

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

Document de connaissances de base, état: mars 2020

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 dispositifs de stockage devraient continuer à prendre de l’importance. À l’avenir, les centrales de pompage-turbinage, en tant que dispositifs de stockage, 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 nominale de l’alternateur de 15 480 MW, avec une production moyenne escomptée de 36,4 TWh d’électricité chaque année.¹

L’électricité issue de la force hydraulique représentait 55% de la production électrique suisse en 2018 (37,4 TWh sur un total de 67,6 TWh), dont la majeure partie a été produite par les grandes centrales hydroélectriques et un peu plus de 5% par les petites centrales hydroélectriques. L’hydraulique est divisée en trois catégories²:

- **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.
- **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. 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. Elles sont généralement intégrées à de grandes centrales à accumulation.

¹ Source: OFEN 2019a

² Source: OFEN 2019b

En résumé, l'hydraulique s'est présentée comme suit en 2018 (état au 1^{er} janvier 2019):

Type de centrale	Nombre	Puissance totale (MW)	Production attendue (hors pompage-turbinage pur) en GWh		
			Hiver	Été	Annuelle
Centrale au fil de l'eau	548	4133	6264	11 423	17 687
Centrale à accumulation	80	8223	8148	9059	17 207
Centrale de pompage-turbinage	15	2562	964	590	1554
Total	643	14 918	15 376	21 072	36 448

Tableau 1. Puissance maximale et valeurs moyennes de production annuelle escomptées pour les installations hydroélectriques (> 300 kW) de Suisse. Source: OFEN 2019c.

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

3. État 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 et pompent lorsque celui-ci est bas. Les différences de prix entre courant pompé et courant turbiné sont donc un facteur important pour ces centrales.

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

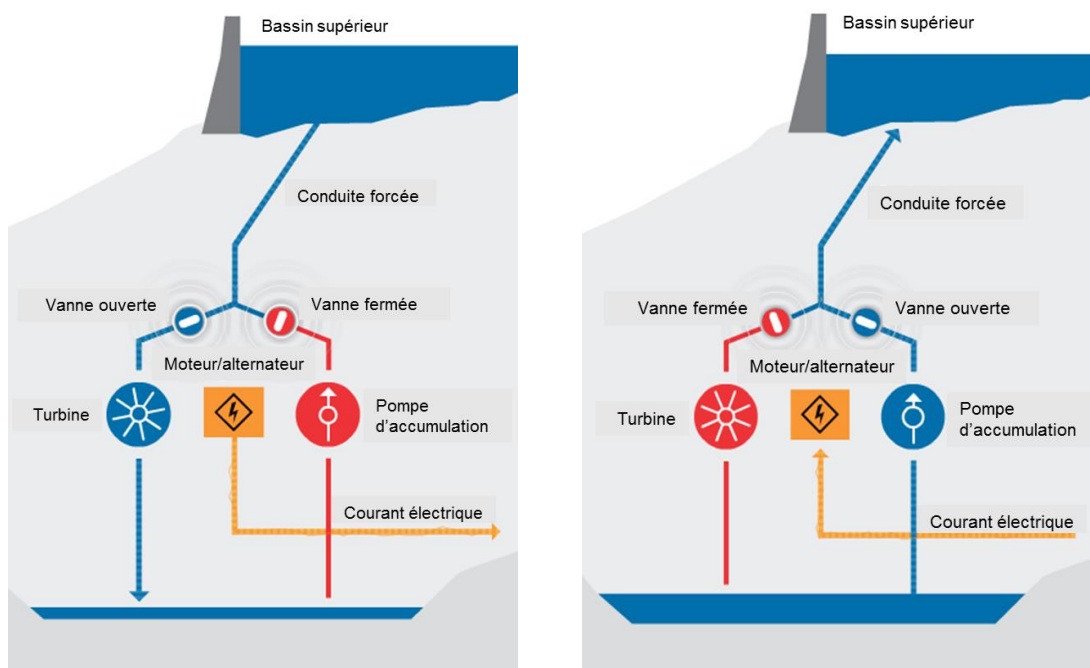


Illustration 1. Centrale de pompage-turbinage en mode de turbinage (à gauche) et en mode de pompage (à droite).
Source: Axpo.

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 15 centrales de pompage-turbinage en service, dont les plus grandes se trouvent dans les bassins du Rhône, du Rhin et de la Limmat:

Cours d'eau	Nombre de centrales	Puissance installée (MW)	Production moyenne escomptée (GWh)		
			Hiver	Été	Année
Rhin	2	400	196	194	389
Aar Reuss	1	55	13	26	39
Limmat	3	1181	196	122	318
Rhône	6	671	404	200	605
Tessin	2	209	87	28	116
Adda / Inn / Adige	1	46	68	20	87
Total	15	2562	964	590	1554

Tableau 2. Vue d'ensemble des centrales de pompage-turbinage suisses. Source: OFEN 2019d.

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.
- Les centrales en construction et deux centrales ne comportant qu'un dispositif de pompage 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 15 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, rapportée à la production globale, 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, comme le montre

l'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.

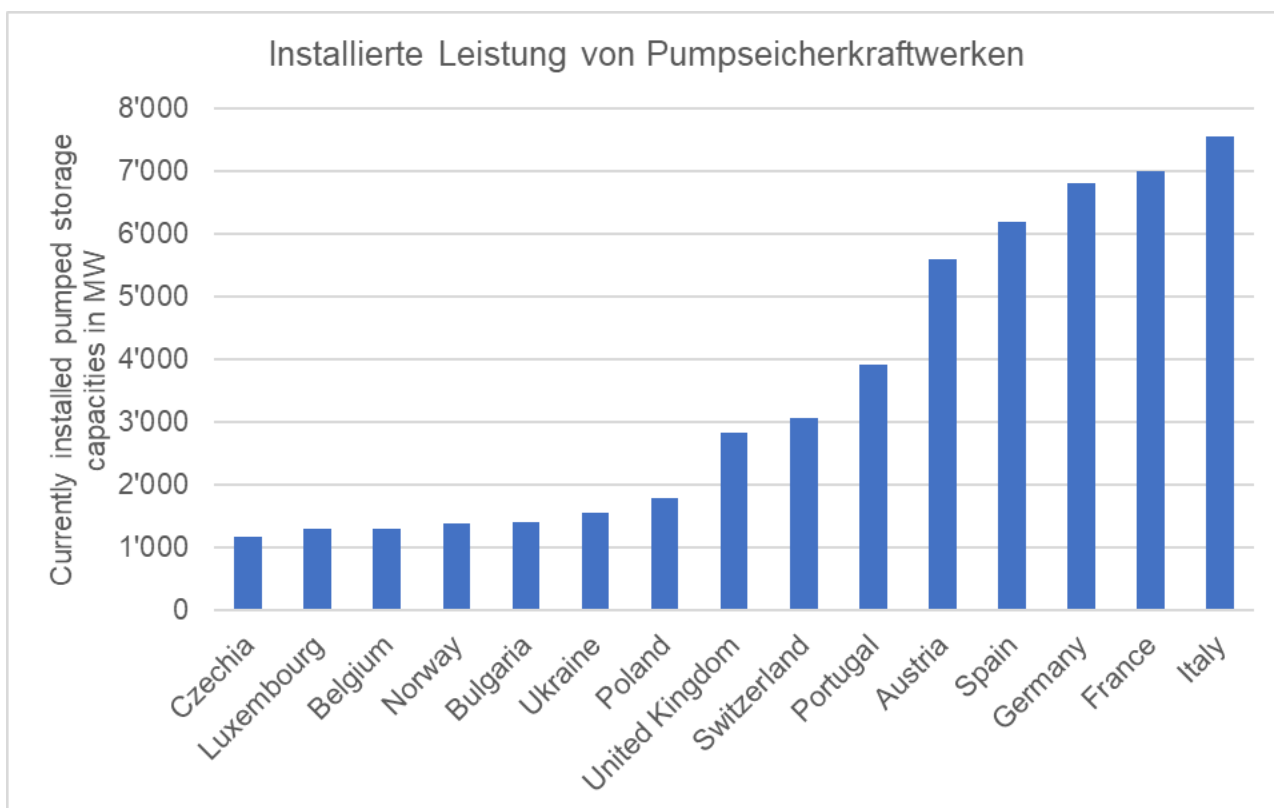


Illustration 2. Puissance installée des centrales de pompage-turbinage en Europe en 2018. Source: IHA 2019.³

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 et revêtent par conséquent une importance centrale pour l'exploitation stable du réseau, c'est-à-dire la sécurité d'approvisionnement. Dans ce contexte, les centrales de pompage-turbinage peuvent avoir un effet stabilisateur en cas de besoins supplémentaires (pompage) et d'offre supplémentaire (turbinage).

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

³ Par rapport au Tableau l'**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** représente en plus les centrales de pompage-turbinage pur.

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 (en construction) et de Linth-Limmern (mis en exploitation fin 2017).

3.5.1 Nant de Drance (statut: en construction)



Illustration 3. Émosson et Vieux Émosson. Source: Nant de Drance.

La centrale de pompage-turbinage de Nant de Drance se trouve dans le canton du Valais, sur le territoire de la commune de Finhaut, entre Martigny et Chamonix. Elle utilise la hauteur de chute entre les lacs de retenue Vieux Émosson (2225 m d'altitude) et Émosson (1930 m d'altitude) pour générer de l'énergie. Pourvue de six turbines de 150 MW chacune, elle dispose d'une puissance de turbinage et de pompage de 900 MW et doit produire chaque année environ 2500 millions de kWh (2,5 TWh), avec un rendement de plus de 80% pour l'ensemble de son cycle d'exploitation (soit une consommation d'énergie de pompage d'environ 3100 millions de kWh).

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 partir de 2020. Il s'agit d'un projet commun d'Alpiq (participation à hauteur de 39%), des CFF (36%), d'IWB (15%) et de FMV (10%), dont les coûts s'élèvent à environ 2 milliards de francs.⁴

3.5.2 Centrales de Linth-Limmern

Dans le cadre du projet Linthal 2015 de la société Axpo, on a construit 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. La puissance de turbinage des centrales de Linth-Limmern est ainsi portée d'environ 520 MW à 1520 MW. En 2015, le premier groupe de machines a pu être synchronisé avec le réseau. L'exploitation commerciale de l'installation complète a été lancée fin 2017. Les frais d'investissement pour ce projet se chiffrent à quelque 2,1 milliards de francs.⁵

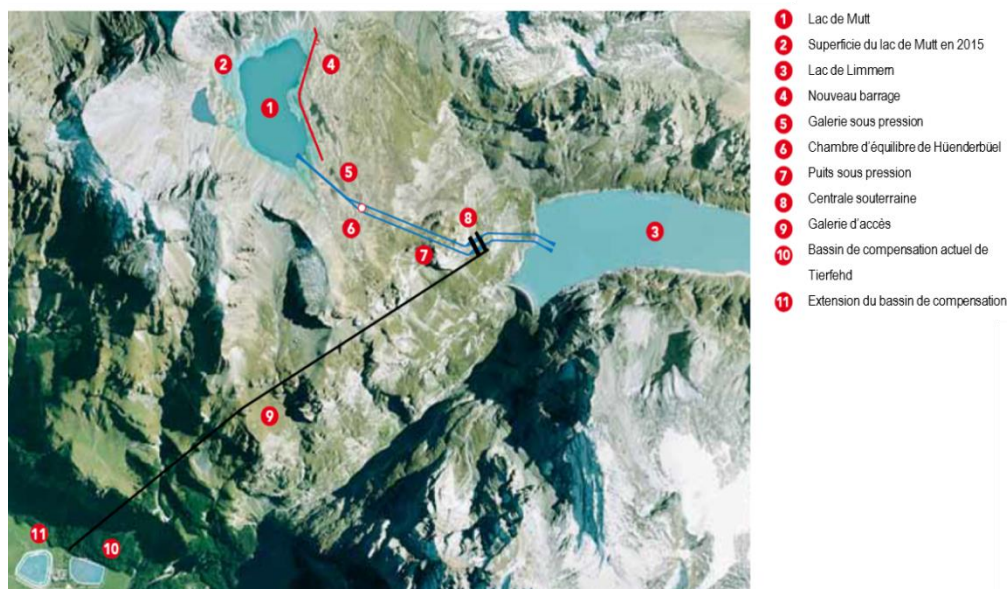


Illustration 4. Centrales de Linth-Limmern. Source: Axpo.

4. Évolutions futures

Les centrales de pompage-turbinage pompent 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. Actuellement, le turbinage a lieu le matin et le soir, pendant la charge de pointe. Dans les années à venir, ce mode d'exploitation sera encore davantage modifié. En effet, il faut s'attendre à ce que le développement progressif de l'électricité issue des énergies éolienne et solaire ait à long terme un effet encore plus dynamisant sur l'exploitation des installations⁶: 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-end». L'eau pourra alors également être pompée en

⁴ Source: Nant de Drance 2019

⁵ Source: Axpo 2019

⁶ Source: AES 2012

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.

À l'avenir, les centrales de pompage-turbinage pourront stocker 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.

1 À long terme, d'ici à 2035, on s'attend à des injections supplémentaires issues des énergies renouvelables.
 2 Grâce à leur grande flexibilité, les centrales de pompage-turbinage suisses peuvent contribuer à couvrir la
 3 hausse de flexibilité de la demande au niveau national et dans d'autres régions européennes. Le recours
 4 basé sur le marché peut toutefois avoir un effet de sollicitation du réseau, car les flux de transit nord-sud en
 5 Allemagne sont augmentés, par exemple. Le recours efficace aux centrales de pompage-turbinage dépend
 6 donc fortement des capacités de transport disponibles, ainsi que des possibilités d'exploitation
 7 transfrontalières.⁷

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). Cela a tendance à influencer de manière négative sur les rendements de ces centrales.

5. Bilan

En fonction de la structure des prix sur le marché de l'électricité, les centrales de pompage-turbinage sont non seulement judicieuses du point de vue de l'économie énergétique, mais elles participent aussi 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 augmentent dans l'ensemble du réseau d'interconnexion européen. Dans ce contexte, les centrales de pompage-turbinage devraient conserver leur importance à long terme. Dans le même temps, leur rentabilité doit faire l'objet d'une surveillance rapprochée, à condition que l'UE autorise les centrales de pompage-turbinage de Suisse à participer au marché énergétique européen sans désavantages réglementaires.

⁷ Source: RWTH Aachen, 2014

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 2019	www.axpo.ch
IHA 2019	International Hydropower Association, Hydropower Status Report, London, 2019
Nant de Drance 2019	www.nant-de-drance.ch
OFEN 2019a	Stand der Wasserkraftnutzung in der Schweiz am 1. Januar 2019; Office fédéral de l'énergie OFEN, Berne, tableau «Bestehende und im Bau befindliche Zentralen», 3 avril 2019
OFEN 2019b	Statistique suisse de l'électricité 2018, Office fédéral de l'énergie OFEN, Berne, tableau 8, 21 juin 2018
OFEN 2019c	Stand der Wasserkraftnutzung in der Schweiz am 1. Januar 2019; Office fédéral de l'énergie OFEN, Berne, tableaux 21, 22 et 23, 1 ^{er} janvier 2019
OFEN 2019d	Stand der Wasserkraftnutzung in der Schweiz am 1. Januar 2019; Office fédéral de l'énergie OFEN, Berne, tableau 19, 1 ^{er} janvier 2019
RWTH Aachen 2014	Bewertung des Beitrags von Speichern und Pumpspeichern in der Schweiz, Österreich und Deutschland zur elektrischen Energieversorgung, Aachen, 27 juin 2014