



SOCIÉTÉ HYDROTECHNIQUE
DE FRANCE

14 mai 2014

La rénovation des centrales hydroélectriques

Pierre-Louis VIOLLET

SHF, président du Comité Scientifique et Technique

Cette note constitue la synthèse de la conférence internationale « Enhancing Hydropower Plants », organisée par la SHF à Grenoble les 9-10 avril 2014. L'auteur remercie les membres du Comité de pilotage de cette manifestation, dont les noms figurent en fin d'article.

Sommaire

- I. Quelles sont les motivations des opérations de rénovation de centrales hydroélectriques
- II. Quelles sont les solutions retenues?
- III. Quels sont les éléments extérieurs (non techniques) à prendre en compte
- IV. Cas particulier de la rénovation des centrales de pompage et turbinage (STEP / PSP)

RÉSUMÉ. – La présente manifestation organisée par la SHF a traité de l'amélioration des performances des aménagements hydroélectriques dans un contexte Européen où le développement de la production hydroélectrique passe nécessairement par l'amélioration des performances de l'existant. Les aménagements dont il a été question sont à la fois des usines hydroélectriques isolées, des aménagements en cascade à l'échelle de vallées entières et des STEP (turbinage-pompage). L'amélioration des performances recherchées est bien sûr d'ordre énergétique, mais également environnemental, et de sûreté hydraulique. Au centre de ces questions, se trouvent les techniques les plus modernes de conception (en termes de simulations numériques, d'essais physiques sur modèles réduits hydrauliques,...) et de construction (équipements, ouvrages génie-civil et ouvrages sous-terrain).

I. LES MOTIVATIONS DES OPÉRATIONS DE RÉNOVATION DE CENTRALES HYDROÉLECTRIQUES

Comme l'a dit un participant, rénover une centrale hydroélectrique est une opération globale qui doit être envisagée selon une vision de moyen terme.

Il apparaît en effet qu'il y a de nombreuses raisons qui sont à l'origine de telles opérations, et naturellement un projet donné est le plus souvent motivé par plusieurs de ces raisons.

I.1. Augmenter la production d'énergie hydraulique

L'énergie hydraulique est une énergie renouvelable. Augmenter sa production est en ligne avec les objectifs européens et nationaux de développement de ces énergies. Pour augmenter la production d'énergie, les leviers sont d'augmenter la puissance installée et d'améliorer l'efficacité

de la centrale. Cette motivation est présente dans presque tous les projets, et le tableau 1 en indique un certain nombre d'exemples choisis parmi les opérations présentées lors de la conférence.

I.2. Améliorer la disponibilité, réduire le risque de défaillance ou d'indisponibilité lié à l'obsolescence de composants de la centrale

Les composants des centrales hydroélectriques ont en général une durée de vie très grande, ce dont témoigne l'intervalle de temps souvent important qui existe entre la mise en service d'un aménagement et ses opérations de rénovation (tableau 1). Comme tous les matériels, ils sont cependant frappés d'obsolescence, plus ou moins tardive selon la qualité de conception et de réalisation initiale, mais aussi selon les historiques d'exploitation (par exemple, une eau chargée en sédiments est agressive vis à vis des turbines).

Tableau 1 : Exemple d'opérations de rénovation et augmentations de puissance installée associées.

Aménagement	Pays	Date de		Puissance installée (MW)	
		mise en service	rénovation	initiale	après rénovation
La Bathie	France (Isère)	1961-75	2013-18	500-550	600
Dalalven (10 usines)	Suède	1910-54	1990-2014	210	334
Nedre Rossaga	Norvège	1955-58	2016	250	350
Sisteron	France (Durance)	1975	2014	244	260
Ybbs Persenbeug	Autriche (Danube)	1959	2012-2020	236	254
Lavey	Suisse (Rhône)	1950	A venir	93	122
Romanche-Gavet	France (Romanche)	Vers 1900	2021	82	94
Chancy-Pougny	France&Suisse (Rhône)	1924	A venir	35	55
Lopet	Norvège	1960	2013	24	29

La rénovation de la centrale de Sisteron, par exemple, est fortement motivée par l'obsolescence de ses turbines. Pour ce qui est de la centrale de Seyssel sur le Rhône, il s'agit de remédier à des problèmes d'affouillements qui sont apparus en aval immédiat de l'ouvrage.

I.3. Améliorer la sûreté de l'équipement en situation de crue, améliorer la sécurité des personnes

Un exemple de ce type de motivation est l'opération de rénovation prévue à La Bathie : il s'agira notamment de réduire le risque en cas d'écluse pour les personnes aventurées dans le lit de l'Isère en aval, en créant des « vagues d'alerte ».

I.4. Améliorer l'intégration dans l'environnement de l'aménagement

Cette motivation est présente dans de nombreux projets de rénovation. Les préoccupations en question peuvent concerner par exemple l'amélioration du transit sédimentaire au droit de l'ouvrage, comme le projet de rénovation de Lavey en Suisse. L'amélioration du transit des poissons peut être également une motivation, ainsi le même projet de rénovation de Lavey comprend-il la création d'une passe à poissons. Un autre exemple important est celui de la rénovation entreprise à l'aménagement de Kembs sur le Rhin, qui consiste en une vaste opération de re-naturalisation des berges, afin d'améliorer la biodiversité Rhénane.

I.5. Apporter aux systèmes électriques (au réseau) davantage de réserves d'énergie rapidement mobilisables. Augmenter les services système

Les réserves d'eau contenues dans les retenues sont des réserves d'énergie rapidement mobilisables en cas d'incident sur le réseau. Par ailleurs, un fonctionnement flexible des installations permet de contribuer au réglage de la fréquence sur le réseau. L'énergie hydroélectrique est ainsi de nature à contribuer à l'intégration des énergies renouvelables intermittentes que sont les énergies éolienne et solaire.

Cette motivation d'augmenter ces services au réseau, que l'on appelle les *services système*, est présente dans de nombreux projets présentés, comme par exemple Ybbs-Preusenbeug sur le Danube, Sisteron sur la Durance, Lavey sur le Haut-Rhône, Elle conduit à faire fonctionner

davantage les turbines à charge partielle ainsi que dans des régimes de fonctionnement transitoires pour lesquelles elles n'ont pas été forcément conçues. Cette même motivation est également présente, bien sûr, dans les opérations de rénovation des usines de pompage et turbinage (voir §4). L'hydroélectricité répond ainsi à un besoin croissant, celui de rendre au réseau des services que ne peuvent rendre les autres énergies renouvelables, besoin dont la juste rémunération n'est pas toujours bien évaluée.

II. LES SOLUTIONS DE RÉNOVATION RETENUES

Les solutions techniques de rénovation sont extrêmement variées ; elles sont au cas par cas adaptées aux motivations du projet, à la nature de l'aménagement, et aux situations locales. Presque tous les projets ont ainsi compris, dans leur phase d'études préliminaires, la comparaison de plusieurs scénarios de rénovation. On peut essentiellement distinguer trois modes de rénovation qui ne sont pas exclusifs l'un de l'autre.

II.1. Revoir le schéma global de l'aménagement

Comme un aménagement hydroélectrique est composé de plusieurs ouvrages qui peuvent être distincts ou combinés (barrage, ouvrage de dérivation, galeries et conduites, usines, ouvrages de décharge), il est possible de revoir complètement ou partiellement le design global de l'aménagement : supprimer une ou des usines, construire ou reconstruire d'autres usines (les nouvelles usines sont le plus souvent souterraines), construire de nouvelles galeries ou conduites, etc.

Ainsi, pour l'aménagement de Nedre-Rossago en Norvège, le diagnostic énergétique de la centrale qui existait depuis 1958 a montré que les galeries étaient de trop petit diamètre au regard de la puissance de l'usine qu'elles alimentaient, ce qui conduisait à des pertes d'énergie trop importantes, et à une perte d'efficacité globale. La solution retenue pour sa rénovation a été de ne conserver que l'une des deux turbines de cette usine et de construire par ailleurs une nouvelle usine souterraine alimentée par une nouvelle galerie.

Un autre exemple de révision du schéma d'aménagement est la rénovation en cours par EDF de l'aménagement de Gavet-Romanche, qui consiste à remplacer les 6 aménagements existant par un aménagement unique.

II.2. Remplacer les turbines

Presque tous les projets de rénovation comportent des changements des organes électromécaniques. Le remplacement des turbines peut se conduire à l'intérieur des murs de l'usine existante, ou bien en reconstruisant l'usine.

Les turbines modernes ont des pics de rendement qui peuvent dépasser 96 %. Le gain de rendement résultant du remplacement d'une turbine ancienne par une turbine moderne est souvent de l'ordre de 2 % à 5 %. Ce gain dépend de l'âge et du type de la turbine remplacée. Pour les basses chutes, les opérations consistent souvent à remplacer des turbines anciennes par des turbines Kaplan : à Chancy-Pougny sur le Rhône franco-suisse (10 m de chute), 5 turbines Francis de 7MW de puissance unitaire, mises en service en 1924, sont remplacées par 4 turbines Kaplan de 12 MW. Cet exemple montre aussi que la durée de vie d'un équipement peut être très grande (ici 80 ans !).

Les turbines nouvelles substituées aux turbines anciennes dans les opérations de rénovation doivent être spécifiquement conçues au cas par cas, pour s'adapter aux conditions de l'aménagement à rénover. La mise au point de ces turbines passe par des simulations numériques tridimensionnelles de l'écoulement, par des mises au point en laboratoire, souvent par ces deux moyens en même temps.

II.3. Redimensionner ou rénover d'autres ouvrages

L'intérêt de revoir le dessin des ouvrages de prise et d'amenée est de réduire les pertes de charge, mais aussi parfois d'améliorer le transit sédimentaire au droit de l'ouvrage.

II.4. Les coûts et le management des opérations

Les coûts des opérations de rénovation sont à mettre au regard des avantages retirés, en voici quelques exemples :

- 144 MEuros pour la rénovation de la centrale de Ybbs-Persenbeurg sur le Danube, au regard d'une augmentation de l'énergie produite de 60 GWh par an, et d'une meilleure capacité à rendre des services système ;
- 200 Meuros pour la rénovation de Nedre Rossaga en Norvège, au regard d'une énergie supplémentaire produite de 200 GWh/an ;
- 300 Meuros pour l'opération Gavet-Romanche en France, pour 150 GWh /an de production d'énergie supplémentaire.

Tant pour des raisons d'étalement des coûts que de management, les opérations de rénovation sont généralement étalées sur plusieurs années : ainsi, sur les 10 usines de la chaîne de Dalalven en Suède, la rénovation menée entre 1990 à 2014 a été menée successivement en conservant la même structure de management, et dans la mesure du possible la même équipe, en passant d'une usine à l'autre.

III. LES ÉLÉMENTS EXTÉRIEURS (NON TECHNIQUES) À PRENDRE EN COMPTE

Les réglementations et les contraintes extérieures sont de nature à favoriser ou au contraire à défavoriser les projets de rénovation.

III.1. Les réglementations

Obtenir une nouvelle autorisation administrative est un processus complexe qui peut décourager plus d'un projet de rénovation. Dans la mesure où c'est possible, et compatible avec les attendus du projet, les solutions permettant de mener des opérations sans nouveaux processus d'autorisation sont préférées. En France, depuis 2005, la loi POPE autorise les augmentations de puissance à l'occasion d'opérations de rénovation dans la limite de 20 %, sans qu'il y ait besoin de nouvelle autorisation administrative.

Dans certains pays, la mise en place de « certificats verts » a permis de favoriser les opérations d'augmentation de puissance. Cette facilitation a été signalée à l'occasion de la rénovation du schéma de Dalalven en Suède : la rénovation de 10 des 35 centrales en chaîne sur cette rivière, menée entre 1990 et 2014, a permis d'augmenter de 377 GWh la production annuelle, économisant par-là 126 000 tonnes de CO₂ par an.

III.2. Les questions environnementales

Les questions environnementales sont encadrées par des réglementations européennes et nationales.

Un progrès vient de la mise en place progressive d'un protocole négocié. Le *Protocole pour rendre durable l'hydroélectricité*, négocié entre l'International Hydropower Association et des parties prenantes comprenant certaines



Chancy-Pougny Hydro Power Plant

ONG, est maintenant une référence qui est mise en application dans un certain nombre de projets (par exemple la rénovation de Walchensee menée par Eon en Allemagne, ou celles des usines de la Romanche menée par EDF).

III.3. Les aspects culturels

Certains aspects culturels sont à prendre en compte, car certaines usines hydrauliques anciennes sont maintenant des monuments classés qui font partie du patrimoine architectural. Par ailleurs, lors de la construction d'une nouvelle usine qui ne soit pas souterraine, l'esthétique de son architecture est un élément qui peut être pris en compte.

III.4. Les autres usages de l'eau

Tous les usages sont à prendre en compte, en général dans le cadre de négociations spécifiques. L'utilisation touristique de l'eau en aval d'un aménagement (par exemple pour l'aménagement de Sisteron sur la Durance) conduit à des contraintes sur l'exploitation. Il en est de même pour ce qui est de la navigation sur la voie d'eau aménagée (le Rhône ou le Danube pour ne citer que ces deux grands fleuves).

Les variations de puissance des aménagements nécessaires pour rendre au réseau les services système attendus (éclues) sont limitées par les contraintes de sécurité des personnes et des autres activités utilisant l'eau, en aval.

IV. LA RÉNOVATION DES CENTRALES DE POMPAGE ET TURBINAGE (STEP / PSP)

Le tableau 2 présente quelques exemples d'opérations de rénovation de centrales de pompage et turbinage.

IV.1. Les motivations de la rénovation des STEP/PSP

Ces motivations ne s'écartent pas de celles qui ont été décrites au §1. On peut distinguer les suivantes :

- augmenter la capacité de stockage et la puissance de pompage et turbinage : c'est le cas, par exemple, de l'extension de la station de Waldeck en Autriche (projet Waldeck 2+), ou encore de celles de Veytaux en Suisse et de La Coche en France
- augmenter la capacité à fournir des services système : la rénovation de la station française du Cheylas entre dans cette motivation ;

- remédier à l'obsolescence des composants : cas de la station de Revin en France, ou de La Coche, soumise à une eau abrasive.

IV.2. Les solutions techniques

Modifier le schéma d'aménagement permet d'augmenter de façon importante les capacités de la station :

- De nouvelles galeries entre les deux réservoirs, accompagnées de nouvelles usines, permettent d'augmenter les puissances de pompage et turbinage sans qu'il y ait besoin d'aménager de nouveaux réservoirs.
- Rehausser le niveau du réservoir supérieur permet d'augmenter la capacité de stockage.

Remplacer les turbines anciennes par des turbines-pompes à vitesse variable permet de disposer de nouvelles capacités à rendre des services système, en mode pompage comme en mode turbinage : c'est le cas de la rénovation de la station du Cheylas où la nouvelle turbine-pompe de 250 MW permettra, en mode pompage, une modulation de plus ou moins 40 MW sur toute la plage de hauteurs de chute. Ces turbines-pompes à vitesse variable ne sont pas utilisables sur les hautes chutes, cependant.

IV.3. Le difficile bilan économique des projets de STEP / PSP

La situation des projets d'extension de stations de pompage et turbinage est paradoxale. D'un côté, il y a un avis général que le développement des énergies intermittentes en Europe devra obligatoirement s'accompagner de capacités nouvelles de stockage d'énergie. De l'autre côté, la faible différence actuelle entre les prix de l'électricité entre heures pleines et heures creuses ne permet que difficilement d'aboutir à des modèles économiques soutenables pour les projets de suréquipement de STEP (comme d'ailleurs de nouvelles STEP).

Comité d'organisation

La SHF remercie les membres du comité de pilotage de la manifestation « Enhancing Hydropower plants » :

François Avellan (EPFL), Brigitte Biton (SHF), Guy Caignaert (ENSAM), Véronique Lelièvre et Aurélie Dousset (France-Hydroélectricité), Guy Collilieux (CNR), François Czerwinski (ALSTOM Power), Jean-Charles Galland (EDF), Claude Guilbaut (ARTELIA), Sylvain Lopez (Tractebel ingénierie), Olivier Métais (EMC³), Jean-Georges Philipps (SHF), Didier Roult (CNR), Pierre-Louis Viollet (SHF).

Tableau 2 : Exemples d'opérations de rénovation de stations de pompage et turbinage.

Station	Pays	Date	Puissance installée (MW)		Type de rénovation
			avant	après	
Waldeck 2	Autriche	1975	480	780	Nouvelle usine, avec turbines pompes à vitesse variable nouvelles galeries, rehaussement du réservoir supérieur
Le Cheylas	France	1979	500	500	Remplacement de l'un des deux groupes par une turbine-pompe à vitesse variable :
La Coche	France	1976	320	395	Nouvelle turbine Pelton sur STEP de haute chute
Revin	France	1976	800	800	Réhabilitation des 4 turbines pompes
Veytaux (FMHL+)	Suisse	1971	240	480	Nouvelle centrale souterraine reliée au puits blindé existant
Kaprun	Autriche	1944-1953	220	260	Modernisation des turbines et alternateurs dans usine existante