

## La petite hydroélectricité et ses voies de développement durable

Aline Choulot\*

Centre InfoEnergie suisse romand pour la petite hydraulique,  
Mhylab, ch. du Bois 6, CH-1354 Montcherand,  
Suisse

\*romandie@smallhydro.ch

### Résumé

*Etre d'origine renouvelable ne suffit pas à la petite hydraulique (PCH) pour se développer de manière durable. Le fait de prendre de l'eau dans un cours d'eau demande à cette technologie de progresser sans cesse. Une première voie de développement est l'utilisation optimale de la ressource en eau, qui vise à maximiser la valorisation de l'énergie de l'eau en électricité. Une deuxième consiste à diminuer l'impact de la prise d'eau liée à la discontinuité du cours d'eau. Une troisième est d'utiliser de l'eau qui n'est pas directement issue des cours d'eau.*

*Etant donné l'ampleur du sujet qu'est la « durabilité environnementale » de la PCH, l'article décrit essentiellement un exemple de développement dit de turbines spécialement conçues pour la petite hydraulique dont les objectifs sont de définir la turbine optimale pour chaque site. L'approche, dite de « systématisation », est décrite étape par étape, dont celle du stand d'essais.*

*Puis, dans une moindre mesure, la problématique de la migration des poissons est évoquée, les turbines performantes énergétiquement leur étant rarement favorables.*

*L'article se termine par une ouverture sur les turbinages dits « accessoires », hors de la problématique environnementale des cours d'eau.*

*Finalement, un rapide porte-folio du Rhône en aval du lac Léman illustre les liens entre la grande hydraulique, les passes à poissons et la petite hydraulique avec le turbinage des débits d'attrait de ces passes.*

**Mots clefs:** *petite hydroélectricité, turbine, développement en laboratoire / sur stand d'essais, garanties de rendement, passe à poissons, migration des poissons, turbinage des réseaux d'eau, débit d'attrait des passes à poisson*

### 1 Introduction

Comme tous les aménagements de production d'électricité renouvelable, la petite hydraulique (PCH) a un impact sur l'environnement, et, force est de constater que, très souvent, maximisation de la production électricité et minimisation de l'impact environnemental ne vont pas de pair.

Le sujet de la protection de la nature étant vaste, et le cadre de cet article, limité, il n'est pas possible de traiter entièrement les aspects environnementaux de la PCH, qu'ils soient locaux ou globaux. Ainsi, il est choisi ici de se concentrer sur deux aspects liés au développement durable de la petite hydraulique : les turbines et la migration des poissons.

Par développement durable des turbines est entendu le principe d'une utilisation optimale de la ressource en eau sur le long terme, à travers les critères suivants : fiabilité technique, viabilité économique, adéquation à chaque site et maximisation de la production électrique. L'exemple traité, correspondant à la démarche menée par la Fondation suisse Mhylab n'inclut pas la migration des poissons. En effet, à quelques exceptions-près, et pour des sites bien spécifiques, sur le long terme, des performances énergétiques élevées excluent le passage, sans danger, des poissons. Ainsi, ici, l'argumentation se base sur le fait que la migration des poissons doit être assurée par d'autres systèmes que la turbine.

L'article s'ouvrira sur le turbinage dit « accessoire », c'est-à-dire en dehors des cours d'eau, où la « problématique-poissons » n'a plus lieu d'être. Et enfin, le turbinage du Rhône en aval du Lac Léman et jusqu'à la frontière française sera pris pour illustrer, à la fois, les aspects passes à poissons et petite/grande hydraulique.

### 2 Définitions, chiffres et bases de la petite hydraulique

La petite hydroélectricité est distinguée officiellement de la grande au niveau européen par la limite de puissance de 10 MW. Dans la pratique, ces deux domaines se distinguent essentiellement au niveau des acteurs, de la technique et des critères économiques.

En France, comme en Suisse, la PCH représente 10 % de l'électricité d'origine hydraulique, et les similitudes s'arrêtent là comme le présente le tableau suivant.

		France	Suisse
Nombre de sites		2500	1670
Puissance installée	MW	2000	980
Production électrique	GWh/an	7000	4150
Part de la production hydroélectrique du pays	%	10	10
Part de la production électrique du pays	%	1.5	5.8
Source		France HydroElectricité	Office fédéral de l'énergie (OFEN)

Table 1. Chiffres de la petite hydroélectricité pour la France et la Suisse

### 3 Analyse du cycle de vie des petites centrales hydrauliques

Traiter les aspects environnementaux passe par une analyse de cycle de vie, qui analyse tous les entrants et les sortants d'un système. Pour le système « aménagement de petite hydraulique », les entrants regroupent, en plus de l'eau prélevée, toutes les matières et énergies nécessaires à la réalisation du seuil (ou barrage), de la prise d'eau, du canal d'amenée, de la chambre de mise en charge, de la conduite forcée, du local de turbinage, de la turbine, de l'alternateur, du contrôle-commande, du raccordement électrique, du canal de fuite (cf. Figure 1). En termes de sortants au système, on retrouve l'eau turbinée qui retourne à l'environnement, la production d'électricité (et un peu de chaleur), des émissions de bruit et de vibration, divers composants en fin de vie (principalement au niveau de l'automation et de l'alternateur).



Figure 1. Représentation de tous les équipements pouvant composer un aménagement de petite hydraulique

Rares sont les études traitant de cette problématique. A noter toutefois, celle de la petite centrale de la Rasse (CH), turbinant l'eau potable de la commune, qui concluait en 2012, à une production de 0.5 g de CO<sub>2</sub>/kWh [9], soit 1000 fois environ qu'une centrale à gaz.

Ainsi, l'analyse du cycle de vie d'une petite centrale hydraulique pourrait montrer combien cette énergie est exemplaire, mais ce serait oublier l'impact sur le cours d'eau, dû au seuil, à la prise d'eau, et à la diminution des débits et des niveaux d'eau dans le tronçon court-circuité - avec tout-de-même l'impact positif de récupérer les déchets flottants ou non dans le cours d'eau au niveau des prises d'eau -. Or, depuis quelques années, la PCH a été soumise à un régime à deux vitesses: d'un côté, une augmentation du prix de vente de cette électricité verte, et de l'autre, des exigences environnementales toujours plus contraignantes, notamment au niveau du débit résiduel dans le tronçon court-circuité [8] et de la migration des poissons. Or, en Suisse, la Stratégie énergétique 2050 pose la fin du soutien financier aux nouveaux sites, d'où un prochain déclin de cette énergie renouvelable [1].

Le sujet est donc vaste, raison pour laquelle il se limitera aux notions d'utilisation optimale de la ressource en eau à travers des turbines spécifiques à chaque site, d'une part, et de systèmes propres à la migration des poissons, d'autre part.

#### 4 Turbines spécifiques à la petite hydraulique pour une utilisation optimale de la ressource en eau

Pour la grande comme pour la petite hydraulique, le principe de base consiste à maximiser la production électrique en limitant les investissements et les coûts d'exploitation, en respectant les contraintes liées au génie civil et à l'environnement, et ce, dans le cadre défini par le droit d'eau (notamment la chute, le débit maximal et le débit résiduel) [2].

Pour ce faire, la première étape est de définir les caractéristiques suivantes, qui permettront au concepteur de la turbine de définir la turbine optimale pour le site:

- la dénivellation (ou chute brute);
- la courbe des débits classés turbinables du cours d'eau;
- l'évolution des pertes de charge dans l'aménagement en fonction du débit turbiné;
- et finalement le débit d'équipement.

En effet, et pour rappel, la puissance électrique d'origine hydraulique est définie par l'équation suivante :

$$P_{\text{él}} = \eta \rho Q g \Delta Z$$

avec :	$P_{\text{él}}$	=	puissance électrique	[W]
	$\rho$	=	masse volumique de l'eau ( $\cong 1000$ )	[kg/m <sup>3</sup> ]
	$Q$	=	débit	[m <sup>3</sup> /s]
	$g$	=	accélération de la pesanteur ( $\cong 9.81$ )	[m/s <sup>2</sup> ]
	$\Delta Z$	=	dénivellation exploitable	[m]
	$\eta$	=	rendement de la conduite, de la turbine, de l'alternateur et de l'éventuel transformateur [-]	

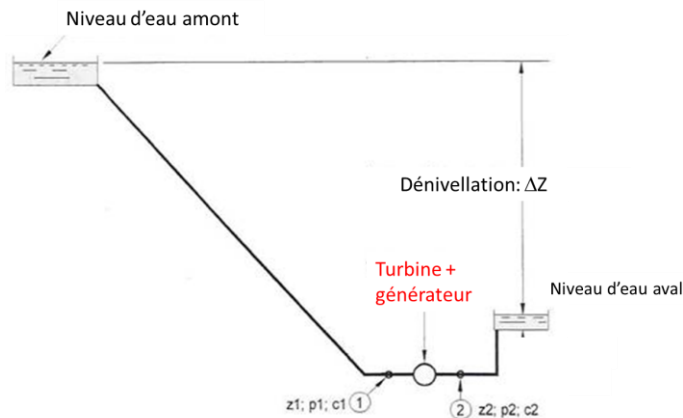


Figure 2. Définition de la dénivellation turbinable ou chute brute

La chute conduira à la détermination du type de turbine approprié, comme illustré sur la figure 1, où le domaine de la petite hydraulique peut être découpé en 3 secteurs:

- turbines Kaplan pour les basses chutes (jusqu'à 30 mètres),
- Pelton pour les hautes chutes (à partir de 60 m)
- Diagonale pour les chutes intermédiaires.

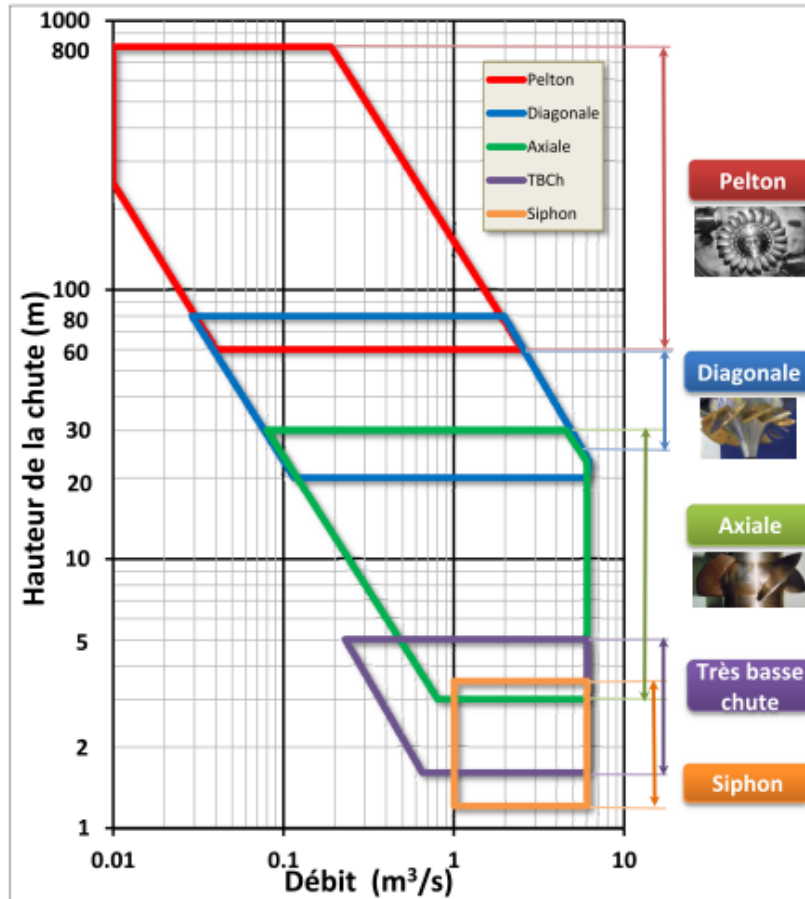


Figure 3. Gammes de turbines développées par Mhylab sur le principe de la « systématisation » («Axiale» correspond à une turbine Kaplan à pales motrices mobiles et à directrices fixes) (© Mhylab)

Une fois les caractéristiques du site déterminées, la démarche n'est pas de rechercher dans un catalogue la machine qui répond le mieux aux caractéristiques du site, mais de s'adresser à des constructeurs de turbines à même de concevoir la turbine spécifique au site. Cette approche pourrait signifier un renchérissement du projet. Or, il n'en est rien compte tenu de la maximisation de la production électrique et la minimisation des frais d'exploitation, et surtout de la démarche de systématisation.

La fondation Mhylab, située dans le canton de Vaud, a développé cette démarche, à distinguer donc de la standardisation, qui consiste à faire correspondre une turbine-type à un domaine plus ou moins vaste de débits d'équipement et de chutes. Si la standardisation a l'avantage de réduire les coûts de fabrication par une construction en semi-série de chaque turbine-type, un risque financier subsiste au niveau de l'adéquation entre la turbine-type et les caractéristiques du site à équiper, surtout si le domaine d'application est grand.

Le développement par systématisation, mené par Mhylab, commence par une étude théorique basée sur l'état de l'art, notamment dans le domaine de la grande hydraulique, et sur les principes fondamentaux de la dynamique des fluides. Cette étape a pour but de définir un premier concept de turbine répondant aux besoins identifiés. Ici, il s'agit de déterminer, d'une part, les simplifications possibles du concept, afin de réduire les coûts de fabrication sans péjorer les qualités hydrodynamiques, et d'autre part, les éléments qui, ayant un impact sur les performances, doivent rester en stricte homologie avec le modèle testé. Par exemple, pour les turbines Pelton, il a été identifié que, dans une certaine gamme de puissance, le répartiteur pouvait être composé principalement de coudes et de tés du commerce, contrairement à la roue qui devait être homologue au modèle réduit.

Cette phase de développement est suivie par l'optimisation de la conception hydraulique en ayant recours à la modélisation CFD (computational fluid dynamics), afin de se rapprocher des objectifs initiaux en termes de performances et de fonctionnement.

S'en suit la conception mécanique du modèle d'essais, sa fabrication et son intégration sur stand d'essais (cf. Figure 4 à Figure 9). Plusieurs types d'essais sont alors menés, selon les normes EN ISO 5167 et CEI 60193, dont le principal est celui de rendement.

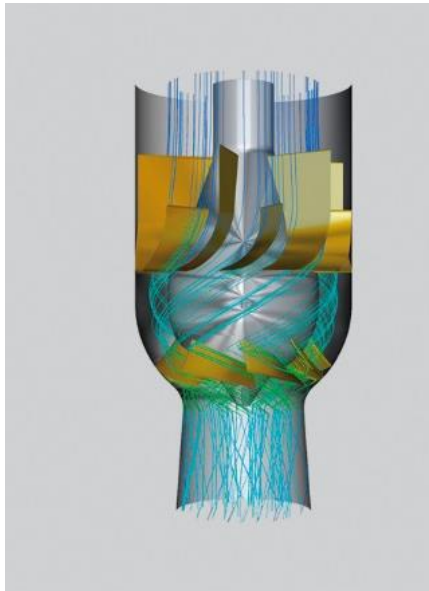


Figure 4. CFD réalisé sur la roue Diagonale à simple réglage en S (© HSLU)



Figure 5 : Modèle réduit de la turbine Axiale en S de type de Kaplan sur le stand d'essais (© Mhylab)



Figure 6 : Modèle réduit de la turbine Diagonale à bêche spirale sur le stand d'essais (© Mhylab)

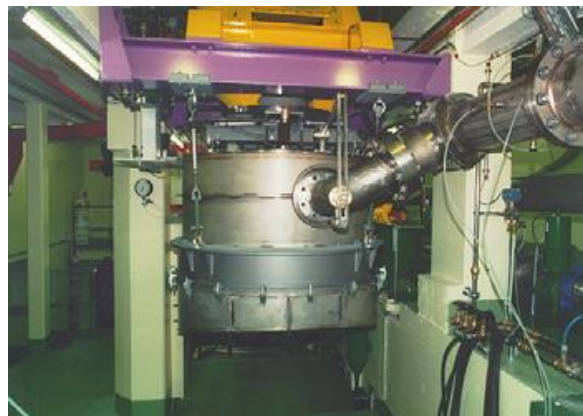


Figure 7 : Modèle réduit de la turbine Pelton sur le stand d'essais (© Mhylab)

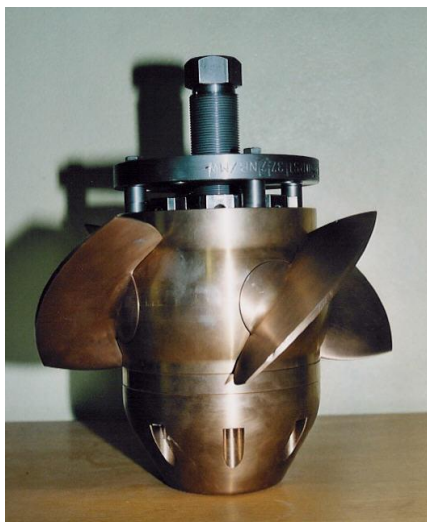


Figure 8 : Modèle réduit de la roue Kaplan à 4 pales réglables (diamètre externe = 300 mm) (© Mhylab)

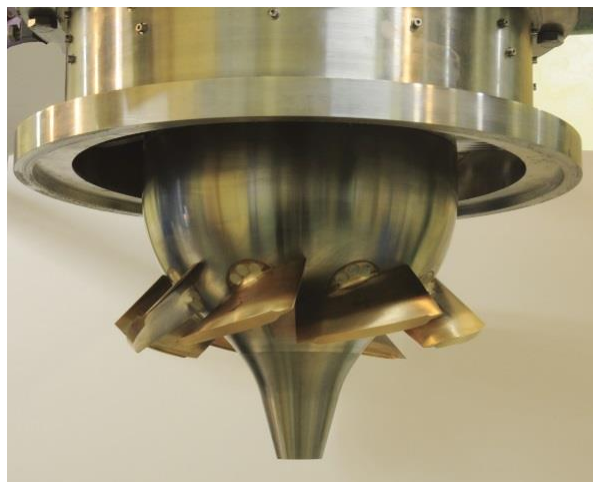


Figure 9 Modèle réduit de la roue Diagonale à 8 pales réglables (diamètre externe = 330mm) (© Mhylab)

Sur le stand d'essais, la systématisation se traduit par l'utilisation :

- de coefficients adimensionnels qui caractérisent à la fois le débit et la chute turbinés, mais également la vitesse de rotation et les dimensions de la turbine
- les lois de similitude
- les coefficients de mécanique des fluides tels que les nombres de Reynolds, de Froude et de Weber.

Ce paramétrage et la réalisation d'essais sur une large plage de débit et de chutes conduisent à tracer de manière adimensionnelle toute la colline de rendement de la configuration (cf. Figure 10), qui sera à la base du dimensionnement de la turbine propre à chaque site.

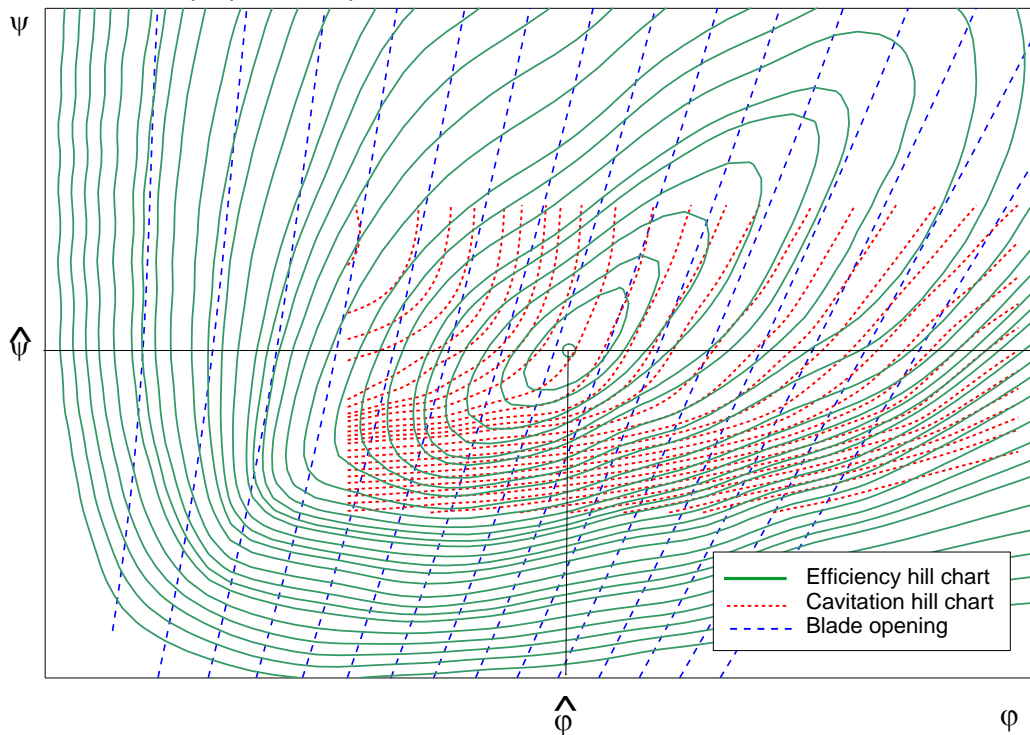


Figure 10 : Exemple de colline de rendement pour une turbine Axiale à simple réglage (© Mhylab)

Ce principe permet donc de passer du modèle réduit à la turbine spécialement conçue pour le site, tout en garantissant son fonctionnement hydrodynamique et ses rendements en fonction des débits et des chutes turbinés (cf. Figure 11). Le risque encouru par le futur exploitant est ainsi drastiquement réduit.

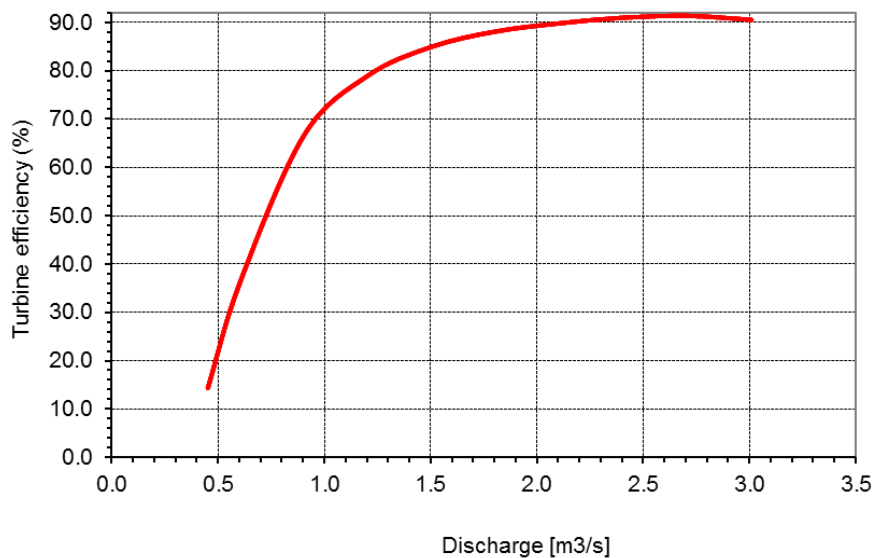


Figure 11. Rendement d'une turbine de type Kaplan à 6 pales, à simple réglage

( $Q_n = 3.01 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $H_n = 16.3 \text{ m}$ ,  $P_m = 435 \text{ kW}$ ) (© Mhylab)

A ces outils que sont les essais en laboratoire et la CFD, s'ajoutent ceux de conception 3D, également systématisés et ceux permettant les calculs structuraux, le tout permettant de:

- dessiner hydrauliquement puis mécaniquement la turbine propre aux caractéristiques du site de petite hydraulique,
- garantir l'homologie entre le modèle réduit et la turbine par la livraison, notamment, des fichiers 3D des aubes directement usinables dans la masse,
- valider les performances hydrodynamiques et la résistance mécanique sur le long terme,
- générer le dossier de fabrication de la turbine, dans un délai court et pour un coût limité

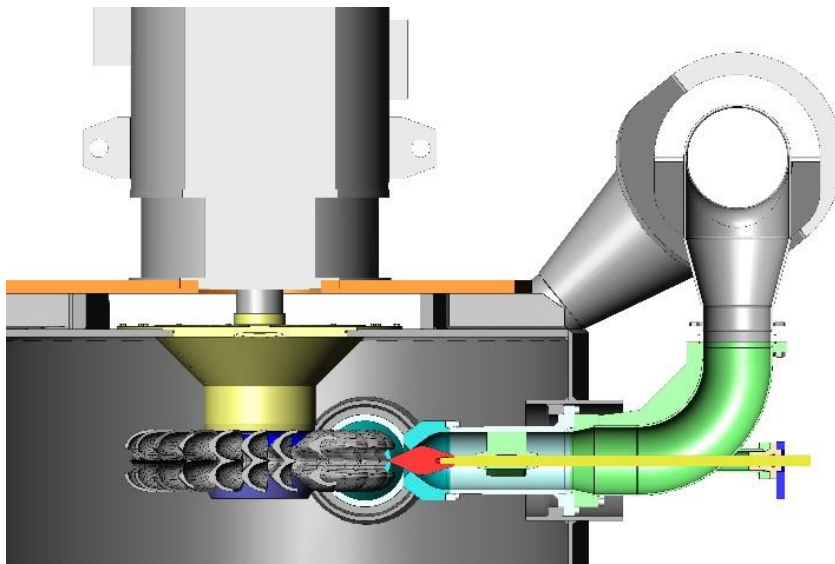


Figure 12. Coupe issue de l'outil 3D de systématisation des dessins de fabrication des turbines Pelton (© CRSM)

LOAD STEP 2, Jet Force loading on the central bucket

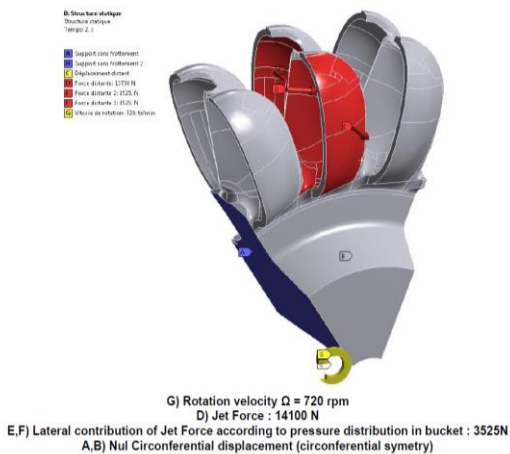


Figure 13. Analyse structurale d'une roue de turbine Pelton (© Heig-Vd)

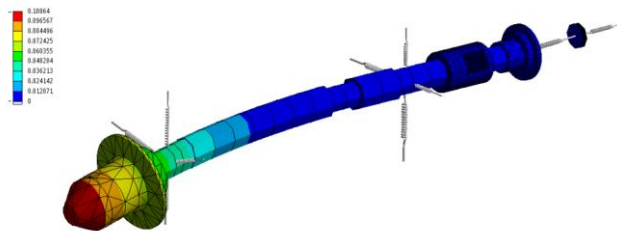


Figure 14. Calcul des fréquences naturelles sur la ligne d'arbre d'une turbine Kaplan (© Heig-Vd)

Cette démarche de développement des turbines par systématisation permet ainsi à tout constructeur de turbines de proposer au futur exploitant la machine optimale pour le site, à un coût en phase avec les prix du marché. Il est à noter que ni le constructeur, ni le futur exploitant n'auront ainsi à assumer les coûts de ce développement, la Fondation Mhylab mettant à disposition ses résultats et son « know-how », moyennant des royalties fonction de la puissance de la

turbine. Ainsi, le futur exploitant aura la garantie de valoriser de manière optimale l'eau prélevée au cours d'eau sur le long terme (> 25 ans). Par contre, il lui faudra investir pour permettre la migration des poissons au niveau de son site.

## 5 Equipements pour faciliter la migration des poissons

Les saumons et les anguilles ne sont pas les seuls poissons migrateurs ; de nombreux poissons d'eau douce entreprennent des migrations, la plupart du temps liées à la reproduction. La migration des poissons, vers l'amont et, également vers l'aval, est ainsi fonction de l'espèce, de leur âge et de la saison. Or, cette migration est stoppée par les seuils et les prises d'eau, d'où la nécessité de rétablir la continuité du cours d'eau par l'intégration de systèmes de passage spécifiques.

Le domaine de la migration des poissons et des systèmes qui en découlent est vaste et complexe. L'objectif ici se limite à une courte introduction au sujet.

Les passes à poissons désignent le plus souvent les systèmes pour la montaison. Les plus répandues sont les suivantes :

- Les échelles à poissons, composées d'une succession de petits bassins dans lesquels le poisson doit sauter, comme celles des aménagements sur le Rhône en aval du lac Léman (cf. Figure 28, Figure 30 et Figure 32),
- Les passes à brosses (cf. Figure 15)
- Les chenaux de contournement (cf. Figure 16)
- Les ascenseurs à poissons (cf. Figure 17).

Leur efficacité dépend de leur adéquation avec les capacités des espèces présentes, mais également de la pente de la passe et de sa longueur. Une étude de 2015 menée par l'EAWAG (Institut de Recherche de l'Eau du Domaine des Ecoles polytechniques fédérales suisses) relève la supériorité des chenaux de contournement sur les escaliers en béton, en matière d'adéquation à la migration des poissons [4]. Les moins efficaces seraient les ascenseurs à poissons [13].

A ces caractéristiques intrinsèques au système, l'efficacité de la passe est fortement dépendante de la facilité avec laquelle les poissons vont trouver son entrée. Le principe le plus souvent utilisé est celui d'attirer les poissons en créant un remous à l'entrée, par une arrivée d'eau prélevée en amont du seuil. Ainsi, en grande hydraulique, comme c'est le cas du turbinage du Rhône (cf. chapitre 0), ce débit d'attrait de la passe à poissons devient un potentiel de turbinage, dans la catégorie des « turbinages accessoires » (cf. chapitre 6).

Concernant la dévalaison, pour lesquelles les connaissances sont moindres par rapport à la montaison, trois types de groupes faunistiques peuvent être distingués [14] :

- Les poissons qui gagnent le cours d'eau supérieur des rivières pour se reproduire, puis migrent vers l'aval par la suite (truite et nase),
- Les jeunes poissons dont les parents avaient gagné le cours supérieur de la rivière pour frayer, et qui migrent à présent vers le cours inférieur ou les lacs (truite de rivière, truite de lac)
- Les poissons qui migrent vers l'aval pour se reproduire (anguille).

Pour certains sites correspondant à une chute de quelques mètres, la dévalaison pourrait être assurée par la turbine elle-même. On parle alors de turbines ichtyophiles. C'est le cas des sites équipés de turbines dites VLH [15] ou de vis hydrodynamique, de par leur conception. Si la turbine VLH garantit des rendements élevés, ce n'est généralement pas le cas des vis hydrauliques. Pour les autres types de turbine, le poisson qui s'engage dans la machine est exposé aux dangers suivants :

- Brusques accélérations et décélérations
- Importantes différences de pressions
- Blessures mécaniques

Ainsi, pour chaque turbine, des formules empiriques ont été établies afin de calculer le taux de mortalité des poissons.

Le principe est donc d'éviter que le poisson s'engage dans la machine par des systèmes de grille [11] et des débits d'attrait vers le système de dévalaison. A noter la nécessité de trouver, pour la grille, le meilleur compromis pour sa conception de manière à ne pas laisser passer les poissons, tout en limitant les pertes de charge qui péjoreront la production de la centrale hydraulique.



Parmi les systèmes de dévalaison, on peut citer :

- Les prises d'eau de type Coanda (cf. Figure 18),
- les surverses naturelles ou créées périodiquement au niveau du seuil,
- les glissières et autres toboggans à poissons.

Tout comme pour la conception des turbines, il est difficile de proposer des solutions standards et chaque passe à poissons sera propre aux espèces cibles et aux caractéristiques de l'obstacle. Ainsi, dans certains cas, surtout en grande hydraulique, une modélisation en laboratoire peut s'avérer nécessaire [11].



Figure 15. Passe à poissons à brosse (© Mhylab)



Figure 16. Chenal de contournement (© Mhylab)



Figure 17. Ascenseur à poissons et passe à castors (pont en bois) de la centrale des Moulinets avant la mise en service (Orbe, Vaud, CH) (© Mhylab)

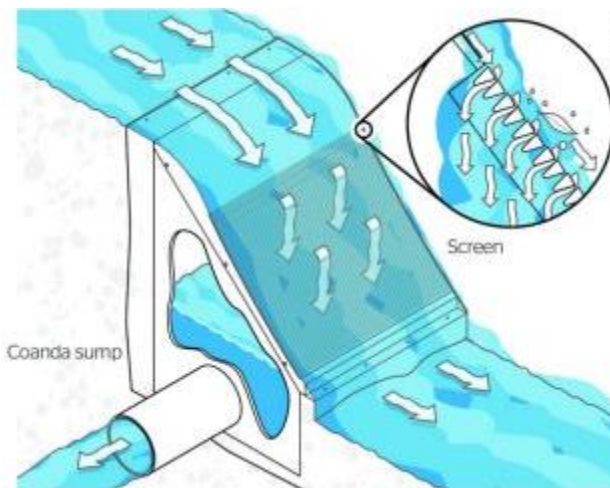


Figure 18. Principe de la prise d'eau Coanda, en principe, adaptée à la dévalaison des poissons (© Andaco)

## 6 Turbinages dits « accessoire »

Devant l'investissement financier nécessaire à la mise en service d'une petite centrale en cours d'eau, la petite hydraulique s'est également développée sur des secteurs hors cours d'eau, où la problématique poissons, notamment, n'a plus lieu d'être. Ces secteurs sont caractérisés par le fait que leur première fonction n'est pas de produire de l'électricité, d'où ce terme de « turbinage accessoire » qui touche aux infrastructures suivantes :

- Réseaux d'eau potable (cf. Figure 20)
- Réseaux d'irrigation
- Réseaux d'eaux usées brutes ou traitées (cf. Figure 22)

- Arrivée des débits de dotation dans les cours d'eau au pied des grands barrages (cf. Figure 25 et Figure 26)
- Ecluses et voies de navigation
- Usine de dessalement
- Systèmes de refroidissement ou de chaleur

En fin de compte, la liste comprend toutes les infrastructures qui impliquent un débit que ce soit de l'eau ou un autre fluide, et ce disponible sous pression.

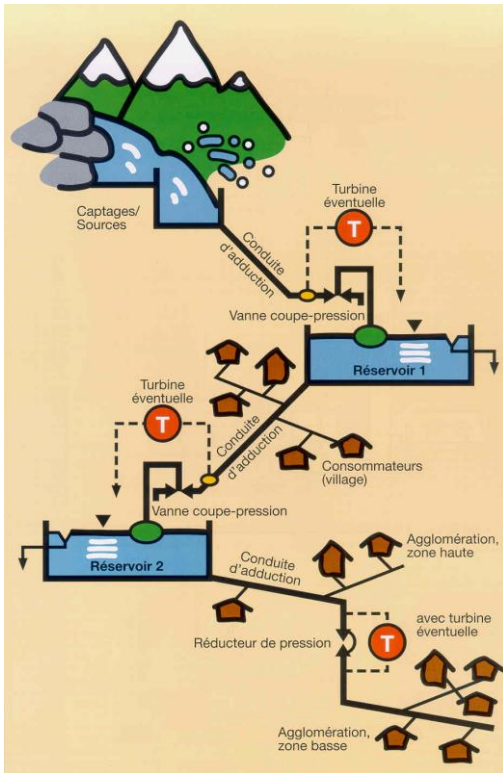


Figure 19. Croquis de principe de l'intégration de turbines dans un réseau d'eau potable



Figure 20. Turbine Axiale de Poggio Cuculo (Italie) conçue sur la base de la systématisation, intégrée à une station de traitement de l'eau potable ( $Q_n = 0.38 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $H_n = 12.5 \text{ m}$ ,  $P_m = 42 \text{ kW}$ ) (© Mhylab)

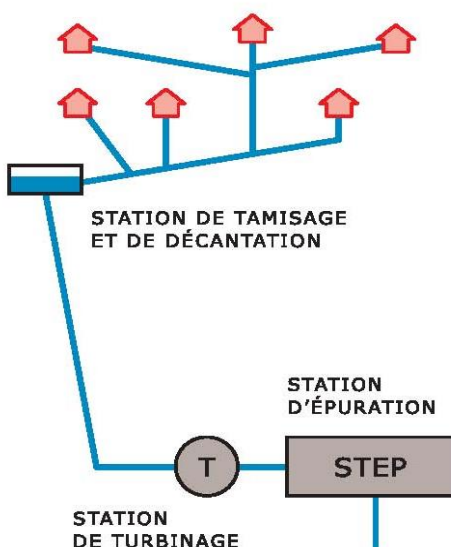


Figure 21. Croquis de principe de l'intégration d'une turbine en amont d'une station d'épuration



Figure 22. Turbine Pelton du Profray (Le Châble, Valais, CH) conçue sur la base de la systématisation, exploitant les eaux usées brutes de Verbier ( $Q_n = 0.10 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $\Delta Z = 449 \text{ m}$ ,  $P_e = 380 \text{ kW}$ ,  $850'000 \text{ kWh}/\text{an}$ , soit de l'électricité pour 190 ménages) [5] (© Mhylab)

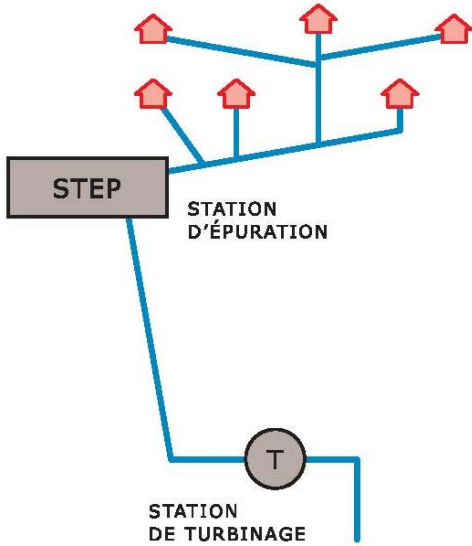


Figure 23. Croquis de principe de l'intégration d'une turbine en aval d'une station d'épuration



Figure 24. Turbine Pelton de la Douve II (Leysin CH) conçue sur la base de la systématisation, exploitant les eaux usées traitées de la commune de Leysin ( $Q_n = 0.108 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $H_n = 79 \text{ m}$ ,  $P_e = 75 \text{ kW}$ ,  $380'000 \text{ kWh/an}$ , soit de l'électricité pour 85 ménages) (© Mhylab)



Figure 25. Barrage de Montsalvens (Fribourg, CH) dont le débit de dotation est turbiné (© Groupe e) [7]

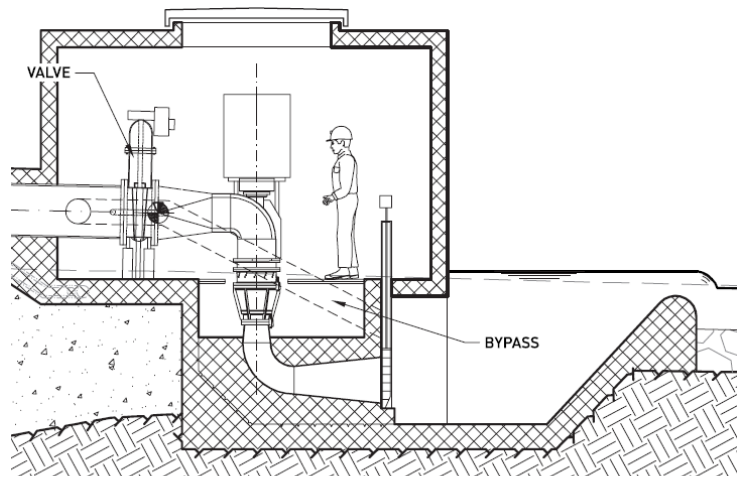
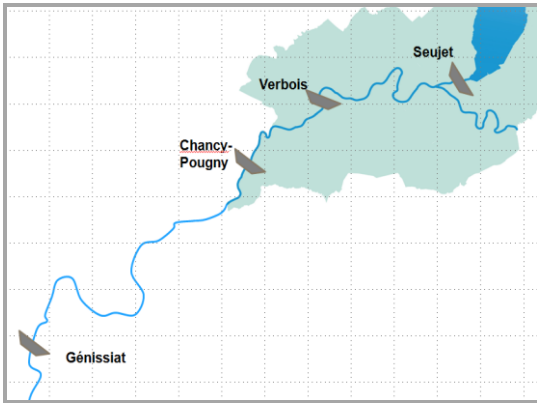


Figure 26. Croquis d'implantation de la turbine Diagonale conçue sur la base de la systématisation, sur le débit de dotation du barrage de Montsalvens ( $Q_n = 0.500 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $H_n = 30 \text{ à } 45 \text{ m}$ ,  $P_e = 180 \text{ kW}$ ,  $380'000 \text{ kWh/an}$ , soit de l'électricité pour 330 ménages) (© Mhylab)

Les principes de conception des turbines restent souvent les mêmes que ceux exposés au chapitre 4. D'autres contraintes peuvent toutefois s'ajouter, le turbinage étant soumis à la fonction première de l'infrastructure, comme l'intégration d'un by-pass de la turbine pour assurer la continuité des débits lors des périodes de maintenant, ou, notamment pour le turbinage de l'eau potable, où l'acier inoxydable et l'absence de contact eau-huile seront exigés.

## 7 Illustration et ouverture: le Rhône en aval du Lac Léman, ses passes à poissons et ses petites turbines



Tout en illustrant les descriptions précédentes, les photos suivantes visent à montrer les liens entre la grande hydraulique, les passes à poissons pour la montaison et la petite hydraulique.

Entre le Lac Léman et la frontière franco-suisse, les eaux du Rhône sont turbinées 3 fois à travers les centrales du Seujet, de Verbois et de Chancy-Pougny, à moins qu'elles ne passent par les passes à poissons, voire dans les deux petites turbines créant les débits permettant aux poissons de trouver les entrées des systèmes de montaison.

Pour plus de détails, sur la dévalaison, on se référera notamment à la bibliographie [16].



Figure 27. Aménagement du Seujet à Genève (© SIB)



Figure 28. Echelle à poissons de la centrale du Seujet (© SIG)



Figure 29. Aménagement de Verbois (© SIB)



Figure 30. Echelle à poissons du barrage de Verbois et local de turbinage du débit d'attrait ( $Q_n = 2.0 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $H_n = 21 \text{ m}$ ,  $P_m = 350 \text{ kW}$ ) (© SIG)



Figure 31. Aménagement de Chancy-Pougny (©SFMCP)



Figure 32. Echelle à poissons de Chancy-Pougny et local de turbinage du débit d'attrait ( $Q_n = 4.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $H_n = 12 \text{ m}$ ,  $P_m = 410 \text{ kW}$ , grâce à une turbine Kaplan systématisée) (©SFMCP)

## 8 Conclusions

Le progrès en matière de développement durable pour la petite hydraulique est un sujet qui s'avère être toujours d'actualité, notamment face aux exigences environnementales toujours plus strictes et à des conditions cadre souvent défavorables compte tenu de l'évolution du marché européen de l'électricité. Pour les sujets traités ici, il est à noter que la Fondation Mhylab continue une activité de R&D soutenue à court et moyen terme, tandis que le potentiel d'amélioration des passes à poissons existantes et d'augmentation des connaissances et savoir-faire sur les systèmes de dévalaison est important. A noter que la Suisse mène actuellement une politique de renaturation des cours d'eau qui conduit à multiplier les systèmes de migration [1].

Finalement, l'opportunité de développement actuelle de la PCH est celle du turbinage-accessoire. Or, à ce sujet, la France est plutôt en retard par rapport à la Suisse, surtout pour ce qui concerne le turbinage des réseaux d'eau potable. Une nouvelle problématique se pose alors : celle des démarches administratives.

## 9 Bibliographie

- 1 Programme petites centrales hydrauliques, Office fédéral de l'énergie, Suisse énergie, Newsletter N°28, 2016. [www.bfe.admin.ch/kleinwasserkraft/03834/04169/index.html?lang=fr](http://www.bfe.admin.ch/kleinwasserkraft/03834/04169/index.html?lang=fr)
- 2 Vincent Denis, Aline Choulot : Petites turbines : développements hydraulique et essais sur modèles, Démarche pour une optimisation de la rentabilité, Bulletin SEV/AES 2/2016, pages 44-49, 2016.
- 3 Programme petites centrales hydrauliques, Office fédéral de l'énergie, Suisse énergie, Comment garantir une production électrique élevée sur le long terme? Newsletter N°26, 2015. [www.bfe.admin.ch/kleinwasserkraft/03834/04169/index.html?lang=fr](http://www.bfe.admin.ch/kleinwasserkraft/03834/04169/index.html?lang=fr)
- 4 Alexandre Gouskov, EAWAG (Institut de Recherche de l'Eau du Domaine des Ecoles polytechniques fédérales), Suisse, Fish population genetic structure shaped by hydroelectric power plants in the upper Rhine catchment, 2015, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/eva.12339/abstract>
- 5 Programme petites centrales hydrauliques, Office fédéral de l'énergie, Suisse énergie, Déjà 13 moi de kWh produits grâce aux eaux usées de Verbier depuis 1993, Newsletter N°20, 2013. [www.bfe.admin.ch/kleinwasserkraft/03834/04169/index.html?lang=fr](http://www.bfe.admin.ch/kleinwasserkraft/03834/04169/index.html?lang=fr)
- 6 Hydroscoop, Bulletin d'information Mhylab, numéro 7, octobre 2014.
- 7 F. Blasi and L. Mivelaz, «Increasing the minimum residual flow at Montsalvens Dam» Hydro Power & Dams conference paper, Cernobbio, 2014.
- 8 Programme petites centrales hydrauliques Détermination du débit résiduel. Suisse énergie, Newsletter N°22, 2014. [www.bfe.admin.ch/kleinwasserkraft/03834/04169/index.html?lang=fr](http://www.bfe.admin.ch/kleinwasserkraft/03834/04169/index.html?lang=fr)
- 9 Programme petites centrales hydrauliques, Office fédéral de l'énergie, Suisse énergie, La centrale de la Rasse : exemplaire !. Newsletter N°18, 2012. [www.bfe.admin.ch/kleinwasserkraft/03834/04169/index.html?lang=fr](http://www.bfe.admin.ch/kleinwasserkraft/03834/04169/index.html?lang=fr)
- 10 A. Choulot, V. Denis and P. Punys: Integration of small hydro turbines into existing water infrastructures. Hydropower - Practice and Application, Dr. Hossein Samadi-Boroujeni (Ed.), ISBN: 978-953-51-0164-2, InTech, 2012. [www.intechopen.com/books/hydropower-practice-and-application/integration-of-small-turbines-into-water-infrastructure](http://www.intechopen.com/books/hydropower-practice-and-application/integration-of-small-turbines-into-water-infrastructure).
- 11 Daniel Hefti, Office federal de l'environnement, Migration des poissons vers l'aval et vers l'amont la hauteur des ouvrages hydroélectriques, Check list, Best practice, 2012, <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01646/index.html?lang=fr>
- 12 C. Cottin, B. Reul and A. Choulot, «Laboratory results of the DIAGONAL project: a step towards an optimal small hydro turbine for medium head sites (25-100 m)» Hydro Power & Dams conference paper, Prague, 2011.
- 13 Michael J Noonan, James W A Grant & Christopher D Jackson, Department of Biology, Concordia University, 7141 Sherbrooke Street West, Montreal, QC H4B 1R6, Canada, 2011, "A quantitative assessment of fish passage efficiency"
- 14 Claudia Zaugg, Aquarius, Neuchâtel, Suisse, Hanspeter Leutwiler, Affoltern a/A, Suisse, DIANE, 1996 "Petites centrales hydrauliques et écologie des eaux"
- 15 [http://www.vlh-turbine.com/FR/html/Pdt\\_VLH.htm](http://www.vlh-turbine.com/FR/html/Pdt_VLH.htm)
- 16 <http://www.wa21.ch/images/content/q%20veranstaltungen/Biel%202014%20Atelier%20Sidler.pdf>