil turbine. *Journal of Fluids and Structures*, 70 :102–130, Apr 2017.
- [6] Q. Xiao and Q. Zhu. A review on flow energy harvesters based on flapping foils. *Journal of Fluids and Structures*, 46 :174–191, Apr 2014.