

Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 104 (2013)
Heft: 2

Artikel: Exploitation du potentiel de la petite hydraulique
Autor: Münch-Alligné, Cécile / Avellan, François
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-856456>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 23.01.2025

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

Exploitation du potentiel de la petite hydraulique

Situation actuelle et exemple de développement

La mise hors service progressive des centrales nucléaires en Suisse nécessite l'installation de nouveaux moyens de production d'électricité. Dans ce contexte, un projet de recherche visant au développement de nouvelles technologies pour la petite hydraulique a été mis en place par la HES-SO Valais et l'EPFL. Une nouvelle microturbine axiale destinée à récupérer l'énergie hydraulique dissipée par les réducteurs de pression des circuits de distribution d'eau potable est notamment en cours de développement.

Cécile Münch-Alligné, François Avellan

Les problèmes climatiques liés aux émissions de gaz à effet de serre des dernières décennies ont révélé l'effet néfaste de l'utilisation des énergies fossiles. Le développement de toutes les formes possibles d'exploitation des énergies renouvelables est dès lors devenu primordial.

Fournissant plus de 16% de la production d'électricité mondiale [1,2], l'énergie hydraulique constitue la principale source d'énergie renouvelable. A celle-ci viennent s'ajouter les nouvelles sources, c'est-à-dire la biomasse moderne, la petite hydroélectricité, la géothermie, l'énergie éolienne, l'énergie solaire (photovoltaïque notamment) et l'énergie marine, qui représentaient déjà 2,2% de la fourniture d'énergie primaire au niveau mondial en 2010.

Parmi ces dernières, la petite hydraulique présente un intéressant potentiel d'exploitation, motivant de ce fait le développement de nouvelles technologies. L'une d'elles, destinée à récupérer l'énergie dissipée par les réducteurs de pression situés dans les circuits de distribution d'eau potable, est présentée dans cet article.

La petite hydraulique

La petite hydroélectricité se distingue de l'hydroélectricité traditionnelle par des installations générant moins de 10 MW par site. Le terme mini-hydro est généralement utilisé pour les aménagements produisant moins de 2 MW, le terme micro-hydro est réservé aux instal-

lations de moins de 500 kW et le terme pico-hydro à celles de moins de 10 kW. La notion de « petite hydraulique » diffère cependant d'un continent à l'autre, atteignant par exemple 25 MW dans certains pays comme le Canada ou la Chine.

Situation

En 2008, la puissance mondiale installée dans le domaine de la petite hydraulique (< 10 MW) était approximativement de 60 GW, dont 33 GW en Chine [1,2]. L'Europe, avec une puissance installée d'environ 13 GW, arrive quant à elle en deuxième position. La génération d'électricité à partir de la petite hydraulique (40 300 GWh) y représentait en 2005 déjà 2% de la production d'électricité totale et 8,6% de la production hydroélectrique.

En Suisse

Il y a une centaine d'années, près de 7000 moulins, roues à eau et petites turbines étaient en fonctionnement dans notre pays, certains pour produire de

l'électricité, d'autres pour fournir une puissance mécanique. La production de courant à moindre coût dans les grandes centrales a peu à peu entraîné la mise hors service d'un grand nombre de ces installations.

Mais depuis les années 90, les petites centrales hydroélectriques présentent à nouveau un intérêt économique. Le potentiel de développement de la petite hydraulique était estimé en 1999 à 2 TWh et depuis, une augmentation de près de 14% de la puissance installée et de la production a été enregistrée dans ce domaine. En 2010, il y avait déjà plus de 1300 petites centrales hydroélectriques en fonctionnement pour une capacité installée de 859 MW (tableau 1). Elles ont généré la production de 3770 GWh cette année-là [3]. Aujourd'hui, le potentiel de développement de la petite hydraulique est encore évalué à 1,3-1,6 TWh selon l'OFEN [4].

Les technologies actuelles

L'eau turbinée par les petites centrales hydrauliques provient de différentes sources: les cours d'eau, les réseaux d'eaux usées ou d'eau potable, les eaux de dotation, d'irrigation ou encore des canons à neige. De cette variété résultent différents « types » de centrales.

Les centrales nécessitant un minimum d'investissement et dont la mise en place est facilitée sont celles intégrées à des infrastructures existantes car les coûts d'installation et l'impact environnemental sont minimisés. Il s'agit par exemple de centrales sur les réseaux d'eau potable ou d'eaux usées. Ce concept est d'ailleurs déjà largement développé en Suisse.

Il existe aussi des petites centrales sur les cours d'eau. Elles présentent l'avantage de produire bien plus d'électricité

Puissance électrique installée (kW)	2010				
	Nombre de centrales	MW	GWh/a	% de la production hydroélectrique	% de la production d'électricité
< 300	~1000	60	270	0,7	0,4
301-1000	191	110	554	1,5	0,8
1001-10 000	187	689	2947	7,9	4,4
> 10 000	169	12 882	33 730	89,9	50,9
Total P < 10 000	1378	859	3770	10,1	5,7
Total	1547	13 741	37 500	100	56,6

Tableau 1 La petite hydraulique en Suisse en 2010 [3].

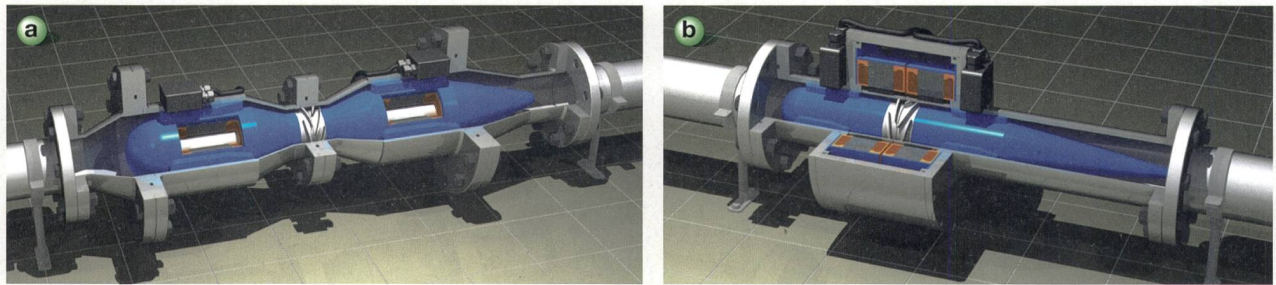


Figure 1 Vue 3D de la microturbine contrarotative avec les génératrices à l'intérieur du moyeu (a) ou sur la périphérie de la turbine (b).

que les centrales installées sur les réseaux d'eau potable ou d'eaux usées [5]. Néanmoins, l'impact environnemental sur l'écosystème et le respect des lois protégeant les cours d'eau limitent le développement de ce type d'installations en Suisse. Certaines anciennes centrales pourraient par contre être réhabilitées et remises en fonction.

Les centrales sont en général équipées de systèmes compacts incluant tous les éléments électromécaniques: la turbine, le multiplicateur de vitesse, l'alternateur, la vanne de garde, ainsi que les systèmes de mesure et de contrôle. Selon la chute et le débit disponibles, il convient d'installer soit des turbines typiques de la grande hydraulique (Pelton, Francis, Kaplan ou Banki-Michell), soit des turbines spécialement développées pour la petite hydraulique telles que les turbines diagonales ou siphon de Mhylab [6].

Un nouveau développement: le projet Hydro VS

L'exploitation du potentiel de la petite hydraulique nécessite l'optimisation des technologies existantes et le développement de nouvelles technologies. C'est dans ce contexte que le projet de recherche Hydro VS a été mis en place par la HES-SO Valais (Haute Ecole spécialisée de Suisse occidentale) et l'EPFL (Ecole polytechnique fédérale de Lausanne). Ce dernier est financé par le canton du Valais via la fondation The Ark.

Descriptif

Un des axes de recherche de ce projet est la réalisation d'une nouvelle microturbine axiale [7,8]. Cette turbine, constituée de deux roues contrarotatives par étage, est développée pour pouvoir être installée en ligne sur une conduite d'un circuit de distribution d'eau potable. L'objectif est

de remplacer les réducteurs ou les régulateurs de pression afin de récupérer l'énergie hydraulique qu'ils dissipent. La conception compacte de cette nouvelle turbine (figure 1) permettra un montage aisé sur une conduite d'eau potable, minimisant ainsi l'impact sur l'infrastructure existante et les coûts d'installation.

Les turbines axiales, telles que les turbines de types bulbe ou Kaplan par exemple, sont en général choisies pour des sites où la chute disponible est relativement faible, quelques dizaines de mètres, et pour une vitesse spécifique importante (figure 2). La vitesse spécifique ν d'une turbine est définie comme suit:

$$\nu = \frac{\omega \left(\frac{Q}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}}{(2E)^{\frac{3}{4}}}$$

où Q représente le débit total d'équipement de l'aménagement en m^3s^{-1} , ω la

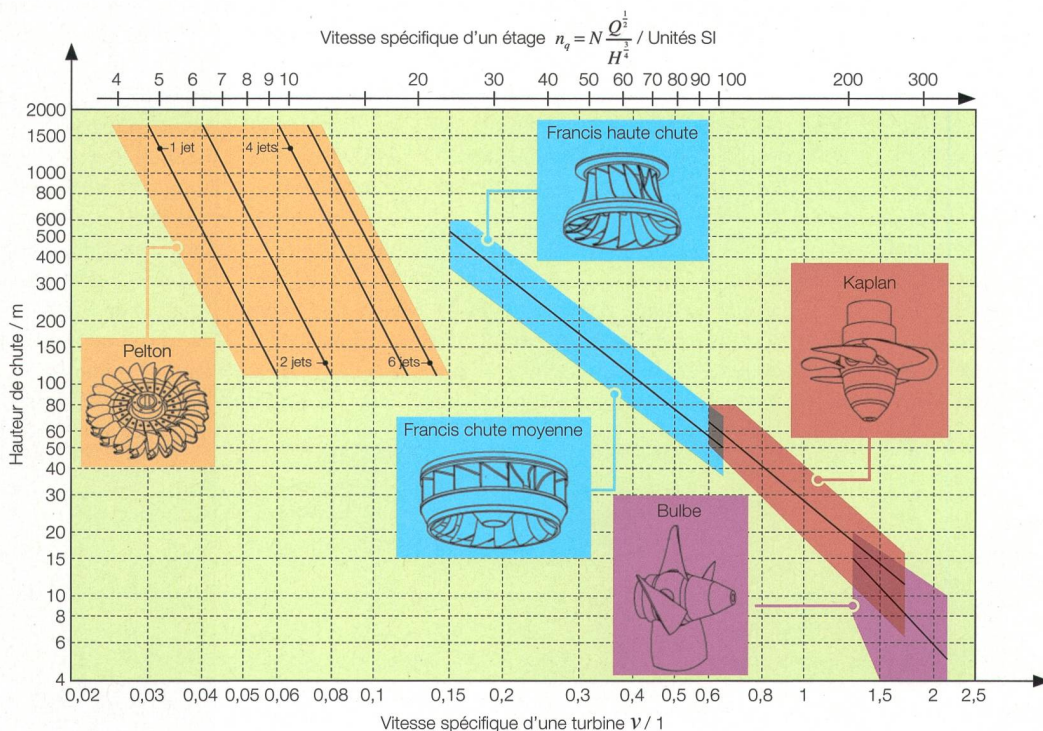


Figure 2 Classification des turbines en fonction de la vitesse spécifique [9].

vitesse de rotation de la machine en rad/s, $E = gH$ l'énergie spécifique disponible aux bornes de la machine en J/kg et H , en m, la chute au point de fonctionnement « nominal ».

Souvent, il est intéressant d'introduire la vitesse spécifique d'un étage $n_{q,s}$ (unités SI) :

$$n_{q,s} = N \frac{Q^{\frac{1}{2}} z_s^{\frac{3}{4}}}{H^{\frac{5}{4}}}$$

où N (tr/min) désigne la vitesse de rotation d'un groupe et z_s le nombre d'étages de la turbine.

La turbine la plus adaptée pour les sites potentiels où se trouvent des réducteurs de pression est en général une turbine de type Pelton, turbine pour haute chute ayant une vitesse spécifique faible. Les petites centrales sur les réseaux d'eau potable en sont d'ailleurs généralement équipées.

Pour être apte à se présenter comme une alternative technologique, la microturbine axiale doit pouvoir fonctionner à des chutes importantes. La solution technologique choisie est donc de répartir la chute disponible sur plusieurs roues. Dans le cas de la turbine à un étage, la turbine est composée de deux roues qui tournent en sens contraire. Au meilleur point de fonctionnement, la chute est équitablement répartie entre les deux roues qui tournent, en valeur absolue, à la même vitesse. La vitesse spécifique de chaque roue est ainsi plus élevée : pour une turbine d'un étage avec deux roues la vitesse spécifique de chaque roue est multipliée par $2^{3/4} \approx 1,68$ par rapport à la solution avec une seule roue. Selon la chute disponible, le nombre d'étages peut être augmenté, permettant ainsi de concevoir une turbine axiale avec un bon rendement pour des chutes importantes.

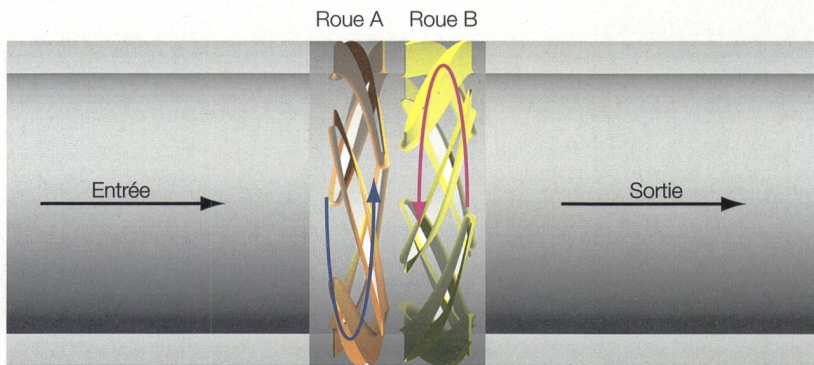


Figure 3 Schéma de la microturbine contrarotative à un étage.

Dans une turbine axiale, l'eau s'écoule selon la direction de l'axe de rotation de la machine, contrairement aux machines radiales ou mixtes. Comme illustré dans la **figure 3**, chaque étage de la microturbine est composé de deux roues qui tournent en sens contraire. L'écoulement arrive axialement dans la première turbine qui récupère une partie de l'énergie hydraulique disponible. L'écoulement dévié par la première roue rencontre ensuite la seconde roue qui tourne en sens contraire. La seconde roue récupère le reste de l'énergie hydraulique disponible et redresse l'écoulement qui sort axialement de la turbine.

Méthodes de développement

Un premier prototype de microturbine contrarotative mono-étage a été réalisé. Les dimensions de la turbine et les caractéristiques nécessaires à la conception des roues sont données dans le **tableau 2**.

Le développement de cette première microturbine a été effectué en utilisant la simulation numérique des écoulements [8]. Cette méthode consiste à simuler sur ordinateur l'écoulement dans la turbine afin de prédire et optimiser ses perfor-

mances. Ce procédé est particulièrement adapté pour la petite hydraulique. En effet, la simulation numérique requiert des coûts relativement faibles par rapport à une campagne de mesures sur plateforme d'essai.

Dans ce projet, les simulations numériques de l'écoulement ont été réalisées avec le logiciel commercial Ansys CFX 13.0. Ce logiciel permet de résoudre le système d'équations incompressibles de Navier-Stokes de type RANS par des méthodes « volumes finis ». Le système d'équations est fermé par un modèle de turbulence à deux équations appelé SST (Shear Stress Transport) et le domaine de calcul est discrétisé par un maillage structuré de plus de 4 millions de nœuds (**figure 4**).

Les conditions limites suivantes ont été posées :

- le débit est fixé à l'entrée du domaine de calcul et la pression est fixée à la sortie ;
- une vitesse nulle de l'écoulement est imposée sur les parois ;
- la vitesse de rotation des deux roues est fixée.

Quantité	Symbole	Valeurs
Rayon à la ceinture	R_c	50 mm
Rayon au moyeu	R_m	40 mm
Nombre d'aubes pour la roue A	z_A	5
Nombre d'aubes pour la roue B	z_B	7
Chute	H	20 m
Débit	Q	$8,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Energie spécifique	E	$196 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$
Puissance hydraulique	P_h	1700 W
Rendement souhaité	η_h^{design}	0,85
Puissance mécanique souhaitée	P_{mec}	1446 W
Vitesse de rotation nominale	$ N_A = N_B $	3000 tr·min ⁻¹
Vitesse spécifique de la turbine	ν_T	0,31
Vitesse spécifique de chaque roue	ν_R	0,53

Tableau 2 Données caractéristiques du premier prototype de la microturbine axiale contrarotative mono-étage.

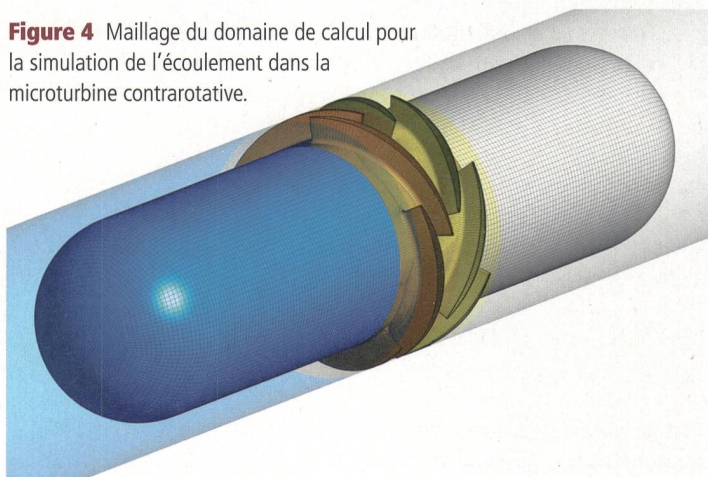


Figure 4 Maillage du domaine de calcul pour la simulation de l'écoulement dans la microturbine contrarotative.

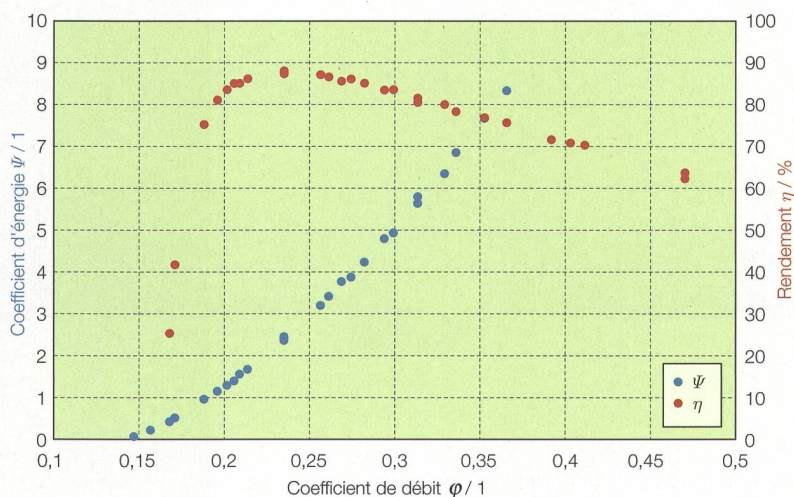


Figure 5 Rendement et caractéristique du premier prototype de microturbine contrarotative obtenus par simulation numérique.

L'énergie spécifique disponible aux bornes de la machine, le couple résultant sur les roues et le rendement de la turbine sont quant à eux des résultats de la simulation.

Performances de la microturbine

Différents points de fonctionnement de la turbine ont été simulés permettant d'obtenir la courbe de rendement de la machine ainsi que sa caractéristique. Sur la **figure 5**, le rendement de la turbine est représenté en fonction du coefficient de débit φ défini comme suit :

$$\varphi = \frac{Q}{\omega R_c \pi (R_c^2 - R_m^2)}$$

R_c étant le rayon de la roue au niveau de la ceinture et R_m le rayon de la roue au niveau du moyeu (**tableau 2**).

La caractéristique de la turbine, également illustrée sur la **figure 5**, correspond à la représentation du coefficient d'énergie ψ en fonction du coefficient de débit φ . Le coefficient d'énergie est défini comme suit :

$$\psi = \frac{2E}{(\omega R_c)^2}$$

Finalement, la vitesse spécifique peut aussi être définie comme suit :

$$v = \frac{\varphi^{\frac{1}{2}}}{\psi^{\frac{3}{4}}}$$

D'après les résultats obtenus par simulation numérique, le rendement de la turbine est de 88% au meilleur point de

fonctionnement. Ce dernier correspond à un coefficient de débit φ égal à 0,235 et à un coefficient d'énergie ψ de 2,38. La vitesse spécifique v de la turbine est alors égale à 0,253, celle de chacune des roues étant égale à 0,425. Autrement dit, la turbine produira une puissance mécanique de 2,65 kW pour un débit de $10,42 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ et une chute de 29,9 m à une vitesse de 3000 tr/min.

Cas d'étude

Considérons le cas d'un des régulateurs de pression du réseau d'eau potable alimentant une commune de 6000 habitants, présentant les caractéristiques décrites dans le **tableau 3**. La puissance hydraulique disponible est estimée à 25 kW (**tableau 3**). En installant une microturbine à cet endroit, la puissance mécanique récupérable serait de 20 kW pour un rendement global de la machine de 80%. En supposant que la consommation moyenne d'eau par habitant soit de 250 l par jour, la production d'électricité annuelle serait de 120 000 kWh. Cela représente la consommation d'environ 40 foyers.

Tableau 3 Données caractéristiques d'un régulateur de pression du réseau d'eau potable d'une commune de 6000 habitants et du potentiel hydraulique correspondant.

Caractéristiques du régulateur de pression		
Pression en amont	p_{amont}	19 bar
Pression en aval	p_{aval}	7 bar
Débit	Q	25 l/s
Diamètre de la conduite	D_e	100 mm
Caractéristiques hydrauliques		
Différence de pression récupérable	Δp	10 bar
Accélération gravitationnelle	g	9,81 m/s ²
Energie massique nominale	E_{nom}	1003 J/kg
Chute nominale	$H_{\text{nom}} = E_{\text{nom}}/g$	102,24 m
Puissance hydraulique nominale	P_{nom}	25 000 W

Zusammenfassung **Das Potenzial der Kleinwasserkraft nutzen**
Gegenwärtige Lage und Beispiel einer Neuentwicklung

Die schrittweise Abschaltung der Atomkraftwerke in der Schweiz erfordert neue Stromerzeugungsverfahren, vorzugsweise auf der Grundlage erneuerbarer Energien. Mit einem auf 1,3–1,6 TWh geschätzten Entwicklungspotenzial kann die Kleinwasserkraft hier eine wichtige Rolle spielen und begründet somit die Entwicklung neuer Technologien, um ihre Nutzung zu optimieren. In diesem Zusammenhang wurde das Forschungsprojekt Hydro VS von der HES-SO Wallis (Haute Ecole spécialisée de Suisse occidentale) und der EPFL (Ecole polytechnique fédérale de Lausanne) ins Leben gerufen. Derzeit wird beispielsweise eine pro Stufe aus zwei gegenläufigen Rädern bestehende Axial-Mikroturbine entwickelt, um die Energie zurückzugewinnen, die von den Druckminderern in den Trinkwassernetzwerken abgegeben wird. Die Entwicklung dieser Turbine erfolgte durch die numerische Simulation der Strömung – ein preisgünstiges Verfahren, das besonders für die Kleinwasserkraft geeignet ist. Gemäss der betrachteten Studie sollte eine solche Mikroturbine nach erfolgter Installation im Trinkwassernetz einer 6000-Einwohner-Gemeinde pro Jahr 120 000 kWh liefern können, also den Verbrauch von ca. 40 Haushalten abdecken. Die Simulationsergebnisse werden nun auf Prüfständen validiert. Im nächsten Schritt wird dann ein Prototyp an einem Pilotstandort installiert und getestet. CHe

Perspectives

Les résultats obtenus par simulation numérique pour ce premier prototype sont en cours de validation expérimentale. Des mesures sur bancs d'essai (**figure 6**) sont en effet en cours pour différentes configurations de la turbine :

- une version « coudée » avec des génératrices externes ;

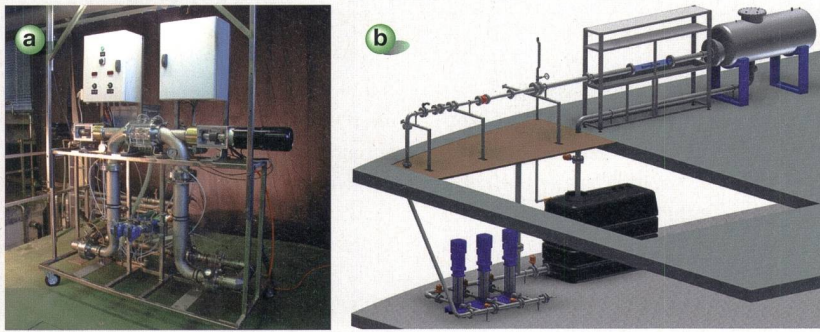


Figure 6 Bancs d'essai de l'EPFL (a) et de la HES-SO Valais (b) développés pour tester la microturbine contrarotative.

- une version « bulbe » dans laquelle chaque génératrice est placée dans un bulbe à l'intérieur de l'écoulement ;
- une version « strafflow » dans laquelle chacune des roues joue le rôle de moyeu du rotor de la génératrice correspondante.

Ces trois versions vont être étudiées sur les bancs d'essai. Les mesures de performance des différentes versions de la turbine seront comparées aux résultats obtenus par simulation numérique. Une fois cette première étape de développement validée, une microturbine sera installée et testée sur un site pilote.

Conclusions

Aujourd'hui, le développement des nouvelles énergies renouvelables est devenu une nécessité. La lutte contre l'effet de serre, la forte hausse de la demande énergétique mondiale, la dépendance nationale à l'égard des importations en énergies fossiles et l'arrêt des centrales nucléaires constituent des arguments majeurs dans ce sens.

Parmi les nouvelles énergies renouvelables, la petite hydroélectricité a un rôle à jouer.

En Suisse, la petite hydraulique représente plus de 10% de la production d'hydroélectricité et bénéficie d'un important potentiel de développement. Contrairement aux idées reçues qui stigmatisent l'énergie hydraulique comme étant une technologie ancienne et éprouvée, la petite hydroélectricité a un fort potentiel d'évolution, particulièrement dans le développement de concepts simples, peu coûteux et efficaces.

C'est dans cette optique que le projet Hydro VS a été mis en place par l'EPFL et la HES-SO Valais. Une microturbine est par exemple en cours de développement afin de récupérer l'énergie dissipée par les réducteurs de pression sur les réseaux d'eau potable. Le développement de cette turbine a été réalisé par simulation numérique de l'écoulement, une méthode peu coûteuse et particulièrement adaptée à la petite hydraulique.

Figures : EPFL et HES-SO Valais

Références

- [1] REN21 : Renewables 2010 – Global Status Report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2010. http://new.ren21.net/Portals/0/documents/activities/gsr/REN21_GSR_2010_full_revised%20Sept2010.pdf.
- [2] ESHA : BlueAGE – Strategic study for the development of small hydro power in the European Union. European Small Hydropower Association, 2000. www.esha.be/fileadmin/esha_files/documents/publications/publications/BlueAGE.pdf.
- [3] N. Crettenand : The facilitation of mini and small hydropower in Switzerland – Shaping the institutional framework. EPFL, Thèse n° 5356, 2012.
- [4] OFEN : Le potentiel hydroélectrique de la Suisse. Office fédéral de l'énergie, Juin 2012.
- [5] M. Dubas : Experiences with the design of small hydraulic power plants. Hydroenergia 2010, Lausanne, 16-19 juin 2010.
- [6] V. Denis : Petite hydroélectricité : de la théorie à la pratique. Bulletin SEV/AES 5/2010, 2010. www.bulletin-online.ch/uploads/media/article_145656.pdf.
- [7] C. Münch-Alligné, S. Richard, B. Meier, V. Hasmatuchi and F. Avellan : Numerical simulations of a counter rotating micro turbine. SimHydro 2012, Sophia Antipolis, Nice, France, 12-14 septembre 2012.
- [8] J. Monge : Thèse de doctorat en cours au Laboratoire de machines hydrauliques de l'EPFL.
- [9] F. Avellan : Courses of hydraulic machines. EPFL, Suisse, 2010.

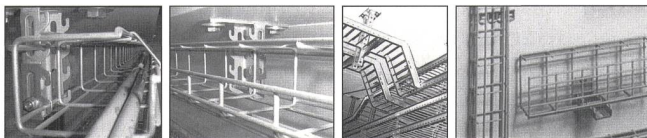
Informations sur les auteurs

Prof. Dr **Cécile Münch-Alligné** est depuis 2010 professeur à la HES-SO Valais en énergie hydraulique. Titulaire d'un diplôme d'ingénieur en hydraulique et mécanique de l'Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG) ainsi que d'un doctorat en simulation numérique de la turbulence, elle a rejoint pendant quatre années le Laboratoire de machines hydrauliques du Prof. Avellan à l'EPFL pour y développer les activités dans le domaine de la simulation numérique des écoulements dans les turbomachines. **HES-SO Valais, 1950 Sion, cecile.muench@hevs.ch**

Prof. Dr Ing. **François Avellan** est ingénieur hydraulicien diplômé de l'Ecole nationale supérieure d'hydraulique de l'INPG et a obtenu le titre de docteur ingénieur de l'Université d'Aix Marseille II. Professeur ordinaire à l'EPFL, il est également directeur du Laboratoire de machines hydrauliques.

EPFL, Laboratoire de machines hydrauliques, 1007 Lausanne, francois.avellan@epfl.ch

Anzeige



G-Kanäle™ Weitspann-Multibahnen

1. geprüft auf Erdbebensicherheit SIA 261 Eurocode 8 (EMPA)
2. geprüft auf Schockwiderstand 1 bar Basisschutz (ACS Spiez)
3. geprüft auf Funktionserhalt im Brandfall 90 Min. (Erwitte)

3-fach geprüft gibt Sicherheit in schwierig zu evakuierenden Gebäuden, in Anlagen mit grossem Personenverkehr, in Wohn-, Hotel- und Bürohochhäusern.

Preis günstig. Qualität top. Lieferung klappt: LANZ nehmen.

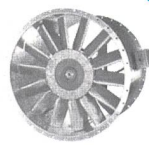


lanz oensingen ag

CH-4702 Oensingen Südringstrasse 2
 Telefon 062 388 21 21 Fax 062 388 24 24
www.lanz-oens.com info@lanz-oens.com

ANSON

liefert gut und preisgünstig:



Grosse Axialventilatoren

Antrieb direkt. Auch für 400° C/2h. V = bis 200'000 m³/h und Drücke bis 3000 Pa. Offerte von:



Grosse Radialventilatoren

Antrieb direkt, über Kupplung oder Keilriemen. Bis 20 m³/sec. bzw. 12 kPa. Auch für hohe Temperaturen und aggressive Medien.



Alle Schalter und Steuerungen

zum energiesparenden Betrieb grosser Axial- und Radialventilatoren von:

ANSON AG 044/461 11 11
 8055 Zürich Friesenbergstrasse 108 Fax 044/461 31 11

info@anson.ch
www.anson.ch