

hydroscoop

Un réseau européen pour valoriser la petite hydroélectricité

Créé en 2002, le Réseau thématique en petite hydraulique est un projet soutenu financièrement par l'Union Européenne et la Suisse.

Conduit par onze partenaires actifs dans la petite hydroélectricité – Ademe (F); EPFL-LCH (CH); ESHA (B); ISET (D); ITpower (UK); Kleinwasserkraft Österreich (A); Lithuanian Hydropower Association (LT); MHyLab (CH); SCPTH (F); Sero (S); Studio Frosio (I) – il s'organise autour des pôles Ingénierie (dont MHyLab est responsable), Environnement et Marketing. Son objectif est de mettre en commun les savoir-faire et de valoriser l'apport de la petite hydroélectricité au concert des énergies renouvelables.

Ouvert à tous, l'inscription gratuite, via le site Internet (www.esha.be/frthematic.htm) de l'Association Européenne de la Petite Hydraulique (ESHA), permet d'accéder à l'ensemble des publications, au calendrier des manifestations, etc.

Ce réseau participe aux grands rendez-vous de la branche et met sur pied différents séminaires, comme ce fut le cas à Bolzano en 2003, puis à Vienne et Porto en 2004.

Les rendez-vous 2005 sont:

les 30 juin et 1^{er} juillet 2005, à Lausanne (Suisse): séminaire sur la petite hydraulique
du 17 au 20 octobre 2005, à Villach (Autriche), dans le cadre d'Hydro 2005: session spéciale petite hydraulique

Le réseau publie également des documents de vulgarisation, accessibles à tous, ainsi que d'autres, plus détaillés, destinés à un public spécialisé.

Ils sont téléchargeables sur le site Internet de l'ESHA ou du Réseau. Parmi ceux-ci nous signalerons:

[Un Guide technique pour la réalisation de projets de petite hydroélectricité](#), très complet, qui regroupe toutes les informations nécessaires au promoteur d'un projet.

[Une Checklist](#), qui expose de manière synthétique les étapes nécessaires à la réalisation d'un projet. Chaque étape comporte une bibliographie et des liens avec le Guide pour la réalisation de projets de petite hydroélectricité. Elle comprend également une liste de contacts utiles.

[Une Synthèse des projets de R&D en Europe](#), qui donne une vue d'ensemble des projets de R&D en cours ou terminés et un bilan par pays (Suisse incluse).

[Un Document stratégique européen pour la recherche, le développement technologique et la démonstration en petite hydroélectricité](#), qui vise à décrire l'Etat de l'art et à définir les besoins en matière de R&D dans le domaine de la petite hydroélectricité.

[Une Brochure sur les aspects environnementaux des petites centrales hydrauliques](#), qui propose un survol du bilan écologique des petites centrales hydrauliques.

[Un «FAQs»](#) (pour «Frequently Asked Questions» ou Questions souvent posées), qui aborde la petite hydraulique sous forme de questions-réponses.

[Une Situation de la petite hydroélectricité dans les nouveaux Etats membres et dans les pays candidats](#), qui offre une vue d'ensemble de la petite hydroélectricité dans les 15 pays de l'ancienne UE, ainsi que dans les 10 nouveaux pays membres et les pays candidats.

SEARCH LHT

Le passage du laboratoire à la pratique

Rappelons que le projet SEARCH LHT (pour Small Efficient Axial Reliable Compact Hydro Low-Head Turbine), soutenu par la Commission Européenne et la Confédération Helvétique, a pour but de développer des petites turbines axiales répondant aux besoins du domaine de la basse chute (de 3 à 30 m de hauteur de chute nette) et de systématiser la conception de ces machines.

Des essais en laboratoire déjà bien avancés et exploités

Les développements effectués par MHyLab depuis 2001 visent à paramétrer tout le domaine de la basse chute. La turbine est essentiellement de type «Saxo» à distributeur fixe et ouverture variable des pales de la roue motrice. Chaque configuration d'essai, définie par un nombre de pales et une ouverture de distributeur, est développée puis testée sur notre plate-forme d'essai. Le travail de laboratoire consiste à mesurer le rendement, les efforts sur les pales et la vitesse d'emballement ainsi qu'à observer

et caractériser les limites de cavitation admissible, ceci en faisant varier, pour chaque ouverture de roue, les caractéristiques de la turbine (hauteur de chute, vitesse de rotation, hauteur d'aspiration).

Si le développement des configurations à 4, 6 et 8 pales est aujourd'hui terminé, le programme prévoit encore la conception et la validation de variantes à 5 et 7 pales. Fort de l'expérience acquise, MHyLab est déjà à même de répondre à un grand nombre de demandes dans le domaine des basses chutes.

Les chiffres adimensionnels: la première étape du dimensionnement

La transposition des résultats obtenus sur modèle réduit, à l'échelle du prototype et aux données du site, s'effectue en utilisant les chiffres caractéristiques adimensionnels, comme pour les grandes turbines.

Le premier de ces paramètres est le chiffre d'énergie ψ , proportionnel à la hauteur de chute nette, le second étant le chiffre de débit ϕ , proportionnel au débit.

$$\psi = \frac{2 \cdot gH}{(RN)^2}$$

$$\phi = \frac{Q}{s \cdot R^2 \cdot RN}$$

gH = énergie massique nette mise à disposition de la turbine [J/kg]

g = accélération de la pesanteur [m/s^2]

H = hauteur de chute nette [m]

RN = vitesse périphérique de la roue motrice [m/s]

R = rayon extérieur des pales (turbines Kaplan et axiales) [m]

N = vitesse de rotation angulaire [rad/s]

Q = débit de la turbine [m^3/s]

s = surface relative de référence (surface adimensionnelle débitante de la roue motrice), coefficient propre à chaque type de turbine [-]

Le choix de ψ (correspondant à la chute nette nominale) et de ϕ_{10} (correspondant au débit maximal turbiné) pour un site donné (c'est-à-dire pour lequel la dénivellation exploitable et le débit maximal d'équipement sont fixés), détermine la taille de l'installation, la vitesse de rotation du turbo-générateur et la hauteur d'aspiration, donc son implantation par rapport au niveau minimal de restitution. Ainsi, le choix des chiffres adimensionnels est non seulement technique, mais également économique. Ce choix étant effectué, il est possible de dimensionner de façon simple, mais rigoureuse, la turbine spécifique au site à équiper.

Des essais de cavitation pour que celle-ci ne soit pas une fatalité

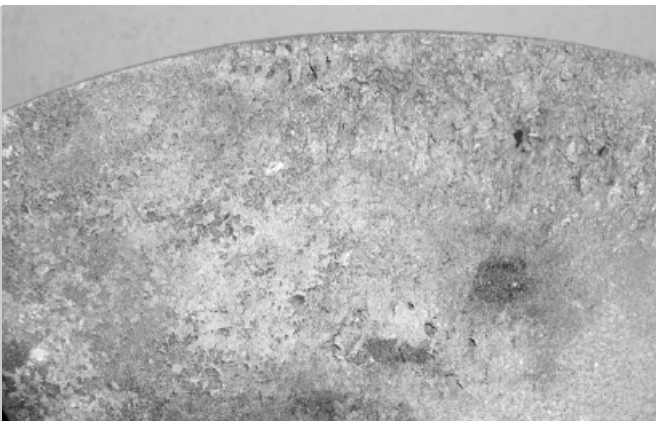
Il est utile de rappeler ici brièvement ce qu'est la cavitation. Lorsqu'un écoulement s'accélère en rencontrant un aubage de la turbine, l'arête d'entrée d'une pale par exemple, la pression peut localement descendre en dessous de la tension de vapeur correspondant à la température de l'eau. Il se forme alors une poche de vapeur sur l'extrados de l'aubage qui va s'étendre à mesure que la pression ambiante s'abaisse. Continuant sa progression sur l'aubage, la poche parvient dans une zone où la pression remonte au-delà de la tension de vapeur. Les cavités de vapeur implosent (s'écrasent) ce qui génère des densités considérables d'énergie cinétique pouvant conduire à des érosions, parfois catastrophiques, de la surface de l'aubage. Cette zone de condensation se manifeste visuellement par des grappes de bulles. Ce phénomène est généralement bruyant et toujours très fluctuant. La poche de vapeur, par contre, pour autant, bien entendu, qu'elle soit peu importante et stable, n'altère pas les performances de la turbine et n'érode pas l'aubage.

Il est donc particulièrement important de déterminer les limites de cavitation admissible. Le but de ces essais est donc de fixer les limites d'implantation et de fonctionnement de la turbine de manière à garantir

le maintien de ses performances sur sa durée de vie, sans aucun dommage dû à l'érosion de cavitation. Sans entrer dans les détails, la cavitation est également caractérisée en laboratoire par un chiffre adimensionnel, le coefficient de cavitation σ , défini selon la norme IEC. On le fait varier en agissant sur la contre pression à l'aval de la turbine, en conservant rigoureusement le même point de fonctionnement de la turbine, caractérisé par ψ et ϕ .

L'observation minutieuse de l'écoulement dans la zone de la roue motrice permet alors de définir les limites admissibles, caractérisées par le chiffre adimensionnel σ_{adm} . Il est dès lors possible de déterminer une courbe en colline de cavitation, outil indispensable pour déterminer l'implantation de la turbine par rapport au niveau garantissant un fonctionnement optimal.

Le travail de développement conduit par MHyLab vise à rechercher la configuration idéale permettant d'abaisser les limites de cavitation, notamment en agissant sur la forme de la pale pour réduire la cavitation de poche et en y ajoutant une collerette pour réduire la cavitation marginale pour les hautes chutes. (...)



Pale de turbine Kaplan réalisée sans technique hydraulique de laboratoire, érodée par cavitation après quelques mois de fonctionnement.

(...) Les photos ci-dessous illustrent l'effet de ces deux types de modification, ceci pour un même point de fonctionnement.



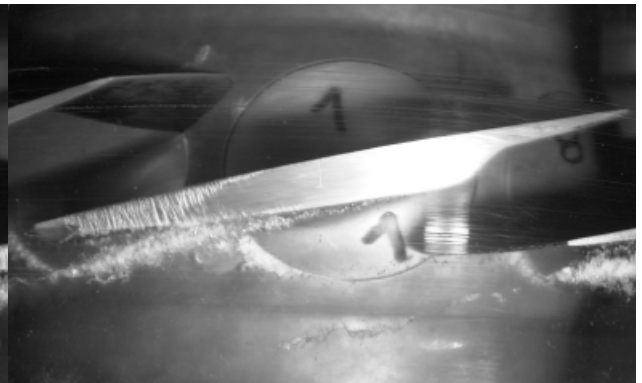
Cavitation de poche non admissible
avant modification de l'arrêt d'entrée de la pale



Cavitation de poche admissible
après modification de l'arrêt d'entrée de la pale



Pale sans collerette:
la cavitation marginale colle à la pale et n'est de ce fait pas admissible

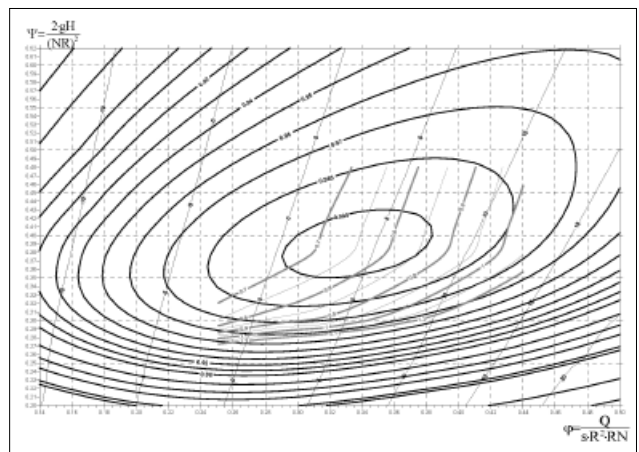


Pale avec collerette:
la cavitation marginale n'est plus en contact avec la pale et devient admissible

Les collines: un outil de dimensionnement

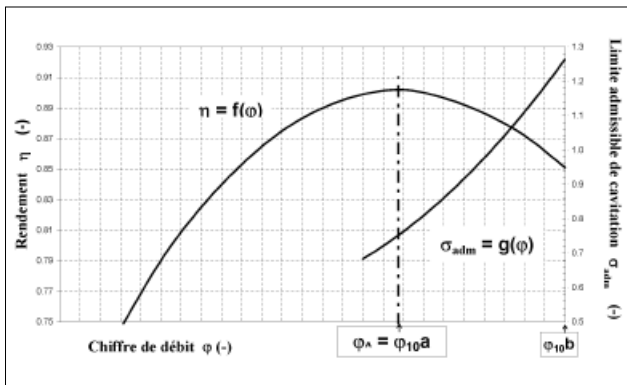
L'exploitation des résultats des essais donne lieu à l'établissement de collines de rendement, tracées selon un repère (φ, ψ) , sur lesquelles sont portées les courbes d'ouvertures de roue et de distributeur, ainsi que la colline de cavitation.

Supposons que l'on doive équiper un site dont la dénivellation exploitable est de 12 m et le débit maximum $3.0 \text{ m}^3/\text{s}$. La première étape consiste à choisir, sur la colline, un chiffre d'énergie ψ correspondant au meilleur rendement. En l'occurrence: $\psi = 0,390$



Collines de rendement et de cavitation

En coupant la colline à cette valeur et en appliquant les formules de transposition des valeurs de rendement mesurées sur le modèle réduit à celles du prototype (effet d'échelle), on obtient, en fonction de φ , la courbe de rendement et la courbe de limite de cavitation admissible.



Coupes des collines de rendement et de cavitation

On considère deux variantes extrêmes du chiffre de débit maximum φ_{10} :

Variante a :

φ_{10} correspond au point de meilleur rendement, autrement dit: $\varphi_{10a} = \varphi^ = 0,335$
choix qui se justifie pleinement dans le cas d'une installation dont le débit est peu variable au cours de l'année. Le débit d'équipement étant disponible sur de longues périodes, il est judicieux de chercher à obtenir le meilleur rendement au débit maximal de la turbine.

Variante b :

φ_{10} est choisi à une valeur significativement plus élevée: $\varphi_{10b} = 1,5 \cdot \varphi^ = 0,500$
choix qui se justifie dans le cas d'installations à débit très variable, de manière à privilégier le rendement à charge partielle.

Des expressions de ψ et φ , on extrait deux dimensions principales de la turbine, le rayon R de la roue motrice et la vitesse de rotation N , pour chacune des deux variantes de φ_{10} . La production annuelle est calculée sur la base de la courbe des débits classés de l'aménagement et de l'évolution du rendement global en fonction du débit.

Partant de la définition de σ , il est par ailleurs possible de déterminer l'expression simplifiée suivante donnant la hauteur d'aspiration H_s :

$$H_s \sim 10 - \sigma_{adm} \cdot H \quad [m]$$

Les valeurs de σ_{adm} sont relevées sur la colline de cavitation en fonction de φ .

Tous calculs faits, on observe que le choix d'une valeur élevée de φ_{10} (variante b) sur la colline de rendement, par rapport à $\varphi_{10} = \varphi^$ (variante a), se caractérise par:

- _ Un rayon R de roue motrice nettement plus faible: 0,353 m au lieu de 0,431 (turbine moins coûteuse).
- _ Une puissance électrique maximale P_e plus faible: 249 kW au lieu de 264.
- _ Un léger gain de production: +1.7%, soit un gain de 9 500 kWh sur 570 000.
- _ Une multiplication de vitesse moins importante: 1,54 au lieu de 1,88, en admettant la vitesse du générateur à 1 000 t/min. On notera que, dans le cas d'un entraînement direct, la vitesse synchrone serait de 500 t/min pour la variante a et de 600 t/min pour la variante b.
- _ Une hauteur d'aspiration de - 4,4 m au lieu de 1,5 m, ce qui signifie que, pour la variante b, l'aubage de la roue de la turbine doit être implanté à au moins 4,4 m au dessous du niveau aval, pour éviter tout risque de cavitation destructive, ce qui entraînerait un coût de génie civil élevé, certainement prohibitif, alors que pour la variante a, le plan médian des pales de la roue pourrait être implanté jusqu'à 1,5 m au dessus du niveau aval sans risque de cavitation destructive.

La valeur optimale de φ_{10} est, bien entendu, située entre ces deux extrêmes. Le choix final dépendra des critères économiques tels que coût des machines en fonction de leur taille, coût du génie civil en fonction de la hauteur d'aspiration (ou de contre-pression) et possibilités d'investissements supplémentaires pour une production plus élevée.

Etude du potentiel énergétique dans les réseaux d'eau potable et usées d'une région valaisanne

Une étude de potentiel énergétique d'une région valaisanne a été effectuée par MHyLab, avec le soutien du programme «Energie dans les infrastructures» et du Service des Forces Hydrauliques du Valais. Son objectif était d'analyser le potentiel de turbinage sur les réseaux d'eau potable, d'eau d'irrigation, d'eaux usées et claires d'une région valaisanne s'étendant du Val de Nendaz au Val d'Anniviers.

Un effort tout particulier visait à sensibiliser les communes concernées aux avantages, tant économiques qu'environnementaux, de la valorisation de l'énergie actuellement dissipée dans des coupe-pressions, et à les encourager à réaliser une installation hydro-électrique sur leurs réseaux. Dans ce but, une analyse sommaire a été menée dans chaque commune concernée. Pour chaque site, un calcul de la production annuelle ainsi qu'une estimation de l'investissement global ont été effectués. Le prix de revient du kWh et le bénéfice annuel ont également été évalués. Les sites ont ensuite été classés par ordre d'intérêt afin de définir des priorités de réalisation.

La synthèse effectuée sur les 69 sites et variantes étudiés fait apparaître un potentiel total d'environ 3 000 kW en puissance pour une production annuelle d'environ 14 millions de kWh, correspondant à la consommation annuelle moyenne d'environ 3 000 ménages. Cette production écologique permettrait d'éviter l'émission d'environ 6 700 tonnes de CO₂ qui seraient produites par des centrales à combustibles fossiles.

Le tiers des sites étudiés est financièrement intéressant aux conditions actuelles. La puissance totale atteindrait 2 000 kW pour une production annuelle de 10 millions de kWh.

Ces chiffres, nettement supérieurs à ceux résultants des études réalisées précédemment, montrent que l'exploitation de cette ressource n'est pas à négliger dans la mise en place d'une politique d'utilisation rationnelle de l'énergie et de réduction des émissions de CO₂.

Suite à cette étude, la commune de St-Jean réalise actuellement une petite centrale sur l'eau potable. Nous venons par ailleurs de terminer l'étude d'avant-projet pour la réalisation d'une installation sur la commune de St-Luc. Ces deux sites, d'une puissance cumulée de plus de 400 kW produiront au total près de 2 000 000 kWh/an, soit la consommation annuelle d'environ 400 ménages.

Du côté des projets

Depuis 1997, année des premiers succès des travaux de développement MHyLab, ce ne sont pas moins de 32 turbines, dont 23 en Suisse, qui ont été réalisées sur la base de notre technique, totalisant une puissance électrique de 9 800 kW, pour une production annuelle estimée à 44 millions de kWh. Celle-ci représente la consommation annuelle de 10 000 ménages moyens et évite l'émission d'environ 21 000 tonnes de CO₂ dans l'atmosphère. Fort de ce bilan, il est intéressant de revenir ici sur quelques projets marquants réalisés ces deux dernières années.

La centrale de Onekaka en Nouvelle-Zélande est équipée de deux turbines Pelton anciennes, fonctionnant sous 194 m de chute et avec un débit de 600 l/s chacune, dont l'une a fait l'objet d'une modernisation sur la base de la technique MHyLab. Nous avons ainsi

fourni le profil hydraulique de la nouvelle roue, du nouvel injecteur et déterminé les modifications à effectuer sur le bâti. Celles-ci, ainsi que l'usinage des différentes pièces, ont bien entendu été réalisés localement.

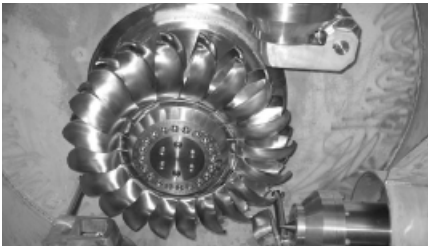
Bien que de telles adaptations ne permettent pas de donner les mêmes garanties de fonctionnement que pour une machine entièrement conçue par nos soins, les résultats obtenus sont excellents. La société Onekaka Energy Ltd nous a fait part des mesures comparatives effectuées sur l'ancienne machine et celle qui a été réhabilitée. Le gain de puissance est de plus de 10%.

La centrale de Blachière, en France, est exploitée par la société S.E.U.B. Equipée d'une turbine Francis fonctionnant sous une dénivellation de 104 m et de 2,1 m³/s de débit nominal, la production annuelle actuelle est d'environ 4,3 millions de kWh. Le principal problème auquel est confronté l'exploitant est la forte variabilité du débit de la rivière, à laquelle la turbine installée ne peut pas répondre efficacement. Mandaté par S.E.U.B., MHyLab a mené une étude d'optimisation au terme de laquelle il a été proposé d'installer une petite turbine Pelton à 4 injecteurs utilisant un débit maximal de 670 l/s. Malgré une chute relativement basse, cette solution est optimale

car elle permet l'exploitation de petits débits. Le gain de production est estimé à 1,3 million de kWh par an soit plus de 30 %. Se basant sur cette étude, la société S.E.U.B. a décidé de réaliser le projet et de commander une machine utilisant une technique MHyLab.

MHyLab a par ailleurs fourni la technique nécessaire à la réalisation de la petite turbine de Tinsemlal, construite et installée par la société Ecowatt (F) dans la vallée de l'Ouneine dans le Haut Atlas Marocain. Bien que de petite puissance (50 kW), il était très important d'assurer un fonctionnement optimal, la machine équipant un réseau isolé et utilisant de l'eau stockée pour l'irrigation.

Enfin, nous aimerions terminer par les centrales installées sur le réseau d'adduction de la commune de Savièse en Suisse. Conçues par MHyLab et réalisées par la société Gasa SA, elles totalisent une puissance électrique de 1 045 kW, pour une production annuelle d'environ 3,8 millions de kWh.

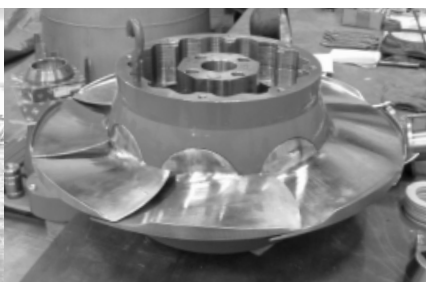
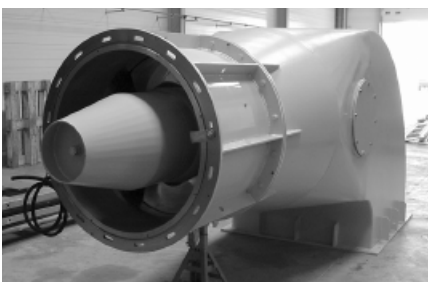


1 La Zour roue de la turbine
2 La Zour montage de l'alternateur

Les premières turbines axiales MHyLab sont en service

Les résultats déjà disponibles de la recherche menée dans le cadre du projet SEARCH LHT ont été appliqués pour le dimensionnement des turbines devant équiper les centrales des Farettes, en Suisse (propriété de Romande Energie SA) et de St-Bueil, en France (propriété de S.E.E.R). Ces deux installations sont des sites de démonstration.

Si la première installation, comprenant une turbine à 4 pales, est en service depuis 2003, la seconde, équipée d'une turbine à 8 pales, a été mise en service début 2005. Toutes deux sont réalisées selon la technique MHyLab, conjointement par les firmes THEE à Toul en France et SASSO en Italie.



1 Turbine des Farettes en atelier
2 Roue motrice de la turbine axiale de St-Bueil en cours de montage.
 $H = 26.6 \text{ m}$, $Q = 1.5 \text{ m}^3/\text{s}$, $De = 580 \text{ mm}$, 8 pales.
On remarquera les lèvres anti-cavitation à la périphérie des pales, destinées à limiter la cavitation marginale.

Une nouvelle Présidence

Président du Conseil de Fondation de MHyLab depuis mars 1998, le Prof. Hon. EPFL Michel Del Pedro a souhaité quitter sa fonction au 31 décembre 2004. Durant plus de six ans, le Pr. Del Pedro a présidé avec brio et enthousiasme les destinées de la Fondation. S'il a vécu avec nous les affres de la recherche de fonds pour nos activités de développement, il aura aussi eu le plaisir de vivre les succès rencontrés par MHyLab dans ses réalisations et ses activités de recherche. Par ces quelques lignes, nous aimerions ici le remercier très sincèrement pour son engagement en faveur de MHyLab et des énergies renouvelables.

Depuis le 1^{er} janvier 2005, la Présidence est assumée par le Dr Jean-Bernard Gay. Diplômé en physique de l'EPFZ, il a obtenu, en 1972, un titre de docteur en physique corpusculaire de l'Université de Neuchâtel. Après quatre années passées au CERN, il est, à partir de 1976, adjoint scientifique, chargé de recherche, puis chargé de cours en énergie solaire et en physique du bâtiment à l'EPFL.

De 1990 à 1997, il a dirigé le programme PACER de la Confédération (Programme d'Action Energies Renouvelables). En 1998, il est nommé Privat-docent à l'EPFL, puis co-directeur du cycle d'études postgrades européen en architecture et développement durable.

Le Dr. Gay est membre de différents organismes, notamment: Commission «Energie» et Groupe «Développement durable» de la SIA, Conseil de la Fondation «Ecoparc» de Neuchâtel et, depuis sa création en décembre 1993, membre du Conseil de fondation de MHyLab.

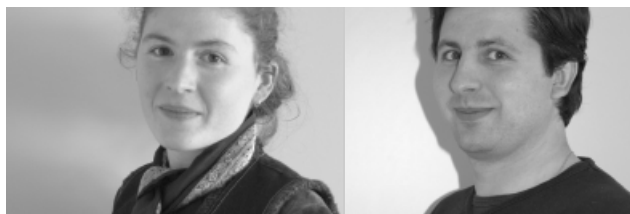
Nous lui souhaitons plein succès dans cette nouvelle tâche et nous réjouissons de collaborer avec lui.



L'équipe MHyLab s'étoffe

En mars 2004 nous a rejoint Mme Aline Choulot, ingénieure Energie et Environnement de l'INSA (Institut National des Sciences Appliquées), de Lyon (France), et postgradée en Energie de l'EPFL. Mme Choulot participe aux travaux de développement de turbines en laboratoire, tout en travaillant sur la création d'un outil industriel de systématisation pour les turbines axiales. Outre la réalisation de mandats pour tiers, elle est également membre actif du Réseau thématique européen en petite hydraulique.

En septembre 2004 nous a rejoint M. Igor Nikolov, ingénieur électricien diplômé de l'Université Sts.Cyril et Methodius de Skopje (Macédoine). Il effectue parmi nous un stage de 24 mois tout en suivant, en parallèle, le cours postgrade en Energie de l'EPFL. M. Nikolov est particulièrement impliqué dans les campagnes d'essais en laboratoire des turbines axiales.



www.mhyllab.ch

Lancé dans une forme très succincte en 2002, le site Internet MHyLab s'est maintenant étoffé. Vous y trouverez de nombreux renseignements sur nos activités ainsi que sur la petite hydraulique en général. Si les versions en Français et en Anglais sont disponibles, une version en Allemand est en préparation.