Zeitschrift: Archives des sciences [2004-ff.]
Herausgeber: Société de Physique et d'histoire Naturelle de Genève
Band: 59 (2006)
Heft: 2-3

Artikel: Capter l'énergie hydrolienne du Rhône
Autor: De Cesare, Giovanni / Moukhliss, Hanane / Randall, Karl
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-738338

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Capter l'énergie hydrolienne du Rhône

Giovanni DE CESARE[1], Hanane MOUKHLISS[1], Karl RANDALL[2], Anton SCHLEISS[1]

Ms. reçu le 17 juillet 2006, accepté le 16 août 2006

Abstract

Capturing the hydrokinetic energy of the Rhone River. - *In the current economic situation regarding electric generation and conservation of the environment, it is essential to develop sustainable technologies. From this point of view, hydropower is an excellent resource with a consequently high value. The system presented herein aims to optimize the use of this energy while bringing a solution both economic and respectful of the environment. The studied submerged flow current turbines, consist of an assembly of two turbines immersed which converts the kinetic energy of the flow current into electric power without needing any weir structure, contrary to the traditional exploitation of the potential energy in a run-off-river plant. The designer chose Switzerland and more particularly the Rhone River as pilot project site for the first feasibility study in Europe. The study confirms the technical feasibility of the system.*

Keywords: *hydraulic energy, hydroelectric production, hydrokinetic turbine, numerical modelling, physical modelling, impact on environment*

Résumé

Face aux défis actuels en matière de production électrique et de préservation de l'environnement, il est indispensable de développer davantage les technologies durables. La force hydraulique offre à cet égard une ressource potentielle intéressante. Le système présenté ici cherche à optimiser l'utilisation de cette force en proposant une solution économique et respectueuse de l'environnement. Les hydroliennes étudiées, consistent en un assemblage de deux turbines immergées qui convertit l'énergie cinétique du courant hydraulique en énergie électrique sans recours à un barrage, contrairement à l'exploitation de l'énergie potentielle opérée par une usine au fil de l'eau classique. Le concepteur a choisi la Suisse et plus particulièrement le Rhône comme site pilote pour une première étude de faisabilité en Europe. L'étude appuie la faisabilité technique du système.

Mots clefs: *Energie hydraulique, production hydroélectrique, hydrolienne, modélisation numérique, modélisation physique, impact sur l'environnement*

Introduction

La recherche de nouvelles formes durables de production énergétique est une préoccupation majeure pour limiter les atteintes à l'environnement. La ressource hydraulique offre de grandes opportunités à cet égard (Batten et al 2006; Kirke 2003; Lafitte et De Cesare 2005). Aussi bien sur les cours d'eau que sur les mers, des idées novatrices émergent dans plusieurs pays. Différents projets intéressants tentent d'utiliser les énergies hydrolienne, houlomotrice ou encore marémotrice sur l'éventail offert par les mers et les cours d'eau. Le Marine Current Turbines Project (Groupe de Travail Energies Alternatives 2004; Marine Current Turbines Ltd 2006) par exemple, propose des hydroliennes à l'image des éoliennes, complètement immergées dans l'eau de mer. Hydroélix Energie est également un concept d'énergie hydrolienne, développé en France pour profiter des courants marins (Groupe de Travail Energies Alternatives 2004). Citons également le système subaquatique avec hydroréacteur développé par Peehr Ltd. (Peehr Ltd 2006).

Les turbines immergées

Les turbines immergées (Fig. 1) conçues par UEK Corporation, Maryland (USA), utilisent le principe de base de la technologie hydrolienne qui est de

[1] *Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH), CH - 1015 Lausanne, Suisse,* giovanni.decesare@epfl.ch

[2] *UEK Instream Swiss SA, avenue de la Praille 26, CH - 1227 Carouge, Suisse*

récupérer l'énergie cinétique d'un cours d'eau pour la transformer en énergie électrique. Ce système est composé de deux turbines jumelles d'une conception qui le dispense de toute infrastructure lourde (barrage, fondations massives, régulation, etc.).

Le principe de fonctionnement des turbines jumelles à axe horizontal est illustré sur la Figure 2. Le système peut être relié à un câble ancré dans le lit du cours d'eau et muni d'un support lui permettant de glisser. Il peut également être fixé sur une infrastructure existante (pile de pont par exemple).

Les diamètres disponibles varient entre 1 m et 6 m. La puissance produite dépend des dimensions de la machine et de la vitesse du courant. Pour une machine de 3 m de diamètre, la puissance maximale se situe à 370 kW environ.

Le système UEK a déjà été testé en 2000 en Ontario au Canada où une machine de 3 m de diamètre a été installée dans un canal du DeQew Hydro Station par l'Ontario Power Generation (Vauthier 2006), mais sans suivi scientifique.

Une autre étude en cours, réalisée en collaboration entre l'Université de Manitoba, Hydro Manitoba et UEK Corporation, évalue l'impact d'un système UEK composé d'une turbine sur l'aménagement hydraulique de Pointe Dubois, ainsi que le comportement de la machine face au mélange eau - glace (frazil ice) et le passage de la faune aquatique (Vauthier 2006). D'autres projets sont en cours d'étude sur le Zambèze en Afrique et le Caqueta en Amazonie.

Le projet pilote Suisse

Le Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH) de l'EPFL, travaille depuis novembre 2005 sur la thématique de l'énergie hydrolienne. L'étude a comme

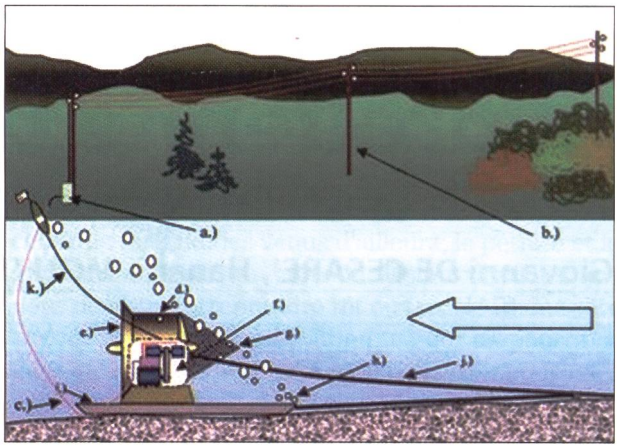


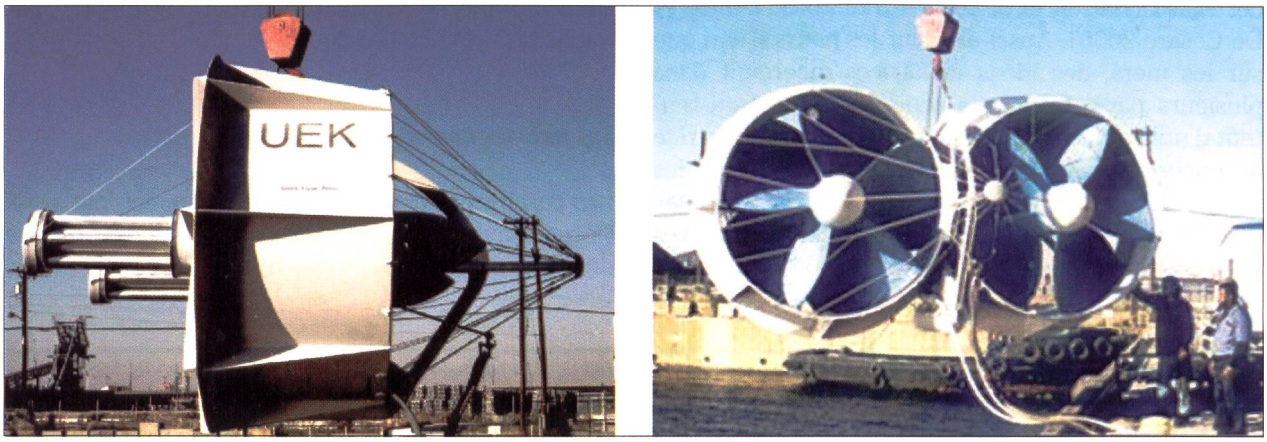
Fig. 2: Schéma du principe de fonctionnement de la Turbine UEK (UEK Corp.).

objectifs d'examiner et de démontrer la faisabilité technique et économique d'implantation de telles turbines pour la génération d'énergie électrique en Suisse. Les points suivants sont à l'étude:

1. théorie de la transformation de l'énergie cinétique d'un cours d'eau en énergie électrique;
2. identification et définition d'un ou de plusieurs sites potentiels pour le projet pilote tenant compte des aspects suivants: évaluation de la vitesse du courant, de la profondeur d'eau et de la variation annuelle aux endroits potentiels, calcul de la variation de puissance et de la production électrique annuelle;
3. impact d'une machine implantée dans un cours d'eau sur la perte de charge locale et la courbe de remous, obstruction de l'installation, passage des crues et de débris flottants, stabilité de l'installation, etc.

L'étude est basée sur une approche théorique, des modélisations numériques 1D et 3D et sur la modélisation physique.

Fig. 1: Illustrations d'une turbine immergée de type Underwater Electric Kite (UEK) de 3m de diamètre (UEK Corp.).



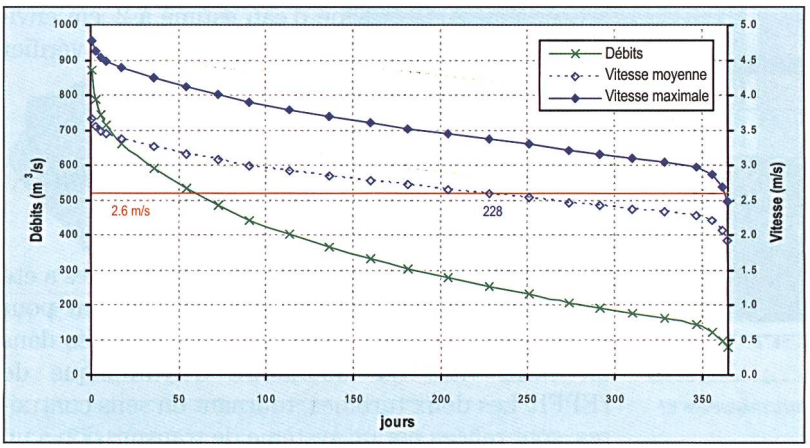


Fig. 3: Débits et vitesses classés pour un site potentiel représentatif.

Choix du site optimal par modélisation numérique

Il s'agit tout d'abord de déterminer l'emplacement où les conditions hydrauliques sont favorables à l'implantation d'une turbine immergée. Cette analyse unidimensionnelle s'effectue sur le Rhône de sa source à la frontière franco-suisse sur environ 200 km, les résultats servent également à évaluer la production hydroélectrique. Les sites retenus sont ensuite étudiés localement par une modélisation numérique tridimensionnelle, afin de déterminer la position idéale de la machine.

Recherche d'un site potentiel dans le Rhône par une analyse 1D

Deux modèles numériques HEC-RAS (US Army Corps of Engineers 2002) du Rhône, de Gletsch au Léman et du Rhône genevois du Léman jusqu'à l'aval de Chancy-Pougny, ont été établis. Ils servent de base à la détermination des sites d'implantation potentiels. Deux paramètres sont importants:

- une vitesse minimale pour le fonctionnement de la machine et la génération d'électricité, elle se situe à 2.6 m/s;
- une profondeur d'eau suffisante pour l'immersion du système, en règle générale il faut disposer d'une profondeur d'eau d'au moins 1.5 fois le diamètre de la turbine;

Sur la base des débits classés, les vitesses classées (moyennes et maximales par site) sont calculées et les périodes de fonctionnement de la machine sont ainsi déterminées. Pour l'exemple de la Figure 3, il ressort que pour une implantation dans la zone des plus fortes vitesses, l'installation peut théoriquement fonctionner quasiment toute l'année, ou pendant 228 jours en conditions moyennes de vitesse d'écoulement. La production électrique sur le site potentiel est ensuite estimée en condition moyenne pour une turbine de 3 m de diamètre (Fig. 4). L'augmentation de la puissance de production avec les fortes vitesses est clairement mise en évidence. L'intégrale sur la courbe de la puissance représente la production électrique moyenne par an, elle est estimée dans cet exemple à environ 1 GWh.

Recherche de l'emplacement idéal par modélisation 3D

La modélisation HEC-RAS permet de localiser le site optimal le long du cours d'eau. Il est ensuite nécessaire de déterminer l'emplacement idéal de la machine dans le profil en travers. Le logiciel FLOW-3D© (Flow Science 2004) est utilisé à cet effet. Les zones encadrant le site optimal sont délimitées et leurs conditions limites sont tirées des résultats du calcul HEC-RAS. La répartition transversale des vitesses est obtenue ainsi que la profondeur à laquelle la machine peut être placée. La Figure 5 illustre, à titre d'exemple, l'implantation des turbines jumelles dans un profil en travers.

Impact d'une machine implantée dans un cours d'eau

L'impact local d'une machine implantée dans un cours d'eau sur l'écoulement au voisinage et sur la courbe de remous doit être évalué.

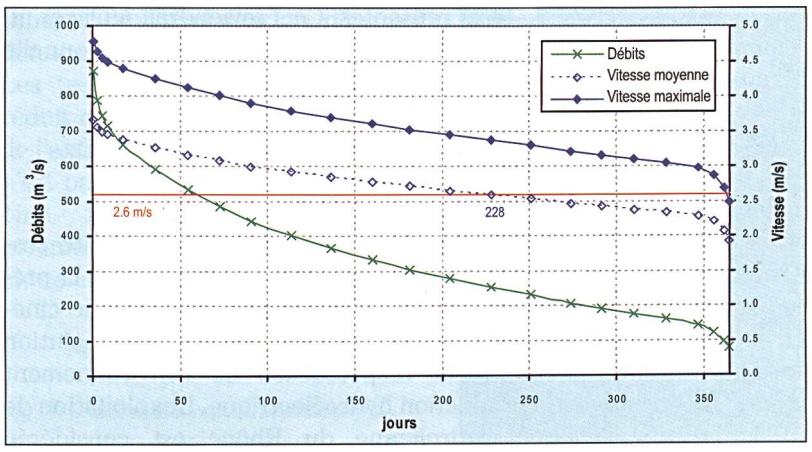


Fig. 4: Courbe de puissance théorique en fonction des vitesses classées moyennes.

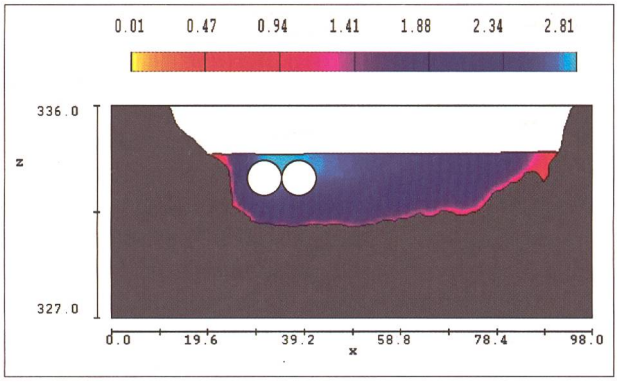


Fig. 5: Exemple de distribution des vitesses longitudinales et emplacement de la machine.

L'implantation ne doit pas influencer la production énergétique existante par rehaussement du niveau en aval d'une usine hydroélectrique. De plus le risque d'inondation en situation de crue ne doit pas être accru par la présence de turbines immergées.

Estimation théorique des pertes de charge locales

L'estimation du rehaussement de la ligne d'eau, permettant d'évaluer l'impact local de deux cylindres juxtaposés, est basée sur une approche analytique. La perte de charge ΔH se calcule en fonction de la vitesse moyenne de l'écoulement V et du coefficient de perte de charge locale ζ comme suit (Idel'Cik 1986):

$$\Delta H = \zeta \frac{V^2}{2g} \qquad \text{éq. 1}$$

$$\zeta \cong k_1 \sum_{i=1}^{n} C_{xi} \frac{\frac{S_{Mi}}{F_0}}{(1-\sum_{i=1}^{n} \tau \frac{S_{Mi}}{F_0})^3} (1-\frac{2y}{D_0})^{1/3} \qquad \text{éq. 2}$$

où k_1 est le rapport entre la vitesse maximale d'écoulement et la vitesse moyenne, C_x le coefficient de résistance, fonction de l'allongement de l'obstacle (rapport entre la longueur et le diamètre du cylindre), $\tau(\cong 1.5)$ un coefficient de correction, S_M la surface projetée de l'obstacle face à l'écoulement, $2y$ la profondeur d'eau, D_0 la largeur du chenal et F_0 la section d'écoulement avant l'obstacle.

Sur un site réel avec deux turbines jumelles de 3 m de diamètre et une largeur du cours d'eau d'environ 55 m en conditions d'écoulement moyennes, le rehaussement local de la ligne d'eau est estimé à 5 cm. L'influence vers l'amont de ce rehaussement local par la courbe de remous est évaluée par un calcul HEC-RAS.

Sur le modèle physique avec deux turbines jumelles de 30 cm de diamètre chacune et une largeur du canal rectangulaire de 1.5 m, le calcul donne un rehaussement de la ligne d'eau estimé à 2 cm environ. La modélisation physique permettra de vérifier cette analyse théorique.

Etude des impacts d'une machine par modélisation physique

Un modèle réduit d'un système à deux turbines a été construit avec un diamètre d'environ 30 cm pour chaque roue (Fig. 6). Les tests sont effectués dans un canal vitré du laboratoire d'hydraulique de l'EPFL. Les deux turbines, tournant en sens contraires, sont reliées par un système de transmission à un générateur. Celui-ci permet de mesurer la production électrique et d'établir la relation entre la vitesse du courant et la puissance électrique.

Plusieurs tests de production hydroélectrique ont été effectués. La figure 7 montre les courbes des puissances en fonction des vitesses de rotation de chaque turbine pour chaque débit testé.

La modélisation physique démontre que l'écoulement a tendance de contourner la machine en augmentant la vitesse latérale. La vitesse à l'entrée de chaque turbine se trouve ainsi réduite. Ceci traduit le comportement naturel de l'eau à chercher le moyen le plus facile pour passer de l'amont à l'aval de la machine. De plus, on voit aisément la création d'une différence de charge entre l'amont et l'aval de la machine exprimant l'énergie potentielle disponible (Fig. 8). C'est en fait cette dernière qui permet de produire de l'énergie dans ce modèle et non l'extraction de l'énergie cinétique à l'image des éoliennes.

En outre, il existe une interaction entre le canal de test et la machine qui limite l'extraction d'énergie à un certain seuil (Bryden et Couch 2007). L'énergie potentielle disponible est utilisée non seulement pour produire la puissance mesurée (Fig. 7) mais également pour traverser et contourner le modèle physique.

Afin d'extraire le seuil maximal de l'énergie disponible, il faut forcer tout l'écoulement à traverser les turbines avec la vitesse la plus élevée et ainsi créer la différence de charge la plus grande pour les conditions de tests présentes. Ceci reviendrait à placer un barrage ce qui n'est que la méthode traditionnelle d'extraction de l'énergie hydraulique.

Conclusions

La force hydraulique présente une excellente ressource énergétique. Le système étudié dans la présente publication vise l'utilisation de l'énergie cinétique d'un cours d'eau, apportant une solution économique et respectueuse de l'environnement pour la production hydroélectrique. L'exploitation de l'énergie hydrolienne du Rhône est considérée

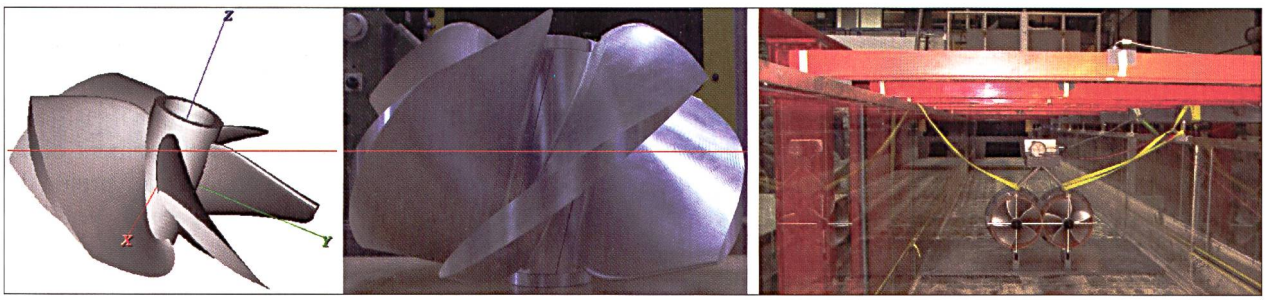


Fig. 6: Construction et installation du modèle physique.

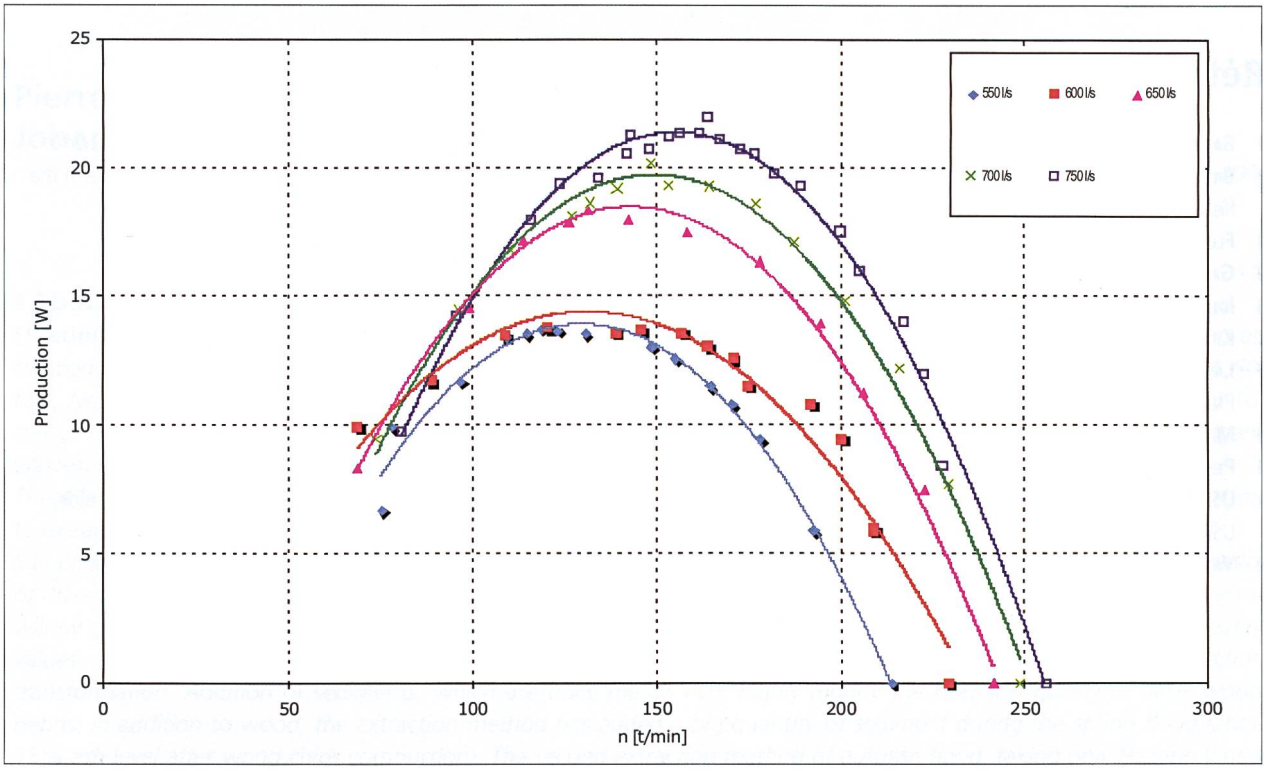


Fig. 7: Production du modèle réduit en fonction des vitesses de rotation de chaque turbine.

comme étude de cas. Dans ce contexte, le laboratoire de constructions hydrauliques (LCH) de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) a étudié les multiples aspects de l'implantation d'hydroliennes.

Les tests sur le modèle physique réduit ont démontré que le concept de l'extraction de l'énergie cinétique n'est pas fondé pour ce type de turbine. Elle fonctionne en effet comme des turbines à ultra basse chute et ne peuvent pas fournir plus

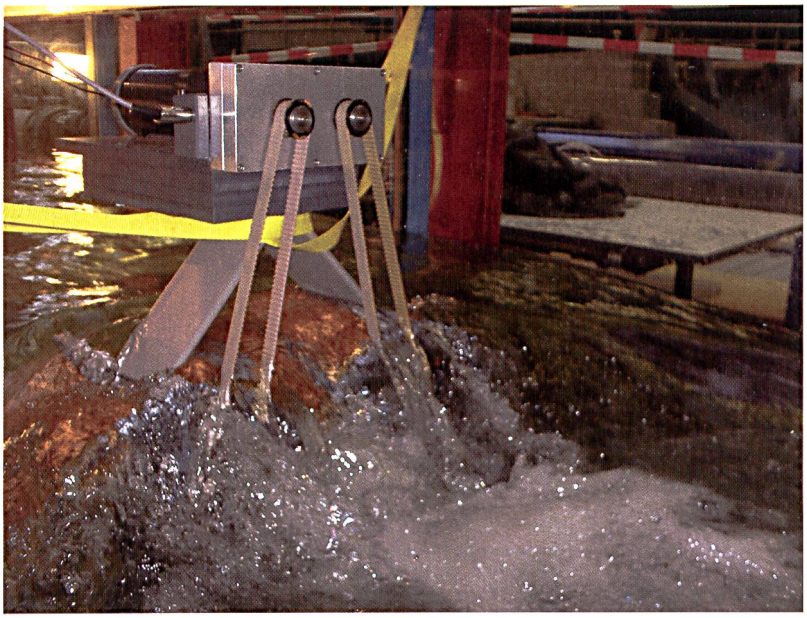


Fig. 8: Chute créée par l'impact du modèle sur la courbe de remous.

qu'un certain taux de l'énergie disponible dans l'écoulement. De plus, la géométrie du conduit n'est pas optimisée pour favoriser l'effet de succion escompté par le concepteur et prédit dans d'autres publications (Kirke 2003) qui estiment dans leurs modèles que les lignes de courant convergeront vers le conduit. Les tests effectués réfutent cette hypothèse pour le modèle physique testé et démontrent que les lignes divergent autorisant l'écoulement de contourner l'obstacle.

Remerciements

Les auteurs remercient les Services industriels de Genève SIG, l'Office fédéral de l'énergie OFEN et le DIAE pour leur aide précieuse au financement et/ou à la collecte des données nécessaires au projet de faisabilité.

Références

- **Batten WMJ, Bahaj AS, Molland AF, Chaplin JR.** 2006. Hydrodynamics of Marine Current Turbines, Renewable Energy, 31(2), 249-256.
- **Bryden IG & Couch SJ.** 2007. How much energy can be extracted from moving water with a free surface: a question of importance in the field of tidal current energy? Technical Note.Renewable Energy 32, 1961-1966.
- **Flow Science.** 2004. Flow 3D, User's Manual; Version 8.2.5, Flow Science Inc., Santa Fe, NM, USA.
- **Groupe de Travail Énergies Alternatives ECRIN.** 2004. Energie des mers, proc. Seatechweek, Brest, 18 au 22 octobre 2004.
- **Idel'Cik, IE.** 1986. Mémento des pertes de charges, Collection de la Direction des Etudes et des Recherches d'Énergie de France.
- **Kirke B.** 2003. Developments in ducted water current turbines, tidal paper, School of Engineering, Griffith University, Australia.
- **Lafitte R, De Cesare G.** 2005. Quantified criteria for electricity generation systems, Proc. of Hydro 2005 (on CD-ROM), Policy into Practice, 17-20 October 2005, Villach, Austria, N°13.01, pp. 1-12.
- **Marine Current Turbines Ltd.** 2006. http://www.marineturbines.com
- **Peehr Ltd.** 2006. http://www.peehr.pt
- **US ARMY Corps of Engineers.** 2002. HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual; Version 3.1 and Applications Guide, USACE, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
- **Vauthier Ph.** 2006. Kite soars to new depths, International Water Power & Dam Construction, Wilmington Media Ltd.