

Expérience d'EDF dans l'exploitation des STEP

Experience of EDF in the field of pumped-storage power plants

Xavier URSAT

EDF – Directeur délégué à la Production Hydraulique
1 place Pleyel – 93282 St DENIS CEDEX
e-mail : xavier.ursat@edf.fr

Henri JACQUET-FRANCILLON

EDF – Division Production Ingénierie Hydraulique
1 place Pleyel – 93282 St DENIS CEDEX
e-mail : henri.jacquet-francillon@edf.fr

Isabelle RAFAI

EDF Centre d'Ingénierie Hydraulique
4 rue Claude-Marie Perroud – 31096 TOULOUSE CEDEX
e-mail : isabelle.rafai@edf.fr

EDF dispose d'une expérience importante dans le domaine des stations de transfert d'énergie par pompage (STEP). Les six principales STEP exploitées en France sont Grand-Maison, Montezic, Revin, La Coche, Le Cheylas, Super-Bissorte. Elles totalisent une puissance de 4,9 GW en turbinage et 4,2 GW en pompage. En fonction de leur capacité de stockage, elles sont exploitées sur un cycle journalier ou hebdomadaire. L'article présente la gestion de la courbe de charge avec des exemples d'arbitrage en fonction des prix de marché. Du fait de leur flexibilité, les STEP apportent également une contribution au réglage de tension et de fréquence du réseau français. Ces services systèmes sont en croissance avec le développement des énergies intermittentes. L'accroissement du nombre de cycles conduit à une accélération de l'usure des composants. C'est pourquoi d'importants programmes de maintenance sont mis en œuvre. Ceci est illustré sur le cas de Revin, où une réhabilitation complète permettra d'améliorer la performance et la disponibilité de cette STEP.

EDF has an important experience in the field of pumped-storage power plants (PSPP). The six main PSPP in operation in France are Grand-Maison, Montezic, Revin, La Coche, Le Cheylas, Super-Bissorte. They represent a total installed capacity of 4.9 GW in generating mode and 4.2 GW in pumping mode. According to the reservoir capacity, they are operated on a daily or weekly cycle. The paper presents the optimization of the load curve with examples of arbitration according to the market price. Due to their flexibility, PSPP also provide a contribution to the frequency and voltage regulation of the French grid. These ancillary services are growing with the development of intermittent energies. The increasing number of cycles leads to an accelerated wear of components. That is why important maintenance programs are requested. This is illustrated on the case of Revin, where a complete rehabilitation will provide better performances and availability of this PSPP.

Mots clés

STEP, exploitation, retour d'expérience

I INTRODUCTION

EDF SA exploite depuis les années 1970-1980 un parc de STEP important, comprenant six aménagements représentant une puissance installée en turbine d'environ 5 GW. En France, les STEP :

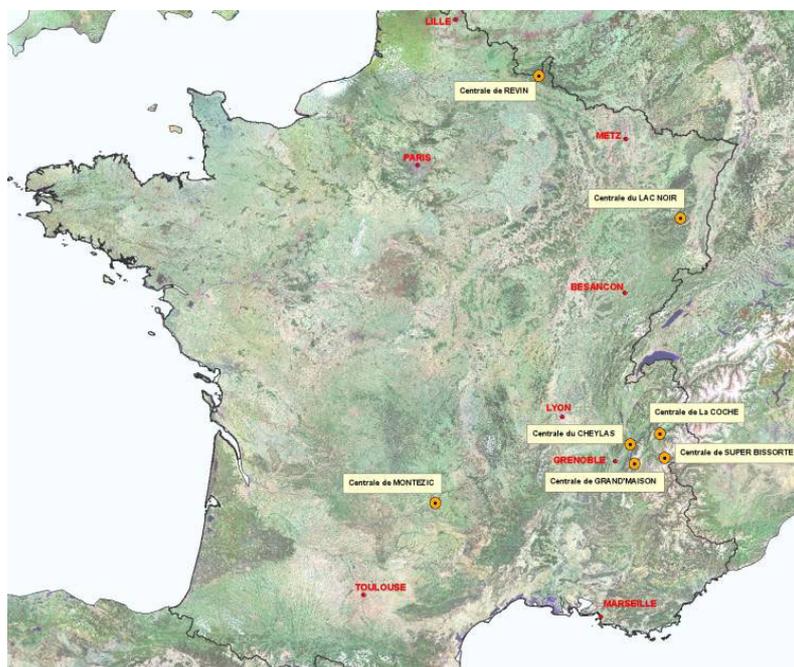
- sont des installations faisant partie du parc de production. Leur fonction essentielle consiste en un report d'énergie des périodes de faible demande (heures creuses) vers des périodes de demande plus conséquente (heures pleines) ; elles procurent une optimisation du mix énergétique, un apport de puissance de pointe, des possibilités d'arbitrages sur le marché spot, et d'offres sur le marché d'ajustement (à la hausse et à la baisse).

- participent à la fourniture de services système, dans le cadre du contrat entre EDF SA et le gestionnaire de réseau français (RTE).
- sont soumises au tarif d'accès au réseau pour l'ensemble de leur consommation (soutirage). Le TURPE n'est pas horo-saisonnalisé pour les hautes (225 KV) et très hautes (400 KV) tensions, et les STEP, bien que pompant en heures creuses, acquittent un prime fixe annuelle élevée.

II LE PARC EDF EN EXPLOITATION

Le parc EDF est composé de six STEP principales construites soit dans les années 1970 (Revin, la Coche, le Cheylas) soit 1980 (Montézic, Super-Bissorte, Grand Maison), réparties sur le territoire français : Massif central, Alpes, Ardennes.

Ces STEP sont soit des STEP « pures », c'est-à-dire avec des apports dans la retenue amont quasiment nuls (Revin, Montézic), soit des STEP « mixtes » recevant des apports gravitaires d'importance variable.



**Figure 1 – Carte des STEP EDF en France
Location of EDF PSPP in France**

Leurs caractéristiques principales sont résumées dans le tableau ci-dessous :

	Montézic MSI 1982	Revin MSI 1976	G. Maison MSI 1985	S.Bissorte MSI 1987	La Coche MSI 1977	Le Cheylas MSI 1979	Total
Puissance en turbine	910 MW	720 MW	1790 MW	730 MW	330 MW	460 MW	4940 MW
Puissance en pompe	870 MW	720 MW	1160 MW	630 MW	310 MW	480 MW	4170 MW
Nombre de pompes	4	4	8	4	2	2	
Constante de temps	40 h	5 h	30 h	5 h	3 h	6 h	
Productible gravitaire	STEP pure	STEP pure	216 GWh	250 GWh	426 GWh	670 GWh	

**Figure 2 – Caractéristiques générales des STEP EDF en France
Main characteristics of EDF PSPP in France**

Les STEP pures, comme Revin ou Montézic, fonctionnent en circuit fermé, et offrent à l'optimiseur une grande souplesse d'utilisation, les seules contraintes étant celles liées aux caractéristiques des ouvrages. Leur gestion, contrairement à celle des usines de lac, ne nécessite pas d'outil de programmation dynamique pour gérer une réserve d'eau en avenir incertain.

Les STEP mixtes sont plus complexes à gérer. L'exemple du Cheylas en est une bonne illustration: cette centrale assure la reconcentration en heures de pointe des apports provenant de la vallée de l'Arc via une très longue galerie dont le diamètre et donc le débit sont limités pour des raisons économiques. Durant les périodes de l'année où les apports de l'Arc ne suffisent pas à saturer le Cheylas, c'est le pompage qui permet de garantir la pleine puissance en pointe.

III SERVICE RENDU

III.1 Contribution à l'équilibre de portefeuille

La STEP stocke de l'énergie quand la demande est faible (phase de pompage) et utilise cette énergie stockée en heures de pointe (phase de turbinage). La demande d'électricité est souvent plus faible la nuit que le jour et le week-end que les jours de semaine. Selon le volume de leurs réservoirs, les STEPs sont de type :

- « journalier » lorsque les réservoirs ne stockent que l'eau nécessaire à quelques heures de marche,
- « hebdomadaire » lorsqu'ils permettent quelques dizaines d'heures de pompage ou turbinage continu.

Les opportunités de générer un revenu en effectuant des cycles de pompage-turbinage dépendent :

- de l'importance de l'écart de prix entre heures creuses et heures pleines
- du rendement du cycle (rapport entre l'énergie produite et l'énergie consommée, de 75 à 80%)

Lorsque l'écart de prix est inférieur au rendement de cycle, la STEP ne peut générer un revenu. Les STEPs hebdomadaires ont davantage d'opportunités d'effectuer des cycles bénéficiaires que les STEPs journalières.

L'écart de prix varie considérablement d'un système électrique à un autre en fonction de la structure des parcs de production.

La figure ci-dessous donne un exemple de fonctionnement durant une journée type d'hiver.

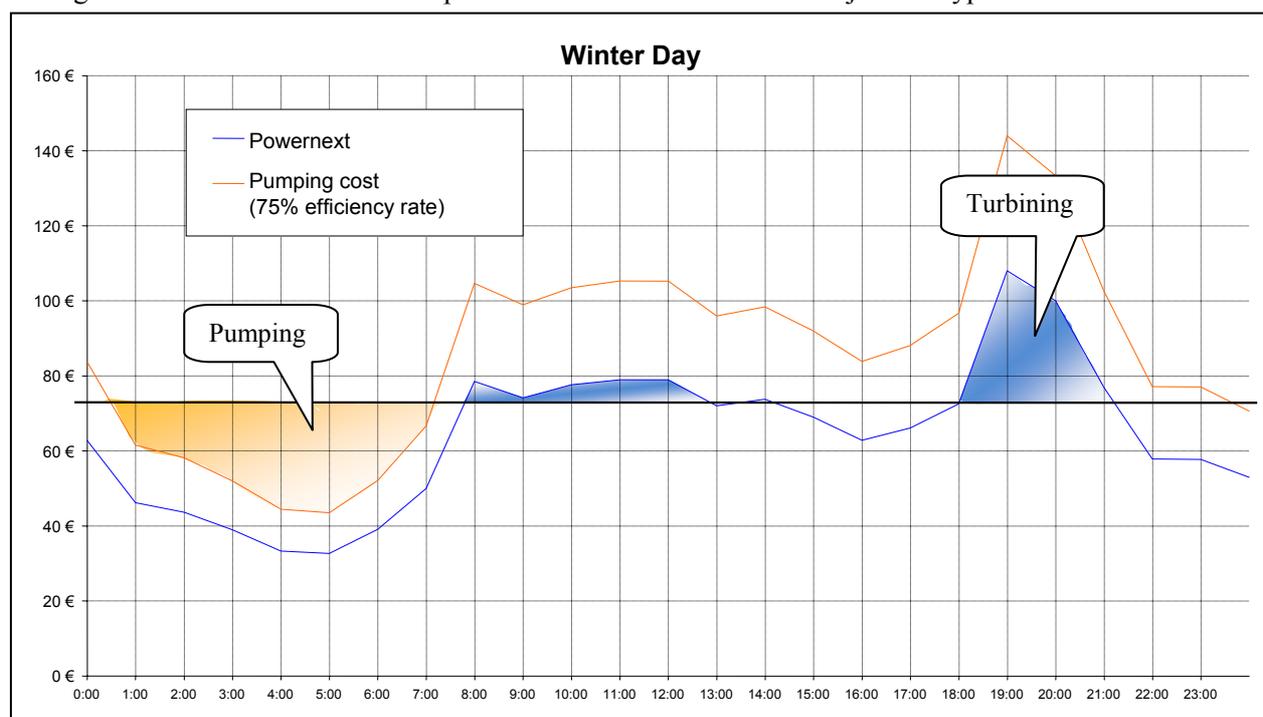


Figure 3 – Arbitrage sur prix de marché
Arbitration on market price

La gestion se fait sur programme journalier établi chaque soir pour le lendemain, en déterministe sur la base d'un corps d'hypothèses retenu pour deux jours, avec perspective hebdomadaire, et réajusté ensuite en temps réel. Pour ménager la durée de vie des machines, une durée minimale de palier en pompe et en turbine est fixée dans les programmes : ½ heure en turbine et 1 heure en pompe. Le temps de passage du mode pompe au mode turbine, ou inversement, dépend des contraintes physiques de chaque aménagement.

La figure suivante montre le lien entre le prix de l'électricité et le fonctionnement d'une STEP. Celle-ci turbine quand la différence de prix entre heures pleines et creuses est suffisante (avec un ratio au moins égal au rendement de la STEP) : pompage les week-ends et la nuit, turbinage en heures pleines de semaine. L'optimisation se fait avec une perspective hebdomadaire : fonctionnement en STEP pure (recyclage journalier) et déstockage d'une part de l'énergie stockée le week-end précédent selon l'arbitrage réalisé sur les 5 jours ouvrés de la semaine : de manière « moyenne », cela conduit ici à déstocker chaque jour environ 1/5 du volume pompé le week-end.

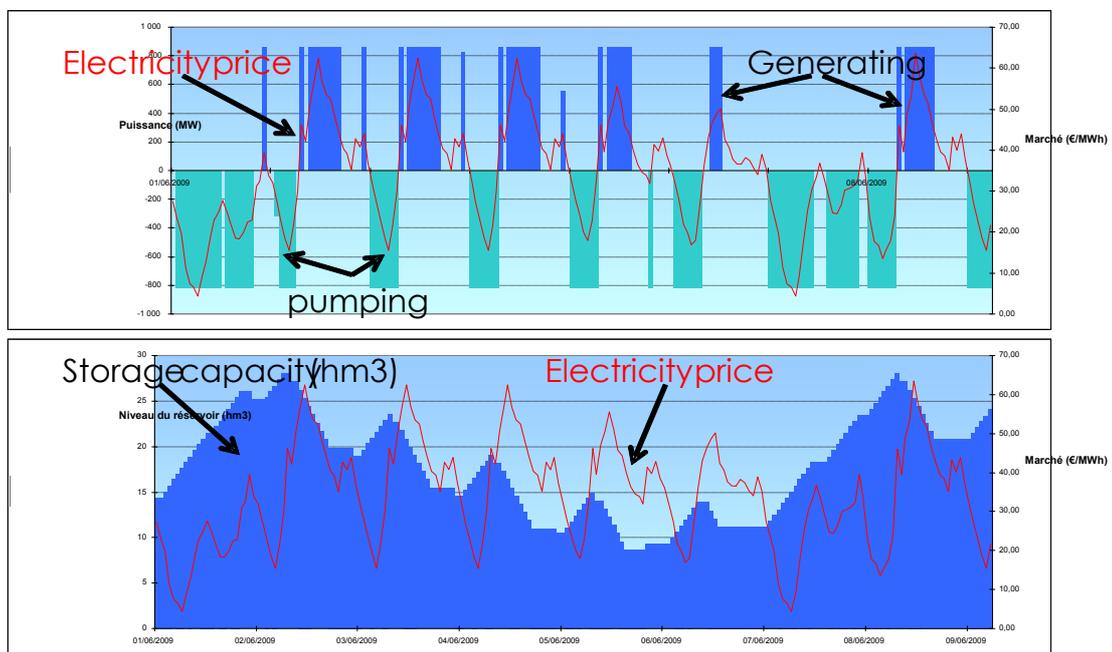


Figure 4 – Fonctionnement typique d'une STEP hebdomadaire
Typical operation of a weekly pumped storage power plant

Pour les STEP mixtes, ces principes sont appliqués pour la part restant disponible pour le fonctionnement en STEP, après établissement du programme gravitaire.

Par exemple, si la STEP est affectée à un lac en tête de vallée, les turbines assurent d'abord le déstockage de la réserve saisonnière choisi en fonction du niveau du lac, des prévisions d'apport, et des coût marginaux de production de la semaine à venir, puis dans la mesure du possible une utilisation d'un complément obtenu par pompage. Ainsi, les pompes fonctionneront peu en période de forte hydraulité. Si la STEP se situe au niveau d'un réservoir intermédiaire, les turbines sont prioritairement affectées aux turbinés amont (gestion en éclusées), et le recyclage est mis en place sur les périodes restant disponibles.

Si le volume disponible dans l'un des réservoirs est limité soit par une contrainte de cote, soit par une contrainte de gradient : limitation de la vitesse de variation de la cote, ceci peut sévèrement affecter la capacité de la STEP à transférer de l'énergie.

Il existe différents moyens de permettre un usage touristique malgré cet impératif énergétique :

- Un plan d'eau fixe en queue de retenue (réservoir supérieur de Montézic),
- Des aménagements des berges conçus pour tenir compte de la variation de cote, tels que pontons flottants (réservoir inférieur de Grand-maison).

III.2 Horizon infra-journalier : redéclarations par EDF et/ou offres d'ajustement par RTE

La gestion journalière est faite en déterministe, selon un corps d'hypothèses : on se réadapte continuellement en journalier pour rééquilibrer la production et faire face aux aléas : en optimisation infra-journalière pour le compte d'EDF, ou pour capter des opportunités sur le marché intraday. Avec le développement des énergies intermittentes et un marché français en infra journalier qui se développe en permanence, les modifications du programme journalier sont de plus en plus nombreuses.

Pour les STEP journalières, on ne déplace les énergies qu'au sein d'une même journée.

Pour les STEP hebdomadaires, les offres d'ajustement sont proposées sous la forme d'un volume à la hausse comme à la baisse, mais on limite les ajustements à la hausse pour maîtriser le risque de ne pas pouvoir reconstituer le stock avant le week-end suivant (éviter de vider la STEP dès le début de semaine).

La figure suivante montre le nombre de démarrages de la centrale de Revin au cours des dernières années, dans les différents modes. On y constate une forte hausse du nombre de démarrages depuis 2003, due en partie au développement des offres sur les marchés. Les deux dernières années sont atypiques car la centrale a été indisponible une partie de l'année, pour des travaux préparatoires, dans le cadre du vaste programme de maintenance initié récemment.

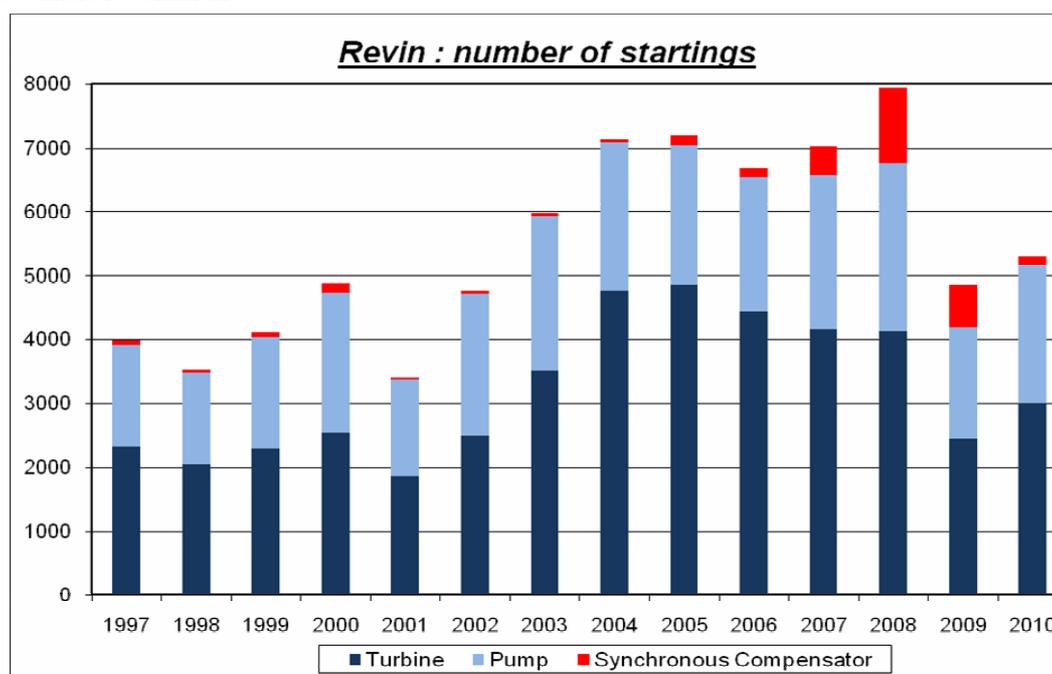


Figure 5 – Nombre de démarrages de la centrale de Revin
Number of startings of Revin power plant

III.3 STEP et services système

Les STEP d'EDF participent aux services système :

- Réglage de tension assuré en pompage et en turbinage sur toutes les STEP, équipées de régulateurs de tension
- Réglage de fréquence en turbinage sur les STEP équipées de distributeurs réglables (cas des chutes moyennes, soit 50% du parc STEP EDF France)

Le principe de rémunération de ces services est identique à celui des autres ensembles de production français (disponibilité pour primaire fréquence et tension, disponibilité + énergie pour secondaire fréquence).

IV MAINTENANCE

IV.1 Politique générale de maintenance

Les STEP sont des aménagements à forts enjeux, pour lesquels le programme de maintenance des grands aménagements hydrauliques est appliqué.

Une importance particulière est accordée à la fiabilité de démarrage, car la marche en turbine dépend en tout (STEP pures) ou en partie (STEP mixtes) du pompage.

Le nombre élevé de sollicitations a des conséquences en termes d'usure de certains éléments : joints plans, arbres, transformateurs... entraînant une vigilance particulière sur ces éléments.

IV.2 Exemple de Revin

Un important programme de maintenance a été initié récemment sur Revin, pour un montant de plus de 70 M€ de dépenses sur 7 ans. Ce programme porte en premier lieu sur la rénovation mécanique complète des 4 groupes.



Figure 6 – STEP de Revin

Ce programme vise à accroître durablement les services rendus par cette STEP :

- Amélioration du rendement de cycle grâce au remplacement des roues et des directrices dont la conception a progressé depuis les années 1970,
- Elargissement de la plage de fonctionnement en turbine, permettant de fournir davantage de réglage,
- Amélioration de la disponibilité par modification du mécanisme de manœuvre des directrices.

V CONCLUSION

EDF dispose d'un savoir-faire rare en matière de conception et d'exploitation des STEP du fait de l'importance, du nombre d'années de fonctionnement, et de la diversité des groupes de production équipant le parc EDF.

EDF fait évoluer son parc hydraulique, dont les STEP, afin que le fort développement des énergies renouvelables intermittentes souhaitable pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre, s'effectue sans perturbation de l'équilibre offre/demande du système électrique.