

# Grande hydraulique

Document de connaissances de base, état : juillet 2020

## 1. Synthèse

Avec une part de 57%, la force hydraulique est la première source de production électrique en Suisse. Additionnées à l'énergie nucléaire, les 1500 centrales hydroélectriques constituent le pilier de l'approvisionnement en électricité du pays. La grande hydraulique est actuellement la technologie la plus importante, et de loin, elle est renouvelable et excelle en outre avec de faibles émissions de gaz à effet de serre.

Selon la Loi sur l'énergie en vigueur, la production hydraulique annuelle moyenne doit atteindre 37 400 GWh d'ici à 2035. Le potentiel de la force hydraulique en matière de production électrique est largement influencé par les conditions politiques. Par ailleurs, ce potentiel est pour l'heure pratiquement épuisé, les meilleurs sites de production étant déjà en grande partie utilisés. Actuellement, le potentiel d'expansion d'ici à 2035 est évalué à 5% maximum, c'est-à-dire à 2 TWh/an, selon les sources et les conditions-cadre.

Les centrales à accumulation permettent de reporter une partie de la production à plus ou moins long terme. Ces systèmes retiennent l'eau de pluie et l'eau de la fonte des neiges au printemps et en été, afin de décaler la production en hiver. Si les possibilités de construction de nouveaux sites ou d'expansion des centrales à accumulation existantes sont désormais très limitées, il est toutefois encore possible d'augmenter le rendement.

Les centrales de pompage-turbinage sont de plus en plus nombreuses dans le cadre d'une exploitation optimale de l'énergie éolienne et photovoltaïque, dont la nature est irrégulière, ainsi que dans le cadre de la transformation de l'énergie en ruban en énergie de pointe. Le transfert nécessaire s'effectue avant tout à l'échelle horaire ou hebdomadaire. Une accélération du développement dans l'environnement de marché actuel est très improbable, car la compétitivité de la grande hydraulique est fortement impactée par la faiblesse des prix de l'électricité.

## 2. Situation actuelle en Suisse

Le parc de centrales hydroélectriques de la Suisse se compose aujourd'hui (au 31 décembre 2019) de 674 centrales (d'une puissance d'au moins 300 kW), qui produisent quelque 36 567 gigawattheures d'électricité par an en moyenne. Environ 48,7% de ce total sont produits dans des centrales au fil de l'eau, 47,0% dans des centrales à accumulation et environ 4,3% dans des centrales de pompage-turbinage. Quelque 63% de cette énergie proviennent des cantons de montagne suivants : Valais, Grisons, Tessin et Uri. Les cantons d'Argovie et de Berne apportent eux aussi des contributions importantes. Près de 11% de la production hydroélectrique suisse sont issus d'installations internationales situées sur les cours d'eau frontaliers. L'utilisation de la force hydraulique possède un volume de marché d'environ 1,8 milliard de francs (à 5 ct./kWh au départ de la centrale), représentant ainsi une branche importante de l'économie énergétique suisse.

Avec la Stratégie énergétique 2050, la Confédération veut augmenter la production annuelle moyenne d'électricité issue de l'hydraulique à 38 600 gigawattheures d'ici à 2050 (et à 37 400 GWh d'ici à 2035). Pour exploiter le potentiel réalisable, il faut à la fois rénover et développer des centrales existantes, et construire de nouvelles centrales hydroélectriques, et ce en tenant compte des exigences écologiques. La Confédération veut aussi encourager l'utilisation de l'hydraulique dans le premier volet de mesures de la Stratégie énergétique 2050 au moyen de différentes mesures. Les instruments à cet effet sont la rétribution à prix coûtant du courant injecté (adaptée) pour les nouvelles centrales hydroélectriques d'une puissance allant jusqu'à 10 mégawatts, ainsi que les contributions d'investissement prévues pour les rénovations ou les extensions de centrales hydroélectriques d'une puissance allant jusqu'à 10 MW. De plus, diverses mesures améliorant les conditions-cadre pour l'hydraulique (intérêt national, concept pour le développement des énergies renouvelables, procédures d'approbation simplifiée), ainsi que des mesures de soutien dans le cadre de SuisseÉnergie sont prévues.

À l'heure actuelle, environ 1500 centrales hydroélectriques sont exploitées en Suisse.<sup>1</sup> La production suisse issue de la petite et de la grande hydraulique s'élève à environ 36 TWh. Les centrales à accumulation en consomment environ 3 TWh, réduisant la production nette d'électricité à 33 TWh.<sup>2</sup> Près de 10% de la production sont issus de la petite hydraulique, dont les centrales disposent d'une puissance inférieure à 10 MW.<sup>3</sup> Les 55% de la production suisse que représente la force hydraulique sont imputables pour environ 50% à la grande hydraulique et pour un peu plus de 5% à la petite hydraulique. La grande hydraulique se subdivise en trois catégories :

- **Les centrales au fil de l'eau** : elles transforment en énergie électrique les différences de niveau le long des cours d'eau. La production est déterminée par la quantité d'eau disponible et peut donc difficilement être régulée.
- **Les centrales à accumulation** : l'eau peut être stockée dans les lacs de retenue, majoritairement situés en altitude dans les Alpes, et prélevée en cas de besoin accru en énergie à des fins de production électrique. Toutefois, seule une partie de la production des centrales à accumulation peut être régulée, les flux en aval des lacs de retenue étant plus ou moins assimilés aux cours d'eau.
- **Les centrales de pompage-turbinage** : ces centrales pompent l'eau depuis un bassin inférieur, la transportent vers des lacs de retenue situés plus en altitude et la réutilisent plus tard afin de produire de l'électricité. Elles ne produisent ainsi pas d'énergie supplémentaire, mais permettent d'augmenter la puissance disponible. Elles sont la plupart du temps intégrées à de grands complexes de centrales à accumulation.

L'eau en tant que source d'énergie est disponible toute l'année, toutefois on observe de nettes **variations** :

- Si, généralement, une grande quantité d'eau coule en été, les flux se réduisent fortement en hiver, surtout dans les Alpes. Seul le stockage de l'eau dans des lacs de retenue permet de maintenir un rapport de l'ordre de 60-40 entre la production estivale et la production hivernale. Sans ce stockage, la production hivernale s'élèverait à moins de 30%. Les lacs de retenue possèdent une capacité énergétique d'environ 7 TWh d'électricité, ce qui correspond à environ 10% de la consommation énergétique suisse annuelle.

---

<sup>1</sup> OFEN 2020 et AES 2020

<sup>2</sup> OFEN 2020

<sup>3</sup> AES 2020

- Les différences entre les années sèches et les années pluvieuses sont considérables : on observe régulièrement des variations de 10 à 15% par rapport à la valeur moyenne.

Les centrales hydroélectriques – particulièrement les centrales à accumulation avec leurs lacs de retenue – contribuent de manière substantielle à la protection contre les crues. Dans la mesure où les risques de crue ont tendance à s'aggraver en raison du réchauffement climatique, cette fonction pourrait gagner davantage en importance et même être développée activement.

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

Les technologies actuellement utilisées dans le cadre de la production hydroélectrique sont largement au point, tant du point de vue du rendement des machines, supérieur à 90%, que de celui du rendement de l'ensemble des installations, de 80%.<sup>4</sup> La rénovation et la modernisation des installations permettraient d'améliorer l'efficacité et d'augmenter la production. Par conséquent, les efforts se concentrent ces derniers temps avant tout sur des mesures destinées à accroître l'efficacité des installations existantes et sur l'optimisation de la rentabilité des projets planifiés ou en cours de réalisation.

La mise à disposition d'énergie électrique de pointe pour le réseau d'interconnexion européen et les variations de charge fréquentes qui en résultent entraînent une évolution des exigences techniques auxquelles les composants hydrauliques et électromécaniques des centrales doivent être à leur tour adaptés. À défaut, la durée de vie des différents composants des installations diminue, notamment en raison d'une plus grande usure des turbines et des pompes, liée à une fréquence accrue des arrêts et des mises en service. S'ajoutent à cela les problèmes écologiques causés par les fortes variations des flux (éclusées) lorsque de nombreuses centrales à accumulation fonctionnent en même temps en amont d'un cours d'eau sur une courte période.<sup>5</sup> Ces problèmes et leur résolution font l'objet d'études approfondies.

Le temps nécessaire à la planification, à l'obtention des autorisations nécessaires et à la construction d'une nouvelle centrale hydroélectrique varie considérablement en fonction de la taille, de l'ampleur des travaux et des conditions locales. Il faut compter au minimum entre 8 et 10 ans, les procédures d'autorisation pouvant considérablement rallonger le processus en cas de refus potentiels.

### 4. Potentiel

Les conditions-cadre sont déterminantes pour le potentiel futur de la force hydraulique. Les obligations relatives à la protection des eaux et du paysage conduisent à la mise en place de règles relatives aux débits minimaux, aux éclusées, etc. Par ailleurs, les mesures d'encouragement offrent ou entravent les investissements, et les droits d'exploitation imposés en cas de renouvellement de concession ou de nouvelle concession peuvent conduire à des restrictions. La modification des conditions hydrologiques et un mode d'exploitation durable pourront à l'avenir générer une réduction des capacités d'accumulation, par exemple en raison du dépôt croissant de sédiments. Les principaux thèmes et les études du programme de recherche Force hydraulique de l'OFEN y accordent d'ailleurs l'importance correspondante.

---

<sup>4</sup> ASAE 2012

<sup>5</sup> OFEN 2011

Dans le cadre de la Stratégie énergétique 2050 de la Confédération, adoptée par le peuple suisse le 21 mai 2017, différentes mesures de soutien en faveur de l'hydraulique ont été introduites. Les nouvelles grandes installations hydroélectriques (d'une puissance supérieure à 10 MW) ainsi que les rénovations ou agrandissements considérables d'installations hydroélectriques reçoivent des contributions d'investissement. De plus, il est possible de demander une prime de marché pour le courant électrique provenant de la grande hydraulique suisse qui doit être vendu sur le marché en dessous des coûts de revient.

#### 4.1 Installations planifiées ou en cours de construction

On ne peut aborder la question du potentiel sans évoquer les installations en cours de planification ou de construction, ainsi que les potentiels réalisables d'après différentes études. Tandis que le développement des capacités des centrales était encore considéré comme peu attractif au milieu des années 90, du fait des surcapacités du marché de l'énergie européen, une série de projets de transformation et d'extension ont vu le jour et sont passés en phase de réalisation ces dernières années. Le marché de l'énergie s'est fixé des objectifs déjà ambitieux.

Fin 2019, certaines centrales hydroélectriques se trouvaient encore en construction ou en transformation. L'augmentation de la puissance grâce à ces activités se monte à 1132 MW, y compris le plus gros projet, celui de Nant de Drance (VS). En octobre 2018, les travaux de construction de la nouvelle centrale de Ritom (TI) ont commencé, une installation dotée de turbines Pelton de 2 x 60 MW et une pompe de 60 MW. Dans le Prättigau, le projet Chlus est prévu, une centrale hydroélectrique avec 62 MW de puissance installée, pour une production annuelle d'environ 237 GWh.

En 2017, la nouvelle centrale de pompage-turbinage des Kraftwerke Linth-Limmern a été mise en service avec une puissance de pompage et une puissance de turbine de 1000 MW chacune. La même année, à Veytaux (VD), l'installation de pompage-turbinage affichant la deuxième plus grosse puissance de Suisse (480 MW, dont 60 MW servant de réserve) a été officiellement inaugurée dans le cadre du projet Forces Motrices Hongrin-Léman.

Ces centrales de pompage-turbinage apportent une contribution importante à la sécurité d'approvisionnement et correspondent parfaitement à la Stratégie énergétique 2050. Il existe par ailleurs des projets n'ayant pas encore obtenu d'autorisation :

- Massongex-Bex Rhône, avec 20 MW et env. 95 GWh,
- Rhône Oberwald, avec 12,4 MW et env. 39 GWh,
- Rhône-Grande Dixence, avec 2000 MW.

L'éventualité de l'exploitation complète de ce potentiel et son échéance, ainsi que la pertinence de cette exploitation sur le plan économique et énergétique (durée de la disponibilité du travail et de la puissance) sont étudiées dans le présent document en corrélation avec la rentabilité des investissements réalisés dans l'environnement de marché actuel (cf. chapitre 7).

#### 4.2 Potentiel de développement supplémentaire

Le potentiel théorique total de la grande hydraulique en Suisse représente 100 à 150 TWh. Celui-ci se base sur l'hypothèse d'une utilisation de la quasi-totalité de l'eau contenue par les cours d'eau. Par conséquent, il s'agit d'un potentiel théorique qui ne peut être exploité sans un changement de paradigme important et

complet ni sans la mise en œuvre de nouvelles technologies.<sup>6</sup> Le potentiel technique de la force hydraulique désigne quant à lui la quantité d'énergie réellement utilisable dans des conditions techniques données. En Suisse, ce potentiel est évalué à environ 40 TWh<sup>7</sup>, mais il est déjà exploité à 90-95%.

Le potentiel de développement réalisable est pertinent pour la considération suivante, dans la mesure où il peut être exploité de façon réaliste et rentable en tenant compte des facteurs limitants comme la protection du paysage ou des eaux, voir figure 1. Le parc de centrales hydroélectriques existant exploite déjà actuellement la quasi-totalité des ressources hydriques disponibles pour la production électrique. Une étude du potentiel réalisée par la Confédération en 2012 chiffre la hausse potentielle de la production de toutes les centrales hydroélectriques (y compris la petite hydraulique) à 1,5 à 3 TWh, selon l'assouplissement des dispositions de protection.<sup>8</sup>

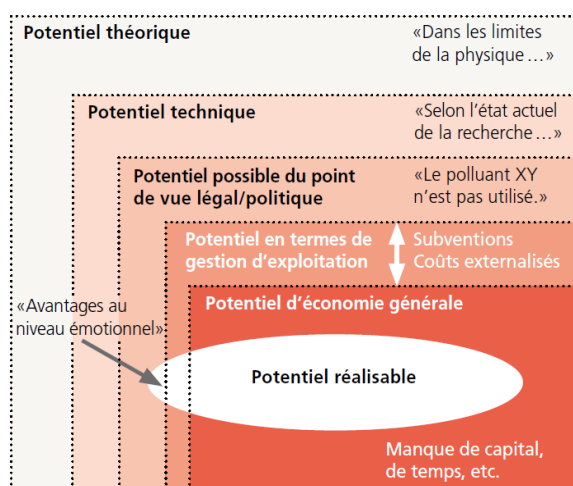


Figure 1 : Les potentiels de différents niveaux<sup>9</sup>

Dans sa Stratégie énergétique 2050, le Parlement a fixé la valeur indicative pour la production annuelle moyenne issue de l'hydraulique en 2035 à 37 400 GWh.<sup>10</sup> Depuis 2012, les conditions-cadre pour l'hydraulique suisse ont toutefois beaucoup changé : les mesures d'encouragement (système de rétribution de l'injection, contributions d'investissement, prime de marché), les conditions-cadre écologiques et d'aménagement du territoire, l'environnement de marché ainsi que les technologies disponibles ont entraîné une adaptation en 2019.<sup>11</sup> Pour la grande hydraulique, le potentiel de développement des nouvelles constructions d'ici à 2050 reste du même ordre grandeur que dans l'étude de 2012<sup>12</sup>, même avec des conditions d'utilisation optimisées; quant au potentiel lié aux extensions et aux rénovations d'installations existantes, il n'a pas changé non plus par rapport à 2012, se maintenant à 1530 GWh/an. Les estimations sur les pertes de production dues aux dispositions relatives aux débits résiduels atteignent 1900 GWh/an.

L'Association suisse pour l'aménagement des eaux évalue le supplément net de production issu de la grande et de la petite hydraulique à 05 TWh d'ici à 2050, déduction faite de la diminution de la production en

<sup>6</sup> OFEN 2004

<sup>7</sup> AES 2006

<sup>8</sup> OFEN 2012b

<sup>9</sup> AES 2012, page 30

<sup>10</sup> OFEN 2020

<sup>11</sup> OFEN 2019b

<sup>12</sup> 1380 GWh/an estimés en 2019, par rapport à 1430 GWh/an en 2012

raison des dispositions relatives aux débits résiduels.<sup>13</sup> Du point de vue de la gestion des eaux, il est probable que la réalisation de ce potentiel nécessite impérativement des compromis en matière de protection du climat, des eaux et du paysage. Selon les estimations du secteur, le potentiel de développement futur des installations hydroélectriques réside avant tout dans l'extension des installations existantes et dans la construction de nouvelles installations triées sur le volet. Par ailleurs, une interprétation modérée des dispositions relatives aux débits résiduels pourrait permettre d'éviter les pertes futures.<sup>14</sup>

L'Association suisse pour l'aménagement des eaux considère l'objectif évoqué comme extrêmement ambitieux et table sur les potentiels conformément au tableau 1 : Variation de la production nette d'ici à 2050 en fonction des conditions-cadre. Celles-ci sont formulées en fonction des conditions-cadre plus ou moins favorables au développement des centrales hydroélectriques (grande et petite hydraulique).

Variation nette des conditions-cadre	Oui	Non
Amélioration de l'efficacité des installations existantes	+1 TWh	+0,5 TWh
Agrandissement / transformation des installations existantes	+1 à +2 TWh	+0,5 à +1,5 TWh
Construction de nouvelles centrales hydroélectriques (grande et petite hydraulique)	+3 à +4 TWh	+1 TWh
<b>Potentiel brut</b>	<b>+5 à +7 TWh</b>	<b>+2 à +3 TWh</b>
Pertes en faveur du débit résiduel	-1 à -2 TWh	-2 à -4 TWh
Pertes résultant du changement climatique	0 TWh	0 TWh
<b>Variation de la production nette</b>	<b>+4 à +5 TWh</b>	<b>0 à -1 TWh</b>

Tableau 1 : Variation de la production nette d'ici à 2050 en fonction des conditions-cadre<sup>15</sup>

L'incertitude persiste aussi quant à l'exploitation des centrales hydroélectriques. Les droits d'exploitation des cours d'eau vont revenir en grand nombre aux cantons au cours des prochaines années. Les exploitants de centrales hydroélectriques ne disposent globalement d'aucune certitude quant au renouvellement des concessions et à leur aménagement, par exemple en termes de débits résiduels. L'expiration des concessions hydrauliques peut donc non seulement conduire dans certains cas à des modifications juridiques et financières, mais tend également à entraîner une restriction de la production hydroélectrique.<sup>16</sup>

Pour que la contribution de l'hydraulique indigène et renouvelable à l'approvisionnement suisse en électricité soit maintenue, voire qu'elle augmente, il faut une politique clairvoyante qui non seulement veille à la production existante, mais met aussi en place des conditions-cadre adaptées pour le renouvellement ainsi que l'extension économique et respectueuse de l'environnement. Les orientations suivantes figurent alors au premier plan :

- Abandon des subventions pesant des milliards, qui discriminent la grande hydraulique.
- Tout nouveaux mécanismes de marché qui récompensent les avantages de l'hydraulique indigène.
- Garantie des produits de la production hydraulique existante par un soulagement des taxes et des exigences en hausse constante.
- Renonciation à d'autres exigences non indemnisées envers l'hydraulique, comme par exemple les rémunérations pour l'utilisation du réseau pour les centrales de pompage-turbinage.

<sup>13</sup> ASAE 2012, page 9

<sup>14</sup> ASAE 2012

<sup>15</sup> ASAE 2012, page 9

<sup>16</sup> ASAE 2012

- Réduction au minimum des pertes de production dues aux assainissements selon la Loi sur la protection des eaux et indemnisation totale des coûts afférents.
- Autorisation d'installations conformes à l'objectif de protection dans les zones IFP avec une grande importance au niveau de la politique énergétique, mais de faibles répercussions sur l'environnement.

La conception des conditions-cadre doit tenir compte des principaux instruments de la rentabilité de l'hydraulique. Outre les quantités de production qui agissent directement sur les coûts spécifiques d'une installation, il s'agit des taxes et redevances aux administrations publiques qui constituent déjà les plus gros facteurs de coûts dans les installations existantes. En adaptant les conditions en faveur de la production d'électricité, une augmentation du rendement annuel d'énergie provenant de l'hydraulique indigène d'environ 2 à 3 TWh est envisageable. Au contraire, sans corrections, il faut compter à long terme avec un recul de la production attendue.

## 5. Estimation de la puissance disponible et de la qualité de l'énergie

La grande hydraulique constitue l'épine dorsale de l'approvisionnement énergétique suisse du fait de sa grande capacité de puissance (près de 16 500 MW de puissance installée) et de sa flexibilité d'utilisation. Les centrales au fil de l'eau fournissent la charge de base, tandis que les centrales à accumulation et les centrales de pompage-turbinage sont utilisées pour produire la charge de pointe et pour les phases de transfert saisonnières. La force hydraulique représente par conséquent une ressource d'énergie et de puissance très précieuse.

En 2005/2006, l'OFEN et l'AES ont effectué conjointement un relevé de la puissance produite par les centrales >300 kWh en période de pénurie. Ils ont ainsi mesuré le rapport entre la puissance en période de pénurie et la puissance installée lors d'une vague de froid d'une durée de 72 heures au mois de janvier, avec pour résultat les valeurs suivantes :

- 25% pour les centrales au fil de l'eau,
- 65% pour les centrales à accumulation,
- 81% pour les centrales de pompage-turbinage.

Les résultats montrent notamment que dans le cadre d'une vague de froid de ce type, les centrales peuvent à peine couvrir les besoins de puissance de la Suisse.

La force hydraulique constitue également le complément indispensable aux énergies renouvelables stochastiques provenant du photovoltaïque et de l'éolien, pour adapter la production d'électricité à la demande en l'espace de quelques minutes à quelques semaines. Cela ne concerne pas uniquement les (grandes) centrales de pompage-turbinage classiques. En effet, des modifications du mode d'exploitation et éventuellement des investissements de diverses natures sont également prévisibles dans cette direction pour les ouvrages conçus comme des centrales à accumulation.

Une étude de l'OFEN sur les caractéristiques d'utilisation donne une puissance disponible telle qu'indiquée dans le tableau 2. Toutefois, il s'agit là d'une approche différente de celle adoptée pour l'observation de la vague de froid décrite précédemment.

Rapport entre la puissance disponible et la puissance installée pendant le semestre d'hiver	Aujourd'hui et d'ici à 2050
Charge de base	25% centrales au fil de l'eau
Charge de pointe	61% centrales de pompage-turbinage 81% centrales à accumulation

Tableau 2 : Puissance disponible selon le type de centrale hydroélectrique pendant la saison d'hiver d'ici à 2050<sup>17</sup>

## 6. Coûts de revient

Étant donné la grande influence des conditions naturelles, chaque centrale hydroélectrique est conçue «sur mesure» pour chaque site, avec les conséquences financières que cela implique, tant en termes d'investissement que de coûts de revient de l'énergie. Il est ainsi impossible de définir des «coûts standard» pour une centrale hydroélectrique. Les chiffres reflètent donc généralement une moyenne des différentes centrales existantes.

L'hydraulique fait partie des sources d'électricité les moins chères. Selon le site, la réalisation et l'état des installations ainsi qu'en fonction de la quantité d'eau disponible annuellement, les coûts de revient varient de 3 à 10 centimes par kilowattheure. Dans les études actuelles, les coûts moyens se chiffrent, selon la prise en compte des rendements de capitaux, de la planification de l'utilisation des centrales et de la commercialisation, entre 4,5 et 6,4 centimes par kilowattheure pour les centrales au fil de l'eau, et entre 5,9 et 8,2 centimes par kilowattheure pour les centrales à accumulation<sup>18</sup>, avec une répartition comme dans le tableau 3 par exemple.

Bloc de coûts	Fourchette
Coûts induits par les investissements (coûts de capitaux, amortissements)	40%
Taxes et redevances publiques (redevance hydraulique, impôts, ...)	35%
Coûts d'exploitation (personnel, matériel, prestations de tiers, ...)	25%

Tableau 3 : Blocs des coûts de revient de l'électricité pour la grande hydraulique suisse<sup>19</sup>

Les exploitants n'ont aucune influence sur de nombreux facteurs. En voici quelques exemples :

- Certaines dispositions réglementaires, comme la Loi sur la protection des eaux, qui induit une baisse de la production, ou l'Ordonnance sur les ouvrages d'accumulation, qui entraîne des frais d'assurance plus élevés.
- Redevance hydraulique : son évolution depuis son introduction en 1918 montre une augmentation continue et substantielle. Un nouveau modèle à partir de 2025 au plus tard est en discussion (voir chapitre 10).
- Versement d'un dédommagement de l'exploitant au concessionnaire en cas de nouvelle concession ou de renouvellement d'une concession existante.
- Les durées de concession plus courtes abaissent la durée d'utilisation et, par conséquent, la durée de l'amortissement du point de vue des investisseurs.

<sup>17</sup> OFEN 2007

<sup>18</sup> ASAE 2017

<sup>19</sup> ASAE 2017



- Après la catastrophe de Fukushima, de nouveaux critères de sécurité antisismiques valent pour l’avenir également pour les centrales hydroélectriques (à accumulation).
- D’autres dispositions relatives à l’environnement, plus onéreuses (débits résiduels, assainissement des passes à poissons) mettent la rentabilité à rude épreuve.
- Les coûts d’exploitation augmentent en raison du raccourcissement des cycles des pompes et des turbines dans les centrales de pompage-turbinage.

Le tableau 4 présente des estimations concernant les coûts de revient des nouvelles constructions et des transformations. Le calcul des coûts d’investissement se base sur un mélange proportionnel des deux types d’aménagement. Les coûts de revient de l’électricité sont calculés avec un taux d’intérêt de 5% et 10%, et une durée de vie de 40 ans, ce qui donne la fourchette indiquée ci-dessus. Les estimations ont été effectuées sur la base de 4400 heures de pleine charge d’exploitation pour les centrales au fil de l’eau, et de 2200 heures pour les centrales à accumulation et les centrales de pompage-turbinage.

<b>Coûts des constructions et des transformations en 2015, 2035 et 2050</b>		
	<b>Centrale au fil de l’eau</b>	<b>Centrale à accumulation</b>
Coûts d’investissement [CHF/kW]	5300	4750
Exploitation et entretien par an	1% des coûts d’investissement	0,5% des coûts d’investissement
Redevance hydraulique [ct./kWh]	1,1	1,1
Coûts de revient [ct./kWh]	10–19	17–32

Tableau 4 : Coûts des nouvelles constructions et des transformations au fil des étapes de la Stratégie énergétique 2050<sup>20</sup>

## 7. Compétitivité et opportunités de développement dans l’environnement de marché actuel

En raison du niveau peu élevé des prix du CO<sub>2</sub>, du gaz et du charbon en Europe et aux États-Unis, des surcapacités sur le marché et des distorsions liées aux subventions, l’électricité est actuellement bon marché. En 2016, les prix de l’électricité sur les marchés européens avaient chuté de plus de 70 euros/MWh à presque 20 euros/MWh, avant de remonter à environ 30 euros/MWh (état en mai 2020). Les taux à terme sur les bourses de l’électricité européennes laissent présager d’ici à 2023 un redressement des prix à plus de 40 euros/MWh. Une étude de l’OFEN relative à la rentabilité de 25 projets de grande hydraulique prévus montre que les coûts de revient des constructions nouvelles atteignent actuellement 14,1 ct./kWh en moyenne, et sont ainsi plus élevés que ceux des installations existantes (5 à 6 ct./kWh).<sup>21</sup> Ces derniers dépassent aussi les prix actuels du marché de gros (près de 3-4 ct./kWh). Cela signifie que la compétitivité de la grande hydraulique pâtit fortement de la situation actuelle sur le marché, non seulement en Suisse, mais également dans les pays voisins. Il est par conséquent légitime de se demander si des investissements dans ce domaine pourront malgré tout être réalisés à court terme dans l’environnement de marché actuellement défavorable et quelles mesures de soutien appropriées peuvent par conséquent être mises en œuvre.

<sup>20</sup> Estimations de l’AES

<sup>21</sup> OFEN 2013

## 8. Environnement/climat

Le bilan environnemental des centrales hydroélectriques est positif. La quantité d'énergie grise nécessaire à la construction et à l'exploitation est très faible, notamment en raison de la durée de vie extrêmement longue des installations. Avec un niveau d'émissions de gaz à effet de serre de 11 à 20 grammes de CO<sub>2</sub> par kWh pour l'ensemble du cycle de vie (équivalents CO<sub>2</sub> par kWh), la force hydraulique obtient les meilleurs résultats parmi toutes les techniques de production.<sup>22</sup>

La force hydraulique est globalement bien acceptée dans la société. Toutefois, le potentiel étant déjà largement exploité, on voit émerger des oppositions aux nouvelles constructions et des dispositions relatives au développement et aux transformations, visant par exemple à réduire l'impact des éclusées sur l'environnement ou à garantir des débits résiduels. Chaque centrale hydroélectrique influe sur la gestion des eaux locales et altère le paysage et la nature environnantes, notamment les stocks de poissons. Des débits résiduels plus élevés et des bassins de compensation qui homogénéifient la restitution de l'eau réduisent ces effets. Ils engendrent à leur tour une réduction de la production électrique allant jusqu'à 2 TWh<sup>23</sup>, ainsi que certaines conséquences financières.

Les impacts du changement climatique sur la production hydroélectrique sont difficiles à quantifier et une évolution négative n'est pas à exclure. En raison des températures croissantes, l'évaporation va s'accroître, tandis que la quantité d'eau disponible diminuera. Par ailleurs, l'action compensatrice des glaciers, qui fournissaient jusqu'à présent une certaine quantité d'eau pendant la seconde moitié de l'été, devrait également disparaître petit à petit. En revanche, les températures plus élevées en hiver réduisent l'écart saisonnier.

L'OcCC, l'organe fédéral consultatif sur les changements climatiques, prévoit d'ici à 2050 une hausse des températures d'environ 2°C en hiver et de 2,5°C en été en Suisse.<sup>24</sup> Toutefois, certaines incertitudes subsistent quant à cette évolution, dans la mesure où les futures émissions de gaz à effet de serre dépendent de facteurs économiques et techniques, et où les connaissances relatives à l'évolution du système climatique sur un territoire aussi petit que la Suisse sont limitées. Par ailleurs, l'OcCC indique que l'été sera nettement plus sec et l'hiver plus humide : pour un niveau de précipitations moyen, il prévoit une hausse d'environ 8% en hiver et une baisse d'au moins 15% en été d'ici à 2015 dans notre pays.

Les incertitudes relatives aux conséquences du changement climatique dans les différentes régions suisses sont toutefois de l'ordre de 10%, d'après une étude de Swisselectric Research.<sup>25</sup> À long terme, l'étude aboutit aussi bien à des résultats positifs pour les territoires situés en basse altitude qu'à des pertes moyennes de 4 à 8% pour les zones situées en haute altitude. Par ailleurs, il est difficile de faire des déclarations valables pour l'ensemble de la Suisse, du fait de sa situation géographique. En effet, le nord du pays pourrait par exemple voir une tendance à la hausse de ses précipitations moyennes, tandis que le sud pourrait essuyer une baisse. D'après l'OcCC, les changements climatiques (moins de précipitations en été) pourraient entraîner une réduction de la production allant jusqu'à 7% d'ici à 2050<sup>26</sup>, ce qui correspond à une baisse de la production suite au réchauffement climatique d'environ 2,5 TWh. L'Association suisse pour l'aménagement des eaux prévoit que le réchauffement climatique n'engendrera aucune perte de production

<sup>22</sup> OFEN 2012a

<sup>23</sup> ASAE 2012

<sup>24</sup> OcCC 2008

<sup>25</sup> SSHL 2011

<sup>26</sup> OcCC 2007

globale à travers l'ensemble du pays.<sup>27</sup> Ces prévisions sont compatibles avec les résultats de Swisselectric Research.

## 9. Conditions-cadre

Afin d'atteindre l'objectif de développement du Conseil fédéral en matière de force hydraulique décrit précédemment, des efforts considérables sont nécessaires. Dans ce contexte, plusieurs défis subsistent et nécessitent à leur tour la mise en place de certaines conditions-cadre :

- Chaque centrale hydroélectrique a un impact sur la gestion des eaux locales et altère le paysage et la nature environnants, notamment les stocks de poissons. Des compromis en matière de protection du climat, des eaux et du paysage seront nécessaires afin d'atteindre les ambitieux objectifs fixés.
- Dans la mesure où les droits d'exploitation des cours d'eau reviennent aux cantons, il émerge des incertitudes concernant les débits résiduels et les conditions économiques des nouvelles concessions. L'expiration des concessions hydrauliques peut donc conduire dans certains cas non seulement à des modifications juridiques et financières, mais tend également à entraîner une restriction de la production hydroélectrique.
- À long terme, le réchauffement climatique a tendance à entraîner une moindre production hydroélectrique, avec des différences et des incertitudes régionales quant aux prévisions. Le rôle des centrales hydroélectriques dans la protection contre les crues pourrait encore gagner en importance du fait du changement climatique.

## 10. Perspective sur la redevance hydraulique

La redevance hydraulique est la rétribution que les centrales hydroélectriques suisses doivent acquitter pour l'utilisation de la ressource «eau». Chaque année, environ 550 millions de francs sont versés aux cantons et aux communes d'implantation des centrales hydroélectriques, sans aucun risque et, jusqu'à présent, de manière totalement indépendante du niveau de rendement de la production hydraulique.

Pour les centrales hydroélectriques, la redevance hydraulique est un facteur de coût important. Aujourd'hui, les exploitants de centrales hydroélectriques doivent verser environ 1,6 centime de redevance hydraulique pour chaque kilowattheure de courant électrique produit à partir de l'hydraulique. Cela correspond déjà à environ un tiers des coûts de revient d'une centrale hydroélectrique typique. La réglementation actuelle sur la redevance hydraulique selon la Loi sur les forces hydrauliques n'est valable que jusqu'à fin 2024. Pour la période qui suivra cette date, une nouvelle réglementation qui tienne compte de la libéralisation du secteur de l'électricité doit être élaborée par le législateur. Les exploitants de centrale hydroélectrique ne doivent pas devoir payer de taxes qu'ils ne peuvent ni financer, ni répercuter. Il est donc évident qu'une flexibilisation est nécessaire, avec une indemnisation dépendant du prix du marché.

Si les revenus que l'on peut viser sur le marché grâce à l'hydraulique sont bons, l'indemnisation pour l'utilisation de la ressource doit avoir un niveau tout aussi élevé. En revanche, si les prix du marché sont bas, la ressource «eau» pour la production d'électricité n'a apparemment pas beaucoup de valeur, ce qui doit se retrouver dans l'indemnisation. La redevance hydraulique doit prendre en considération l'idée de

---

<sup>27</sup> ASAE 2012

compensation tout en étant supportable à long terme pour les exploitants de centrale hydroélectrique, et ne doit pas pénaliser l'hydraulique indigène par rapport à l'étranger.

## 11. Soutien pour l'hydraulique

### 11.1 Prime de marché

L'entrée en vigueur de la Loi sur l'énergie révisée le 1<sup>er</sup> janvier 2018 a créé la «prime de marché», nouvel instrument d'encouragement pour soutenir la grande hydraulique indigène. Y ont droit les exploitants d'installations de grande hydraulique avec une puissance supérieure à 10 MW qui doivent vendre leur courant électrique sur le marché à des prix inférieurs aux coûts de revient. La prime de marché entend compenser les coûts de revient non couverts, mais s'élève au maximum, pour chaque centrale, à 1,0 centime par kWh.

Environ 100 millions de francs provenant du fonds alimenté par le supplément réseau sont disponibles chaque année pour la prime de marché. Ce fonds est financé par le supplément réseau que les consommateurs paient pour chaque kilowattheure consommé. Le supplément réseau s'élève à 2,3 ct./kWh depuis 2018. L'instrument d'encouragement qu'est la prime de marché est limité à 5 ans et a été versé pour la première fois en 2018, en se fondant sur les chiffres de l'exercice 2017. Y ont droit ceux qui doivent assumer le risque de coûts de revient non couverts. Il peut s'agir d'exploitants, de propriétaires ou d'entreprises d'approvisionnement en électricité qui se sont engagés à reprendre le courant.

En 2018, les primes de marché ont été versées à 24 bénéficiaires, et la somme des subventions a atteint un total de 101 millions de francs pour 13,5 milliards de kilowattheures (37% de la production nationale suisse issue de l'hydraulique en 2017), soit 0,74 centime par kilowattheure produit. Et ce, sur un total de 46 centrales de grande hydraulique qui ont dû céder 13 575 GWh du courant produit en 2017 en dessous des coûts de revient.

### 11.2 Contribution d'investissement

Depuis l'entrée en vigueur de la Loi sur l'énergie révisée, des installations de grande hydraulique nouvelles ou devant faire l'objet de rénovations ou d'agrandissements importants (installations avec une puissance brute mécanique supérieure à 10 MW) sont encouragées au moyen de contributions d'investissement. La contribution d'investissement s'élève à maximum 35% des coûts d'investissement imputables pour les nouvelles installations et les agrandissements notables, et à maximum 20% pour les rénovations notables. Environ 50 millions de francs sont disponibles chaque année pour les contributions d'investissement aux centrales de grande hydraulique. Étant donné qu'une date pour les demandes n'est fixée que tous les deux ans, environ 100 millions de francs (2 x 50 millions de francs) sont disponibles pour les projets de grande hydraulique déposés. Si les demandes atteignent un montant supérieur, les projets de nouvelles constructions et les agrandissements passent en premier. Parmi ceux-ci, ce sont alors les projets qui fournissent le plus de kilowattheures de nouvelle production par franc de subvention qui ont la priorité. L'instrument d'encouragement «contributions d'investissement» est limité jusqu'en 2030.

La première date butoir était le 30 juin 2018. L'OFEN a étudié en détail les demandes de la première série et a choisi trois installations de grande hydraulique (Robbia/Repower AG, Ritom/Ritom SA et Mottec/Gougra SA). La somme de contribution totale attribuée s'élève à 101,2 millions de francs, ce qui correspond à 34%

des coûts d'investissement imputés. Les trois installations de grande hydraulique fourniront à l'avenir une production totale de 423,1 GWh/an. De plus, on atteindra une meilleure pilotabilité globale de la production d'énergie. Le rapport moyen entre la production supplémentaire et la contribution d'investissement correspond à 75 ct./kWh.

## 12. Évaluation et analyse SWOT

Le tableau 5 liste l'évaluation des critères pour les opportunités d'avenir de la grande hydraulique.

Critère d'évaluation	2020	2035	2050
<b>Coûts d'investissement et de revient</b>	Centrales existantes : étude au cas par cas. Nouvelles constructions : non attractives dans l'environnement de marché actuel, présence claire de limitations.	Centrales existantes : attractives. Nouvelles constructions : étude au cas par cas; présence de limitations.	
<b>Compatibilité environnementale</b>	Pas d'émissions de CO <sub>2</sub> , mais impact sur la gestion des eaux locales, le paysage, la nature et les stocks de poissons.		
<b>Disponibilité de l'énergie</b>	Centrales au fil de l'eau : charge de base. Centrales à accumulation : charge de pointe, flexibilité, «batterie» également pour les énergies renouvelables stochastiques, dépendantes des précipitations et de la saison.		
<b>Potentiel de production</b>	Énergie : 38,5 TWh. Puissance : 16 500 MW.	Environ 2 TWh nets de nouvelles constructions si les conditions-cadre sont bonnes.	Environ 3 TWh nets de nouvelles constructions si les conditions-cadre sont bonnes.
<b>Acceptation sociale</b>	Élevée, malgré des oppositions et des résistances locales.		
<b>Acceptation politique</b>	Élevée, mais défi croissant : contradiction entre une bonne acceptation de l'hydraulique sur le principe et une mauvaise acceptation des atteintes à la gestion des eaux, au paysage, à la nature et aux stocks de poissons.		

Tableau 5 : Évaluation des opportunités d'avenir de la grande hydraulique au fil des étapes de la Stratégie énergétique 2050

Le tableau 6 présente une analyse SWOT pour la grande hydraulique.

<b>externes</b>	<b>Opportunités</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Acceptation</li> <li>- Charge continue</li> <li>- Possibilité de planification</li> <li>- Énergie de réglage</li> <li>- Possibilité de stockage</li> <li>- Énergie de pointe</li> </ul>	<b>Risques</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Développement fortement dépendant de la gestion du conflit entre la sécurité d'approvisionnement désirée et l'acceptation des atteintes à la gestion des eaux, au paysage, à la nature et aux stocks de poissons.</li> <li>- Loi interdisant la construction selon les projets établis (p. ex. dispositions relatives aux débits résiduels).</li> <li>- Coûts de revient non attractifs pour les nouvelles constructions dans l'environnement de marché actuel.</li> </ul>
<b>internes</b>	<b>Points forts</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Réglable</li> <li>- Bilan environnemental positif</li> </ul>	<b>Points faibles</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dépendance vis-à-vis du changement climatique</li> <li>- Potentiel de développement avant tout limité par les lacs de retenue</li> <li>- Emplacements limités, peu de nouvelles constructions de grande ampleur possibles</li> </ul>

Tableau 6 : Analyse SWOT pour la grande hydraulique en Suisse

### 13. Aperçu des principaux chiffres

Le tableau 7 présente une vue d'ensemble des chiffres-clés sur la grande hydraulique en Suisse.

Chiffre-clé	Année	Source	Valeur
<b>Production annuelle</b> <sup>28</sup>	2018	OFEN 2019a	36,6 TWh
<b>Nombre de centrales</b>	2020	OFEN 2020, fichier Excel <sup>29</sup>	Au fil de l'eau 575 Accumulation 95 Pompage-turbinage 3 Pompage-turbinage pur 17 Total 690
<b>Puissance maximale</b>	2020	OFEN 2020, tableau 12	Au fil de l'eau 4162 MW Accumulation 8224 MW Pompage-turbinage 2562 MW Pompage-turbinage pur 562 MW
<b>Production attendue pour toute l'année (hors pompage-turbinage pur)</b>	2020	OFEN 2020, tableau 12	Au fil de l'eau 17 802 GWh Accumulation 17 211 GWh Pompage-turbinage 1554 GWh Total 36 567 GWh
<b>Production attendue pour le semestre d'été (hors pompage-turbinage pur)</b>	2020	OFEN 2020, fichier Excel <sup>30</sup>	Au fil de l'eau 11 494 GWh Accumulation 9061 GWh Pompage-turbinage et pompage-turbinage pur 590 GWh Total 21 146 GWh

<sup>28</sup> Production moyenne attendue pour 2019, sans déduction de l'énergie de pompage pour le stockage saisonnier et sans le pompage-turbinage pur.

<sup>29</sup> Type d'installation hydraulique («WKA-Typ») L, S, P et U, uniquement installations avec statut de centrale («ZE-Status») «en exploitation normale» («im Normalbetrieb») et «en transformation» («im Umbau»).

<sup>30</sup> Calcul: d'abord filtrer le type d'installation hydraulique «WKA-Typ» selon le type souhaité et le statut de centrale («ZE-Status») selon «en exploitation normale» et «en transformation» («im Normalbetrieb» / «im Umbau»), puis multiplier «Production sans pompage-turbinage pur – été» («Prod. ohne Umwälzbetrieb - S.») par «Part CH en %» («Proz. Anteil CH») (en points de pourcentage) et additionner les valeurs ainsi obtenues.

<b>Production attendue</b> pour le semestre d'hiver (hors pompage-turbinage pur)	2020	OFEN 2020, fichier Excel <sup>31</sup>	Au fil de l'eau	6308 GWh
			Accumulation	8149 GWh
			Pompage-turbinage et pompage-turbinage pur	964 GWh
			<b>Total</b>	<b>15 421 GWh</b>

Tableau 7 : Chiffres-clés sur la grande hydraulique (installations >300 kW selon SAHE) en Suisse

## 14. Sources

<a href="#">AES 2006</a>	Prévision sur l'approvisionnement de la Suisse en électricité jusqu'en 2035/2050, Association des entreprises électriques suisses, pas en ligne.
<a href="#">AES 2012</a>	Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur. Association des entreprises électriques suisses.
<a href="#">AES 2020</a>	Petite hydraulique. Document de connaissances de base, Association des entreprises électriques suisses.
<a href="#">ASAE 2012</a>	Ausbaupotenzial Wasserkraft, Bulletin de l'AES 2/2012, pages 8 à 11.
<a href="#">ASAE 2017</a>	Rentabilité de la force hydraulique en Suisse, Association suisse pour l'aménagement des eaux
<a href="#">OcCC 2007</a>	Les changements climatiques et la Suisse en 2050, Les changements climatiques et la Suisse en 2050. Impacts attendus sur l'environnement, la société et l'économie. Organe consultatif sur les changements climatiques.
<a href="#">OcCC 2008</a>	Le climat change – que faire? Le nouveau rapport des Nations Unies sur le climat (GIEC 2007) et ses principaux résultats dans l'optique de la Suisse. Organe consultatif sur les changements climatiques.
<a href="#">OFEN 2004</a>	Ausbaupotenzial der Wasserkraft, Office fédéral de l'énergie, pas en ligne
<a href="#">OFEN 2007</a>	Perspectives énergétiques pour 2035 - tome 5, Analyse et évaluation de l'offre d'électricité, Office fédéral de l'énergie
<a href="#">OFEN 2011</a>	Programme de recherche Force hydraulique – Rapport de synthèse 2010, Office fédéral de l'énergie
<a href="#">OFEN 2012a</a>	Umweltauswirkungen der Stromerzeugung in der Schweiz. Office fédéral de l'énergie
<a href="#">OFEN 2012b</a>	Le potentiel hydroélectrique de la Suisse. Potentiel de développement de la force hydraulique au titre de la stratégie énergétique 2050, Office fédéral de l'énergie

<sup>31</sup> Calcul: d'abord filtrer le type d'installation hydraulique «WKA-Typ» selon le type souhaité et le statut de centrale («ZE-Status») selon «en exploitation normale» et «en transformation» («im Normalbetrieb» / «im Umbau»), puis multiplier «Production sans pompage-turbinage pur – hiver» («Prod. ohne Umwälzbetrieb - W.») par «Part CH en %» («Proz. Anteil CH») (en points de pourcentage) et additionner les valeurs ainsi obtenues.

- OFEN 2013                      Perspektiven für die Grosswasserkraft in der Schweiz. Wirtschaftlichkeit von Projekten für grosse Laufwasser- und Speicherkraftwerke und mögliche Instrumente zur Förderung der Grosswasserkraft. Office fédéral de l'énergie
- OFEN 2019a                     Statistique suisse de l'électricité 2018, Office fédéral de l'énergie
- OFEN 2019b                    Potentiel hydroélectrique de la Suisse. Évaluation du potentiel de développement de la force hydraulique dans le cadre de la Stratégie énergétique 2050. Office fédéral de l'énergie
- OFEN 2020                     Statistique des aménagements hydroélectriques de la Suisse (SAHE), état au 01.01.2020, Office fédéral de l'énergie
- SSHL 2011                     Les effets du changement climatique sur l'utilisation de la force hydraulique, Rapport de synthèse, Société suisse d'hydrologie et de limnologie