

Etude expérimentale et numérique de la vis d'Archimède utilisée en tant que turbine

G. DELLINGER^a, P-A. GARAMBOIS^b, M. DUFRESNE^c, A. TERFOUS^d,
J. VAZQUEZ^e, A. GHENAIM^f

a. Equipe Mécanique des Fluides, ICUBE, guilhem.dellinger@insa-strasbourg.fr

b. Equipe Mécanique des Fluides, ICUBE, pierre-andre.garambois@insa-strasbourg.fr

c. Equipe Mécanique des Fluides, ICUBE, matthieu.dufresne@engees.unistra.fr

d. Equipe Mécanique des Fluides, ICUBE, abdelali.terfous@insa-strasbourg.fr

e. Equipe Mécanique des Fluides, ICUBE, jose.vazquez@engees.unistra.fr

f. Equipe Mécanique des Fluides, ICUBE, abdellah.ghenaim@insa-strasbourg.fr

Résumé :

La vis d'Archimède utilisée en tant que turbine est un moyen de production d'énergie renouvelable récent et en voie de développement. C'est pourquoi, la littérature à propos de ce type de turbine est pour le moment très limitée et son dimensionnement est principalement basé sur des résultats empiriques. Nous proposons ici d'étudier par l'expérimentation et par la simulation numérique sous OpenFoam, les performances hydrauliques ainsi que les caractéristiques de l'écoulement dans la vis. Les premiers résultats obtenus numériquement corroborent avec ceux déterminés expérimentalement.

Abstract :

Generation of energy with Archimedean screws is a developing way convenient for low-head hydraulic sites that are currently underexploited. That is why there are few references deal with their design and performance optimization. The present contribution introduces experimental results and an CFD model on the Archimedean screw generator. These experimental results, obtained on a laboratory-scale screw, reveal to be in fairly good agreement with the preliminary numerical results.

Mots clefs : Energie renouvelable, Vis d'Archimède, Expérimentations, CFD, OpenFoam

1 Introduction

A l'heure de repenser la production et les grands réseaux de distribution d'énergie, le potentiel de production d'hydroélectricité à l'aide de micro centrales est sous-exploité en Europe. Ainsi plus d'un millier de moulin et de seuils sont, aujourd'hui, inutilisés. L'exploitation de ce type de chutes d'eau, à l'aide des vis d'Archimède, est un moyen de production d'énergie renouvelable récent et en voie de développement.

Ces micro centrales ont un potentiel élevé sur les chutes d'eau de faibles hauteurs et de faibles débits [3]. En effet, la vis d'Archimède est capable de garder des rendements hydrauliques supérieurs à 80% malgré

des fortes fluctuations de débits [1]. Un avantage non négligeable est aussi le fait que ces centrales sont dites ichtyophiles. En effet, d'après différentes études menées sur cette question [2], il en ressort que pour les vitesses de rotation couramment utilisées, la plupart des sortes de poisson peuvent traverser l'installation sans être blessés.

Bien que l'utilisation de la vis d'Archimède comme turbine est une technologie en voie de développement, il n'existe à ce jour que très peu de littérature à son sujet. Il est donc pour l'instant impossible de dimensionner avec précision une turbine pour un site hydraulique donné. C'est dans ce contexte que l'on a souhaité étudier les performances hydrauliques de ce type de turbine. Pour se faire, une première partie expose des résultats expérimentaux obtenus au laboratoire de mécanique des fluides de l'INSA de Strasbourg. Pour étudier l'écoulement, une modélisation numérique a été faite sous OpenFoam. Les premiers résultats numériques sont alors comparés à ceux, obtenus expérimentalement. Une bonne concordance entre les résultats numériques et expérimentaux a été trouvés sur ces résultats préliminaires.

2 Expérimentations

Pour tester les performances de la vis d'Archimède, un dispositif expérimental a été installée au laboratoire de mécanique des fluides de l'INSA de Strasbourg. Ce dispositif permet de tester des vis de petite échelle pour des paramètres géométriques et hydrauliques variés. L'ensemble de ces paramètres sont représentés dans le tableau 1.

TABLE 1 – Paramètres géométriques et hydrauliques du dispositif expérimental.

Paramètres géométriques	Rayon extérieur de la vis R_a (m)	0,096
	Rayon intérieur de la vis R_i (m)	0,052
	Pas de vis S (m)	0,192
	Longueur filetée de la vis L_B (m)	0,4
	Nombre de filets de la vis N	3
	Inclinaison β (°)	18 ... 30
Conditions hydrauliques	Vitesse de rotation n ($tr.min^{-1}$)	60 ... 180
	Débit Q ($m^3.s^{-1}$)	0,001 ... 0,004
	Niveau d'eau aval h_{out} (cm)	0 ... 25

La première partie de ces expérimentations a portée sur l'étude de l'impact du niveau d'eau aval sur les performances de la vis. La figure 1 expose un exemple d'évolution du couple et du rendement hydraulique de la turbine en fonction du niveau d'eau aval. On remarque qu'il existe un niveau d'eau optimal pour lequel on obtient un rendement hydraulique maximal. Les essais ont, de plus, montré que ce niveau est fonction de l'inclinaison de la vis.

Les résultats ont ensuite montré que la vis d'Archimède utilisée en tant que turbine est capable d'atteindre des rendements supérieurs à 80% dans les bonnes conditions. En effet, il existe une vitesse de rotation optimal pour un débit donné qui donnera les meilleures performances. Ces dernières sont obtenues lorsque la vis est proche du point de remplissage optimal. Enfin, l'étude des performances de la vis en fonction du débit a pu montrer que cette turbine est capable de garder un rendement élevé sur une large gamme de débit (cf. figure 2). Afin d'élargir encore cette gamme, certaines micro-centrales sont équipées de génératrice dite à vitesse variable qui ajuste la vitesse de rotation de la vis en fonction du débit entrant. Sachant que ce type de centrale ont un prix bien plus élevé, il faut qu'il y ait de fortes variations de débits pour que ce système soit rentable.

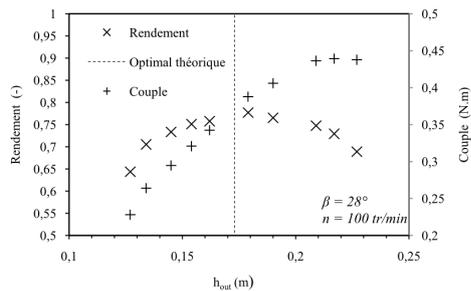


FIGURE 1 – Rendement et couple en fonction du niveau d'eau aval h_{out} .

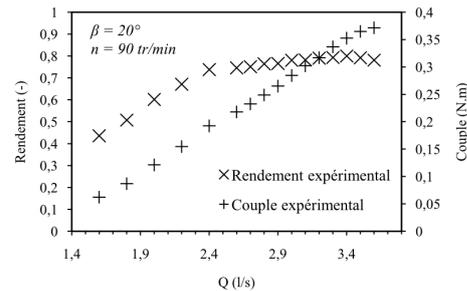


FIGURE 2 – Rendement et couple en fonction du débit Q .

3 Simulation numérique sous OpenFoam

On souhaite à présent étudier l'écoulement au sein de la vis et, prévoir le couple ainsi que le rendement d'une vis d'Archimède en fonction de sa géométrie et des paramètres hydrauliques. Pour se faire, un modèle numérique 3D a été développé sous OpenFoam.

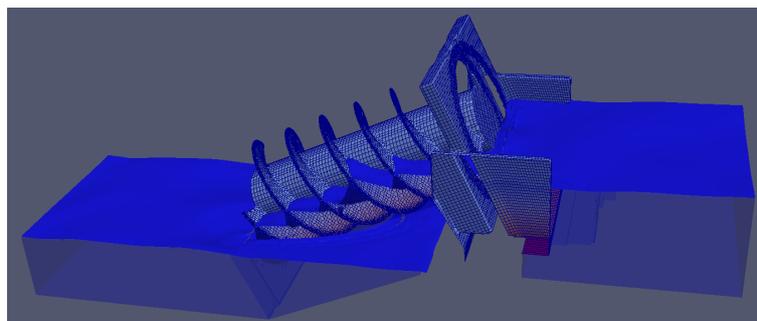


FIGURE 3 – Simulation de la vis d'Archimède sous OpenFoam.

La géométrie de vis utilisée est la même que celle du dispositif expérimental exposé précédemment. Le maillage a été réalisé à l'aide de *blockMesh* et de *snappyHexMesh*. La simulation s'effectue ensuite avec le solveur *interDyMFoam* qui utilise la méthode *VOF* pour la simulation de la surface libre. La figure 4 montre un exemple de simulation de la vis d'Archimède utilisée comme turbine.

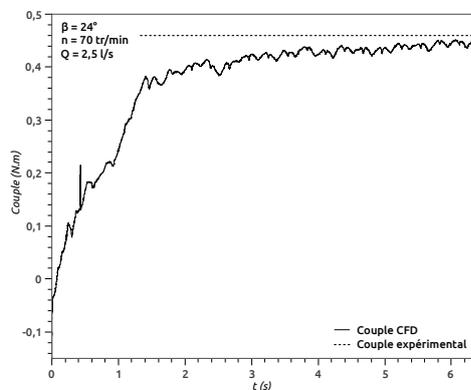


FIGURE 4 – Rendement et couple en fonction du niveau d'eau aval h_{out} .

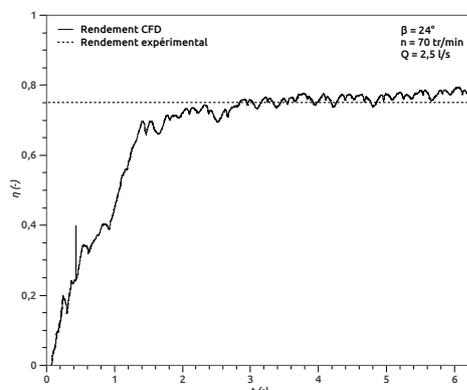


FIGURE 5 – Rendement et couple en fonction du débit Q .

Afin de valider le modèle numérique, les résultats sont comparés à ceux obtenus avec le dispositif ex-

périmental. Les figures 4 et 5 exposent un exemple de résultats préliminaires obtenus par simulation numérique. On peut voir que l'on a une bonne concordance entre les résultats numériques et expérimentaux, que ce soit pour le couple ou pour le rendement de la vis.

4 Conclusion

Pour optimiser le rendement des vis d'Archimède utilisées dans les microcentrales hydroélectriques, on a souhaité étudier l'influence des différents paramètres géométriques et hydrauliques sur ses performances. Pour se faire, une première étude expérimentale a été menée. On a pu voir que ce type de turbine est capable de garder des rendements élevés, supérieur à 80%, malgré de larges fluctuations de débits. De plus, l'impact du niveau d'eau aval sur le rendement de la vis a été mis en avant. Enfin, un modèle numérique a été mis au point à la fois pour déterminer les performances hydrauliques de la vis mais aussi pour étudier les caractéristiques de l'écoulement dans la turbine. Les résultats préliminaires de ce modèle corroborent avec ceux obtenus expérimentalement.

Références

- [1] K Brada. Einaches kleinkraftwerke mit schnecken-turbine zur betrieblichen stromerzeugung. *MM. Maschinenmarkt*, 99 :30–32, 1993.
- [2] P. Kiebel, R. Pike, and T Coe. *The Archimedes screw turbine : Assesment of three leading edge profiles*. Fishtek Consulting, 2009.
- [3] S.J Williamson, B.H Stark, and J.D. Booker. Low head pico hydro turbine selection using a multi-criteria analysis. *Renewable Energy*, 61 :43–50, 2014.