

Turbinage dans les réseaux d'eau

Turbinen in Wasserversorgungsnetzen

Gemäss verschiedenen Studien des Bundesamts für Energie verbirgt sich im Schweizer Trinkwassernetz ein Stromerzeugungspotenzial von mehr als 100 GWh/Jahr, das entspricht einem Verbrauch von 30 000 Haushalten.

Mit dem Inkrafttreten der Vergütung für erneuerbare Energie zum Selbstkostenpreis am 1. Januar 2008, den Rahmenbedingungen und der Unterstützung von neuen Technologien ist die Stromerzeugung über Turbinen im Trinkwasser nicht mehr allein den Wasserversorgungsnetzen vorbehalten, die erhebliche Höhenunterschiede aufweisen, sondern wird in der Mehrzahl der Gemeinden des Jura-Plateaus und Jurabogens wirtschaftlich rentabel.

Ziel dieses Artikels ist es, die gesamte Bandbreite der verschiedenen existierenden Potenziale und der Technologien, die deren Verwirklichung ermöglichen, kurz darzustellen.

Turbinning in Water Networks

According to various studies by the Swiss Federal Office for Energy, an electricity production potential of over 100 GWh/year, i.e. the consumption of 30 000 households, remains unexploited in the drinking water networks of Switzerland.

With the coming into force on January 1st 2008 of the cost price payment for electricity from a renewable source, the framework conditions and the support of new electricity production, by turbinning drinking water is no longer the reserve of water networks that have significant differences in ground level; it is becoming economically profitable in the majority of communes on the Jura plateau and Jura arc.

The aim of this article is to go over the various levels of potential that exist and the technologies that enable them to be implemented.

Thomas Bühler



Selon différentes études de l'Office fédéral de l'énergie, un potentiel de production électrique de plus de 100 GWh/an, soit la consommation de 30 000 ménages, se cache dans les réseaux d'eau potable de Suisse.

Avec l'entrée en vigueur au premier janvier 2008 de la rétribution au prix coutant de l'électricité d'origine renouvelable, les conditions cadres et l'appui de nouvelles technologies, la production d'électricité par turbinage de l'eau potable n'est plus réservée aux seuls réseaux d'eau bénéficiant d'importantes dénivellations, mais devient économiquement rentable dans la plupart des communes du Plateau et de l'Arc jurassien.

L'objectif de cet article est de faire un tour d'horizon des différents potentiels existants et des technologies qui permettent leur réalisation.

1. Introduction

En Suisse, la consommation électrique des réseaux d'eau représente 23 % de la consommation électrique du ménage communal. Elle est donc bien supérieure à la consommation des STEP, des écoles ou de l'éclairage public. A l'avenir, les réseaux d'eau devraient être en mesure de produire tout ou partie de l'énergie électrique qu'ils consomment, ou mieux encore d'être des producteurs nets d'énergie. Cette réalité est déjà effective dans certain cas, comme dans la commune de Coire où les installations de turbinages sur le réseau d'eau produisent un excédent d'électricité qui est vendu comme «courant vert».

L'action SuisseEnergie pour les infrastructures du programme Suisse-Energie de la Confédération soutient les communes à établir leur potentiel de turbinage par le biais d'études de faisabilité. Les responsables des réseaux d'eau ont ainsi une base de décision technique et économique solide pour statuer sur la réalisation de l'installation de turbinage.

En Suisse romande, ces dernières années, 25 communes ont bénéficié de ce soutien. Et sur l'ensemble des réseaux d'eau étudiés, près du tiers de la capacité de production est soit en cours de réalisation, soit en cours d'étude de projet. Le potentiel de production, basé sur l'ensemble de ces études, s'élève à 14 139 000 kWh/an, soit l'équivalent de la consommation de plus de 4000 ménages.

Bien que la démarche proposée par SuisseEnergie pour les infrastructures ait fait ses preuves vu le nombre de projets, il arrive néanmoins encore trop souvent que la notion de turbinage de l'eau potable rime exclusivement avec communes alpines et préalpines. Les potentiels sont certes globalement plus élevés en Valais ou dans le Chablais, mais ceux des communes dites de plaines ou jurassiennes sont également intéressants.

2. Potentiels de turbinage

Dans tous les cas de figure, la pose d'une installation de turbinage est conditionnée par le fait que les conduites doivent être capables de supporter la mise en pression. Il est donc particulièrement important d'étudier si un potentiel de turbinage est existant avant tout changement de conduite. En effet, il est souvent trop onéreux de changer une conduite pour n'installer qu'une turbine, mais les surcoûts sont tout à fait supportables, si le choix d'enfourir

des conduites appropriées au turbinage est réalisé lors du renouvellement des conduites.

Par ailleurs, pour chaque réseau d'eau, l'emplacement de l'installation de turbinage est imposé par le type d'approvisionnement en eau et la topographie. De manière générale, quatre situations typiques se retrouvent:

- Entre une chambre de captage et un réservoir
- Entre deux réservoirs
- Entre deux zones de pressions
- Sur les trop-pleins

a. Entre une chambre de captage et un réservoir

Le réservoir, placé en amont du réseau de distribution, assure la pression dans le réseau d'eau par la différence d'altitude. L'énergie de l'eau en provenance de la chambre de captage est généralement détruite par un réducteur de pression afin de ne pas endommager le réservoir. L'installation d'une turbine ou d'une pompe inversée permet de récupérer cette énergie, pour autant que les conduites supportent la mise en pression (Fig. 1).

b. Entre deux réservoirs

Les réseaux d'eau sont parfois subdivisés en zones de pression qui sont alimentées par différents réservoirs reliés entre eux. L'énergie potentielle de l'eau lors du remplissage du réservoir inférieur peut être récupérée par l'installation d'une turbine ou d'une pompe inversée (Fig. 2).

c. Entre deux zones de pression

Les points d'interconnexion entre deux zones de pression sont généralement équipés de réducteurs de pression. Il est tout à fait possible d'exploiter la différence de pression pour turbiner. L'installation de turbinage doit néanmoins garantir une pression résiduelle au sortir de la

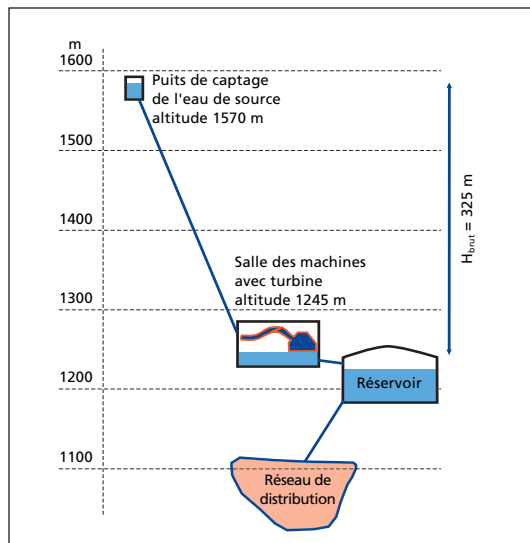


Fig. 1 Turbinage entre la chambre de captage et le réservoir*.

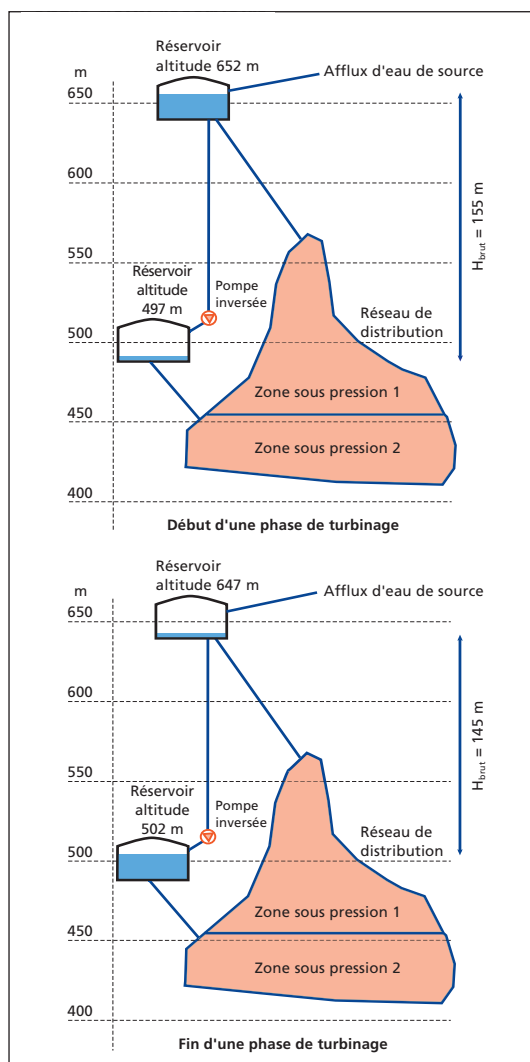


Fig. 2 Turbinage entre deux réservoirs*.

* Source: Manuel «Energie dans les réseaux d'eau» (OFEN/SSIGE)

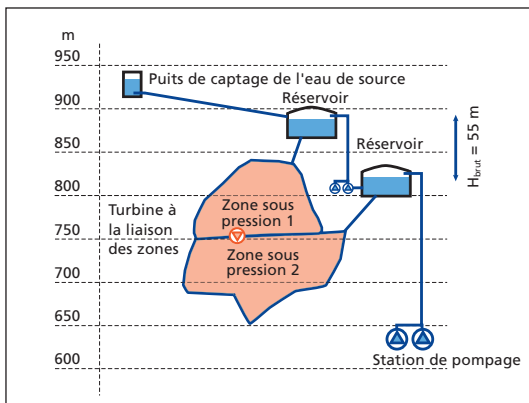


Fig. 3 Turbinage entre deux zones de pression*.

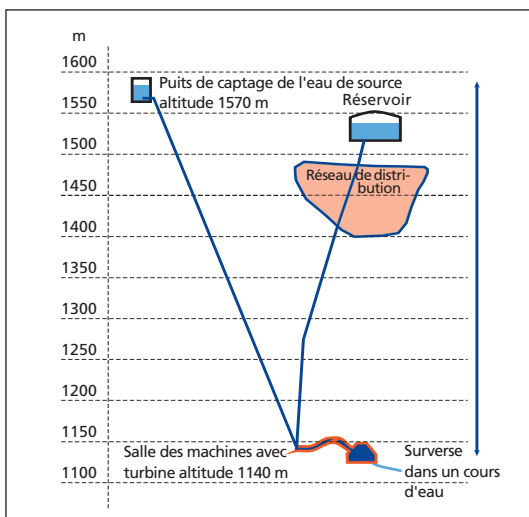


Fig. 4 Turbinage sur les trop-pleins*.

* Source: Manuel «Energie dans les réseaux d'eau» (OFEN/SSIGE)

turbine. Les pompes inversées ou les turbines à contre-pression sont particulièrement adaptées pour ce genre de situation (Fig. 3).

d. Sur les trop-pleins

Il arrive quelquefois que les captages fournissent un excédent d'eau par rapport à la demande des consommateurs. Si cette eau ne peut être stockée, elle est alors restituée généralement dans un cours d'eau. Si les débits sont conséquents, il est alors recommandé d'installer une turbine sur le trop-plein afin de récupérer l'énergie (Fig. 4).

3. Types de turbines

Turbiner consiste à récupérer l'énergie mécanique (somme des énergies potentielle et

cinétique) présente dans un réseau d'eau et à la transformer en énergie électrique par l'intermédiaire d'une turbine et d'un alternateur.

Chaque site potentiel possède des caractéristiques propres (hauteur de chute, débits, variabilité des débits, pertes de charge, etc.) qui impliquent l'usage préférentiel de la technologie la mieux adaptée. Actuellement, les technologies utilisées pour le turbinage sur les réseaux d'eau sont notamment:

- Turbine Pelton
- Turbine Francis
- Turbine axiale
- Turbine Pelton à contre-pression
- Turbine à flux traversant
- Pompe inversée
- Pompe inversée avec réglage du débit

a. Turbine Pelton

Dans la turbine Pelton, l'énergie massique est entièrement transformée en énergie cinétique. Un ou plusieurs jets, formés par des injecteurs sont déviés par les augets profilés de la roue dénuyée pour se mettre en mouvement (Fig. 5). Ce type de turbine est utilisable pour des



Fig. 5 Turbine Pelton 75 kW.

hauteurs de chute à partir de 80 m. En 1999, la commune de Troistorrents (VS) a équipé son réseau d'eau d'une turbine Pelton à un injecteur. La production électrique, équivalente à la consommation électrique de plus de 83 ménages, s'élève à 293 000 kWh/an.

b. Turbine Francis

La turbine Francis est immergée et exploite l'énergie cinétique et de pression pour la transformer en énergie mécanique (Fig. 6). Cette technologie a longtemps été utilisée pour des hauteurs de chute inférieures à 10 m. Néanmoins, le domaine d'utilisation optimal se situe plutôt entre 20 et 100 m (jusqu'à plus de 600 m pour de grandes installations).

La commune de Vallorbe produit actuellement 156 000 kWh/an, soit l'équivalent de la consommation électrique de plus de 44 ménages par l'intermédiaire d'une turbine Francis installée en 1929. Il faut souligner à ce propos que la hauteur de chute n'est que de 11 m pour un débit moyen de 340 l/s.

c. Turbine axiale

Les turbines axiales regroupent les Kaplan, les bulbes et les hélices. Cette technologie est particulièrement efficace dans les cas où les hauteurs de chute sont faibles mais où les débits sont importants (Fig. 7). Si le débit à turbiner est variable, il est



Fig. 6 Turbine Francis de 37 kW.



Fig. 7 Turbine axiale.

nécessaire de rendre le distributeur et les pales de la roue mobiles afin de maintenir un rendement élevé dans le domaine de variation du débit.

Pour reprendre l'exemple de la commune de Vallorbe, le remplacement de la turbine Francis actuellement en fonction par une turbine axiale à double réglage permettrait d'augmenter la production de plus de 60 % pour atteindre 252 000 kWh/an, correspondant à la consommation électrique de plus de 72 ménages. Le temps de retour sur investissement serait dans ce cas de sept ans.

Des études soutenues par la Confédération et la Commission européenne dans le cadre du 5^{ème} programme cadre en recherche et développement sont actuellement menées. L'objectif du projet est de développer un concept innovant de turbo-générateur hydroélectrique axial basé sur la roue Kaplan, spécifique à la petite hydraulique. Cette technologie s'applique aux faibles dénivellations et devrait pouvoir s'appliquer au turbinage sur les réseaux d'eau potable.



Fig. 8 Turbine Pelton à contre pression 14 kW.

d. Turbine Pelton à contre-pression

La turbine Pelton à contre-pression est spécialement conçue pour être intégrée dans les réseaux d'eau. Cette technologie consiste à utiliser une turbine Pelton classique qui tourne à l'intérieur d'une vasque dont l'atmosphère est mise sous pression par de l'air comprimé. La roue est ainsi dénoyée et l'eau peut s'évacuer normalement, alors que la pression à l'intérieure de la vasque peut être définie entre 0 et 10 bars (Fig. 8).

Le fait que le turbinage ne s'effectue pas à pression atmosphérique, mais dans un environnement fermé permet de choisir la contre-pression souhaitée, nécessaire au bon fonctionnement des installations situées à l'aval de la turbine. Cette technologie élargit non seulement les possibilités d'implantation des turbines – dans 80 % des cas, elles sont installées dans un réservoir ou directement sur une conduite et la contre-pression est d'environ 1 bar – mais elle s'applique également aux points d'interconnexions entre deux zones de pressions différentes d'un même

réseau d'eau. Dans ce cas de figure, les turbines Pelton à contre-pression sont intégrées en lieu et place des habituels réducteurs de pression. La pression inférieure est ainsi garantie, tout en produisant de l'électricité.

La commune de Gstaad exploite actuellement une installation de ce type (14 kW) entre deux zones de pression. Une énergie de 120 000 kWh/an est ainsi produite depuis 2004 à l'endroit même où, bien souvent, un réducteur de pression détruit l'énergie à disposition.

e. Turbine à flux traversant

La turbine à flux traversant fait partie de la famille des turbines à action (Pelton) et exploite principalement l'énergie cinétique de l'eau. De conception très simple, les turbines à flux traversant sont peu sensibles à la qualité des eaux turbinées et sont généralement bon marché. Elles supportent des hauteurs de chute entre 5 et 100 m et des débits entre 200 et 10 000 l/s. Leur rendement reste néanmoins bien en deçà de celui affiché par les autres types de turbines; raison pour laquelle ce genre d'installation n'est que peu exploité en Suisse. Actuellement, le nombre de réseau d'eau produisant de l'électricité à l'aide de cette technique n'est pas connu.

f. Pompe inversée

Le principe de la pompe inversée consiste à installer une pompe standard en lieu et place d'une turbine. Le passage de l'eau dans la pompe, qui fonctionne « à l'envers » (sens de l'écoulement et sens de rotation inversés), transmet l'énergie à l'axe du moteur asynchrone de la pompe qui fonctionne alors en génératrice. Dans la mesure où le débit et la pression nominale de la pompe fonctionnant comme turbine sont respectés et stables, cette technique présente l'avantage d'être meilleure mar-



Fig. 9 Pompe inversée 15 kW.

ché que l'installation d'une turbine classique (Fig. 9). Le rendement reste toutefois inférieur à celui d'une turbine Francis de même vitesse spécifique. Hormis une durée de vie généralement plus faible que celle d'une installation classique de turbinage, le problème majeur se pose dès que la pression ou le débit nominal n'est plus respecté.

Il faut rappeler que le point de fonctionnement d'une pompe en régime «turbine» diffère notablement de celui en régime «pompe» et que le choix de la machine doit être étudié avec soin en collaboration avec le fabricant. Les aspects mécaniques (vitesse à vide) et de coup de bélier en cas de coupure du réseau électrique font également l'objet d'une étude approfondie. Cette technologie ne devrait être installée que dans la mesure où le débit et la pression restent quasi constants, ce qui est généralement le cas lors du remplissage d'un réservoir aval depuis un réservoir amont.

La commune d'Altstätten produit 220 000 kWh/an, équivalant à la consommation annuelle de 62 ménages, en turbinant l'eau provenant de deux réservoirs situés en amont. Les débits de remplissage étant quasi constants, le choix de l'installation s'est porté sur deux pompes inversées. Les aubes des pompes ont été adaptées en fonction des hauteurs de chute et des débits de manière à avoir un rendement optimal. En Suisse romande, la commune de Morges produit environ 300 000 kWh/an par l'intermédiaire de deux groupes de pompes inversées en cascade mises en service en 1994 sur l'adduction d'eau du Morand.

g. Pompe inversée avec réglage du débit

Comme précédemment expliqué, le rendement des pompes inversées chute drastiquement lorsqu'elles ne fonctionnent pas à débit nominal. Il y a deux solutions pour y remédier:

- Faire fonctionner la pompe inversée à vitesse variable, et convertir ensuite l'électricité produite pour être compatible avec celle du réseau électrique. Cette approche a ses limites, compte tenu qu'une pompe qui fonctionne en turbine voit son débit diminuer avec l'augmentation de la vitesse de rotation et que le rendement de l'installation en sera défavorablement affecté.
- Intégrer un distributeur à aubes réglables à une pompe standard qui fonctionne alors selon le principe de la turbine Francis (Fig. 10). Ceci fait l'objet d'une étude menée par un bureau d'ingénieurs norvégien et soutenue par l'Office fédéral de l'énergie; elle doit

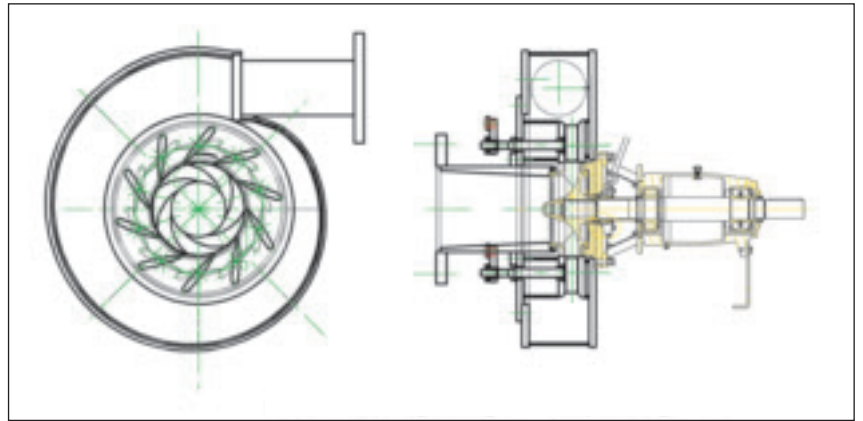


Fig. 10 Ensemble PAT-Francis.

permettre, à terme, de réduire sensiblement le coût de la turbine par rapport à la turbine Francis, étant donné qu'une bonne partie des composants provient de pompes construites en série. Cette solution est particulièrement intéressante pour les cas où les débits sont variables et les hauteurs de chute faibles à moyennes. La turbine peut également fonctionner à contre-pression si elle est utilisée en lieu et place d'une vanne de régulation de pression aval ou sous le niveau du réservoir qu'elle alimente.

Bien souvent pour ce type d'application, une turbine Francis ou axiale est trop onéreuse pour atteindre le seuil de rentabilité. Installer une pompe inversée équipée d'un distributeur à aubes réglables permet d'exploiter efficacement le potentiel existant, même si le rendement de cette machine sera quelque peu inférieur à celui d'une turbine Francis «sur mesure».

La pompe inversée n'est pas à considérer comme une turbine «au rabais», mais comme une opportunité supplémentaire de rentabiliser un potentiel. La mise en place d'une

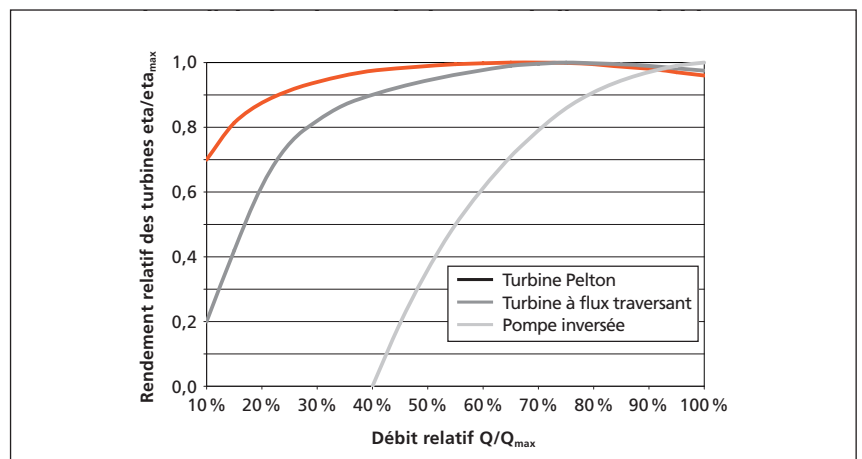


Fig. 11 Courbes des rendements des différentes familles de turbine (Source: Manuel «Energie dans les réseaux d'eau» [OFEN/SSIGE]).

Type de turbine	Domaine de fonctionnement				
	Rendement [%]	Hauteur de chute [m]	Débits [l/s]	Comportement face à la variabilité des débits	Investissement
Pelton	84 à 92	80 à 600	10 à 1200	Très bonne	Elevé
Francis	84 à 90	5 à 100	100 à 10 000	Bonne	Très élevé
Axiale à pales de roue et distributeur mobiles	84 à 92	2 à 30	900	Bonne	Très élevé
Flux traversant	78 à 84	5 à 80	200 à 10 000	Moyenne	Faible à moyen
Pompe inversée	75 à 90	15 à 250	10 à 400	Très mauvais	Faible
Pelton à contre-pression	84 à 90	80 à 600	10 à 1'200	Très bonne	Elevé
Pompe fonctionnant en turbine avec réglage du débit	75 à 88	10 à 100	20 à 500	Moyenne à bonne	Moyen

Tab. 1 Caractéristiques des différents types de turbines.

Analyse du potentiel énergétique d'un réseau d'eau

Votre réseau d'eau nécessite de grands aménagements? Sa topographie présente des dénivellations et/ou des débits importants? Il vous faut réaliser ou faire réaliser une analyse sommaire de son potentiel. La méthodologie testée se déroule en trois phases, à savoir:

- Le relevé de la situation actuelle
- L'exploitation des données collectées
- L'établissement et la présentation d'un rapport de synthèse en présence du mandant

Cette démarche permet à moindre coût (maximum six jours de travail), de prendre les bonnes décisions quand à l'avenir de votre réseau d'eau. Les détails et de nombreux conseils sur la gestion énergétique des réseaux d'eau se trouvent dans le manuel «Energie dans les réseaux d'eau» publié conjointement par SuisseEnergie pour les infrastructures et la SSIGE et disponible auprès de la SSIGE.

pompe inversée ne permet pas de maximiser la production, mais la rend possible quand l'investissement nécessaire à l'installation d'une turbine classique n'est pas faisable.

4. Choix des turbines

La figure 11 présente schématiquement les courbes de rendement des différentes familles de turbine. Il est clair que le rendement d'une pompe inversée supporte mal les variations de débits, alors que la turbine Pelton conserve une haute efficacité sur une large plage de fonctionnement.

Ainsi, chaque turbine possède des caractéristiques spécifiques qui sont autant d'atouts en fonction de la situation d'implantation (débits, variabilité des débits, hauteurs de chute, production, etc.). Ces caractéristiques doivent être soigneusement examinées par les ingénieurs lors des études de faisabilité ou d'avant projet afin d'identifier la solution technique la plus adaptée à la réalité du terrain. Le tableau 1 résume

les caractéristiques des technologies présentées au paragraphe 3.

5. Perspectives

A l'avenir, le responsable d'un réseau d'eau ne devra plus se contenter de fournir de l'eau de qualité, mais devra également être capable de faire évoluer son infrastructure de manière à d'une part, limiter les coûts énergétiques liés au pompage et au traitement, et d'autre part, exploiter les potentiels de production d'électricité par turbinage.

Le rôle de SuisseEnergie pour les infrastructures (www.infrastructures.ch) est d'offrir aux distributeurs d'eau un appui pour les aider à cibler les endroits de leur réseau d'eau propices à l'installation d'une microcentrale hydraulique:

- En 2006, des analyses sommaires ont été ainsi soutenues dans plusieurs réseaux d'eau de Suisse, dont quatre en Suisse romande. Pour chacune de ces communes, des potentiels de production électrique ont été détectés à un prix de revient économiquement rentable.
- En 2007, une action en collaboration avec le canton de Vaud doit permettre la réalisation d'analyses sommaires dans une dizaine de réseaux d'eau du canton avec pour objectif à moyen terme la réalisation concrète de nouvelles microcentrales.

Cet article a été rédigé en collaboration avec les partenaires suivants qui ont également fourni une partie des illustrations:

Reto Baumann (Häny SA), Jean-Marc Chappalaz (JMC - Engineering), Vincent Denis (MHyLab) et Ulrich Kobel (Blue-Water-Power SA).

Keywords

Turbinage – réseau d'eau potable – Energie renouvelable

Adresse de l'auteur

Thomas Bühler
SuisseEnergie pour les infrastructures
Crêt 108a
CH-2314 La Sagne
Tél. +41 (0)32 933 88 40
Fax +41 (0)32 933 88 50
info@infrastructures.ch
www.infrastructures.ch