



- Avantages de l'hydraulique en Suisse
- Critères de classification des aménagements hydroélectriques
- Rôle particulier et contribution future de l'énergie hydraulique suisse dans l'arc alpin et en Europe
- Perspectives
- Conclusions



*L'hydroélectricité Avantages, classification et prospections* Transition énergétique suisse: comprendre pour choisir Bonjour Mesdames et Messieurs, bienvenue à ce cours qui traite la force hydraulique comme producteur la plus importante d'électricité en Suisse. Dans cette première partie, nous allons discuter des avantages, de la classification et des perspectives de la force hydraulique en Suisse. Au cours de cette leçon, plus en détails, nous allons introduire tout d'abord les avantages de la force hydraulique en Suisse, ainsi les différents types d'aménagements hydroélectriques selon quelques critères de classification. Ensuite, nous analyserons le rôle particulier de l'énergie hydraulique suisse dans l'arc alpin et en Europe. Finalement, nous poserons la question de perspectives et de la contribution future de l'énergie hydraulique suisse comme batterie dans l'arc alpin et en Europe.

Notes

Summary



0m 03s

# Avantages de l'énergie hydraulique en Suisse



Barrage et centrale de Ova Spin (GR)

- **Energie renouvelable, sans émission directe de CO<sub>2</sub>**
- **Excellent rendement et efficacité, production facilement ajustable à la demande**
- **Energie indigène créant de l'emploi dans les vallées alpines et procurant des ressources financières (impôts et redevances)**
- **Améliorations des infrastructures et, dans certains cas, de l'attrait touristique**
- **Contribution à la protection contre les crues**

La transition énergétique suisse

La force hydraulique est la plus importante source de production d'électricité en Suisse et couvre aujourd'hui 50 à 60 % de notre consommation. Elle offre plusieurs avantages pour la Suisse. Tout d'abord, il s'agit d'une énergie renouvelable sans émission directe de CO<sub>2</sub> avec un excellent rendement, [une] efficacité facilement ajustable à la demande. En plus, il s'agit d'une énergie indigène créant de l'emploi dans les vallées alpines et procurant des rentrées financières par des impôts et des redevances. La construction des aménagements nécessaires permet d'améliorer les infrastructures et peut constituer un attrait touristique. Finalement, ces aménagements peuvent contribuer à la production contre les crues.

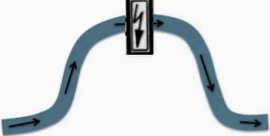


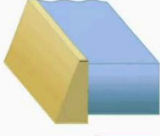
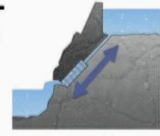



Notes

Summary



# Critères de classification des aménagements hydroélectriques

## 4 critères de classification:

Disposition	Hauteur de chute	Possibilité d'accumulation Utilisation de l'eau	Type de turbines
<b>sans dérivation</b> 	 <b>haute</b> 200 m 160 m <b>moyenne</b> 120 m 80 m 40 m <b>basse</b> (réf.) 0 m	<b>au fil de l'eau</b>  <b>à accumulation</b>  <b>pompage-turbinage</b> 	<b>Pelton</b>  <b>Francis</b>  <b>Kaplan Bulbe Straflo</b> 

On parle par ailleurs de "*petite hydraulique*" pour les centrales ayant une puissance < 10 MW

La transition énergétique suisse

Les aménagements hydroélectriques peuvent être classifiés selon quatre critères : disposition, hauteur de chute, possibilité d'accumulation et utilisation de l'eau, ainsi que le type de turbines. En plus, on parle de la petite hydraulique ou les centrales ayant une puissance inférieure à dix mégawatts. Et on parle par exemple aussi de mini-centrales pour des centrales en-dessous de un mégawatt. En fonction de leur disposition, deux aménagements peuvent être distingués : sans dérivation et avec dérivation. Les aménagements hydroélectriques sont par ailleurs souvent classés selon le critère de la chute en distinguant entre la haute chute pour des chutes supérieures à 200 mètres, une moyenne chute pour des chutes entre 40 et 200 mètres et basse chute pour des chutes inférieures à 40 mètres. Un aménagement ne permettant pas le stockage de l'eau est appelé un aménagement au fil de l'eau. Ce sont les aménagements qui conduisent les eaux d'un cours d'eau naturel directement vers les turbines sans avoir recours à un réservoir. La production d'électricité dépend donc directement du débit naturel instantané du cours d'eau.

Notes

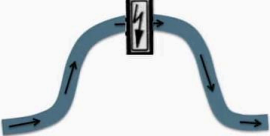


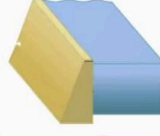
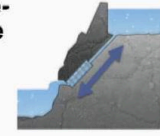



Summary





# Critères de classification des aménagements hydroélectriques

## 4 critères de classification:

Disposition	Hauteur de chute	Possibilité d'accumulation Utilisation de l'eau	Type de turbines
<b>sans dérivation</b> 	 <b>haute</b> 200 m 160 m <b>moyenne</b> 120 m 80 m 40 m <b>basse</b> (réf.) 0 m	<b>au fil de l'eau</b>  <b>à accumulation</b>  <b>pompage-turbinage</b> 	<b>Pelton</b>  <b>Francis</b>  <b>Kaplan Bulbe Straflo</b> 

On parle par ailleurs de "petite hydraulique" pour les centrales ayant une puissance < 10 MW

La transition énergétique suisse

Les aménagements d'accumulation comporte un réservoir servant à stocker les zones s'écoulant dans le cours d'eau naturel pendant un laps de temps plus ou moins grand. La production d'énergie électrique peut ainsi être mieux adaptée aux besoins de la demande. Un aménagement avec accumulation peut donc produire de l'énergie de pointe à n'importe quel moment quand la demande de réseau électrique est la plus élevée. Les aménagements de pompage-turbinage constituent un cas particulier d'aménagement à accumulation. Ces aménagements ne disposent pas seulement de réservoirs à l'amont des turbines mais également de réservoirs aval. Ainsi des pompes et turbines, souvent des groupes réversibles, peuvent faire circuler l'eau entre le bassin aval et le bassin amont dans l'un ou l'autre sens, soit en pompage, soit en turbinage. Finalement, différents types de turbines sont utilisés, comme nous avons déjà vu dans la leçon deux, qui peuvent également servir à classer les aménagements hydroélectriques. Les aménagements à basse chute sont très souvent équipés avec des turbines Pulpes, Straflo ou Kaplan. Les aménagements à moyenne chute, très souvent avec des turbines Francis et les aménagements à haute chute normalement avec des turbines Pelton ou avec des turbines Francis.

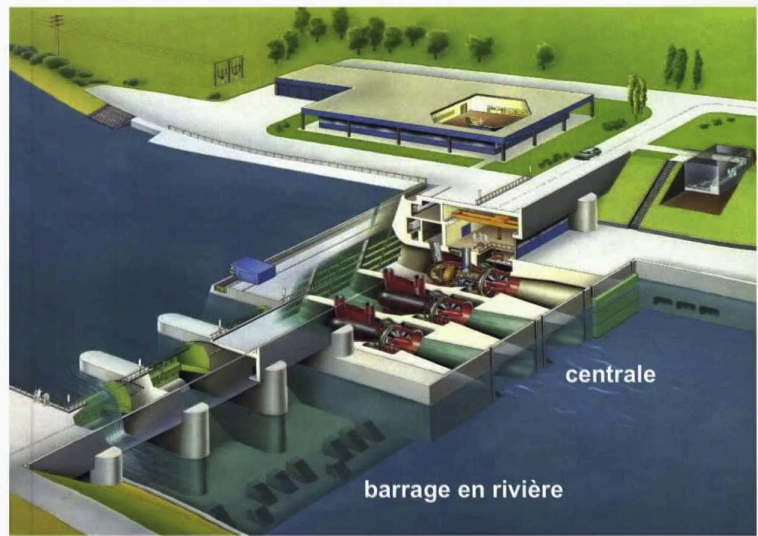
Notes

Summary



## Disposition de l'aménagement

Aménagement au fil de l'eau  
sans dérivation de l'eau



La transition énergétique suisse

Regardons quelques exemples. Les aménagements au fil de l'eau sans dérivation de l'eau sont directement installés sur la rivière et se composent d'un barrage à rivière combiné avec une centrale. Le plan d'eau dans la rivière est surélevé par le barrage. Ceci nécessite l'endiguement de la rivière à l'amont du barrage dans les tronçons [inaudibles]. Souvent, la chute est augmentée par le dragage du lit à l'aval de la centrale. Ici, on voit l'exemple de la centrale Bremgarten Zufikon sur la Reuss avec vue schématique à droite sur le barrage en rivière, qui permet de maîtriser les situations de crues extrêmes, ainsi que sur la centrale à droite avec les trois turbines pulpes.

Notes

Summary

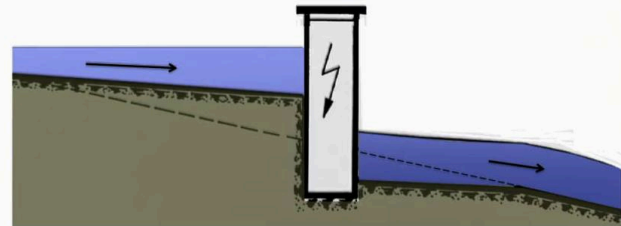
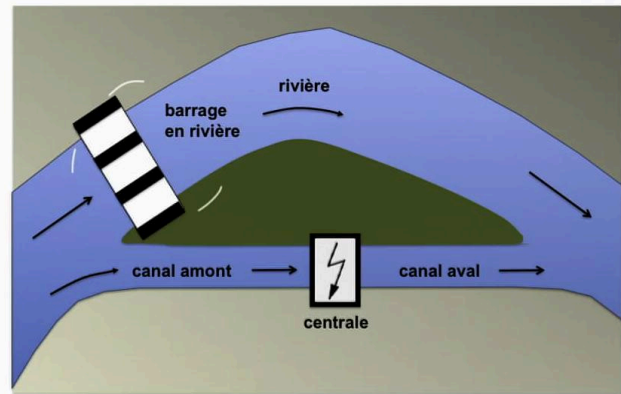


4m 35s

## Aménagement au fil de l'eau avec dérivation de l'eau



Rheinfelden sur le Rhin (AG)



La transition énergétique suisse

Dans le cas de l'aménagement au fil de l'eau avec dérivation de l'eau, le barrage en rivière et la centrale sont séparés. Le barrage en rivière provoque une surélévation du plan d'eau et force l'eau à entrer dans le canal d'adduction à la centrale. La centrale est située à n'importe quel endroit à son [inaudible] le long de ce canal.

Notes

Summary

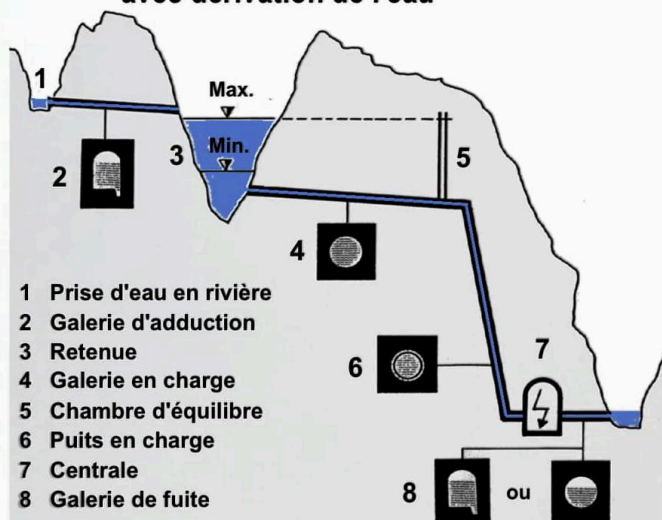


5m 26s

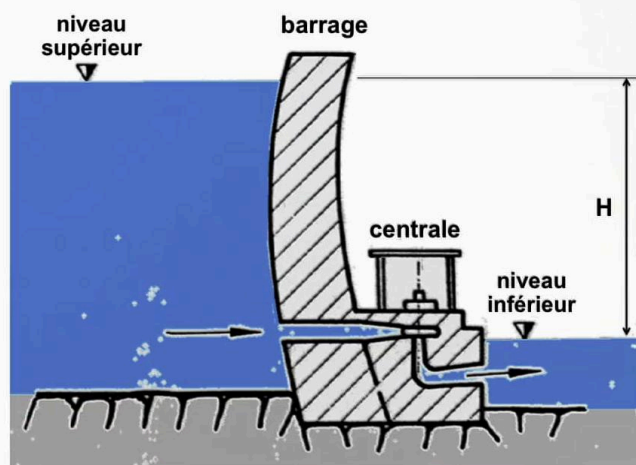
# Critères de classification des aménagements hydroélectriques

## Disposition de l'aménagement – possibilité d'accumulation

Aménagement à accumulation  
avec dérivation de l'eau



Aménagement à accumulation  
sans dérivation de l'eau



La transition énergétique suisse

Comme nous avons vu, les aménagements à accumulation comportent un réservoir qui sert à stocker les eaux s'écoulant dans le cours d'eau naturel pendant un laps de temps plus ou moins grand. Selon l'importance des apports ou la capacité du réservoir, le stockage peut être journalier, hebdomadaire, saisonnier, voire annuel. Les réservoirs importants sont créés par les barrages ce qui permet une production indépendante des apports souvent même avec des débits turbinés supérieurs à ceux du cours d'eau naturel. Ils peuvent ainsi fournir de l'électricité d'une manière très flexible aux heures de pointe. Dans les Alpes suisses, la plupart des aménagements à accumulation permettent un stockage saisonnier en été quand les débits sont plus élevés à cause des précipitations et fonte des neiges, l'eau est stockée dans les retenues. Et en hiver, quand les débits sont faibles, elle est utilisée pour produire de l'énergie quand la demande est la plus élevée, par exemple pour le chauffage et l'éclairage. Dans les Alpes, les aménagements à accumulation avec dérivation de l'eau sont la règle comme esquissé à gauche. L'eau de la retenue est dérivée par un système d'adduction galerie et puis, vers la centrale.

Notes

Summary



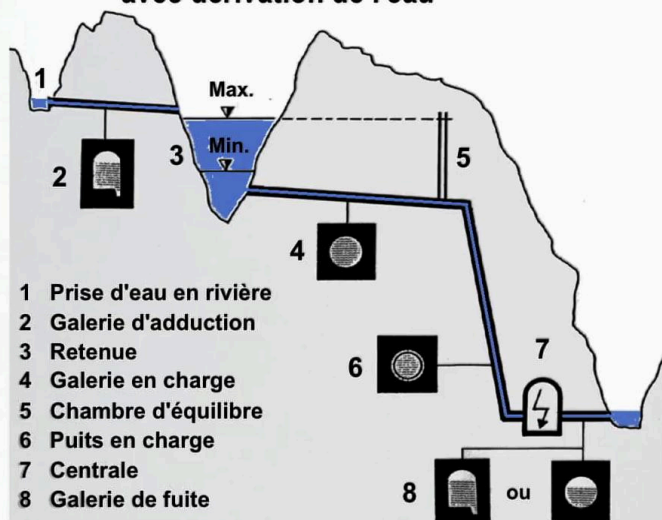
5m 51s



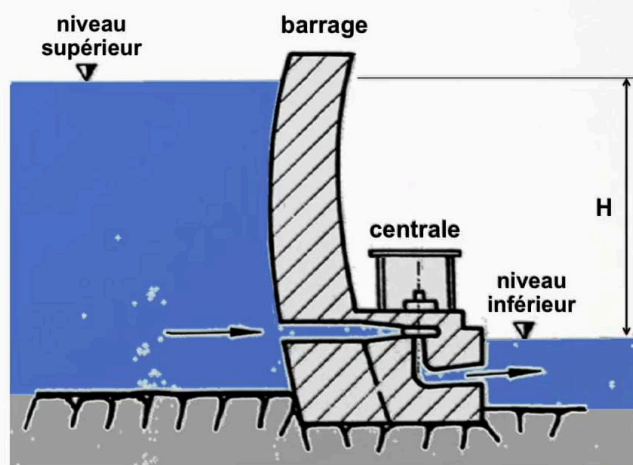
# Critères de classification des aménagements hydroélectriques

## Disposition de l'aménagement – possibilité d'accumulation

Aménagement à accumulation  
avec dérivation de l'eau



Aménagement à accumulation  
sans dérivation de l'eau



La transition énergétique suisse

Pour les retenues dans les Alpes, la centrale est souvent située directement à l'aval du barrage et on parle d'un aménagement à accumulation sans dérivation de l'eau, comme on le voit ici à droite.

Notes

Summary



# Critères de classification des aménagements hydroélectriques

## Disposition de l'aménagement

Aménagement à accumulation  
sans dérivation de l'eau



La transition énergétique suisse

Ici comme exemple, le barrage de Schiffenen sur La Sarine avec sa centrale directement ici au pied du barrage.

Notes

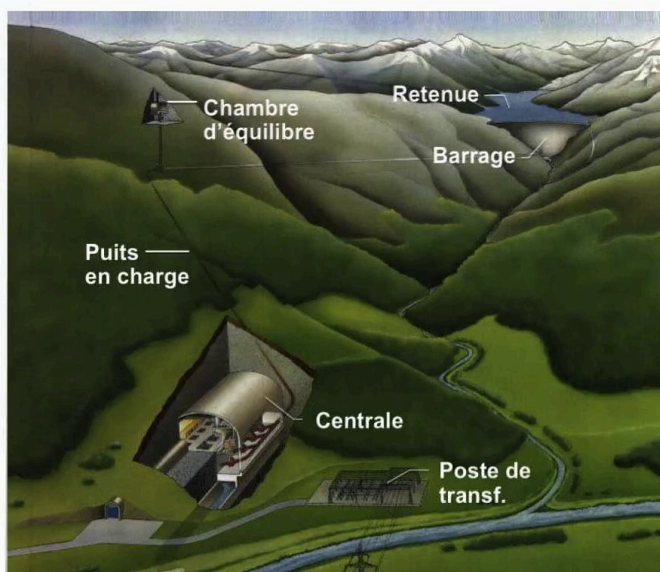
Summary



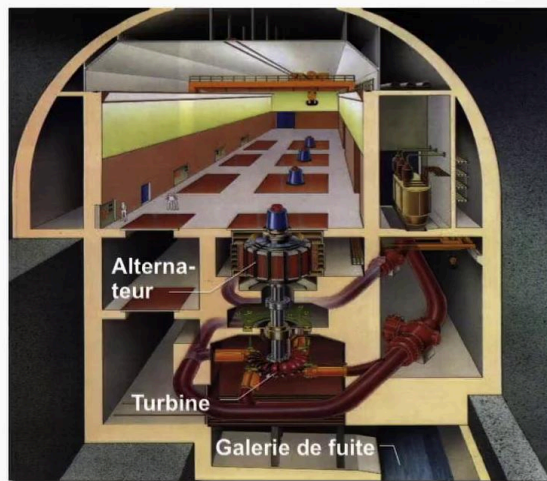
7m 27s

# Critères de classification des aménagements hydroélectriques

## Disposition de l'aménagement



## Aménagement à accumulation avec dérivation de l'eau



La transition énergétique suisse

Ici l'exemple d'un aménagement à accumulation avec dérivation de l'eau comme on trouve typiquement dans les vallées alpines. À droite, une vue d'une centrale souterraine équipée avec des turbines Pelton.

Notes

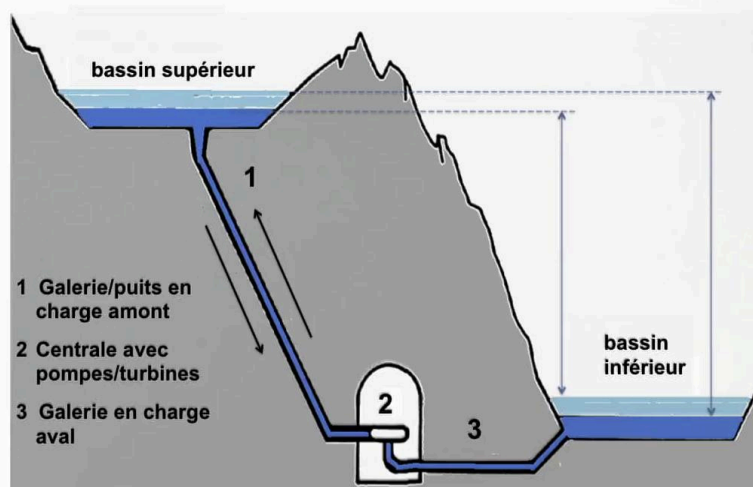
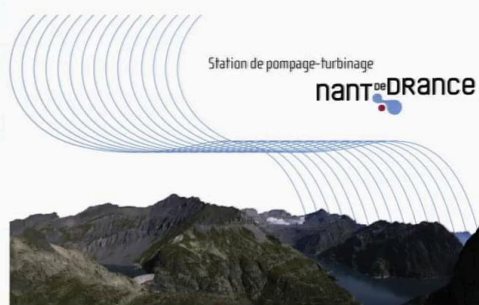
Summary



7m 38s

# Critères de classification des aménagements hydroélectriques

## Aménagements de pompage-turbinage



La transition énergétique suisse

Finalement, examinons le cas des aménagements de pompage-turbinage. Pendant les périodes de production excédentaire d'électricité, l'eau est pompée du bassin inférieur vers le bassin supérieur. Inversement, en période de forte demande d'électricité, l'eau stockée dans le bassin supérieur est turbinée vers le bassin inférieur. L'opération de pompage-turbinage est cependant financièrement rentable si l'énergie utilisée pour le pompage est très bon marché et le prix de vente de l'énergie de turbinage est nettement plus élevé. La différence entre le prix obtenu sur le marché d'électricité lors du turbinage et le prix à payer pour pomper doit permettre d'amortir l'investissement souvent important de ce type d'aménagement.

Notes

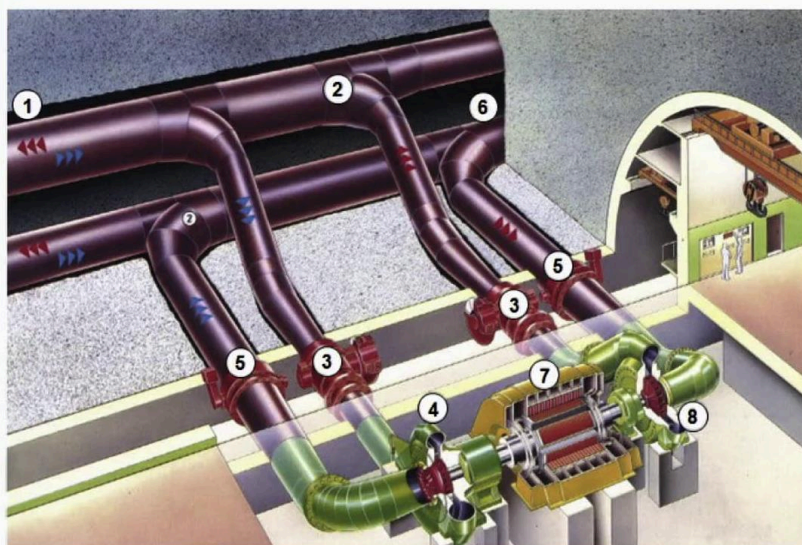
Summary





# Critères de classification des aménagements hydroélectriques

## Aménagements de pompage-turbinage



1. Conduite forcée
2. Dérivation
3. Organe de distribution rotatif
4. Turbine
5. Vanne papillon
6. De et vers la galerie de restitution
7. Moteur - alternateur
8. Pompe

►►► Turbinage  
◄◄◄ Pompage

La transition énergétique suisse

On voit sur cette figure l'intérieur d'une centrale de pompage-turbinage avec, en particulier, le système pompe-turbine couplé au dispositif électrique qui fonctionne soit comme moteur pour le pompage, soit comme alternateur lors du turbinage.

Notes

Summary



8m 44s

## Situation dans l'arc alpin et en Europe



La transition énergétique suisse

Analysons brièvement le rôle particulier de l'énergie hydraulique suisse dans l'arc alpin et en Europe. L'arc alpin dispose de ressources en eau les plus importantes de l'Europe occidentale et, par conséquent, d'un potentiel hydroélectrique considérable.







Notes

Summary



# Rôle particulier de l'énergie hydraulique suisse

## Energie hydraulique dans l'arc alpin et en Europe: Production

Pays	Puissance installée [MW]	Production annuelle moyenne (2011) [GWh/a]	Part de l'hydraulique dans la production totale d'électricité
Allemagne 	4'350	19'000	4.2%
Autriche 	13'200	37'701	62.3%
France 	23'000	45'845	8.5%
Italie 	17'800	47'756	12.4%
Slovénie 	846	3'550	29.0%
<b>Suisse </b>	<b>13'723</b>	<b>37'795</b>	<b>56.5%</b>
<b>Pays alpins</b>	<b>72'919</b>	<b>191'647</b>	<b>12.6%</b>
<b>Europe*</b>	<b>181'266</b>	<b>531'152</b>	<b>≈ 15 %</b>

\* selon Hydropower&Dams, World Atlas 2012

La transition énergétique suisse

Tout d'abord, quelques remarques sur la production annuelle et les puissances installées dans les pays alpins. En France, où la production et la puissance hydroélectriques sont les plus importantes parmi les pays de l'arc alpin, seuls 8,5 % de la production d'énergie électrique sont assurés par les centrales hydrauliques. L'Autriche est le pays, qui, avec 62 %, couvre la plus grande partie de ces besoins en électricité par l'hydraulique, suivie par la Suisse avec plus que 56 %. L'Italie suit la France dans le classement par pays produisant le plus d'hydroélectricité.







Notes

Summary



# Rôle particulier de l'énergie hydraulique suisse

## Energie hydraulique dans l'arc alpin et en Europe: Energie de stockage

		Production [GWh/a]	% de la production hydraulique
Allemagne		~ 800	5%
Autriche		12'015	32%
France		~ 12'000	17%
Italie		16'871	36%
Slovénie		-	-
Suisse		18 462	53%

\* selon Hydropower&Dams, World Atlas 2012

La transition énergétique suisse

En assurant plus de la moitié de sa production hydroélectrique par les centrales à accumulation, la Suisse est le plus important fournisseur d'énergie de pointe des pays de l'arc alpin avec 18 500 GWh, suivie par l'Italie. Grâce à une topographie favorable, l'Autriche et la France produisent également environ 12 000 GWh par année d'énergie de pointe.

Notes

Summary



10m 03s



# Rôle particulier de l'énergie hydraulique suisse

**L'hydraulique suisse peut fournir une part importante de l'énergie de réglage grâce aux retenues créées par les barrages**



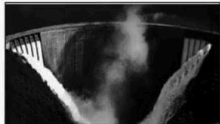
Grande Dixence (285m)



Mauvoisin (250m)



Luzzone (225m)



Contra (220m)



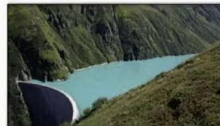
Emosson (180m)



Zeuzier (156m)



Göscheneralp (155m)



Curnera (155m)



Zervreila (151m)

**Environ 200 grands barrages ont plus de 15 m de hauteur**

**9 barrages sont plus hauts que 150 m**

La transition énergétique suisse

En conséquence, l'hydraulique Suisse peut jouer un rôle primordial en Europe centrale comme fournisseur d'énergie de réglage grâce aux retenues créées par les barrages. En Suisse, environ 200 grands barrages plus hauts que 15 mètres ont été construits. Aucun pays alpin ne dispose de plus de barrages d'une hauteur supérieure à 150 mètres. C'est-à-dire neuf comme on voit ici. Parmi ces barrages, celui de Grande Dixence est encore aujourd'hui le plus haut barrage poids en béton dans le monde. Avec la grande capacité de stockage, obtenu grâce à ses retenues, la Suisse peut être vue comme la batterie de l'arc alpin et de l'Europe.

Notes

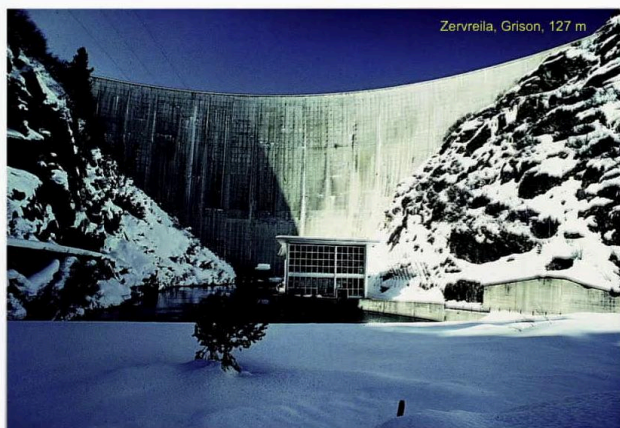
Summary



# Perspectives de l'énergie hydraulique suisse

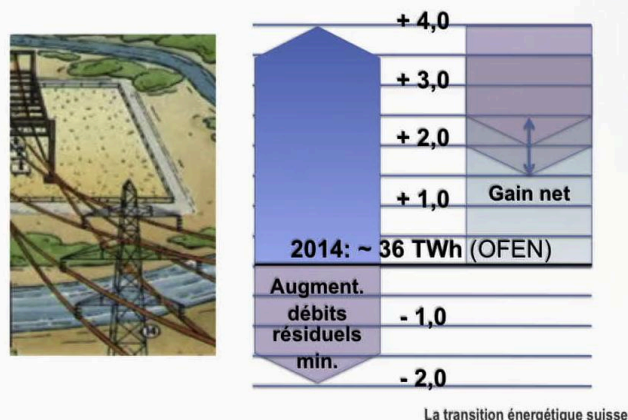
## Contribution future de l'énergie hydraulique suisse comme « batterie » dans l'arc alpin et en Europe

Potentiel réaliste selon études du potentiel jusqu'en 2050\*



\* Elektrowatt-Ekono (2004) et OFEN (2012)

## Production annuelle d'électricité [TWh]



Regardons les perspectives de l'énergie hydraulique en Suisse et la contribution future de celle-ci comme batterie dans l'arc alpin et l'Europe. Le potentiel techniquement réalisable en Suisse est d'ors et déjà exploité à plus que 85 %. La plupart des grands aménagements à accumulation suisse datent d'il y a 50 à 60 ans. Ces ouvrages produisent de l'énergie de pointe au moment précis où la demande du réseau est la plus élevée ce qui constitue un important avantage compétitif pour les échanges d'électricité comme nous avons déjà vu. Afin de préserver cette énergie renouvelable et précieuse, modernisation, extension des aménagements seront indispensables au cours des prochaines décennies. À part leur renouvellement en installant par exemple des turbines plus performantes, il s'agit notamment d'optimiser et flexibiliser ces ouvrages en augmentant leur puissance et leur capacité de retenue. Le but de ces extensions est d'atteindre une meilleure rentabilité argument détaillé dans un marché complètement libéralisé et privatisé. Selon différentes études, le potentiel réaliste d'augmentation de la production annuelle est relativement faible et se situe entre 3,5 à 4 TWh par année avec des conditions-cadres favorables jusqu'en 2050 ce qui correspond à environ 10 % de la production actuelle.

Notes

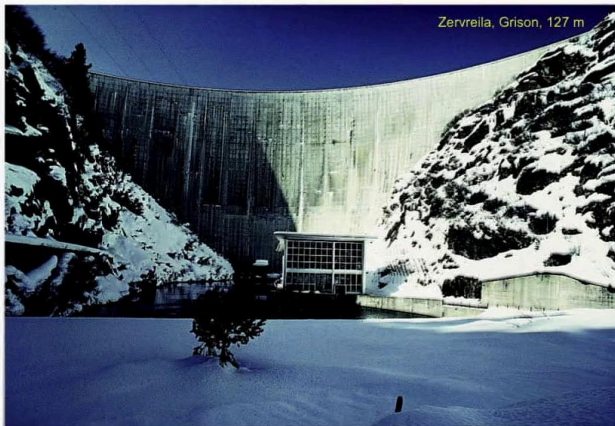
Summary



# Perspectives de l'énergie hydraulique suisse

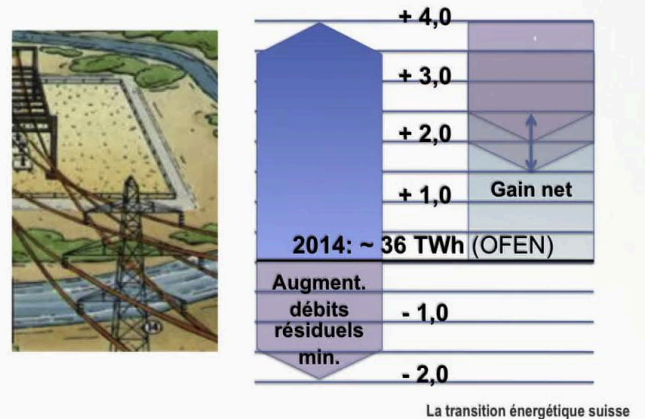
## Contribution future de l'énergie hydraulique suisse comme « batterie » dans l'arc alpin et en Europe

Potentiel réaliste selon études du potentiel jusqu'en 2050\*



\* Elektrowatt-Ekono (2004) et OFEN (2012)

### Production annuelle d'électricité [TWh]



Néanmoins, les exigences de la loi sur la protection des eaux conduiront, après l'assainissement de tous les aménagements, à une diminution de la production annuelle de 1,5 à 2 TWh. Donc, il en résulte une augmentation nette de la production annuelle de 1,5 à 2,5 TWh par rapport à aujourd'hui [dans le] meilleur [des] cas.

Notes

Summary



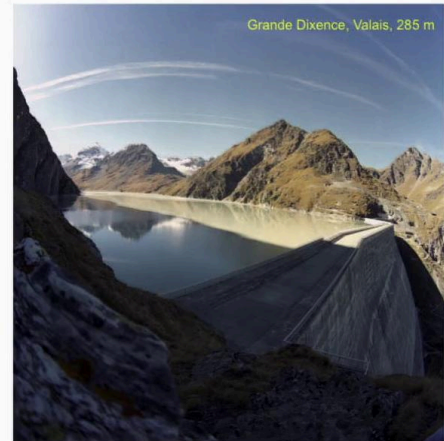
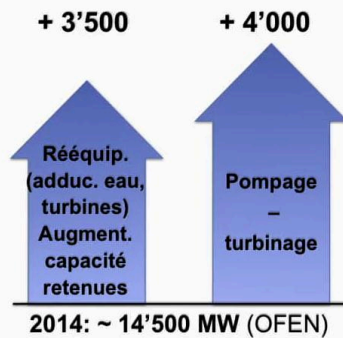


# Perspectives de l'énergie hydraulique suisse

## Contribution future de l'énergie hydraulique suisse comme « batterie » dans l'arc alpin et en Europe

Potentiel réaliste selon études du potentiel jusqu'en 2050\*

### Puissance installée [MW]



\* Elektrowatt-Ekono (2004) et OFEN (2012)

La transition énergétique suisse

Cela dit, il subsiste un potentiel d'augmentation massive de la puissance hydroélectrique globale. Celle-ci pourrait être accrue de 3 500 mégawatts d'ici à 2050 en équipant les ouvrages existants de nouveaux systèmes d'adduction et de turbines supplémentaires et plus efficaces, ainsi qu'en augmentant les capacités de retenue. Le potentiel présente un grand intérêt dans le cadre de la production de l'énergie de pointe surtout en hiver. En ce qui concerne les possibilités de pompage-turbinage en termes de retenues existantes, le potentiel est également très grand. Des projets existent pour une puissance totale d'environ 4 000 mégawatts.

Notes

Summary





# Défis actuels pour l'énergie hydraulique suisse



**Comme nous l'avons vu à la leçon 4 les prix sont très bas sur le marché d'électricité en Europe à cause:**

- **D'une surcapacité de production (surtout charbon) avec des coûts d'émissions de CO<sub>2</sub> très bas**
- **D'une distorsion actuelle du marché, avec des subventions aux autres énergies renouvelables comme le solaire et le vent**

**L'hydraulique suisse est fortement défavorisée!**

La transition énergétique suisse

Même si le potentiel d'augmentation de la production annuelle hydraulique en Suisse est limité comme on a vu, il peut encore être considérablement accru en jouant sur la puissance installée des aménagements existants, ainsi qu'en construisant de nouveaux aménagements de pompage-turbinage pour focaliser la production sur les heures de forte demande en hiver et donc, flexibiliser ainsi la production. Malheureusement, la situation n'est aujourd'hui pas très favorable à ces extensions importantes de la force hydraulique comme nous avons vu à la leçon quatre. Les prix sont très bas sur les marchés spots d'électricité en Europe en raison d'une surcapacité de production surtout le charbon avec des coûts d'émission de CO<sub>2</sub> très bas, de subventions massives des nouvelles énergies renouvelables comme le vent et le solaire et même du charbon. À cause de cette distorsion actuelle du marché en Europe ainsi que les charges très élevées dans d'autres pays, l'hydraulique suisse est actuellement fortement défavorisée, non seulement économiquement, mais également du point de vue conditions taxées au marché par rapport à d'autres pays en Europe. Dans la deuxième partie, nous analyserons les défis économiques et environnementaux de la force hydraulique en Suisse.

Notes

Summary



14m 06s