

LA RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT EN LABORATOIRE : UNE NECESSITE

V. DENIS

MHyLab

Laboratoire de mini-hydraulique

RESUME

*L'analyse de situations concrètes montre que les petites turbines hydrauliques ne peuvent être ni des modèles réduits des grandes machines, ni l'extension de toutes petites. Les contraintes étant différentes, il est démontré la nécessité de conduire des recherches poussées et systématiques, afin d'optimiser et de produire les équipements spécifiques aux petites centrales, répondant aux trois exigences fondamentales de **simplicité** (coûts limités), **rendement élevé** (utilisation optimale des ressources), **fiabilité maximale** (entretien minimum et aisé).*

La façon entièrement nouvelle d'approcher la conception et la réalisation de petites turbines est décrite dans cet article, aussi bien du point de vue du concept global que des aspects techniques et constructifs.

Il est démontré, à travers plusieurs exemples, d'une part, que l'utilisation d'éléments standards et l'adoption d'une technique simple permet une réduction importante des coûts de construction et d'exploitation, sans altérer de manière significative les performances de la turbine, et d'autre part, que la recherche et développement en laboratoire est une condition sine qua non à la réussite d'un projet.

La démarche proposée correspond aussi bien aux pays industrialisés qu'à ceux en développement, ou ne possédant pas les structures nécessaires au développement de la petite hydraulique.

1 SITUATION ACTUELLE

La tendance actuelle du marché de l'hydro-électricité s'oriente de plus en plus vers les petites et moyennes exploitations.

A cela, nous pouvons trouver plusieurs raisons.

Premièrement, les projets géants, tels que réalisés ces dernières décennies, sont, d'une part, controversés d'un point de vue socio-économique, et d'autre part, caractérisés par des difficultés financières ou de rentabilité. Ainsi les organismes internationaux d'aide ou de financement, se détournent-ils peu à peu de ce type d'aménagements, au profit des petites et moyennes centrales.

Deuxièmement, la petite hydraulique répond aux besoins d'électrification de régions isolées ou périphériques dans les pays au réseau de distribution peu dense.

Enfin ce type d'installation rencontre un intérêt croissant dans les pays au potentiel hydraulique déjà fortement exploité, comme c'est le cas dans bon nombre de pays de l'Ouest de l'Europe.

Ainsi, la Suisse a lancé plusieurs programmes d'encouragement (p.e. Diane 10 et Pacer) visant à développer son potentiel de petites centrales.

C'est donc tout naturellement que l'Office fédéral de l'énergie a participé au financement du laboratoire MHyLab, fondation à but non lucratif dont l'objectif est de développer une technique fiable, simple et performante permettant la construction de petites turbines au fonctionnement optimal.

Ces diverses actions commencent à porter leurs fruits, puisque l'on constate actuellement un renouveau de la branche au travers de plusieurs projets, certains présentant l'originalité de se trouver intégrés à des réseaux d'eau usée ou potable.

Cet article propose une nouvelle approche de la conception et de la construction des petites turbines, ceci tant du point de vue technique que constructif, s'appuyant sur des essais systématiques en laboratoire.

2 UNE PETITE CENTRALE, QUELS CRITERES ?

2.1 La puissance est-elle suffisante pour qualifier une centrale ?

Avant toute chose, il convient de s'accorder sur la définition d'une petite centrale. Le critère déterminant est-il celui de la puissance, du coût, de la production, de la taille ou est-il politique, voire conjoncturel ? Cette énumération de critères possibles montre bien qu'il existe une multitude de définitions hautement subjectives.

En Suisse, la définition officielle d'une petite centrale comprend sept catégories de puissance, échelonnées entre 0 et 10'000 kW. L'UNIPEDE définit par contre trois catégories dans les mêmes limites, alors que la Fédération de Russie considère que tout aménagement de moins de 30'000 kW est une petite centrale.

Considérons la centrale du Seujet [1], située sur le Rhône à Genève, qui compte trois groupes bulbe de chacun 2'900 kW, pour des débits unitaires de $135 \text{ m}^3/\text{s}$, leur roue mesurant 5 m de diamètre.



Fig. 1 La centrale du Seujet
(Photo : M. Leu)

La centrale de La Douve II [2] ci-après exploite le rejet d'une station d'épuration située dans les Alpes et développe une puissance de 75 kW.

Fig. 2 Centrale de
La Douve II
(Constructeur :
GASA SA)



Du point de vue du seul critère de puissance, ces deux installations sont des petites centrales

Si la première a nécessité près de huit ans de travaux, la seconde a été assemblée en atelier en quelques mois, y compris l'abri et les armoires électriques, avant d'être installée, par hélicoptage, en 23 minutes sur un site inaccessible par véhicule. Son cahier des charges prévoit un fonctionnement sans intervention durant 30'000 heures.

Il apparaît à l'évidence qu'une telle réussite n'est possible que si la petite centrale a été conçue avec une technique propre à ce type d'aménagement.

2.2 Proposition d'une définition

Les exemples ci-dessus démontrent bien l'insuffisance du critère de puissance. Par ailleurs, il est essentiel d'admettre qu'une petite centrale n'est pas la réduction géométrique d'une grande. En effet, une telle démarche conduit soit à une dégradation excessive des performances si l'on simplifie de manière incontrôlée la géométrie de la turbine, soit à une construction coûteuse, complexe et d'exploitation délicate si on la conserve.

A l'inverse, la géométrie d'une turbine de quelques kW n'est pas extrapolable à celle d'une turbine de quelques dizaines ou centaines de kW.

Dans les deux cas, les contraintes étant différentes, il apparaît essentiel de développer et produire des équipements spécifiques aux petites centrales, à même de répondre aux exigences fondamentales de **simplicité, rendement énergétique élevé, fiabilité maximale et entretien aisé** par des non-spécialistes.

Nous proposons ainsi de définir une **petite centrale** comme une **centrale qui pour des raisons techniques et économiques ne peut être la réduction géométrique d'une grande.**

3 POURQUOI LE DEVELOPPEMENT EN LABORATOIRE EST-IL NECESSAIRE MÊME EN PETITE HYDRAULIQUE ?

3.1 Contrôle des performances

Deux possibilités s'offrent au Maître d'Oeuvre lorsqu'il désire contrôler les performances d'une turbine.

La première consiste à effectuer des essais **sur site** après la mise en service de la turbine. Afin d'obtenir la précision de mesure adéquate, il faudra recourir à des techniques sophistiquées (p.e. la méthode thermodynamique), difficiles à mettre en œuvre et la plupart du temps inapplicables aux petits aménagements. On est réduit à adopter des méthodes plus simples aux résultats toujours discutables.

Si les essais démontrent que les garanties de performances ne sont pas atteintes, il n'est en général plus possible d'apporter les améliorations souhaitables à la machine. Le paiement des pénalités contractuelles par le constructeur ne compense jamais la perte de production subie par l'exploitant sur la durée de vie de la turbine.

La seconde méthode consiste à effectuer des essais **en laboratoire** sur des turbines géométriquement semblables aux prototypes industriels. Dans le cas de la petite hydraulique, la dimension des machines testées est souvent très proche de celle des machines réalisées.

En suivant les normes en vigueur dans ce domaine, des résultats fiables et transposables sont obtenus. De plus, le comportement hydraulique de la turbine peut être observé dans toute l'étendue de sa plage de fonctionnement.

Il est ainsi possible de corriger les éventuels défauts **avant** la construction de la machine.

L'inconvénient de tels essais est bien entendu leur coût, obstacle qui peut être contourné en suivant la méthode proposée par MHyLab exposée au chapitre 3.3.

Il apparaît dès lors comme évident que, les essais en laboratoire permettant de garantir les performances et d'assurer un fonctionnement hydromécanique idéal, seule une recherche systématique permettra à terme de développer des matériels pleinement adaptés et conçus pour subvenir aux besoins de la petite hydraulique en répondant aux critères de **fiabilité, performance et simplicité** [3].

Or, jusqu'à ce jour, et pour diverses raisons qui leur sont propres, aucune recherche systématique n'a été entreprise dans ce domaine, ni par les constructeurs de grandes ou petites turbines, ni par les instituts universitaires.

Il faut malheureusement constater que bien des centrales réalisées ces dernières années souffrent souvent de problèmes liés à la technique hydraulique, comme non tenue des garanties, cavitation, vibrations et autres dysfonctionnements.

Les exploitants ne s'y trompent pas, à l'image de M. H. Naacke [4] déclarant : *[...] la seule solution est bien l'augmentation de la productivité. Or celle-ci ne peut exister que par des programmes de recherche globaux et cohérents, alors que l'on constate, dans notre métier, un éparpillement de celles-ci chez les fabricants et une quasi-inexistence chez les exploitants. Des programmes de recherche doivent donc être entrepris : au niveau de la conception des matériels, au niveau de la conception des centrales.*

Un constat similaire est fait par le Pr. F. Avellan [5], écrivant : *[...] good advanced engineering training, standardisation like in the case of drinking water supply facilities, or initiatives like the MHyLab foundation, can help in promoting this renewable, clean and millenary source of power.*

Le programme Thermie [6] de l'Union Européenne accorde également une importance particulière à ce développement, puisque M. H. Pauwels [7] déclare : [...] *New types of turbines which in principle enjoy superior operational features should be tested. The research phase should be put in use to demonstrate the technical and economic potential of these types of equipment.*

3.2 Définition du domaine de recherche

L'accroissement de l'intérêt pour le développement de la petite hydraulique, ainsi que les divers constats exprimés ci-dessus ont conduit, fin 93, à la création de MHyLab [8], fondation à but non lucratif, dont l'objectif est d'être le centre de compétences de la petite hydraulique répondant à l'ensemble des besoins du domaine.

La démarche proposée est de mener à bien une recherche systématique, appliquée aux petites turbines, sur banc d'essai, de manière à développer des équipements spécifiques et bien adaptés, réalisables par des PME.

Le domaine de recherche choisi est défini par :

- Puissance électrique maximale de 1'000 kW. Cette limite est indicative, la frontière entre petites et grandes centrales dépendant de critères techniques et économiques évolutifs.
- Puissance électrique minimale de 20 kW. Le domaine situé au-dessous est celui des toutes petites centrales à installer soi-même.
- Hauteur de chute maximale de 600 m, limite au-delà de laquelle, les problèmes de résistance mécanique nécessitent des moyens de calcul spécifiques.

Il est évident que les machines situées aux frontières de ce domaine bénéficient également des résultats obtenus.

3.3 La démarche suivie

L'objectif n'est bien entendu pas de réinventer la turbine, mais au contraire de partir d'une technique connue et éprouvée.

Certaines simplifications sont opérées et des solutions nouvelles sont recherchées pour l'ensemble de la machine, en accord avec les trois critères fondamentaux exprimés plus haut. [9]

La démarche peut être exprimée en trois points :

1. Redimensionnement, simplification et adaptation de la technique hydraulique des grandes turbines.
2. Essais sur stand
3. Mesure de l'impact des adaptations et définition d'un optimum performances/coûts de fabrication.

Par ailleurs, et de manière à respecter le critère de simplicité, les machines proposées sont développées à partir d'un maximum d'éléments standards ou pouvant être fournis par des sous-traitants non spécialisés. Cette manière de faire favorise ainsi la production des équipements hydromécaniques à proximité de l'aménagement en construction.

Les machines proposées atteignent un rendement de l'ordre de 90%, celui-ci étant garanti par des résultats de mesure et les certificats correspondants.

Le Maître d'Œuvre est ainsi libéré des essais de performance sur site et peut déterminer d'emblée avec certitude la rentabilité financière de son aménagement.

Afin de s'assurer d'une similitude parfaite entre le prototype et la machine de laboratoire (souvent dans un rapport proche de 1:1), l'usinage de l'aubage moteur réalisé par commande numérique est recommandé.

Les outils informatiques nécessaires à cette technique sont proposés.

Le développement de gammes de machines en laboratoire garantissant la tenue des performances annoncées, l'on évite ainsi les conséquences dommageables du non-respect des garanties, aussi bien pour l'exploitant que pour le constructeur.

Les résultats de cette recherche sont mis à disposition de quiconque en fait la demande, ceci sans exclusivité. En contrepartie, une participation aux frais de développement de la gamme de machines est calculée.

Sur la base des données communiquées par le client, le laboratoire fournit toutes les indications nécessaires à la réalisation de la machine, telles que :

- le type de turbine
- les courbes de rendement et de puissance mécanique en fonction du débit.
- la vitesse de rotation
- la hauteur d'aspiration maximale pour les turbines à réaction
- le profil hydraulique complet de la turbine et de sa roue.

4 LA PETITE CENTRALE DE LA RASSE

4.1 Situation et buts.

Cette petite centrale est située dans les Alpes suisses, dans le canton du Valais. Elle est destinée à turbiner l'eau potable des communes de St-Maurice et Evionnaz.

La dénivellation entre la prise d'eau et la chambre de partage étant de 510 m, il est nécessaire d'abaisser le niveau de pression avant l'introduction dans les réseaux de distribution des deux communes.

Plutôt que de réaliser un dispositif réducteur de pression par perte de charge, les municipalités ont décidé de faire construire une petite centrale remplissant cette fonction et garantissant ainsi une utilisation optimale et rationnelle de leurs ressources en eau.

4.2 Développement et réalisation de la turbine.

Grâce au dimensionnement optimal de la conduite et à une utilisation rationnelle de l'eau, les caractéristiques de l'aménagement sont les suivantes :

- Chute nette : 478.7 m
- Turbine Pelton 2 jets, à axe vertical
- Débit maximum : 180 l/s
- Puissance mécanique max. 753 kW
- $D_1/B_2 = 5.76$

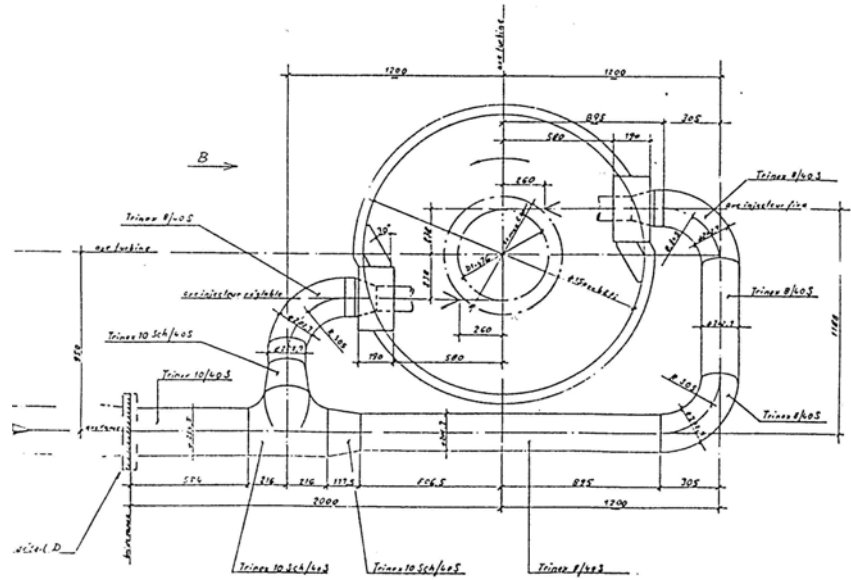
Le développement en laboratoire de la gamme de machine dont est issue celle de la Rasse a permis la réalisation d'une turbine répondant aux critères de fiabilité, simplicité et performances élevées.

Sur la base des données communiquées par la firme GASA SA, constructeur des équipements hydro- et électromécaniques, le laboratoire a fourni toutes les indications nécessaires à la réalisation de la machine, telles que les courbes de rendement et de puissance mécanique en fonction du débit, la vitesse de rotation, le profil hydraulique complet de la turbine et de sa roue.

Comme l'on peut le constater sur le plan ci-après, les solutions constructives proposées sont aisées à mettre en œuvre, en raison de l'emploi de nombreux éléments standards, tels que tubes, coude, cônes, etc.

Les profils d'écoulement simplifiés des éléments de distribution sont adoptés en raison de leur simplicité, la vitesse d'écoulement dans le répartiteur étant limitée par un choix judicieux des sections de passage. L'usage d'éléments standards, permet de choisir une vitesse basse, toute augmentation de diamètre n'ayant qu'une faible incidence sur le coût de la machine.

Fig. 3 *Détail d'une vue en plan d'un profil hydraulique de turbine Pelton MHyLab, 753 kW, La Rasse, Suisse*



La turbine est construite en acier inox, assurant une qualité constante de l'eau consommée. Il est évident que le choix de la matière est effectué de cas en cas, en fonction des caractéristiques de l'aménagement et des désirs du client.



Fig. 4 *Turbine Pelton MHyLab sur le stand d'essai.*

La roue motrice est constituée d'augets rapportés, réalisés en commande numérique, et ne nécessitant pas de meulage. Ce procédé permet ainsi une réalisation très précise de l'élément central de la machine.

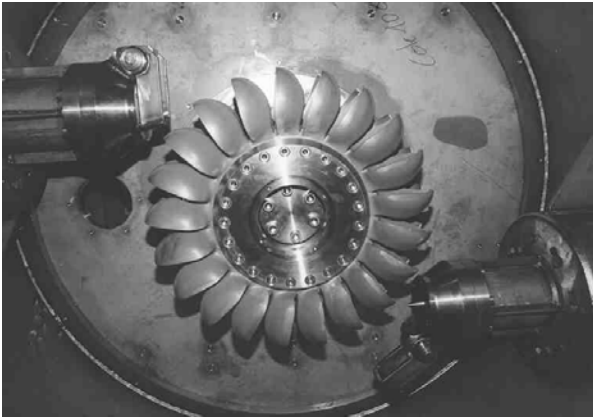


Fig. 5 Turbine Pelton MHyLab
Roue d'essai.



Fig. 6 Turbine Pelton MHyLab
Auget modélisé.

Toujours dans un souci d'économie, la commande des pointeaux est assurée par des vérins électriques du commerce, évitant ainsi le recours à une commande hydraulique à huile, coûteuse, et peu compatible avec les impératifs de qualité de l'eau potable.



Fig. 7 Groupe MHyLab 753 kW, LaRasse
Constructeur GASA SA



Fig. 8 Centrale de La Rasse

En ce qui concerne les performances, les rendements mesurés dépassent les 90 % à débit nominal.

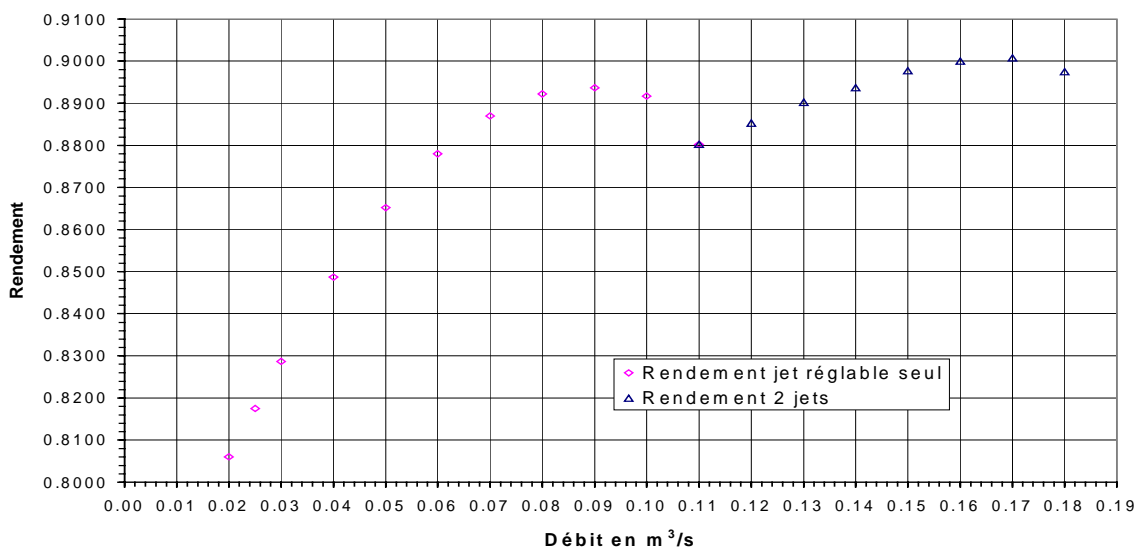


Fig. 9 Rendement en fonction du débit, centrale de La Rasse, Suisse.

Cet aménagement est en service depuis la fin juin 1998. Il est intéressant de remarquer que la mise en eau, les essais de fonctionnement et la réception des équipements se sont effectués sur une seule journée.

Il est prévu un fonctionnement sans intervention humaine durant au moins trente mille heures. La centrale est entièrement automatique.

Le très bon niveau de performance et l'excellente concordance avec les données garanties ont pu être obtenus grâce au un développement en laboratoire de l'hydraulique de la turbine.

5 LES AVANTAGES DU DEVELOPPEMENT EN LABORATOIRE

L'analyse du cas d'une autre petite centrale existante permet de démontrer l'avantage incontestable du développement en laboratoire. La machine actuelle (Pelton 2 jets, à axe vertical) a été réalisée sur la base d'une hydraulique non testée.

Son coût de fabrication est tout à fait comparable à celui de la turbine que l'on pourrait construire selon la méthode MHyLab.

Pour les mêmes caractéristiques d'aménagement, l'adoption de la technique issue du développement permet un gain de rendement à l'accouplement turbine de l'ordre de 15 points à débit maximum, correspondant à un gain de puissance de 20 % pour ce même débit.

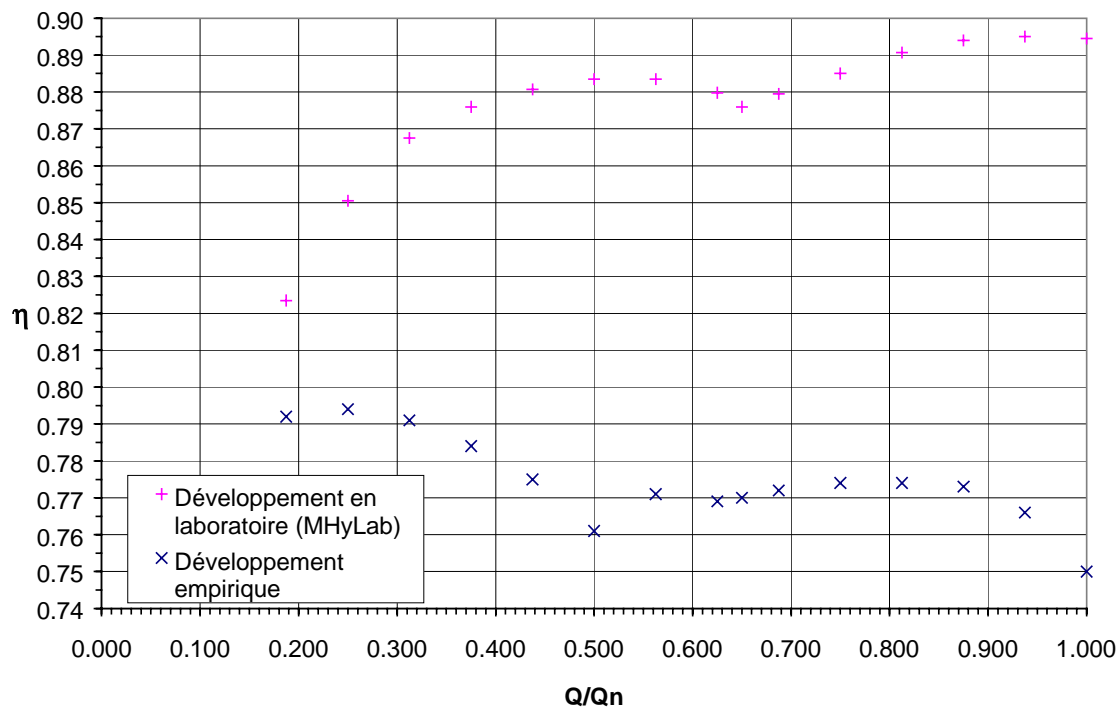


Fig. 10 Rendements turbine mesurés, comparaison entre hydraulique issue du développement en laboratoire et hydraulique non testée.

En terme de productivité, ce gain se traduirait par une augmentation de 15% à 20% par an pour une quantité d'eau inchangée.

Il est important de remarquer que :

1. Un déficit ou un gain de productivité de 15% à 20% représente dans bien des cas plus que la marge de manœuvre pouvant faire basculer le projet d'un côté ou de l'autre de la rentabilité. On comprendra dès lors la nécessité absolue d'offrir des garanties de performances fiables, que seul un développement en laboratoire peut permettre.
2. Dans le cas présent, la pénalité pour non respect des garanties correspond à environ 2 ans de perte de productivité.
3. Les conséquences de l'utilisation de la technique jusqu'alors disponible (hydraulique non testée) sont dommageables pour tout le monde. En effet, l'exploitant perd par année un part non négligeable du revenu prévu, ceci durant toute la durée de vie de la turbine, alors que le constructeur a perdu le montant de la pénalité, auquel il convient d'ajouter les heures de main d'œuvre passées à essayer d'améliorer la situation. Plus grave encore est sa perte de crédibilité sur le marché. L'on se trouve ainsi dans la situation paradoxale où le bilan financier de l'affaire est négatif pour tous les intervenants.

6 CONCLUSIONS

Ces deux exemples concrets démontrent que l'approche consistant à :

1. Concevoir d'emblée la turbine comme une machine destinée à une petite centrale
2. Faire appel à de nombreux éléments standards, du commerce ou réalisables par des PME locales.
3. Rechercher et quantifier les influences des simplifications de design consenties sur la turbine, afin de déterminer le rapport optimum entre coûts (construction, exploitation, etc.) et production.
4. Garantir les performances par les résultats d'essais en laboratoire.
5. Mettre à disposition les résultats de la recherche à quiconque en fait la demande, ceci sans exclusivité et contre paiement de royalties.

Est une solution permettant de développer le marché de la petite hydraulique en mettant en valeur de manière optimale son potentiel énergétique.

Ils démontrent de plus que **le développement de turbines en laboratoire reste une condition sine qua non de la réussite d'un projet, même pour la petite hydraulique.**

Bien que les deux exemples présentés concernent des turbines Pelton, il est évident qu'une telle démarche ne se limite pas à ce type de machine.

7 BIBLIOGRAPHIE

- [1] Barrage-usine du Seujet sur l'émissaire du lac Léman à Genève, Réalisations immobilières, Edition N°61, Renens, Mai 1995,
- [2] Galé P.-A., Première suisse d'une application de turbinage d'eau usée, Conference papers, Verbandschrift N°56 des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes, Baden, pp 180-183, 1997
- [3] Chenal R., Denis V., De la nécessité d'entreprendre une recherche systématique en mini-hydraulique, Conference papers, Verbandschrift N°56 des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes, Baden, pp 165-170, 1997.

- [4] Naacke H., Pour une stratégie industrielle du développement européen de l'industrie de la mini-hydraulique, Actes de conférence, Hydroenergia 97, Dublin, pp 83-91, 1997.
- [5] Avellan F., Hydropower rehabilitation, from large to mini-hydropower plant, Conference papers, Verbandschrift N°56 des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes, Baden, pp 65-72, 1997.
- [6] Renewable energy sources : small hydro sector, Proceeding of the conference, Improving market penetration for new energy technologies : prospects for pre-competitive support, Bruxelles, pp 229-244, 1996.
- [7] Pauwels H., Analyse des résultats des projets de démonstration du programme THERMIE, Actes de conférence, Hydroenergia 97, Dublin, pp 145-153, 1997.
- [8] 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.
- [9] Denis V., Une nouvelle façon de penser la mini-hydraulique, Actes de conférence, Hydroenergia 97, Dublin, pp 416-425, 1997.