

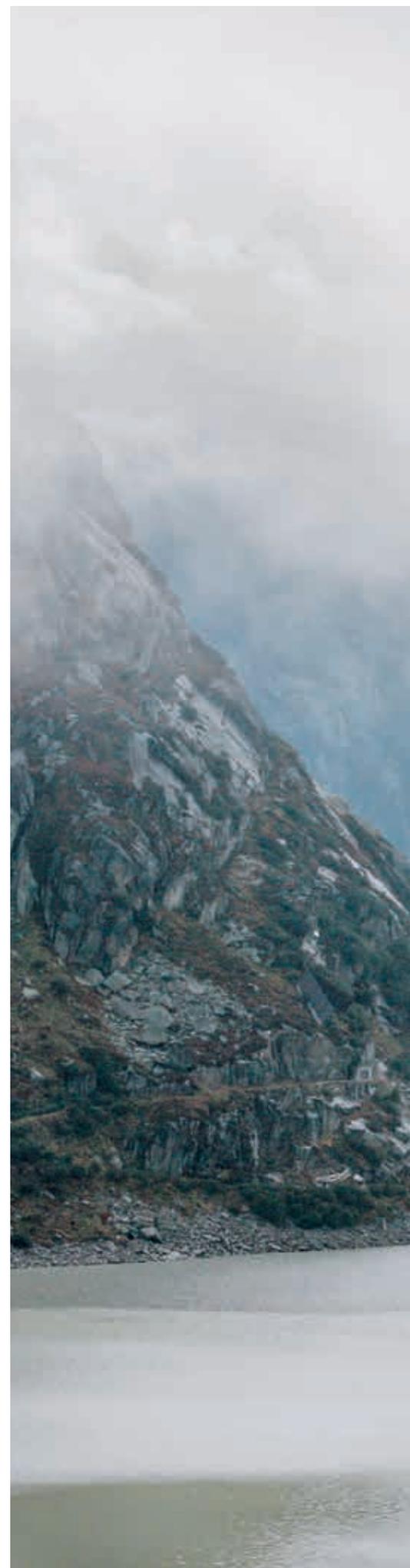
En grande pompe

Un convertisseur ABB de 100 MW pour Grimsel 2

HANS SCHLUNEGGER – L'énergie hydraulique est l'un des plus anciens modes de production d'électricité, mais aussi l'un des plus souples d'utilisation, puisque de grandes quantités d'eau retenue dans un bassin sont libérables à tout moment, au gré des besoins. À cette fonction première s'ajoute la possibilité de stocker le surplus d'énergie en pompant l'eau de l'aval vers l'amont pour la restituer quand le réseau électrique doit être régulé et stabilisé. Afin d'améliorer son rendement en mode pompage, la station de transfert d'énergie par pompage (STEP) Grimsel 2 des Forces motrices de l'Oberhasli SA (KWO) s'est équipée d'un convertisseur de fréquence ABB de 100 MW.

Photo

Les neuf centrales des Forces motrices de l'Oberhasli, dans les Alpes suisses, totalisent une puissance installée de 1125 MW et produisent chaque année 2200 GWh; 700 millions de m³ d'eau par an sont ainsi pompés dans les deux lacs, pour une capacité de stockage de 200 millions de m³.





Le convertisseur ABB de Grimsel 2 est le plus puissant jamais installé dans une centrale hydroélectrique.

L'accumulation d'énergie par pompage sert à écrêter les pics de consommation électrique: l'eau est pompée aux heures creuses (principalement la nuit) pour constituer une réserve de puissance qui sera « turbinée » aux périodes de pointe. En modulant ce stock d'eau en fonction des aléas de la demande, les STEP limitent le recours aux autres sources d'énergie d'appoint, souvent polluantes.

Ce moyen de stockage électrogène est idéal pour compenser les écarts de consommation jour-nuit. Il facilite également l'intégration d'un nombre croissant de parcs éoliens et solaires, dont il peut compenser l'intermittence et l'imprévisibilité pour garantir la continuité de la fourniture électrique, même en l'absence de soleil ou de vent.

Au-delà de cet usage premier, les STEP contribuent au réglage du réseau électrique en turbinant et en pompant les relativement faibles quantités d'énergie nécessaires à l'équilibre production-consommation. Reste que pour être effi-

cace, cette régulation doit être très précise.

Puissance variable

La STEP Grimsel 2 abrite quatre génératrices synchrones → 1, 2 et 3. Jusqu'à présent, KWO ne pouvait moduler la puissance qu'en jouant sur le nombre de groupes en service. Quand des niveaux intermédiaires de puissance étaient nécessaires, il fallait faire tourner une turbine supplémentaire. Or pomper et turbiner simultanément ne gaspille pas seulement l'énergie mais aussi la plus précieuse ressource de la centrale : l'eau.

Afin d'ajuster plus efficacement la puissance absorbée au pompage, KWO décida d'équiper l'une de ses génératrices d'un convertisseur à électronique de puissance. ABB remporta le contrat en 2010 et la mise en exploitation eut lieu en 2013.

Record de puissance

Le convertisseur statique 100 MVA à bus courant continu (CC) de Grimsel 2 est le plus puissant jamais installé dans une centrale hydroélectrique → 4. Il se compose de deux ponts de puissance de 50 MW, dotés de leur propre transformateur d'entrée et de sortie → 5 et raccordés en série côté génératrice et côté réseau. Chacun intègre des ensembles de modules double phase en couplage parallèle à thyristors IGCT (*Integrated Gate-Commutated Thyristors*). L'installation aligne ainsi 24 modules double phase.

Pompage et turbinage simultanés ne gaspillent pas seulement l'énergie, mais aussi le bien le plus précieux de la centrale : l'eau !

La puissance varie en permanence dans une plage de 60 à 100 MW, limitée par le risque de cavitation dans la roue de la pompe.

Démarrage

En mode turbinage ou pompage non régulé, le groupe est démarré avec la turbine → 6 ; le bloc transformateur est alors magnétisé par l'alternateur et couplé au 220 kV après synchronisation

1 La STEP de Grimsel 2 en chiffres

Puissance de turbinage	4 × 80 MW
Puissance de pompage	4 × 90 MW
Hauteur de chute moyenne	400 m
Débit	4 × 22 m ³ /s
Vitesse synchrone	750 tr/min
Années de construction	1973-80

2 Les lacs de Grimsel 2

	Lac	Altitude (m)	Volume utile (10 ⁶ m ³)	Superficie (km ²)	Profondeur maxi (m)
Bassin supérieur	Oberaar	2303	58	1,47	90
Bassin inférieur	Grimsel	1908	101	2,63	100

3 Les quatre génératrices synchrones de Grimsel 2



4 Convertisseur ABB de 100 MW



au réseau. En pompage régulé, le bloc transformateur et les deux transformateurs du convertisseur réseau doivent démarrer directement, induisant de forts appels de courant. Pour les éviter, le bus CC du convertisseur de fréquence est mis en charge par le transformateur de démarrage et les diodes du convertisseur moteur. Les transformateurs sont ensuite magnétisés par le convertisseur réseau avant d'être synchronisés. La procédure de démarrage ne dure qu'une dizaine de secondes, puis le convertisseur accélère la machine à 600 tours/minute, pompe à roue noyée et robinet sphérique fermé → 6d. Après ouverture du robinet, la vitesse est réglée à environ 690 tr/min, selon la puissance minimale requise par la hauteur de chute.

Régulation

La puissance active est réglée soit manuellement, soit par le centre de conduite qui adapte la production de toutes les centrales KWO au plan de charge. La consigne de régulation côté réseau s'ajoute à celle du plan de charge. Puissance de conversion et régulation de vitesse sont configurées en cascade, la puissance active étant limitée par la

hauteur de chute et la puissance maximale du convertisseur.

La puissance réactive est réglée par une boucle de réglage de la tension, soit manuellement, soit par le système amont de réglage de la tension réseau 220 kV. La puissance active prime sur la puissance réactive.

Modes de fonctionnement

Grimsel 2 peut fonctionner en

- turbinage;
- pompage non régulé sans convertisseur (vitesse constante);
- pompage régulé par convertisseur (vitesse variable);
- correction de l'angle de phase par convertisseur.

Le turbinage avec convertisseur n'est pas envisagé car l'ajustement de la vitesse de la turbine Francis à la hauteur de chute relativement faible ne compenserait pas les pertes du convertisseur.

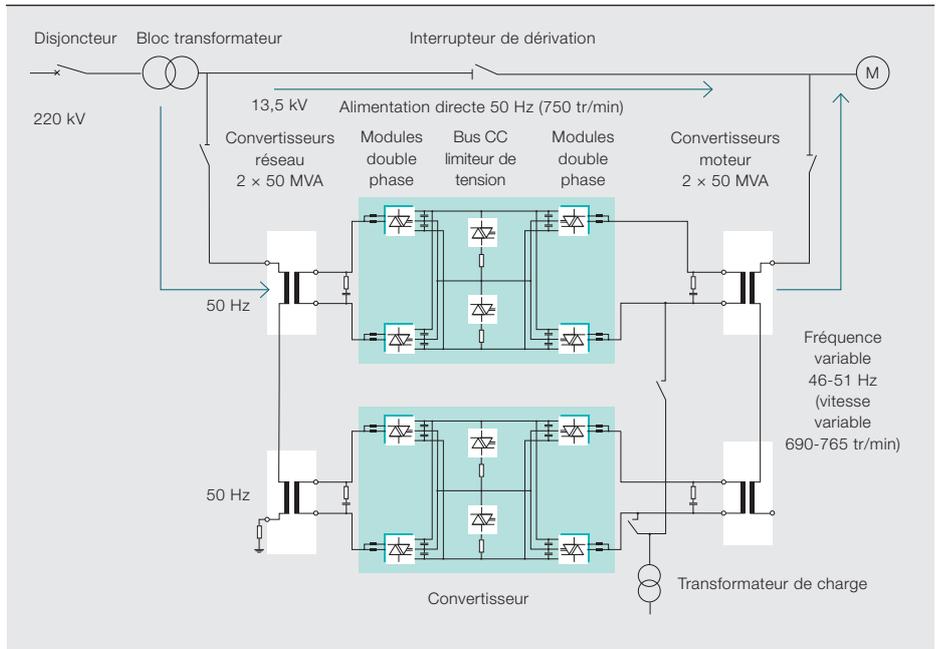
Réalisation

Le planning de livraison et d'installation du convertisseur fut adapté aux travaux de rénovation de l'aménagement, réalisés en parallèle: révision des machines hydrau-

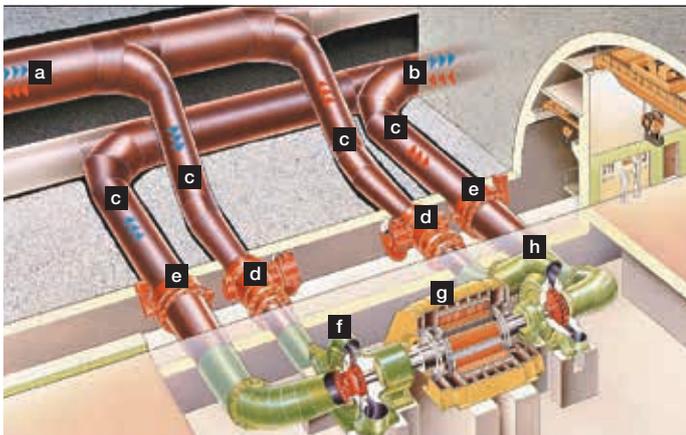
Fin mars 2014, le convertisseur cumulait 3500 heures de pompage régulé et 850 heures de compensation synchrone.

Presque toutes les nouvelles STEP sont équipées de génératrices asynchrones à double alimentation à vitesse variable.

5 Synoptique du convertisseur ABB

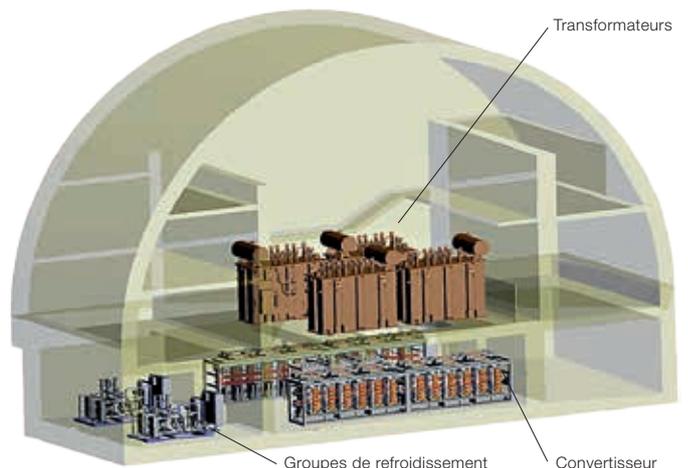


6 Turbine-pompe et raccords



- | | | |
|--------------------------------------|----------------------|--------------|
| a Conduite forcée (Lac de l'Oberaar) | d Robinet sphérique | ▶▶ Turbinage |
| b Conduite forcée (Lac de Grimsel) | e Vanne papillon | ◀◀ Pompage |
| c Tuyauteries | f Pompe | |
| | g Pompe | |
| | h Alternateur/moteur | |

7 Galerie souterraine



liques, du robinet sphérique et de la vanne papillon, renouvellement de l'instrumentation et du contrôle-commande, remplacement du régulateur de turbine, du système d'excitation et de l'appareillage 220 kV.

Le convertisseur peut être implanté dans la galerie souterraine → 7-8, avec les quatre transformateurs à l'étage de la salle des machines, et les groupes de refroidissement au niveau inférieur.

Exploitation

L'installation est opérationnelle depuis mai 2013. À la fin du mois de mars 2014, elle cumulait 3500 heures de pompage régulé et 850 heures de compensation synchrone → 9.

Un potentiel important

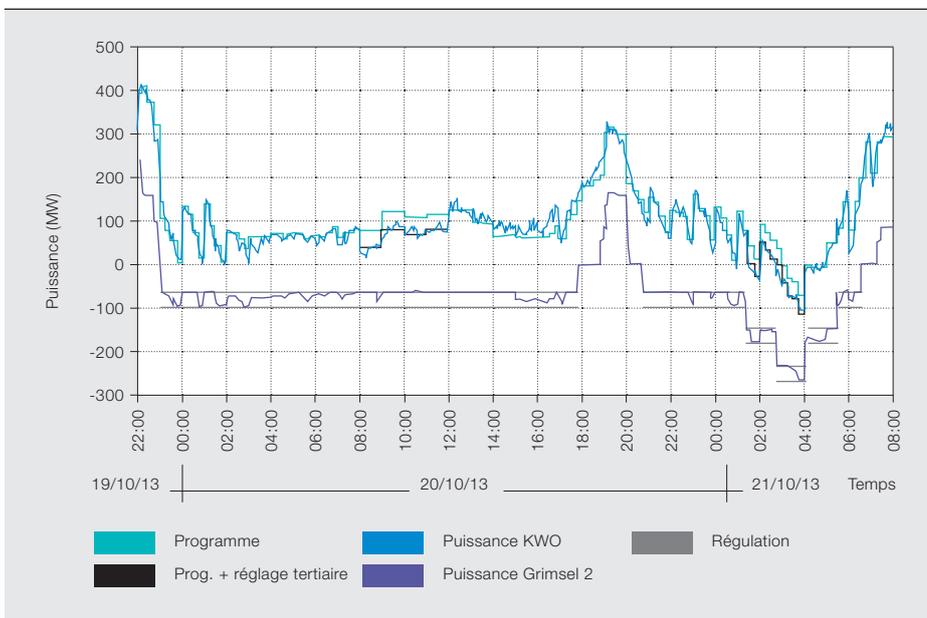
À l'heure actuelle, presque toutes les nouvelles STEP sont équipées de machines asynchrones à double alimentation pilotées en vitesse variable. Une solution qui n'est pas sans inconvénients : d'abord, la complexité du rotor impose des contraintes de conception qui limitent l'accélération nécessaire pour atteindre la vitesse optimale de la pompe-turbine. Ensuite, il est bien plus compliqué de démarrer une machine asynchrone, obligeant parfois à dénoyer la pompe, et plus difficile de respecter les règles de raccordement au réseau. La tendance est donc à l'adoption de machines synchrones pilotées par convertisseur statique de fréquence.

8 Installation du convertisseur au sous-sol de la galerie souterraine



L'accumulation par pompage reste à ce jour la solution la plus aboutie et la plus économique pour la régulation du réseau électrique.

9 Le convertisseur permet de réguler avec précision la puissance de la centrale.



Équiper une STEP d'un convertisseur total est une excellente occasion de tester le pompage à vitesse variable en conditions réelles. La technologie mise en œuvre à Grimsel 2 est à cet égard très prometteuse. Si d'autres techniques de stockage ont progressé, le transfert d'énergie par pompage hydraulique reste à ce jour la solution la mieux maîtrisée et la plus économique pour la régulation du réseau électrique. Les STEP jouent un rôle prépondérant dans la transition énergétique : le nouveau convertisseur de Grimsel 2 participe à la *Stratégie énergétique 2050* du Conseil fédéral et du Parlement suisses, qui vise à assurer la continuité de l'approvisionnement électrique du pays tout en augmentant la

part des énergies renouvelables dans son bouquet énergétique.

Ce texte est inspiré de l'article « 100 MW full-size converter in the Grimsel 2 pumped-storage plant » publié dans le *Bulletin 3/2014* de l'association Electrosuisse.

Hans Schlunegger

Kraftwerke Oberhasli AG

Innertkirchen (Suisse)

hans.schlunegger@kwo.ch

Pour tout renseignement concernant ABB, veuillez contacter Fritz Wittwer (fritz.wittwer@ch.abb.com) ou Steve Aubert (steve.aubert@ch.abb.com).

Lectures complémentaires

Sydnor, G. H., Bhatia, R., Krattiger, H., Mylius, J., Schafer, D., *Fifteen Years of Operation at NASA's National Transonic Facility with the World's Largest Adjustable Speed Drive*, Archives de la NASA.

Hell, J., Egretberger, M., Schürhuber, R., Lechner, A., Vaillant, Y., « Full size converter solutions for pumped storage plants: a promising new technology », *Hydro 2012*, Bilbao (Espagne), 29-31 octobre 2012.

Schlunegger, H., Thöni, A., « 100 MW full-size converter in the Grimsel 2 pumped storage plant », *Hydro 2013*, Innsbruck (Autriche), 7-9 octobre 2013.