

**Zeitschrift:** Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES

**Band:** 101 (2010)

**Heft:** 5

**Artikel:** Petite hydroélectricité : de la théorie à la pratique

**Autor:** Denis, Vincent

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-856078>

### **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:** 09.11.2024

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

# Petite hydroélectricité : de la théorie à la pratique

## 15 constructeurs internationaux ont recours aux profils hydrauliques de MHyLab

Les grands groupes industriels actifs dans l'hydroélectricité investissent des sommes importantes dans la recherche et le développement. Leur objectif est toujours d'augmenter les performances des équipements tout en diminuant leur coût de fabrication et d'exploitation. Véritable Petit Poucet du domaine, MHyLab développe avec succès des installations adaptées à la petite hydraulique qui s'exportent jusqu'au Japon.

### Vincent Denis

« Dès le départ l'objectif était de ne pas être un concurrent des entreprises et structures existantes, mais bien d'offrir une réelle complémentarité dans l'esprit d'un partenariat », explique Vincent Denis, ingénieur en génie mécanique et responsable du laboratoire MHyLab depuis 1996. Pour mémoire, au début des années 1990, l'Association pour le développement des énergies renouvelables (ADER) faisait le constat que le savoir-faire dans le domaine de la petite hydraulique, et plus particulièrement dans celui de la conception de petites turbines tendait à disparaître, alors que ce type de production d'élec-

tricité connaissait une certaine renaissance.

Fort de ce constat et grâce à l'appui conjugué d'ingénieurs, des pouvoirs publics et de l'économie électrique, la Fondation du laboratoire de minihydraulique de Montcherand, plus connue sous le nom de MHyLab, voyait le jour fin 1993. Son but, inchangé depuis, est :

- de développer en laboratoire des petites turbines offrant toutes les garanties de fonctionnement hydrodynamique et de performances que les exploitants sont en droit d'attendre de leurs fournisseurs, puis de mettre les résultats de ses travaux de R&D à disposition de l'industrie ;

- de fournir un appui aux bureaux d'ingénieurs, collectivités publiques et privés en proposant des prestations d'ingénierie et conseil dans le domaine spécifique des équipements hydro- et électromécaniques.

Et, d'ici 3 ans, MHyLab aura atteint son objectif fondateur : développer en laboratoire des turbines performantes et fiables pour tout le domaine de la petite hydraulique de 10 à 2000 kW, domaine défini par des débits de 0,01 à 7,00 m<sup>3</sup>/s, et des dénivellations de 1 à plus de 700 m. Trois types de turbines auront été conçus, modélisés et développés en laboratoire :

- turbines Pelton pour les hautes chutes (entre 60 et 700 m), développées entre 1997 et 2001,

- turbines axiales de type Kaplan pour les basses et très basses chutes (de 1,0 à 30 m), développées entre 2001 et 2009,

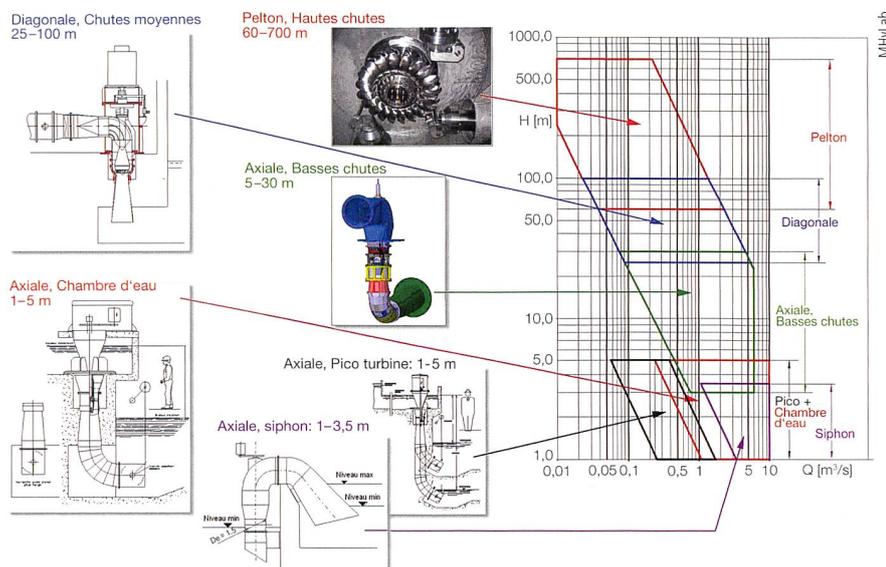
- turbines diagonales pour les moyennes chutes (de 25 à 100 m), programme en cours depuis 2008.

A ce jour, ce sont près de quinze constructeurs, établis en Suisse, France, Allemagne, Nouvelle-Zélande ou au Japon, qui ont recours aux profils hydrauliques proposés par MHyLab. La septantaine de turbines réalisées ou en cours de construction sur la base de cette technique totalisent une puissance de 38,2 MW pour une production avoisinant les 189 000 000 kWh/an, correspondant à la consommation moyenne d'électricité de plus de 36 000 ménages suisses.

### La systématisation

Encore aujourd'hui, l'objectif de développer les petites turbines hydrauliques en laboratoire de manière à pouvoir concevoir et proposer la machine optimale propre à chaque site, reste novateur. Celui-ci est d'autant plus justifié qu'il est impératif d'utiliser la ressource en eau de manière rationnelle et respectueuse de l'environnement, tout en assurant la rentabilité de l'aménagement.

Dès sa création, MHyLab a cherché à atteindre de hautes performances et à offrir les mêmes garanties de fonctionnement que pour la grande hydraulique. En



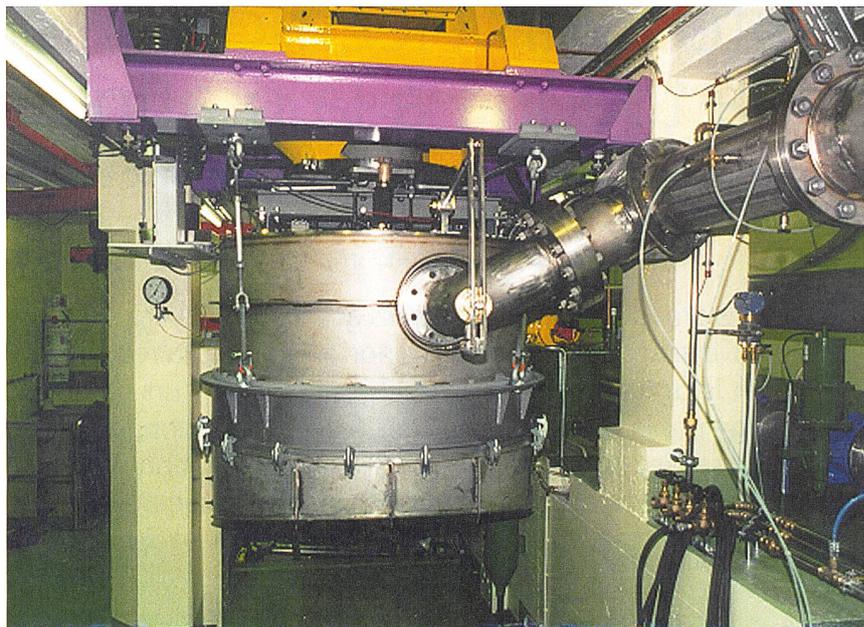
Domaine de recherche.

effet, pourquoi le rendement de 50 centrales de 200 kW n'aurait-il pas la même importance que celui d'une centrale de 10 MW ?

Un autre critère, propre à la petite hydraulique, est celui de la facilité de construction et la réduction des coûts dans le but de renforcer la compétitivité des PME suisses et européennes actives dans l'hydraulique sur le marché local, mais aussi mondial. Pour y parvenir, il était nécessaire de remplacer la méthode usuelle de la standardisation par la systématisation. Celle-ci se fonde sur une simplification du design des grandes machines et la paramétrisation de la totalité du profil hydraulique de la turbine, puis sur l'analyse théorique ainsi que les essais en laboratoire permettant de déterminer l'évolution du comportement de la turbine en fonction de ses paramètres constructifs. Le passage sur le stand d'essais offre de nombreuses possibilités de mesurer l'effet de toute simplification du profil hydraulique sur les performances et le comportement hydrodynamique de la machine. L'utilisation des chiffres adimensionnels et des lois de similitude définis par les normes internationales permet ensuite la transposition des résultats du modèle de laboratoire aux prototypes industriels. La condition sine qua non de la réussite de cette transposition reste bien entendu le parfait respect du profil hydraulique entre le modèle et le prototype.



Stand d'essais MHyLab équipé du modèle réduit de la turbine axiale.



Stand d'essais MHyLab équipé d'un modèle réduit de turbine Pelton.

### Le domaine des hautes chutes : les turbines Pelton

La R & D a débuté avec la turbine Pelton en 1997, grâce aux financements de l'Office fédéral de l'Energie et du Fonds pour projets et études de l'économie électrique (PSEL), aujourd'hui disparu. Ces travaux ont conduit au développement des profils hydrauliques de turbines de 1 à 4 injecteurs et de 10 types d'aubes, dont les rendements maximaux dépassent les 89%. Aujourd'hui, c'est plus d'une soixantaine de turbines Pelton, chacune conçue en fonction des caractéristiques du site, qui ont été réalisées sur la base de ces travaux. A noter que plus de la moitié d'entre elles sont intégrées à des réseaux d'eau, surtout potable. Seules celle du Châble-Profray (380 kW, Suisse) et des Douve I et II (430 kW et 75 kW, Suisse), valorisent énergétiquement les eaux usées.

### Les basses chutes et les turbines axiales

En 2001, a suivi le programme Search pour le développement des turbines axiales de type Kaplan, avec un financement de l'Union Européenne (5<sup>e</sup> programme cadre en R & D) et de la Suisse (Secrétariat d'Etat à l'Education et à la Recherche). Pour répondre aux critères de fiabilité et de performance de ce type de turbines, un accent particulier a été mis sur les essais de cavitation. Ce phénomène de vaporisation de l'eau à température ambiante par baisse de la pression locale peut apparaître dans les turbines en fon-

ction des caractéristiques d'écoulement et de la conception hydraulique des aubes. Les effets de la cavitation se manifestent sous forme d'une dégradation des performances, mais également d'une érosion par arrachement de matière. Ce dernier phénomène pouvant rapidement conduire à la destruction des aubes, les solutions techniques proposées sur la base des ces travaux de recherche sont exemptes de cavitation domageable. Le concept développé permet, en outre, une intégration facilitée de la machine à un site donné, cette turbine pouvant être déclinée de différentes façons :

- roue motrice à 4, 5, 6, 7 ou 8 pales mobiles ou fixes,
- distributeur fixe ou variable,
- vitesse de rotation fixe ou variable,
- axe vertical, incliné, ou horizontal,
- utilisation en chambre d'eau, en bout de conduite ou en siphon.

Actuellement, les turbines axiales de Farettes (Aigle, Suisse, 2,65 m<sup>3</sup>/s, 8 m, 165 kW, conçue en 2002) et de St-Bueil (France, 1,0 m<sup>3</sup>/s, 27 m, 325 kW, conçue en 2004), UMV (Vallorbe, Suisse, 2 × 2,5 m<sup>3</sup>/s, 2,0 m, 2 × 42 kW, conçue en 2009) sont en service, tandis que deux sont en construction, dont une de 40 kW sur une adduction d'eau potable en Toscane (Italie).

### Les moyennes chutes et les turbines diagonales

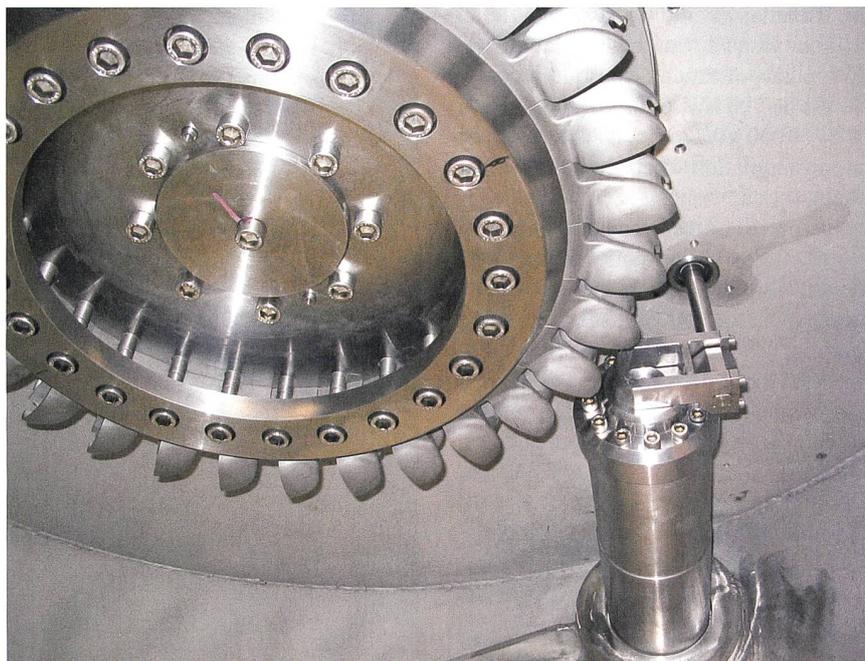
Les essais sur la turbine axiale étant achevés, une nouvelle turbine, la diagonale, est en cours de montage sur le stand

d'essai. La difficulté majeure, qui fait également l'intérêt de ce projet, est le nombre limité de turbines de ce type en petite hydraulique comme en grande. En général, il s'agit de pompes-turbines, la plus célèbre étant certainement celle des chutes du Niagara aux Etats-Unis.

De par sa conception, la turbine diagonale ressemble fortement à une axiale à pales inclinées alors que du point de vue hydrodynamique, elle s'approche plus d'une Francis. Ainsi, la diagonale assure la tenue de bons rendements sur une plage étendue de chutes et de débits grâce à ses pales de roue orientables, tout comme l'axiale. Son écoulement diagonal lui permet de répondre à un domaine de dénivellation compris entre ceux des turbines axiales et Pelton. Cette nouvelle machine répond par ailleurs aux exigences d'un fonctionnement sans érosion due à la cavitation pour des hauteurs de chute supérieures à 30 m, là où les turbines axiales et Kaplan demanderaient une implantation en dessous du niveau aval pour obtenir le même résultat.

Alors que l'axiale compte jusqu'à 8 pales, la diagonale en comptera jusqu'à 12, de manière à pouvoir résister mécaniquement à des pressions induites par des chutes atteignant les 80 à 100 m. L'un des défis de ce projet était de loger le système de commande des pales du modèle réduit dans un moyeu de 165 mm de diamètre au maximum. Le résultat obtenu est d'autant plus réussi que le système, comprenant 12 séries de leviers et biellettes, fait appel à de nombreux composants du commerce.

Pour ce projet, une collaboration étroite a été mise en place avec le Laboratoire de dynamique des fluides et de machines hydrauliques de la Haute Ecole de Technique et Architecture de Lucerne (HSLU). Celle-ci s'est vue confier la réalisation des calculs numériques d'écoulements dans le but de concevoir un design hydraulique le plus performant possible avant le développement final en laboratoire. Si les travaux préparatoires ont bénéficié d'un financement de l'Office fédéral de l'Energie et du Fonds Cogener des Services Industriels de Genève, la phase actuelle est réalisée en partenariat avec Swisselectric. Le financement complémentaire est assuré principalement par les revenus de MHyLab générés par les royalties perçues sur les profils hydrauliques et par les activités d'ingénierie et conseils. Une fois le programme diagonale achevé, MHyLab aura atteint son objectif de dé-



Turbine de Haut-Intyamou FR.

veloppement. D'autres idées sont cependant en gestation. Elles assureront, sans en douter, l'avenir de ce laboratoire de petite hydraulique.

### Quelques projets en cours

Les activités d'ingénierie et conseils, complémentaires à celles des bureaux d'ingénieurs, inscrites dans la recherche de solutions de qualité permettant un usage optimal des ressources, ne sont pas en reste puisque MHyLab a été impliqué dans près de 130 projets allant des études de potentiel jusqu'aux suivis de construction et de mise en service du matériel équipant les petits aménagements.

### Turbinage du Forestay, une centrale en site classé

La petite centrale de Rivaz, dans le canton de Vaud, attenante à la Minoterie Coopérative du Léman aujourd'hui détruite, utilise depuis plusieurs siècles le ruisseau du Forestay pour sa force hydraulique et depuis plus d'une cinquantaine d'années pour la production électrique. Elle valorise aujourd'hui une dénivellation de 63 m pour un débit maximal de 180 l/s, ce qui correspond à une puissance électrique de 89 kW et une production annuelle d'environ 350 000 kWh/an.

Le projet actuel, lancé par Romande Energie Renouvelable SA, vise à déplacer la prise d'eau au niveau de Chexbres à 559 m d'altitude, tout en conservant l'emplacement du local de turbinage à proxi-

mité immédiate du lac Léman, la nouvelle dénivellation exploitable étant de 183 m. Différents tracés pour la nouvelle conduite de près de 1 km ont été étudiés dans le détail par l'ingénieur civil, de manière à intégrer au mieux cette infrastructure à l'environnement. Au final, seulement 177 m de conduite seront apparents, contre 245 m aujourd'hui.

Sur la base de l'analyse de l'hydrologie du Forestay, une solution optimale a été recherchée. Le site sera équipé avec une turbine Pelton à 3 injecteurs, permettant de répondre à la forte variation des débits. Elle sera dimensionnée pour un dé-



Turbine de Châble-Profay, sur les eaux usées de Verbier.

bit maximal de 500 l/s et pourra fonctionner jusqu'à un débit minimal de 20 l/s. La puissance électrique escomptée est de 700 kW, pour une production de 2 700 000 kWh/an, soit l'équivalent de la consommation électrique de 540 ménages.

En outre, on relèvera que ce projet représente en soi un défi pour les ingénieurs, le site se trouvant entièrement en Lavaux, désormais classé patrimoine mondial de l'humanité par l'Unesco. Enfin, l'esthétique des chutes sera également maintenue, ceci grâce à un débit réservé modulable en fonction de l'heure et de la saison.

### Réhabilitation de la petite centrale de la Chocolatière

L'usine de la Chocolatière, sur la Venoge, située sur le territoire des communes de Bussigny et Echandens (canton de Vaud) a été utilisée pour sa force hydraulique depuis le XVIII<sup>e</sup> siècle jusqu'à la fin du XX<sup>e</sup>. Après son abandon pendant plusieurs dizaines d'années, ce site connaît aujourd'hui un regain d'intérêt, et ce à plus d'un titre. L'ancienne usine de la Chocolatière ayant été transformée en loft, les canaux d'amenées et de fuite dans l'ancienne centrale hydraulique doivent être reconditionnés pour contribuer à l'esthétique du site. De plus, le seuil sur la Venoge, partiellement détruit lors d'une crue, doit être reconstruit au plus vite, vu le début des affaissements des berges, tout en intégrant un aménagement pour permettre la migration des poissons. Enfin, la rétribution à prix coûtant (RPC) définie dans l'ordonnance révisée sur l'énergie (OEne) conduit à un



Turbine de Val (France).

tarif de vente de l'électricité rendant le projet financièrement envisageable.

Depuis 2007, ce projet de réhabilitation conduit par Romande Energie Renouvelables SA est étudié par un pool de bureaux d'ingénieurs couvrant les domaines du génie civil, de l'hydro et de l'électromécanique, des calculs d'écoulement et de l'environnement. Le projet vise à rechercher une configuration optimale en termes de maximisation de la production et d'intégration dans cet environnement à la fois naturel et construit, tout en privilégiant la recherche de solutions aussi simples que possible permettant d'assurer la rentabilité de l'investisse-

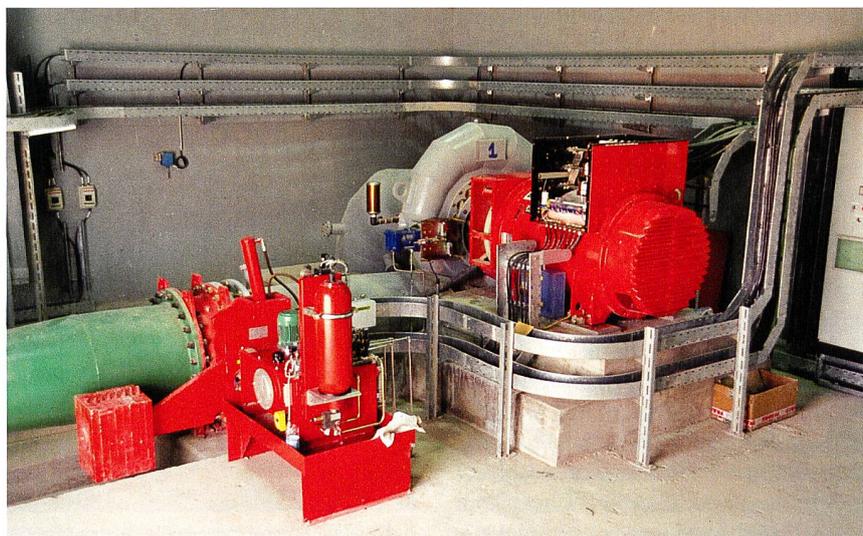
ment. Au final, deux turbines axiales à axe horizontal seront intégrées dans un nouveau local de turbinage semi-enterré dans le canal de fuite actuel. La production électrique envisagée est estimée à 820 000 kWh/an, soit l'équivalent de la consommation de 160 ménages.

On relèvera là aussi le défi posé aux bureaux d'étude impliqués par le statut particulier de la Venoge dans la législation cantonale vaudoise, son intégration écologique devant répondre à des critères plus sévères que ne les prévoit la loi fédérale. L'approche globale et intégrée de ce projet assurera une réalisation exemplaire permettant: une meilleure gestion des crues, un renforcement des berges en amont de la prise d'eau, l'amélioration de la migration des poissons, l'amélioration de l'esthétique du site, l'entretien du patrimoine et une production d'électricité renouvelable.

### L'exemple de la station de traitement d'Amman en Jordanie

S'il est courant de valoriser les gaz de digestion des boues des stations d'épuration pour produire de l'électricité, il est parfois possible de valoriser également l'énergie hydraulique à disposition, équilibrant d'autant la balance énergétique de la station de traitement.

Considérant la grande différence d'altitude entre la ville d'Amman en Jordanie et la station d'épuration de Ain Ghazal (104 m), ainsi que celle entre ladite station et le cours d'eau dans lequel son



Turbine Francis de As Samra en Jordanie.



MHyLab

Turbine pelton de la centrale de As Samra en Jordanie.

exutoire se déverse (42 m), la question s'est rapidement posée de savoir si une valorisation des débits et pressions en jeu afin de produire de l'électricité était possible.

Mandaté par la société Suez Environnement, MHyLab a ainsi développé le concept, puis accompagné le projet jusqu'à la mise en service de deux centrales hydroélectriques en 2007-2008. La première turbine les eaux usées avant traitement. Elle reçoit ainsi les effluents des égouts d'Amman (265 000 m<sup>3</sup>/jour) après un parcours de 33 km sous conduite forcée. Equipée de deux turbines Pelton de 830 kW chacune, sa production annuelle est de 12 GWh. La seconde utilise

l'eau traitée après chloration. Equipée de deux turbines Francis de 810 kW chacune, sa production annuelle est de 9 GWh. Ces deux installations permet-

tent ainsi de produire l'équivalent de 30% des besoins énergétiques de la STEP, quantité particulièrement appréciable si l'on considère que près de 99% de l'électricité produite en Jordanie l'est à partir de centrales à fuel lourd.

Les résultats obtenus par les projets de R & D, ainsi que les réalisations concrètes auxquelles MHyLab participe démontrent si besoin est que ses fondateurs ne s'y sont pas trompés. La petite hydroélectricité a de l'avenir !

### Informations sur l'auteur

**Vincent Denis** est ingénieur en génie mécanique EPFL-SIA et titulaire d'un Master en énergie de l'EPFL. En charge des programmes de R & D ainsi que de l'ingénierie et du conseil, il est membre du comité de direction de MHyLab depuis 1997. Vincent Denis intervient régulièrement dans la formation continue dispensée par les hautes écoles ainsi que comme expert auprès de la HEIG-VD. Vincent Denis est aussi évaluateur pour le 7<sup>e</sup> programme cadre R & D de l'UE et membre du conseil d'administration de l'Association européenne de la petite hydroélectricité.

MHyLab, 1354 Montcherand, info@mhyllab.com

### Zusammenfassung

#### Kleinwasserkraft: Von der Theorie zur Praxis

#### 15 internationale Hersteller nutzen die hydraulischen Profile von MHyLab

Dieser Artikel erklärt, weshalb die Stiftung für das Kleinwasserkraftlabor von Moncherand (MHyLab) gegründet wurde, und beschreibt deren wichtigste Tätigkeiten. Zuerst werden das Prinzip der Systematisierung sowie die F+E-Programme vorgestellt, die den kleinen axialen und diagonalen Pelton-Turbinen gewidmet sind. Weiter werden mehrere Beispiele für laufende Umsetzungen oder bereits in Betrieb genommene Anlagen angeführt, insbesondere für eine Installation an Standorten, die unter Schutz stehen, sowie für die Realisierung einer Anlage zur Aufbereitung von Brauchwasser in der jordanischen Hauptstadt Amman. Gn

Anzeige

## TAN δ MEASURING BRIDGE



**BESTECHENDE  
PRÄZISION**

www.haefely.com

sales@haefely.com

**Tettex**  
INSTRUMENTS

**Perfekte Funktionalität und einfachste Bedienung:  
Das neue Tettex 2840 setzt als Referenzgerät den Standard für  
die Messung elektrischer Verluste.**

- Genauigkeit  $\tan \delta$   $1 \times 10^{-5}$   
Kapazität 0.02%
- Intuitive Benutzerführung
- Grosser Touchscreen
- Breites Anwendungsfeld



a brand of **HAEFELY**

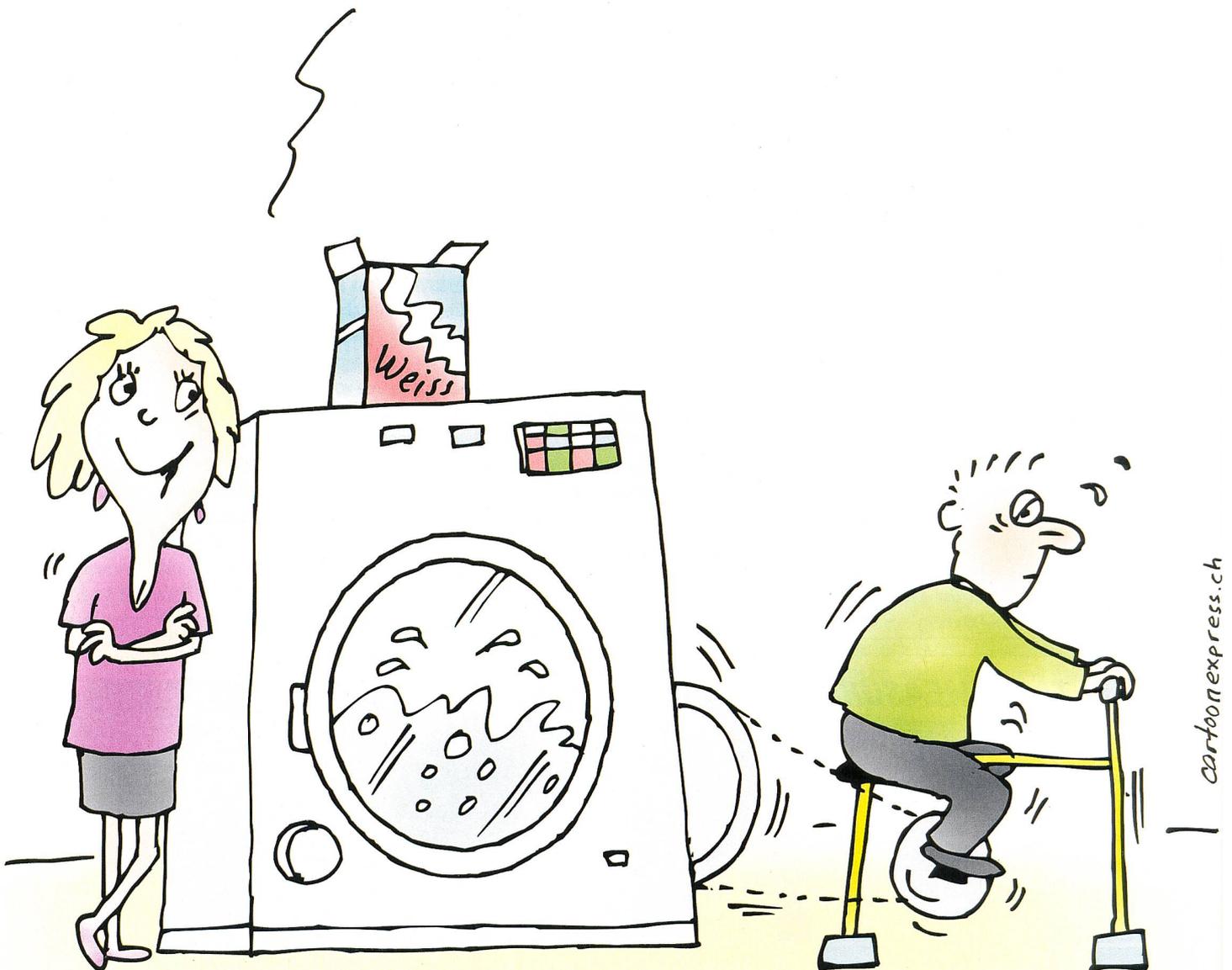
Haefely is a subsidiary of Hubbell Incorporated. High Voltage Test Business



# CARTOON



Wir haben voll auf  
erneuerbare Energie  
umgestellt... gell Franz?



MARTIN GUHL

Nous n'utilisons plus que des énergies renouvelables, n'est-ce pas Franz?