

Développement systématique des petites turbines axiales: le projet SEARCH LHT

Jean-François Bansard

THEE

Z.I. Croix de Metz

Rue Bois La Ville

54200 Toul

France

Vincent Denis

MHyLab

1354 Montcherand

Suisse

Aline Choulot

MHyLab

1354 Montcherand

Suisse

Andrea Sasso

SASSO s.n.c

Via Felice Cavalotti 17bis

12100 Cunéo

Italie

Introduction

Le projet SEARCH LHT, pour Small Efficient Axial Reliable Compact Hydro Low Head Turbine ou Petite Turbine Axiale Basse Chute Compacte, Efficace et Fiable, est soutenu par la Commission Européenne et la Confédération Suisse, dans le cadre du 5^{ème} programme cadre en recherche et développement. Son but est de développer un concept innovant de turbo-générateur hydroélectrique axial basé sur la roue Kaplan, spécifique à la petite hydraulique.

En effet, l'expérience a montré que les petites centrales ne peuvent pas être simplement traitées comme la réduction géométrique des grandes, mais, au contraire, que les équipements et autres constructions doivent être systématiquement conçues de façon spécifique. Par conséquent, le but du projet n'est pas de définir des équipements standards, mais d'élaborer un concept qui permettra aux centrales traditionnelles d'être construites à un coût comparables à ceux des équipements standard actuels, et qui peut, par conséquent, satisfaire aux trois critères fondamentaux de simplicité, fiabilité et performances garanties. De plus, le projet inclut une phase industrielle basée sur deux sites de démonstration érigés en Suisse et en France pour valider le transfert du laboratoire à l'industrie.



Figure 1. Observation du phénomène de cavitation sur une turbine 8 pales équipées de collerettes, sur le banc d'essais MHyLab

1 Cadre du projet

Pour tenir l'objectif fixé par son « Livre Blanc » visant à couvrir d'ici à 2010 12% des besoins énergétiques de l'Union Européenne par des énergies renouvelables, la Commission Européenne souhaite installer, en Europe, une puissance supplémentaire de 4 500 MW en petite hydraulique.

Il s'agit d'un objectif ambitieux si l'on considère que la majorité des sites de puissance élevée sont déjà équipés. Une bonne partie de l'effort est donc à réaliser dans le domaine des faibles puissances (inférieures à 1 000 kW). Outre les nouvelles réalisations, une part importante de cet objectif pourra être atteinte en réhabilitant les nombreux sites à basse chute actuellement abandonnés ou en mauvais état.

La Suisse poursuit des objectifs similaires en matière de développement des énergies renouvelables, notamment dans le cadre du programme Suisse Energie.

Le projet est conduit par un consortium regroupant:

- MHyLab, laboratoire de mini-hydraulique,
- THEE, constructeur de turbines français,
- SASSO, spécialiste du contrôle commande italien,
- le laboratoire de machines hydrauliques de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Suisse
- le laboratoire des écoulements géophysiques de l'Ecole Nationale Supérieure de Mécanique et d'Hydraulique de Grenoble, France,
- Romande Energie SA, producteur et distributeur d'électricité suisse,
- et SEER, producteur d'électricité indépendant français.

2 ETAT DE L'ART

Si l'on considère les équipements hydro- et électro-mécaniques, on peut distinguer trois catégories principales d'acteurs du marché qui sont: les constructeurs de grandes machines, les instituts universitaires ou indépendants et les constructeurs de petites turbines.

Les deux premières catégories effectuent de nombreux essais en laboratoire sur modèles réduits, soit pour faire progresser la technique des machines hydrauliques et développer de nouveaux moyens de calcul et conception, soit pour améliorer la connaissance des phénomènes hydrodynamiques tels que la cavitation, les régimes instationnaires, etc.

Etant donné le coût élevé de ces essais, ces méthodes ne sont applicables que pour les grandes machines, développées à l'unité en fonction des caractéristiques de chaque site.

Le coût du développement d'un modèle réduit sur stand d'essai étant du même ordre que celui du prix d'une installation complète de petite hydraulique, les constructeurs indépendants de petites turbines (qui ne sont pas associés à de grands groupes industriels incluant des sociétés développant des grandes turbines) ne peuvent évidemment effectuer aucun travail de laboratoire.

Actuellement, la démarche consiste soit à développer des gammes de turbines standard qu'il est possible d'adapter plus ou moins bien au site à équiper, soit de réaliser des modèles réduits de grandes turbines en adaptant et simplifiant le tracé, sans en mesurer toutes les conséquences. Or l'hydraulique est précisément un domaine où le standard ne peut exister.

Peut-être est-il utile de rappeler ici que la démarche de standardisation consiste à:

- découper le domaine d'application d'un type de turbines (dont les limites sont données par un débit et une chute maximale) en plusieurs sous domaines,
- développer un nombre limité de turbines, calculées en un point précis de chaque sous-domaine,
- adapter avec plus ou moins de bonheur les turbines ainsi développées aux différents sites à équiper, sans connaître tous les effets de ces adaptations.

Il est à noter également que la standardisation reste coûteuse et ne peut être à la portée de tous.

Cette démarche est donc fondamentalement différente de la systématisation qui vise à paramétrer entièrement les profils hydrauliques des turbines, puis à tester le comportement et les performances de celles-ci, en fonction de l'évolution des paramètres. Cette démarche est nécessairement validée par les essais en laboratoire. Les lois de similitude permettent ensuite le calcul individuel de chaque nouvelle turbine en fonction des caractéristiques exactes du site à équiper et surtout de garantir des performances. Il est ainsi possible de passer d'une méthode semi-empirique à une méthode technique précise et sans risque.

En résumé, il est possible de dire que jusqu'à ce projet, les petites turbines disponibles sur le marché, dont la puissance maximale est de l'ordre du MW, ne permettaient pas de répondre simultanément aux critères fondamentaux de **simplicité, performances élevées garanties et fiabilité**.

3 LA DEMARCHE ET LES OBJECTIFS

Les principaux objectifs sont de développer de manière systématique une nouvelle génération de matériels répondant aux besoins des petits aménagements hydro-électriques de type basse chute ($H = 3$ à 30 m) d'une puissance inférieure à 1 MW. Le choix s'est porté sur une turbine axiale à pales orientables en marche en fonction du débit et à distributeur fixe, le double réglage étant généralement exclu pour les petites centrales en raison de sa complexité et par conséquent de son coût. Toutefois, les essais comprenant la recherche de l'angle optimal de la distribution, rien n'empêche, cas échéant, de proposer des turbines à distributeur mobile.

Les machines, qui sont entièrement conçues en laboratoire, doivent satisfaire aux trois critères fondamentaux de simplicité, fiabilité et performances garanties. La validation du transfert des résultats à l'industrie est effectuée par la réalisation de deux sites de démonstration:

- Les Farettes, propriété de Romande Energie SA, en Suisse,
- St-Bueil, propriété de SEER, en France.

Comme l'a fait MHyLab pour les turbines Pelton, la gamme de toutes les petites turbines développées dans le cadre de ce projet permettra de **proposer pour chaque site une installation correspondant exactement à ses caractéristiques**, dont le fonctionnement hydraulique parfait est **garanti**, tout comme le sont ses performances.

La recherche du meilleur rapport performance/coût des aménagements à basse chute a conduit à développer des solutions nouvelles pour la turbine, telles que:

- la réalisation d'un coude « aileté » à section carrée en amont du distributeur,
- la simplification de la géométrie des aubes directrices,
- la commande simplifiée des pales de la roue motrice,
- l'option d'un palier de guidage lubrifié à l'eau, l'absence de tout système nécessitant l'huile ou la graisse,
- l'étude de solutions d'entraînement à vitesse de rotation non synchrone des alternateurs (électronique de puissance ou adaptation mécanique),
- etc.

Les partenaires industriels du projet développent également des solutions innovantes, que ce soit dans les domaines de la mécanique, de l'électricité ou du contrôle-commande, comme, par exemple, le développement

d'un système de gestion globale, modulaire et adaptative des équipements de la centrale au moyen de la technologie BUS.

Le travail conjoint d'un laboratoire indépendant, de deux laboratoires universitaires, de deux industriels et de deux exploitants permettra de diffuser une technique performante, simple et fiable (révision toutes les **100'000 heures**) pour les petits aménagements hydrauliques à basse chute, à un **prix compatible** avec les **impératifs** économiques propres à la **branche**.

De manière synthétique, les objectifs de la phase de R&D peuvent être résumés de la manière suivante :

- ⇒ Développer, optimiser et tester un concept systématique **innovant** de petits groupes hydro-électriques destinés aux aménagements à basse chute répondant aux critères de simplicité, performance (avec au moins 90% de rendement mécanique maximal pour le site à équiper) et fiabilité, dans le domaine de chute compris entre 3 et 30 m, pour une puissance maximale de l'ordre de 1MW.
- ⇒ Pré-dimensionner et optimiser les profils hydrauliques au moyen de l'analyse numérique des écoulements (méthodes Euler et Navier Stokes).
- ⇒ Valider les résultats obtenus par calcul en effectuant des essais en laboratoire sur modèle réduit.
- ⇒ Développer un concept industriel sur la base des travaux réalisés en laboratoire.
- ⇒ Développer un programme informatique permettant de livrer très rapidement les garanties de performance de la turbine (rendement et puissance mécanique en fonction des variations de débit et de chute).
- ⇒ Développer un logiciel de dessin automatique permettant la livraison du profil hydraulique complet de la petite turbine correspondant parfaitement aux caractéristiques de l'aménagement, ceci dans un délai de quelques semaines.
- ⇒ Abandonner la méthode de la turbine standard au profit du design systématique sur mesure, pour un prix compatible avec les exigences du marché.
- ⇒ Garantir le fonctionnement hydrodynamique des petites turbines comme on le fait pour les grandes.
- ⇒ Réduire les coûts de construction et d'exploitation.
- ⇒ Mettre à disposition des constructeurs de petites turbines une technique performante, sûre et garantie, ce qui jusqu'à ce projet était difficilement atteignable.

Les objectifs de la phase de **démonstration** sont quant à eux de :

- ⇒ Assurer l'industrialisation et évaluer la fiabilité des techniques développées durant la phase de R&D,
- ⇒ Permettre une comparaison technico-économique relativement aux solutions classiques,
- ⇒ Offrir une vitrine technologique faisant office de référence,
- ⇒ Assurer une large diffusion des techniques développées.

4 PRESENTATION DES SITES DE DEMONSTRATION

4.1 Les Farettes (Suisse)

La centrale des Farettes, propriété de Romande Energie SA, située à Aigle, aux portes des Alpes suisses, est composée d'une grande centrale hydroélectrique haute chute du début du XX^{ème}, et depuis janvier 2003, d'une petite centrale de 160 kW, construite dans le cadre du programme SEARCH LHT. Les deux centrales reçoivent l'eau d'un bassin de drainage d'une surface proche des 110 km².

La mini centrale prélève l'eau à la sortie du canal de fuite de la centrale existante, au moyen d'une conduite de 1.2 m de diamètre et de 37 mètres de long. Une turbine de type axial à axe vertical, avec un débit de 2.5 m³/s (le même que les grosses turbines) et une chute nette de 7.7m, entraîne directement une génératrice asynchrone. Le

turbogénérateur avec ses auxiliaires de commande et de régulation a été installé dans un bâtiment partiellement enterré et de petite dimension, à l'extrémité du canal de fuite de la centrale.



Figure 2. La petite centrale des Farettes (en arrière plan: la grande centrale haute chute)

Le fonctionnement entièrement automatique et les alarmes sont traités par le centre de conduite de Romande Energie SA, situé à 75 km de la centrale.

L'énergie produite, soit environ 900'000 kWh par an, ou la consommation de 200 ménages suisses, est acheminée sur les installations de la centrale principale et directement injectée dans le réseau local de distribution 400 volts.



Figure 3. Le générateur des Farettes en atelier



Figure 4. Implantation de la petite turbine des Farettes

4.2 St-Bueil (France)

La centrale hydro-électrique de St-Bueil a été construite en 1920 pour alimenter en électricité un site industriel. Sa mise en service a permis sa mutation (moulins et taillanderie) vers une industrie textile, la centrale remplaçant plusieurs petites installations obsolètes.

Dans les années 1960, l'installation a subi quelques modifications telles que le remplacement de la conduite rivetée par une conduite soudée, ainsi que le remplacement des deux turbines d'origine par la turbine Francis encore en place aujourd'hui, élevant ainsi la capacité totale à 210 kW. Depuis et jusqu'à son arrêt total en 1993, l'installation n'a plus évolué et n'a pas bénéficié d'un entretien adéquat.



Figure 5. St-Bueil: prise d'eau



Figure 6. St-Bueil: ancien groupe Francis, encore en fonctionnement

En 1995, la SEER, dans le cadre d'un contrat de fermage, a repris l'exploitation et engagé la procédure de renouvellement de l'autorisation. Elle en est devenue propriétaire en 1999. Pour l'exploitant, les objectifs de la réhabilitation étaient d'améliorer le rendement énergétique global de l'installation et d'optimiser la production annuelle, tout en réduisant les coûts de maintenance.

Dans le cadre du projet SEARCH LHT, le site a été équipé d'une nouvelle turbine Kaplan de 345 kW équipée d'une roue motrice à 8 pales, fonctionnant sous une chute nette de 27 m, avec un débit de $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$. La mise en service a été réalisée au début de l'année 2005.



Figure 7. Nouveau groupe axial de st-Bueil: roue à 8 pales



Figure 8. Nouveau groupe axial de St-Bueil: turbogénérateur de 345 kW

Ce qui est particulièrement intéressant ici, c'est que la turbine axiale a été installée en parallèle au groupe Francis, permettant la comparaison entre les deux. Ainsi, les premiers résultats montrent un gain moyen de production électrique de 27 %, avec une nouvelle production annuelle estimée à 1'100'000 kWh. De plus, la nouvelle turbine axiale a un avantage majeur: elle utilise de façon plus optimale le débit disponible, en assurant une meilleure efficacité aux petits débits et en turbinant la totalité des débits disponibles autorisés.

5 LES PHASES DU PROJET

5.1 L'hydro-mécanique

La phase de R&D a commencé par la définition du profil hydraulique complet du modèle du laboratoire et notamment de la première roue à 4 pales.

5.1.1 Conception générale du modèle de laboratoire

La première étape du travail a consisté à analyser les techniques déjà expérimentées pour les grandes turbines, de manière à parvenir le plus rapidement possible à une solution originale applicable à la petite hydraulique. Cette phase a été particulièrement utile pour définir le concept et le programme de travail.

L'un des buts du projet étant de réaliser une machine compacte, monobloc, le choix de l'entonnement amont s'est porté sur un coude à angle droit. L'intérieur de ce coude a été équipé de guideaux afin de réduire les pertes de charge et d'assurer de bonnes conditions d'écoulement. Ensuite, les simulations numériques ont clairement montré que le meilleur choix était un coude à section carrée.

Après validation de ce concept de base, le profil hydraulique complet du modèle du laboratoire a été dimensionné et dessiné. L'étude constructive du modèle réduit et de son montage sur la plateforme d'essai a été conduite de manière à utiliser directement des solutions industrielles, ce qui a permis d'en valider un certain nombre avant la construction du premier prototype.

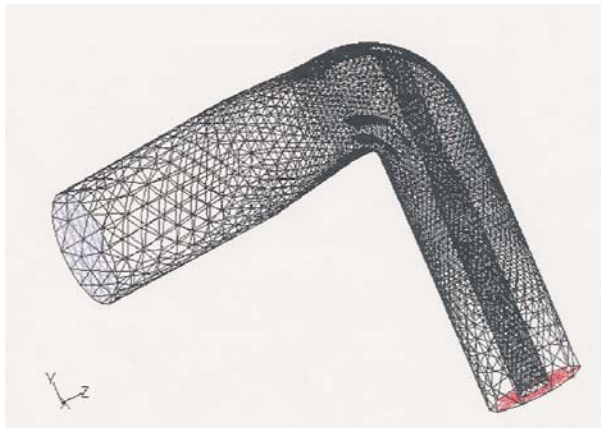


Figure 9. Maillage du coude d'entrée à section carrée utilisé dans les calculs de CFD

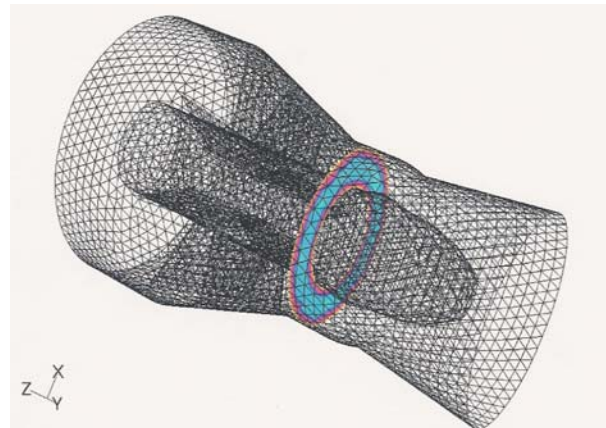


Figure 10. Exemple de maillage pour le distributeur et la roue utilisé dans les calculs de CFD

Un accent particulier a été porté sur la conception du système de commande des pales, qui doit être le plus simple possible.

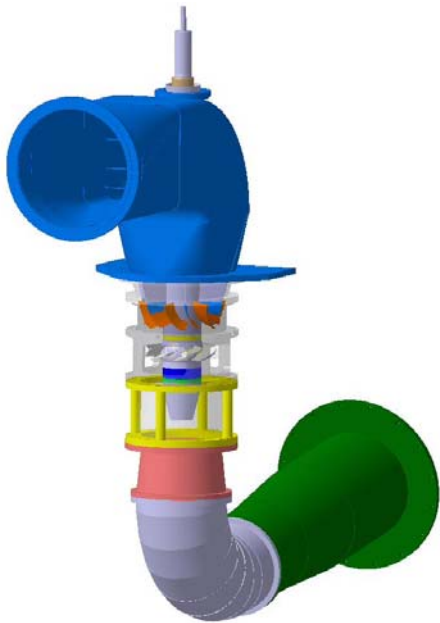


Figure 11 : Dessin global de la turbine de test sur le banc d'essai



Figure 12 : Vue du banc d'essai MHyLab

5.1.2 Les tests en laboratoire

Dans le but d'atteindre les objectifs de bas coûts, hautes performances et fiabilité, et de systématiser la plage de fonctionnement des basses chutes de 3 à 30 m, différentes configurations à 4, 6, 7 et 8 pales ont été testées sur le banc d'essai MHyLab.

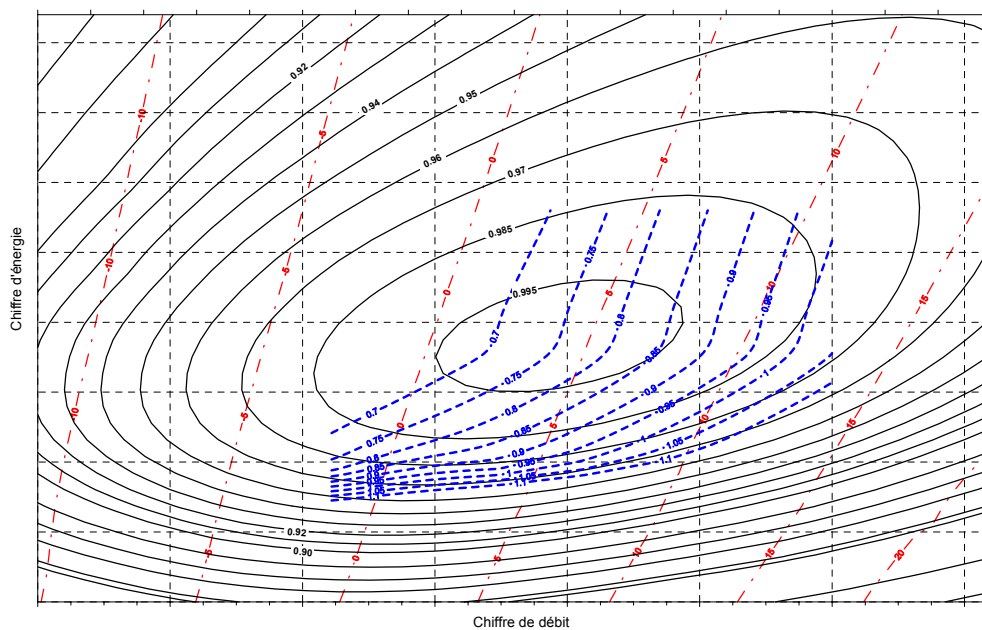


Figure 13. Exemple de colline selon un repère chiffre d'énergie en fonction du chiffre de débit (en noir continu: le rendement relatif, en rouge discontinu: l'ouverture des pales (°), en traitillé bleu la colline de cavitation)

Des essais de rendement, de cavitation, d'efforts sur les pales et d'emballement sont réalisés sur le stand. Les deux premiers permettent le tracé de collines, comme montré sur la Figure 13.

Les configurations optimales pour les turbines à 4, 6, 7 et 8 pales atteignent un rendement mécanique maximal compris entre 89.4 % et 90.5 %.

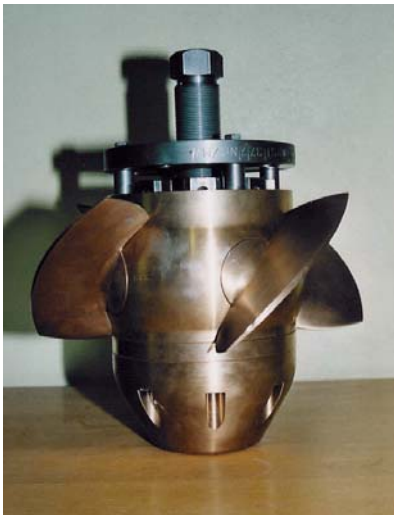


Figure 14. Turbine à 4 pales



Figure 15. Turbine à 8 pales

Des mesures d'efforts sur les pales sont réalisées pour permettre au constructeur de dimensionner le système de commande des pales, tandis que les essais d'emballement servent à déterminer la vitesse maximale atteinte par la machine en cas de perte de réseau, afin de dimensionner divers éléments électromécaniques (alternateur).



Figure 16. Turbine à 6 pales



Figure 17. Turbine à 7 pales

5.1.3 Création d'un outil de conception des turbines basse chute

L'objectif est de créer un outil industriel qui utilise tous les résultats d'essais de manière à concevoir la turbine optimale pour le site à équiper. Cet outil, basé sur la méthode de systématisation et l'utilisation de 60 collines (10 pour chaque configuration), gère différents paramètres spécifiques au site à équiper (principalement la chute et la courbe des débits classés) et doit trouver le profil hydraulique optimal en considérant:

- le nombre de pales, chaque nombre de pales correspondant à un domaine de chute,

- une vitesse de rotation aussi élevée que possible afin de réduire le diamètre de la roue et, par conséquent le prix de la turbine,
- une vitesse de rotation synchrone ou non synchrone, puisqu'un multiplicateur de vitesse peut être utilisé, ou même un modulateur de fréquence,
- la hauteur d'aspiration, dans le but de limiter ou d'éviter l'excavation tout en excluant le danger de cavitation,
- le débit maximal qui peut être utilisé, et/ou le débit pour lequel le rendement est maximal.

Cet outil trace les courbes d'évolution du rendement et de la puissance mécanique selon le débit turbiné, qui constituent les garanties de rendement, telle que celle de la centrale de Farettes présentée dans la Figure 18.

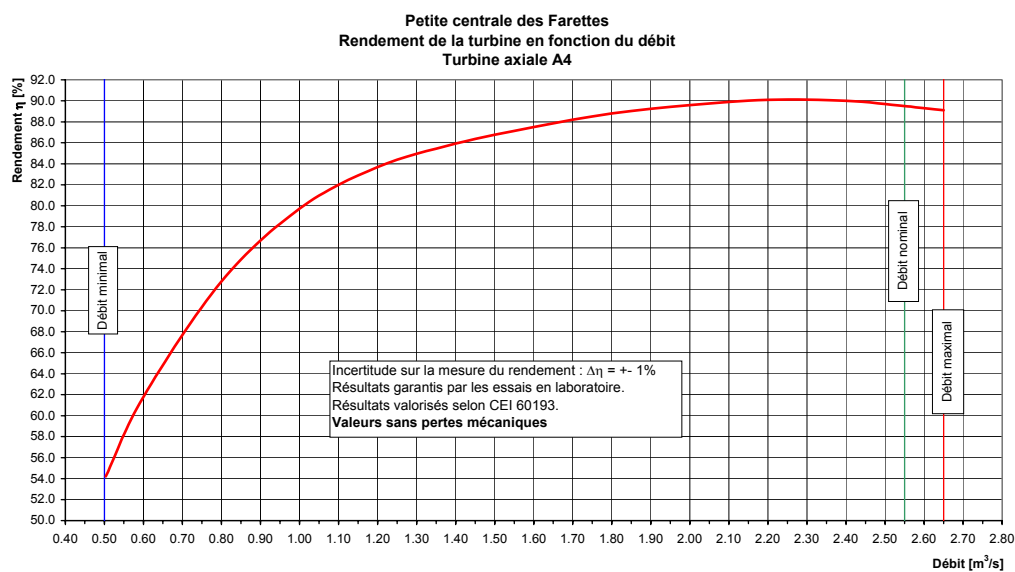


Figure 18. Garanties de rendement pour la petite centrale des Farettes

5.1.4 Construction de la turbine

THEE, partenaire industriel, a conçu l'ensemble du groupe hydro-électrique pour les petites centrales des Farettes et de St-Bueil sur la base des développements réalisés en laboratoire. Cette étape est particulièrement importante, car elle a pour but de valider le concept industriel, mais aussi de poser les bases de l'ensemble du développement de la gamme devant couvrir tout le domaine requis, soit pour des chutes entre 3 et 30 m. L'échange d'expérience permanent entre partenaires complémentaires a permis de rechercher des solutions simples et adaptées à la petite hydraulique.

5.2 Le contrôle commande

Le but recherché est de développer un système de gestion globale, modulaire et adaptative des équipements de la centrale au moyen de la technologie BUS. Celle-ci a pour fonction de traiter les informations provenant des différents capteurs et de donner les consignes nécessaires au bon fonctionnement de la centrale. Le noyau central fournit ainsi à l'opérateur toutes les informations relatives à l'exploitation, tout en autorisant une intervention manuelle. On cherche également à réaliser un contrôle décentralisé, autorisant la communication directe entre les instruments sans passage par l'unité centrale.

Cette architecture présente l'avantage non négligeable d'offrir une gestion performante en temps réel pouvant fonctionner même en cas de défaut sur l'unité centrale. Tout le développement s'effectue dans l'optique de concilier simplicité et performance à un coût raisonnable.

Suite à l'analyse des technologies existantes menée par SASSO, le choix s'est porté sur un système CANbus, le seul permettant une architecture décentralisée alliant vitesse de transmission, insensibilité aux parasites, et coûts réduits. De plus, il permet à l'utilisateur final de se concentrer sur l'aspect fonctionnel du système à réaliser, le protocole de communication, appelé CANOpen étant aisé à installer et ne dépendant pas d'un fournisseur spécifique.

Le travail sur le contrôle commande effectué a permis:

- Le développement, en langage C, d'un logiciel de communication CANbus, qui exécute les fonctions du protocole CANOpen. Comme ce dernier n'utilise aucune caractéristique spécifique de compilateur ou d'ordinateur, il peut être considéré comme universel.
- De concevoir et de créer un tableau de communication PC104, qui n'utilise pas de microprocesseur, mais qui a 2 interfaces CANbus indépendantes. Elles peuvent être utilisées directement avec l'architecture choisie, ce qui, par conséquent, garantit une excellente flexibilité.
- De concevoir et de créer un tableau de bord des signaux entrants et sortants, ou envoyés via des mesures effectuées par les instruments de contrôle.
- De concevoir une interface utilisateur, qui fournit à l'opérateur des informations sur l'état de l'unité hydroélectrique. L'application utilise Windows, et est compatible avec la version WindowsCE, permettant un contrôle en temps réel.

6 Conclusions

Le projet SEARCH LHT étant terminé, il peut être confirmé que les objectifs sont atteints. De plus, les performances des nouvelles turbines démontrent la validité de la technique développée.

Ainsi, aujourd'hui, nous disposons d'une gamme complète de turbines pour les chutes de 3 à 30m, déclinée également pour les très basses chutes (1 à 3 m).

Le succès global du projet est essentiellement dû à la complémentarité des différents partenaires. En effet, ils couvrent l'entier des acteurs du marché de la petite hydraulique, étant issus de milieux de la R&D, de l'industrie et de la production d'électricité. Il est à ce sens particulièrement intéressant d'avoir pu regrouper deux utilisateurs à la philosophie foncièrement différente, l'un étant un grand producteur et distributeur, alors que l'autre est un producteur indépendant possédant un seul aménagement.

Le matériel qui est progressivement mis sur le marché est destiné aux producteurs exigeants qui, dans le domaine des petites puissances désirent acquérir un matériel de qualité alliant performance, fiabilité et sécurité d'exploitation, offrant des garanties tangibles et vérifiables en matière de fonctionnement hydrodynamique, que l'on parle de rendement, de cavitation ou de stabilité de marche.

L'intérêt porté au projet par la DG TREN de la Commission Européenne et le Secrétariat suisse pour l'Education et la Recherche, ainsi que la répartition géographique des différents partenaires assureront une large diffusion de la technique permettant de participer à l'objectif du Livre Blanc en matière de petite hydraulique.

Références

- [1] **European Commission, DG TREN**, "Renewable energy sources: small hydro sector", Acte de conférence, Improving market penetration for new energy technologies: prospects for pre-competitive support, Bruxelles, pp 229-244, 1996.
- [2] **Pauwels H.**, Lessons drawn from carrying out demonstration projects, Acte de conférence, Hydroenergia 97, Dublin, pp 145-153, 1997.
- [3] **Chenal R.**, Les objectifs du laboratoire de Montcherand, Les cahiers de l'électricité, Revue suisse de l'énergie, N°35, pp 24-29, mars 1997.

- [4] **Denis V.**, Une nouvelle façon de penser la mini-hydraulique, Acte de conférence, Hydroenergia 97, Dublin, pp 416-425, 1997.
- [5] **European Commission**, White paper on renewable energies, Bruxelles, 1997
- [6] **Chenal R., Denis V.**, "De la nécessité d'entreprendre une recherche systématique en mini-hydraulique", Actes de conférence, Verbandschrift N°56 des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes, Baden, pp 165-170, 1997.
- [7] **Naacke H.**, "Pour une stratégie industrielle du développement européen de l'industrie de la mini-hydraulique", Acte de conférence, Hydroenergia 97, Dublin, pp 83-91, 1997.
- [8] **Denis V.**, "The role of the hydraulic laboratory in small hydro development", Hydropower & Dams, Issue four, pp 50-52, 1998.
- [9] **Degen M., Denis V.**, "Efficiency enhancing and CAD tools for small hydro", Acte de conférence, Hydro 2000, Bern, pp 416-425, 2000.
- [10] **Denis V.**, Développement systématique et outils CAO pour la petite hydraulique, présentation aux rencontres de l'hydro-électricité, Colloque SHF-GPAE, Grenoble, 2001.
- [11] **Chenal R., Choulot A., Denis V.**, "Laboratory development and industrial application of small low-head hydro turbines, The SEARCH LHT project", Actes de conférence, Hydro 2004, session 2.03, 2004.
- [12] **P. Punys**, "Small hydropower in New Member States and candidate countries", Thematic Network on Small Hydropower, 2004
- [13] **Bard J., Corbet J.-P., Denis V., Fonkenell J., Frosio N., Papetti L., Schleiss A., Söderberg C.**, "European strategy document for research technological development and demonstration in small hydropower", Thematic Network on Small Hydropower, 2005.
- [14] **Chenal R., Choulot A., Denis V.**, "Laboratory development of small low-head turbines: a key for new and future-refurbished hydropower plants in developed countries as well as in emerging ones", Acte de conférence, Hydro 2005, session 14, 2005.
- [15] **Chenal R., Choulot A., Denis V., Tissot N.**, "SEARCH LHT, Le passage du laboratoire à la pratique", Hydroscoop n°4, Bulletin d'information MHyLab, juillet 2005.
- [16] **Chenal R.**, "Relation entre le rendement énergétique d'une PCH et son coût de construction", MHyLab, 2005.

Les auteurs

Jean-François Bansard: Diplômé en génie mécanique de l'Ecole Supérieure des Sciences et Techniques de l'Ingénieur de Nancy en France (ESSTIN) en 1982, il fonde la société THEE (Turbines et Equipements Hydroélectriques) en 1983. En tant que directeur technique, il est responsable de la conception des turbines et de leurs auxiliaires.

Vincent Denis: Diplômé en génie mécanique, et post-gradé en Energie de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), il travaille au service des aménagements hydro-électriques à SGI Ingénierie SA de 1992 à 1996. Responsable du laboratoire MHyLab depuis 1996, il est en charge de la R&D pour les petites turbines.

Aline Choulot: Ingénieure en Energie et Environnement de l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (INSA), post-gradée en Energie de l'EPFL, elle travaille au Finnish Environment Institute à Helsinki, puis dans une grande compagnie internationale. Depuis 2004 à MHyLab, elle participe aux développements des petites turbines.

Andrea Sasso: Expert en systèmes d'énergie renouvelable, il est le responsable R&D et commercial de la société Sasso snc, fondée en 1925 par son grand-père. Dans le cadre du projet SEARCH LHT, il est chargé du programme de développement du système de contrôle commande.