

# Rôle des centrales de pompage-turbinage dans l'approvisionnement en électricité

Document connaissances de base, état: octobre 2013

## 1. Synthèse

Contrairement aux simples centrales à accumulation, les centrales de pompage-turbinage ne disposent pas seulement d'un lac de retenue en amont du barrage, mais aussi d'un bassin en aval dans lequel l'eau déjà utilisée peut être pompée afin d'être réinjectée dans le lac en amont. Elles peuvent donc véritablement contribuer à la sécurité d'approvisionnement et à la stabilité du réseau. Dans un contexte où les sources d'énergie irrégulières sont amenées à se développer, les centrales de pompage-turbinage devraient continuer à prendre de l'importance. A l'avenir, elles permettront d'accumuler de plus en plus de courant vert, notamment en cas d'offre importante d'énergie éolienne ou solaire, pour la restituer plus tard, pendant les périodes de pénurie.

## 2. Situation actuelle

La Suisse compte actuellement des centrales hydroélectriques présentant une puissance d'alternateur maximale de 13 761 MW, capables de produire chaque année jusqu'à 35,8 TWh d'électricité<sup>1</sup>.

Dans les faits, les grandes et petites centrales hydroélectriques suisses ont produit en 2012 quelque 39,9 TWh (en 2011: 33,8 TWh), dont près de 2,4 TWh ont été utilisés par les pompes des centrales de pompage-turbinage. La production nette d'électricité pour 2012 s'est donc chiffrée à 37,5 TWh (en 2011: 31,3)<sup>2,3</sup>. Environ 10%, soit 3,4 TWh, sont issus de petites centrales hydroélectriques (centrales dont la puissance est inférieure à 10 MW)<sup>4</sup>.

L'électricité issue de la force hydraulique représente environ 55% de la production électrique suisse. Sur ces 55%, près de 50% sont produits par les grandes centrales hydroélectriques et un peu plus de 5% par les petites centrales hydroélectriques. La grande hydraulique est divisée en trois catégories:

- **Centrales au fil de l'eau:** elles transforment la hauteur de chute des cours d'eau en énergie électrique. La production dépend du débit disponible: elle est par conséquent peu modulable. 50% de la production hydroélectrique annuelle proviennent des centrales au fil de l'eau, qui représentent 30% de la puissance hydraulique installée.

<sup>1</sup> Statistique des aménagements hydroélectriques de la Suisse, 01.01.2013, Office fédéral de l'énergie OFEN, Berne, 2013

<sup>2</sup> Production et consommation totales d'énergie électrique en Suisse 2011, Office fédéral de l'énergie OFEN, Berne, 2012

<sup>3</sup> Production et consommation totales d'énergie électrique en Suisse 2012, Office fédéral de l'énergie OFEN, Berne, 2013

<sup>4</sup> S. Hirschberg et al., Ganzheitliche Betrachtung von Energiesystemen (GaBE), Neue erneuerbare Energien und neue Nuklearanlagen: Potenziale und Kosten, Institut Paul Scherrer, Villigen, 2005

- **Centrales à accumulation:** des lacs de retenue situés pour la plupart dans les Alpes à des altitudes élevées permettent de stocker l'eau afin de l'utiliser pour produire de l'électricité en cas de forte demande. 50% de la production hydroélectrique annuelle sont issus des centrales à accumulation, qui représentent 60% de la puissance hydraulique installée. Cependant, seule une partie de la production des centrales à accumulation peut être régulée, dans la mesure où les apports en aval des lacs de retenue constituent plus ou moins des apports au fil de l'eau.
- **Centrales de pompage-turbinage:** ces installations soutirent l'eau présente dans un bassin aménagé en aval et la pompent dans le lac de retenue afin qu'elle puisse être réutilisée pour la production électrique. Par conséquent, elles ne produisent pas d'énergie supplémentaire, mais accroissent la puissance disponible. Généralement intégrées à de grandes centrales à accumulation, elles contribuent à hauteur de 10% environ à la puissance hydraulique installée.

Type de centrale <sup>5</sup>	Nombre	Puissance installée (MW)	Production hivernale (GWh)	Production estivale (GWh)	Production annuelle (GWh)
Centrale au fil de l'eau	469	4594	7394	12 647	20 041
Centrale à accumulation	101	8679	8176	9244	17 420
Centrale de pompage-turbinage	19	1758	956	543	1489
<b>Total</b>	<b>589</b>	<b>15 031</b>	<b>16 526</b>	<b>22 434</b>	<b>38 950</b>

Tableau 1. Puissance maximale et valeurs moyennes de production annuelle escomptées pour les installations hydroélectriques (> 300 kW) de Suisse. Source: OFEN 2013b.

Si l'eau est une source d'énergie toujours disponible, elle est toutefois sujette à d'importantes **variations**.

### 3. Etat de la technologie et développement futur

#### 3.1 Mode de fonctionnement des centrales de pompage-turbinage

Si les centrales au fil de l'eau peuvent difficilement être régulées et si leur niveau de production est au plus bas en hiver, les centrales à accumulation et les installations de pompage-turbinage peuvent en revanche être exploitées avec davantage de souplesse. Toutefois, alors que les centrales à accumulation permettent uniquement de stocker temporairement l'eau excédentaire et de la turbiner ultérieurement, les installations de pompage-turbinage peuvent faire remonter l'eau déjà turbinée, afin de la turbiner à nouveau. Généralement, elles turbinent lorsque le prix de l'électricité est plus élevé (p. ex. lorsque la demande augmente) et pompent lorsque celui-ci est bas (p. ex. lorsque la demande est faible). Les différences de prix entre courant pompé et courant turbiné sont donc un facteur important pour ces centrales.

<sup>5</sup> En situation d'exploitation normale

L'illustration 1 donne une représentation schématique du fonctionnement d'une centrale de pompage-turbinage.

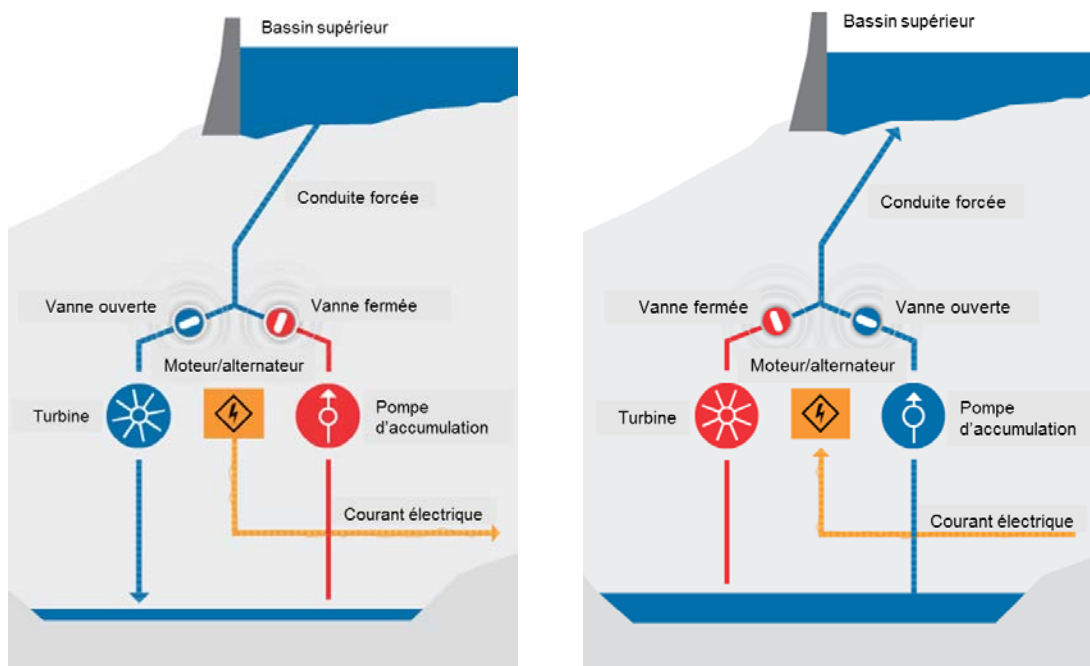


Illustration 1. Centrale de pompage-turbinage en mode de turbinage (à gauche) et en mode de pompage (à droite). Source: Axpo.

Axpo fournit les explications suivantes: «En phase de production électrique, l'eau du bassin supérieur (lac de retenue) est relâchée dans le système (illustration 1, gauche). Elle actionne la turbine, qui entraîne à son tour l'alternateur. L'électricité ainsi produite est injectée dans le réseau. En aval de la turbine, l'eau s'écoule dans le bassin inférieur. En mode de pompage (illustration 1, droite), l'alternateur-moteur fonctionne comme moteur. Il est alimenté par l'électricité du réseau et entraîne la pompe. Celle-ci refoule l'eau contenue dans le bassin inférieur pour qu'elle s'accumule dans le bassin supérieur». Le rendement d'une centrale de pompage-turbinage est de 75 à 80%, ce qui signifie qu'environ les trois quarts de l'énergie électrique utilisée pour l'exploitation de la pompe sont récupérés lors du turbinage.

### 3.2 Situation en Suisse

La Suisse compte 14 centrales de pompage-turbinage en service, dont les plus grandes se trouvent au bord du Rhône et du Rhin:

Cours d'eau	Nombre de centrales	Puissance installée (MW)	Production escomptée (GWh)		
			Hiver	Eté	Année
<b>Rhin</b>	2	400,30	200,60	190,90	391,50
<b>Aar Reuss</b>	1	53,00	27,20	28,20	55,40
<b>Limmat</b>	2	181,00	191,00	122,00	313,00
<b>Rhône</b>	6	490,65	405,82	217,71	623,53
<b>Tessin</b>	2	212,00	97,90	24,90	122,80
<b>Adda / Inn / Adige</b>	1	46,50	67,50	19,90	87,40
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>1383,45</b>	<b>990,02</b>	<b>603,61</b>	<b>1593,63</b>

Tableau 2. Vue d'ensemble des centrales de pompage-turbinage suisses. Source: OFEN 2013.

Il convient de noter à propos du tableau 2 les éléments suivants:

- Seules les centrales disposant d'une puissance maximale supérieure à 300 kW apparaissent dans le tableau.
- Trois centrales ne comportant qu'un dispositif de pompage et deux autres en construction n'ont pas été prises en compte.
- Dans le cas des centrales hydroélectriques internationales, seule la part détenue par la Suisse est prise en considération.
- La répartition des 14 centrales par zone de cours d'eau est effectuée sur la base de leur emplacement.
- L'énergie utilisée pour faire fonctionner la pompe en vue de l'accumulation saisonnière n'est pas déduite des valeurs indiquées.

### 3.3 Situation internationale

La part d'énergie hydraulique dans le mix énergétique suisse n'est dépassée en Europe que par la Norvège, l'Autriche et l'Islande. En revanche, la puissance installée des centrales de pompage-turbinage suisses est souvent inférieure à celle des autres pays: ainsi, l'Allemagne, avec quelque 6000 MW, affiche une puissance

environ trois fois supérieure. Les centrales de pompage-turbinage autrichiennes présentent également une puissance plus élevée avec 3000 MW (voir illustration 2). Les centrales de pompage-turbinage suisses disposent de réservoirs d'eau généralement plus grands, si bien qu'elles sont capables de turbiner ou de stocker durant de plus longues périodes.

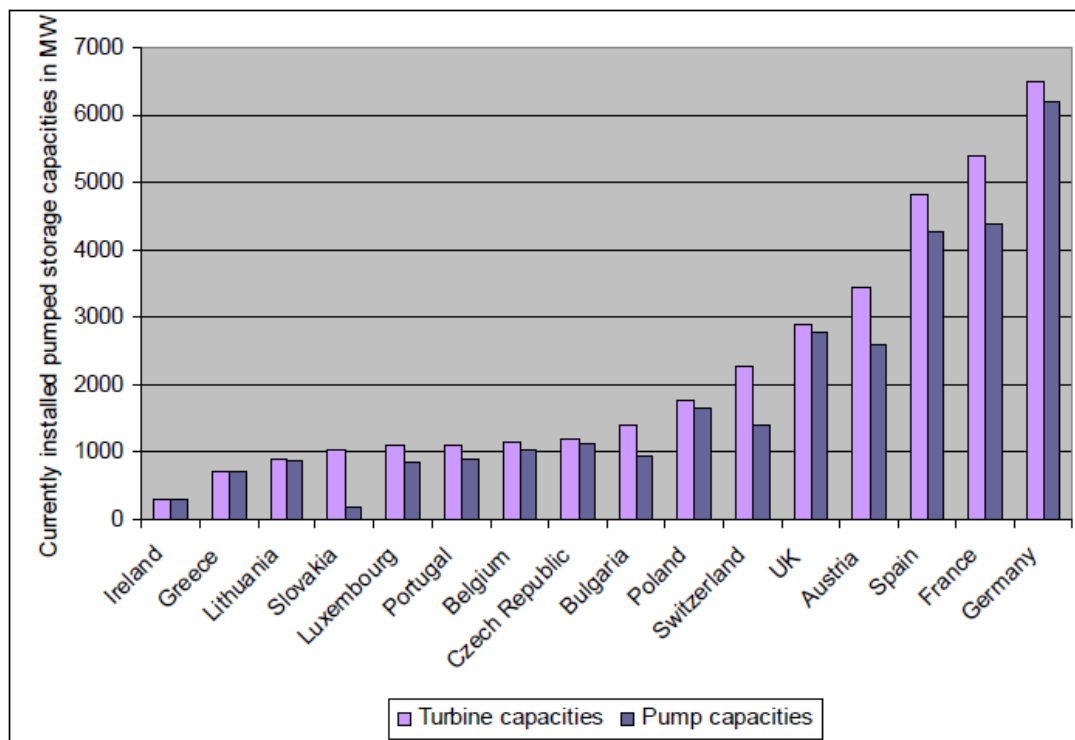


Illustration 2. Puissance installée des centrales de pompage-turbinage en Europe en 2009. Source: Eurelectric 2011.

Avec une puissance installée de 4000 MW (nouveaux projets inclus), l'impact des centrales de pompage-turbinage helvétiques est très limité par rapport à la puissance installée des centrales éoliennes qui s'élève déjà à près de 29 000 MW rien qu'en Allemagne (en 2011)<sup>6</sup>.

### 3.4 Flexibilité et exploitation des centrales de pompage-turbinage

En Suisse, l'énergie en ruban est principalement produite par les centrales nucléaires et les centrales au fil de l'eau. Les centrales à accumulation fournissent de l'énergie de pointe et permettent d'adapter très rapidement la production d'électricité aux hausses de la demande. En général, les centrales hydroélectriques et les installations de pompage-turbinage sont opérationnelles dans des délais allant de quelques secondes à quelques minutes maximum, alors que les centrales thermiques sont nettement plus lentes. Dans de nombreux cas, les centrales hydroélectriques peuvent être utilisées aussi bien au service du marché de l'électricité régulier que de celui des services-système. Dans ce contexte, les centrales de pompage-turbinage peuvent avoir un effet stabilisateur en cas de besoins supplémentaires (pompage) et d'offre supplémentaire (turbinage).

<sup>6</sup> BMU (Ministère allemand de l'environnement, de la protection de la nature, de la sécurité nucléaire et des énergies renouvelables)

Contrairement à de simples centrales à accumulation, les centrales de pompage-turbinage peuvent non seulement produire de l'énergie de pointe, mais aussi stocker les excédents d'électricité générés lors des périodes de faible charge et non utilisés. En cas de hausse des besoins en électricité, elles transforment ces excédents en précieuse énergie de pointe.

Bien que le pompage-turbinage s'accompagne forcément de pertes, ces centrales sont très importantes pour l'économie électrique. En effet, elles permettent à la Suisse de contribuer à une valorisation judicieuse de l'électricité produite à partir des énergies renouvelables aléatoires. Elles peuvent ainsi servir à stocker l'excédent de l'offre à bon marché générée par l'énergie éolienne ou solaire pour produire de l'électricité lorsque la demande est à nouveau élevée. L'utilisation de centrales de pompage-turbinage aide à maintenir l'équilibre des systèmes électriques.

### 3.5 Projets actuels de centrales de pompage-turbinage en Suisse

Plusieurs projets de construction de centrales de pompage-turbinage sont actuellement en cours en Suisse, les plus ambitieux d'entre eux étant les projets de Nant de Drance, de Linth-Limmern et de Lagobianco.

#### 3.5.1 Nant de Drance (statut: en construction)



Illustration 3 Emosson et Vieux Emosson. Source: Nant de Drance SA

La centrale de pompage-turbinage de Nant de Drance se trouvera dans le canton du Valais, sur le territoire de la commune de Finhaut, entre Martigny et Chamonix. Elle utilisera la hauteur de chute entre les lacs de retenue Vieux Emosson (2225 m d'altitude) et Emosson (1930 m d'altitude) pour générer de l'énergie. Pourvue de six turbines de 150 MW chacune, elle disposera d'une puissance de turbinage et de pompage de 900 MW et produira chaque année environ 2500 millions de kWh (2,5 TWh, 50 Hz), avec un rendement de plus de 80% pour l'ensemble de son cycle d'exploitation.

C'est la société Nant de Drance SA qui est responsable du chantier et de l'exploitation future de la centrale. Les travaux ont débuté en septembre 2008, et la mise en service progressive de la centrale de pompage-turbinage est prévue à compter de 2017. Il s'agit d'un projet commun d'Alpiq (participation à hauteur de 39%), des CFF (36%), d'IWB (15%) et de FMV (10%), pour un budget total de 1,8 milliard de francs.

### 3.5.2 Centrales de Linth-Limmern (statut: en construction)

Le projet Linthal 2015 de la société Axpo consiste à construire une centrale de pompage-turbinage souterraine capable de pomper de l'eau dans le lac de Limmern pour la réinjecter dans le lac de Mutt situé 630 m plus haut. Une fois les travaux terminés, la puissance de turbinage des centrales de Linth-Limmern sera portée de 480 MW (puissance actuelle) à 1480 MW (avec une consommation des pompes d'environ 1180 MW). La mise en service est prévue en 2015/2016. Les frais d'investissement pour ce projet se chiffrent à quelque 2,1 milliards de francs.

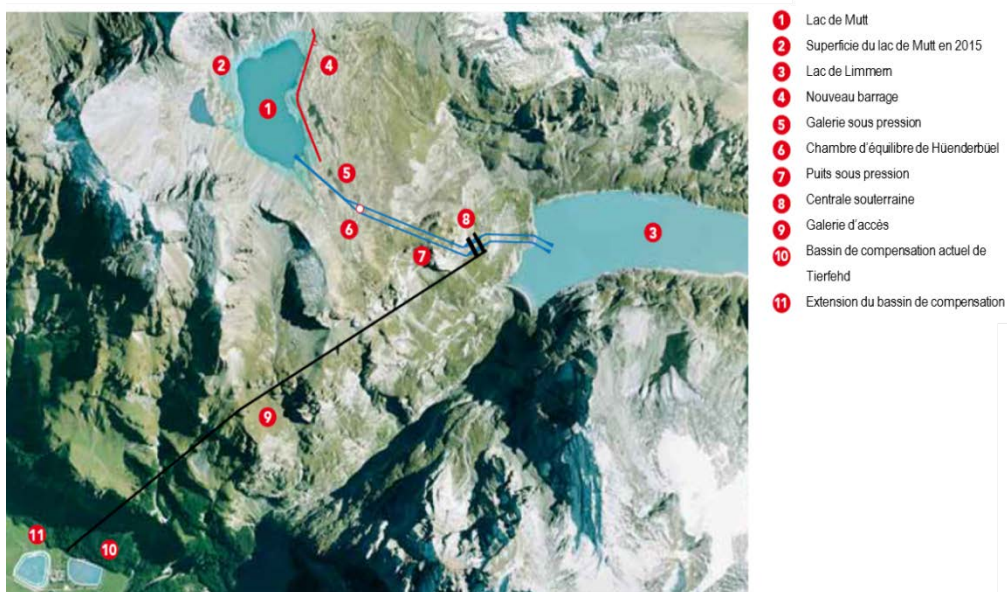


Illustration 4. Centrales de Linth-Limmern. Source: Axpo

### 3.5.3 Lagobianco (statut: phase d'octroi de la concession et phase de projet)

Repower décrit le projet en ces termes: «Repower prévoit la construction d'une centrale de pompage-turbinage d'une puissance de 1000 MW dans la vallée de Poschiavo. Ce projet d'une installation performante a été élaboré conjointement avec des organisations de protection de l'environnement afin de remplacer la variante proposée dans le précédent «Projet 95». La future centrale de pompage-turbinage utilisera comme réservoirs le Lago Bianco situé près du col de la Bernina ainsi que le lac de Poschiavo. Une galerie sous pression de 18 km de long aménagée sur le flanc droit de la vallée de Poschiavo et un puits sous pression de 2,5 km de long permettront d'acheminer l'eau jusqu'à la centrale électrique de Camp Martin, sur les rives du lac de Poschiavo. Le raccordement au réseau électrique est assuré par la ligne internationale actuelle de 380 kV. Repower a présenté le projet de concession en 2010. Les trois communes concernées par la concession, à savoir Poschiavo, Pontresina et Brusio, ont approuvé les contrats de concession et donné ainsi le feu vert au projet Lagobianco. La procédure d'autorisation du projet pourra commencer dès lors que les concessions auront été octroyées par le canton. Le chantier durera de six à sept ans.» Ce projet est devisé à 1,5 milliard de francs environ.

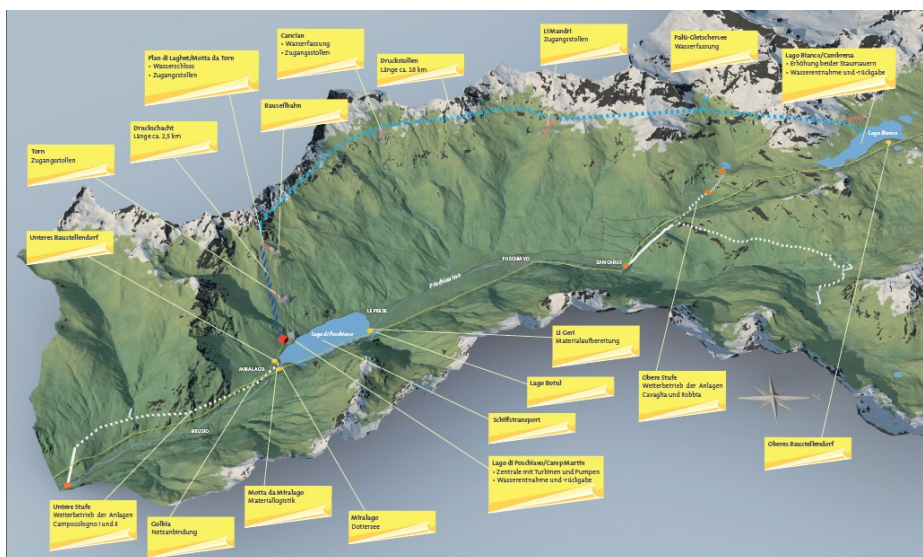


Illustration 5. Projet Lagobianco. Source: Repower

## 4. Evolutions futures

Actuellement, les centrales de pompage-turbinage pompent généralement l'eau pendant les heures où la demande est suffisamment faible pour être satisfaite uniquement par les centrales de base et par les centrales à charge moyenne, et quand les prix de l'électricité sont bas. Le turbinage a lieu le matin et le soir, pendant la charge de pointe. Dans les années à venir, ce mode d'exploitation sera modifié. En effet, il faut s'attendre à ce que l'électricité issue des énergies éolienne et solaire ait à long terme un effet dynamisant sur l'exploitation des installations<sup>7</sup>: plus les technologies de production fonctionnant de manière intermittente se développeront, plus vite elles mettront un terme au schéma actuel «jour/nuit» et «jours ouvrables/week-

<sup>7</sup> Pöyry Management Consulting, Supply and Demand of Flexible Generation Capacity in Switzerland, Association des entreprises électriques suisses VSE/AES, Aarau, 2012

end». L'eau pourra alors également être pompée en milieu de journée, lorsqu'une grande quantité d'énergie solaire non consommée immédiatement sera disponible. En d'autres termes, les cycles de pompage et de turbinage se raccourciront.

A l'avenir, les centrales de pompage-turbinage stockeront de plus en plus de courant vert, particulièrement en cas d'offre importante d'électricité éolienne ou solaire, afin de le restituer ultérieurement. Le «prix» à payer pour cela sera l'énergie consommée par le processus de pompage et de turbinage. La modification des cycles et l'intensification de l'utilisation de ces centrales augmenteront également leurs coûts d'exploitation et d'entretien.

Au cours des 20 prochaines années, il faut s'attendre à ce que la production d'électricité des pays voisins subisse des variations plus importantes, principalement en raison de l'électricité solaire ou éolienne produite en Allemagne et en Italie. Grâce à leur grande flexibilité, les centrales de pompage-turbinage suisses peuvent contribuer à accroître la flexibilité de la demande au niveau national et européen. Mais les chiffres disponibles montrent clairement que la Suisse ne peut pas jouer le rôle de batterie de l'Europe.

Parallèlement, il apparaît aujourd'hui que la forte contribution des nouvelles énergies a un impact négatif sur les modèles de prix nécessaires au fonctionnement des centrales de pompage-turbinage (variations de prix importantes aussi fréquentes que possible). Le prix de l'électricité a notamment tendance à se maintenir à un faible niveau, ce qui, globalement, influe de manière négative sur les rendements de ces centrales.

## 5. Bilan

Indépendamment de leur rentabilité économique et énergétique, les centrales de pompage-turbinage participent grandement à la stabilisation du réseau et garantissent ainsi une production électrique fiable, durable et adaptée aux besoins. Leur production facilement modulable permet de compenser la production aléatoire issue des énergies éolienne et solaire.

Grâce à ses centrales de pompage-turbinage, la Suisse peut contribuer à l'intégration de la production irrégulière d'électricité en Europe. Il convient toutefois de ne pas surestimer son rôle, qui dépend avant tout directement des capacités de ligne existantes. Face à la hausse de la population et à la part croissante d'énergies renouvelables aléatoires, les besoins en termes d'énergie de pointe et de capacité de régulation vont augmenter dans l'ensemble du réseau d'interconnexion européen. Dans ce contexte, l'importance des centrales de pompage-turbinage ne va cesser de se renforcer. Dans le même temps, leur rentabilité doit faire l'objet d'une surveillance rapprochée.

## 6. Sources

AES 2012	Pöyry Management Consulting, Supply and Demand of Flexible Generation Capacity in Switzerland, Association des entreprises électriques suisses VSE/AES, Aarau, 2012
Axpo	<a href="http://www.axpo.ch">www.axpo.ch</a>
BMU	<a href="http://www.erneuerbare-energien.de">www.erneuerbare-energien.de</a> (Ministère allemand de l'environnement, de la protection de la nature, de la sécurité nucléaire et des énergies renouvelables)
Clark 2010	P. J. Clark, Effects of Steam Sample Degassing on CCGT Station Start-up Profile, PowerPlant Chemistry 2010, 12(4), pp. 246-251, Bristol, 2010
Eurelectric 2011	Hydro in Europe: Powering Renewables (full report), Eurelectric, Bruxelles, 2011
Nant de Drance	<a href="http://www.nant-de-drance.ch">www.nant-de-drance.ch</a>
OFEN 2012	Production et consommation totales d'énergie électrique en Suisse 2011, Office fédéral de l'énergie OFEN, Berne, 2012
OFEN 2013	Statistique suisse de l'électricité 2012, Office fédéral de l'énergie OFEN, Berne, 2013
OFEN 2013a	Production et consommation totales d'énergie électrique en Suisse 2012, Office fédéral de l'énergie OFEN, Berne, 2013
OFEN 2013b	Statistique des aménagements hydroélectriques de la Suisse, 01.01.2013, Office fédéral de l'énergie OFEN, Berne, 2013
PSI 2005	S. Hirschberg et al., Ganzheitliche Betrachtung von Energiesystemen (GaBE), Neue erneuerbare Energien und neue Nuklearanlagen: Potenziale und Kosten, Institut Paul Scherrer, Villigen, mai 2005
Repower	<a href="http://www.repower.com">www.repower.com</a>