

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 115 (2023)
Heft: 3

Artikel: Surélévation des barrages en Suisse
Autor: Wohnlich, Alexandre / Frankhauser, Andres / Feuz, Bernard
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1049997>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 08.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Surélévation des barrages en Suisse

Alexandre Wohnlich, Andres Fankhauser, Bernard Feuz

Résumé

La surélévation des barrages existants devient un sujet de plus en plus d'actualité en Suisse. Cette méthode de construction particulière offre en effet plusieurs avantages environnementaux, techniques et économiques qui sont présentés dans cet article. Depuis longtemps les ingénieurs suisses surélèvent leurs barrages; un rappel des différents ouvrages concernés par le sujet est développé à la suite. Finalement, une perspective est proposée à la vue des problématiques climatiques et énergétiques prévalant en ce début du 21^{ème} siècle.

Zusammenfassung

Die Erhöhung bestehender Staudämme wird in der Schweiz ein immer aktuelleres Thema. Diese Art zu bauen bietet mehrere ökologische, technische und wirtschaftliche Vorteile, diese werden in diesem Artikel vorgestellt. Seit langem erhöhen Schweizer Ingenieure bestehende Staudämme; ein Rückblick auf verschiedene betroffene Bauwerke und ein Ausblick auf die Klima- und Energieproblematik zu Beginn des 21. Jahrhunderts werden in diesem Artikel behandelt.

1. introduction

La technologie de surélévation des barrages n'est pas récente. En effet, le premier rehaussement connu d'un barrage en Suisse au cours de l'ère moderne de la construction des barrages (dès la fin du 19^{ème} siècle) date de 1910 (barrage de la Maigrauge, canton de Fribourg). Tout au long du 20^{ème} siècle et en ce début du 21^{ème} siècle, pas moins d'une douzaine de barrages ont été surélevés en Suisse. Essentiellement, il s'agit de barrages en béton, et en grande majorité de barrages de type poids.

Le présent article rappelle tout d'abord l'intérêt de surélever un barrage, ainsi que les principaux enjeux liés à ces travaux délicats. Principalement, il s'agit d'augmenter le volume de rétention de la retenue. Ce n'est toutefois pas toujours l'unique objectif, comme cela sera montré à la suite.

Les différents barrages surélevés sont présentés, avec mise en exergue des caractéristiques et spécificités de chaque ouvrage. La première moitié de l'article présente principalement et chronologiquement des surélévations de barrages poids, tous étant des ouvrages de taille

modérée. La seconde partie de l'article traite de surélévations de barrages voûtes, travaux plus récents et d'ampleur sensiblement supérieure. Au cours des 30 dernières années, trois barrages voûtes majeurs ont été rehaussés en Suisse: les barrages de Mauvoisin, Luzzzone et Vieux Émosson.

Le savoir-faire suisse dans le domaine des surélévations de barrages s'est également exporté: l'ingénierie suisse a eu l'occasion de se mettre en évidence ponctuellement, comme cela sera rappelé dans une section spécifique.

Finalement, considérant la situation géopolitique tendue prévalant en Suisse et en Europe en ce début de 21^{ème} siècle et qui a des répercussions directes sur le domaine de l'énergie, ainsi que les effets du dérèglement climatique mondial, une perspective est proposée en guise de conclusion, montrant que l'intérêt de surélever les barrages existants devrait se poursuivre au cours des prochaines décennies.

2. Intérêt des surélévations

L'objectif essentiel de rehausser un barrage est de créer un volume de stockage supplé-

mentaire dans la retenue. La possibilité d'avoir un volume de retenue supérieur offre des avantages économiques importants à l'exploitant de l'ouvrage, sous forme d'une flexibilité accrue dans la gestion de son aménagement hydroélectrique (optimisation des heures de turbinage, ainsi que transfert d'une partie de la production estivale vers l'hiver).

Considérant la forme d'une vallée servant de retenue, le volume de stockage est en général toujours sensiblement plus élevé en haut du barrage que dans le talweg. Chaque mètre de surélévation supplémentaire contribue donc davantage au volume stocké que les niveaux inférieurs.

À l'inverse, en considérant la forme des barrages en béton, on remarque que les grandes épaisseurs du mur sont proches des fondations, et qu'à mesure que le barrage s'élève, celui-ci s'affine. Le volume de béton nécessaire pour rehausser un barrage est donc relativement restreint eu égard au volume d'eau supplémentaire retenu dans les tranches supérieures. En principe, ce double avantage géométrique rend les projets de surélévation de barrages intéressants économiquement.

De plus, les problématiques environnementales ainsi que d'intégration dans le paysage de la surélévation d'un barrage sont a priori réduites, comparées à la construction d'un nouveau barrage dans un site vierge. Lorsqu'on rehausse un barrage, le site est déjà construit depuis de nombreuses années et l'acceptation publique est facilitée, l'impact sur l'environnement et le paysage étant réduit.

Par ailleurs, le plus souvent (la plupart des surélévations se réalisent sur l'ouvrage, ou sur sa face aval, très rarement sur sa face amont), un chantier de surélévation peut s'exécuter sans vidange de la retenue existante et donc n'entraîne aucune perte d'exploitation, ce qui est un élément économique déterminant pour l'exploitant de l'aménagement hydroélectrique.

Finalement, notons encore que la surélévation d'un barrage n'est généralement

possible que si elle peut profiter d'un dimensionnement «généreux» à l'époque de la conception du barrage, de l'évolution de la science (meilleures connaissances des matériaux de construction, des caractéristiques de la fondation rocheuse, etc.), ainsi que des progrès réalisés sur les outils de dimensionnement (méthodes de calcul plus récentes et sophistiquées).

3. Rétrospective historique

La rétrospective présentée ci-après couvre l'ensemble du 20^{ème} siècle jusqu'aux années 2020. Le groupe principal de barrages rehaussés décrit en premier ci-dessous ne concerne que des barrages poids, de taille relativement modeste, hauteur comprise entre 10 et 40 m. C'est clairement le type d'ouvrages qui ont été le plus considérés au cours du 20^{ème} siècle pour les surélévations.

Un deuxième groupe de barrages poids est traité séparément. Il s'agit de deux barrages (Muslen et List) pour lesquels la surélévation en tant que telle n'était pas le but primaire, mais subordonnée à un objectif de renforcement de la structure. Dans le cadre d'un tel projet sécuritaire, il s'est avéré qu'il était en même temps possible de profiter de lourds travaux de confortement pour rehausser le barrage.

Finalement, un troisième groupe de barrages est discuté à la suite. Il s'agit de deux ouvrages relativement élancés (Salanfe et Les Toules), entre 50 et 90 m, qui ont été surélevés très peu de temps après la construction du barrage initial, et dont la surélévation était conçue d'origine. La raison d'une construction en deux étapes réside dans la volonté de l'exploitant de mettre en service son aménagement hydroélectrique dans les meilleurs délais. Pour différentes raisons, le circuit hydrau-

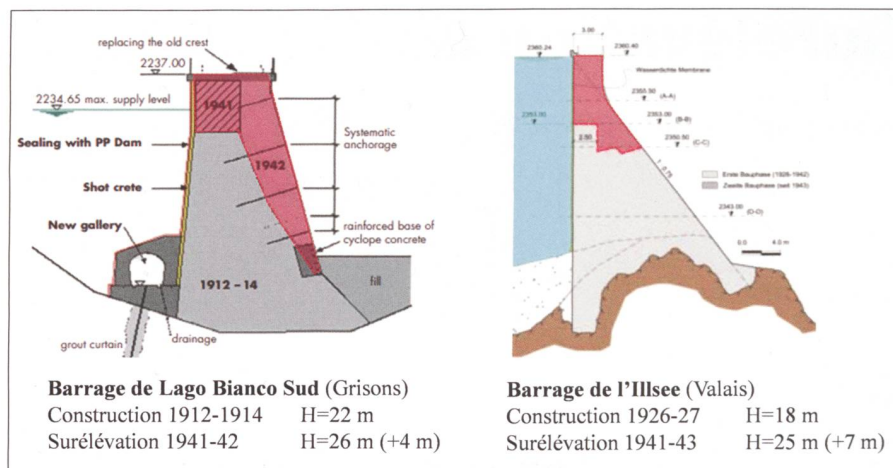


Figure 2: Barrages de Lago Bianco Sud et de l'Illsee.

lique et la centrale hydroélectrique étaient opérationnels plus tôt que le barrage de rétention, et la façon économique de mettre en service l'aménagement au plus vite était de construire un petit ouvrage de rétention suffisant pour mettre en charge et alimenter la prise d'eau usinière, puis de planifier la poursuite de la construction du barrage jusqu'à sa hauteur finale dans un deuxième temps.

La présentation et description des trois grands barrages voûtes surélevés entre les années 1990 et 2020 est traitée au Chapitre 4 d'une façon séparée.

3.1 Barrages poids

Les ouvrages décrits et présentés à la suite le sont d'une façon chronologique, suivant leur date de surélévation.

Le barrage de la Maigrauge (Figure 1, gauche) est un des plus vieux barrages suisses, construit en 1870-72, et rehaussé en 1909-10 vraisemblablement en raison de l'ensablement rapide de la retenue. À noter que les ancrages précontraints (800 kN/m) visibles sur la coupe-type de la Figure 1 ont été ajoutés dans les années 2000-03 pour

assurer la conformité de l'ouvrage aux exigences de stabilité (sécurité structurale). Des contraintes de traction relativement importantes pouvaient se développer au pied du parement amont du barrage, notamment pour les cas de charges exceptionnels tels que la crue de sécurité ou le séisme.

Le barrage de Fully (Figure 1, droite) a quant à lui été construit dans les années 1914-15 et rehaussé de 2 m en 1917. Le barrage n'est pas rectiligne, mais courbé en plan, ce qui génère vraisemblablement un effet tridimensionnel et explique comment la partie rehaussée peut être stable. À noter toutefois que l'ouvrage est exploité à un niveau abaissé depuis plusieurs décennies.

Le barrage de Lago Bianco Sud (Figure 2, gauche), construit au début du 20^{ème} siècle, a été surélevé de 4 m en 1941-42. Le barrage possède également une courbure en plan, ce qui en fait en réalité un barrage poids voûte. Avec le temps, le béton de la surélévation s'est avéré souffrir de la réaction alcali-granat (RAG), se manifestant notamment par de la fissuration verticale et une augmentation des déformations. La partie surélevée a été assainie dans les années 2000-01.

Mentionnons encore que dans le cadre du développement du projet de pompage-turbinage, une nouvelle surélévation de 3,5 m a été étudiée dans les années 2011-12. Ce projet n'a toutefois pas été réalisé à ce jour.

Rehaussé de 7 m au début des années 1940, le barrage de l'Illsee, construit en 1926-27, est montré à la Figure 2, à droite. Tout comme les deux barrages précédemment décrits, le barrage de l'Illsee est incurvé en plan dans sa partie principale, où il barre le talweg. Au fil des années, l'ouvrage s'est avéré souffrir de la RAG, conduisant à des déformations importantes et irréversibles, ainsi qu'à de la fissuration.

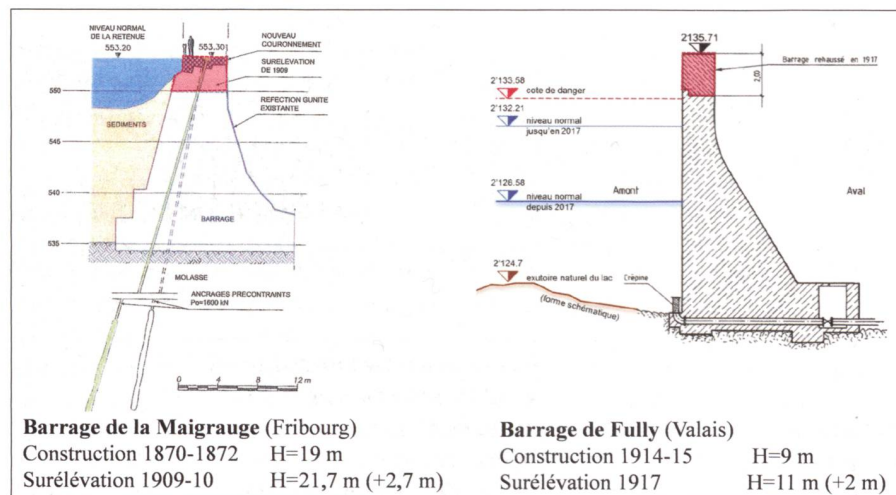


Figure 1: Barrages de la Maigrauge et de Fully.

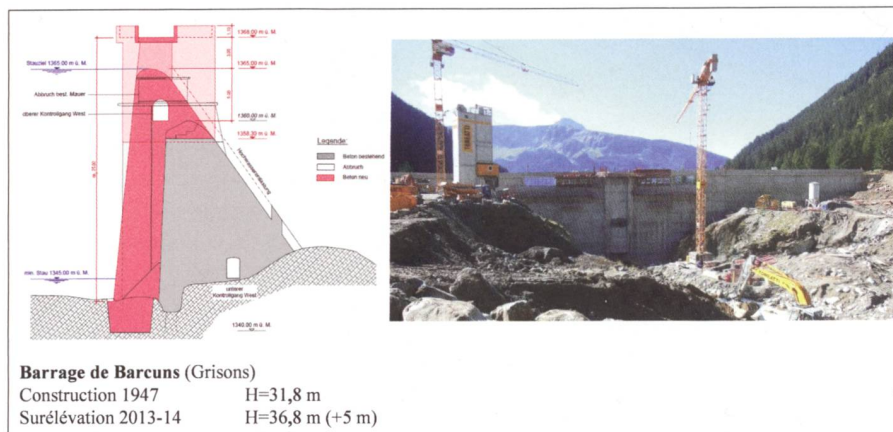


Figure 3: Barrage de Barcuns, avec vue des travaux de surélévation du côté amont de l'ouvrage.

Par ailleurs, le barrage ne satisfaisait pas aux exigences de sécurité modernes, ayant notamment été conçu sans considération de l'aléa sismique. Des travaux de réhabilitation conséquents ont été réalisés dans les années 2012–13 (sciage pour relaxer les contraintes rive-rive générées par la RAG, mise en place d'ancrages précontraints verticaux, et reconstruction du couronnement).

Le barrage de Barcuns, construit en 1947 et montré à la Figure 3, est le barrage poids qui a été le plus récemment surélevé en Suisse, en 2013–14. Son rehaussement de 5 m a ceci de particulier qu'il a été réalisé sur sa partie amont, contrairement à tous les barrages décrits précédemment. Cette solution de surélévation est contraignante car elle oblige à une vidange de la retenue. Elle a pu être mise en œuvre à Barcuns car l'ensemble du circuit hydraulique et de la centrale hydroélectrique ont été réhabilités simultanément. L'aménagement a été mis hors service pendant environ deux ans pour la réalisation de ces travaux.

3.2 Mise en conformité sécuritaire

En Suisse, deux barrages sont connus pour avoir été surélevés à l'occasion d'une mise en conformité de leur condition de sécurité. Il s'agit des barrages poids de List et de Muslen, tous deux confortés et surélevés en 1982. Les coupes-types respectives sont montrées à la Figure 4 ci-contre. Durant les années 1970, les exigences de sécurité pour les barrages ont été actualisées et ces deux barrages ne satisfaisaient pas aux critères de renversement, générant ainsi des contraintes de traction élevées sur le parement amont. En effet, au début du 20^{ème} siècle, la sous-pression n'était pas considérée dans la conception des barrages, tout comme les cas de charge exceptionnels (crue, séisme). Par ailleurs, les évacuateurs de crues des

deux barrages montraient une capacité insuffisante.

Confrontés à l'obligation de travaux de confortement importants, les propriétaires de ces deux aménagements en ont profité pour rehausser leur barrage respectif, débouchant sur l'enveloppement par du béton de l'ancien barrage, qui n'est ainsi plus visible et accessible.

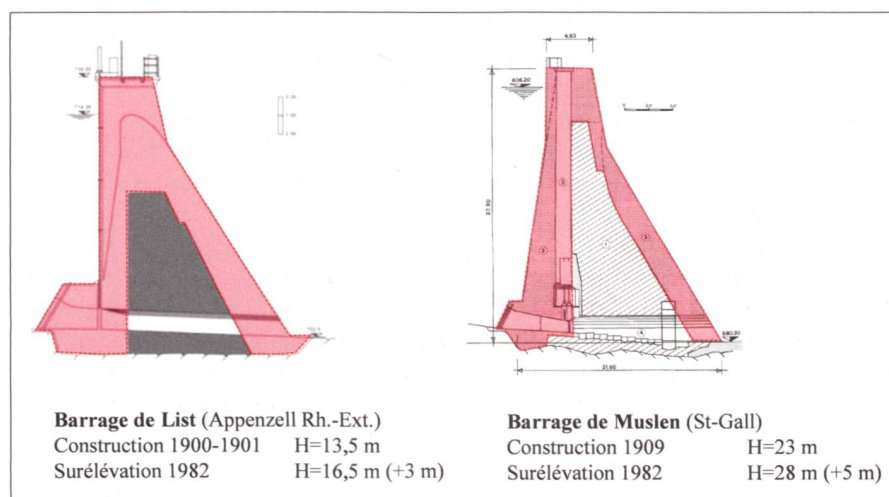


Figure 4: Barrages de List et Muslen.

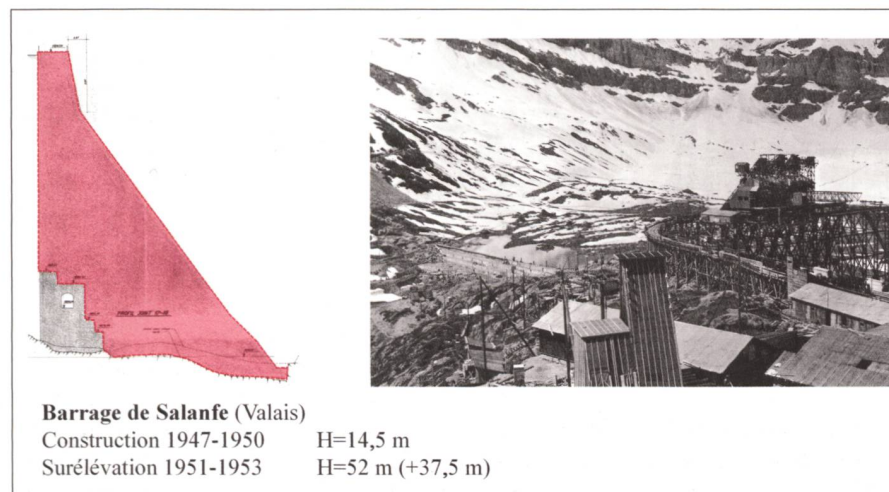


Figure 5: Barrage de Salanfe. À droite, photo du barrage première étape, H=14,5m.

3.3 Mise en service anticipée de l'aménagement

Les deux barrages présentés dans cette section sont des cas particuliers de surélévation. Ces barrages ont été surélevés immédiatement après la construction du barrage initial, celui-ci de taille notablement réduite. L'objectif de cette construction en deux étapes était la mise en service anticipée du circuit hydraulique et le démarrage de la production hydroélectrique, sans devoir attendre la fin de la construction du barrage dans sa taille finale.

Le barrage de Salanfe est le premier exemple illustré à la Figure 5 ci-dessous. La première étape a été construite dans les années 1947–50, et la seconde étape à la suite, durant les années 1951–53. La centrale hydroélectrique de Miéville, près de 1500 m plus bas dans la plaine du Rhône, a pu être mise en service dès 1951.

Ce barrage a également souffert de la RAG, ce qui a conduit à des travaux de sciage de l'ouvrage en 2012–13 de sorte à libérer les contraintes de compression générées par la réaction. Le couronne-

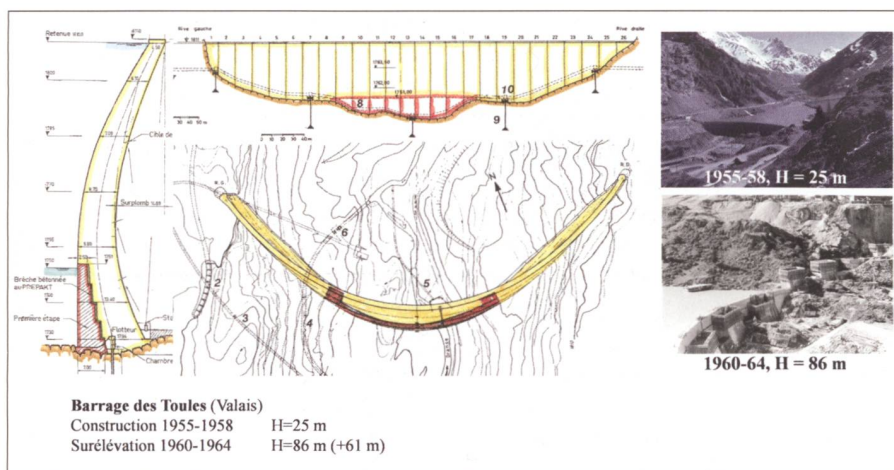


Figure 6: Barrage des Toulès. À droite, photos des deux étapes de construction. À noter que ce barrage a encore été conforté entre 2008 et 2011 sur sa face aval, à l'aide d'environ 60 000 m³ de béton. Ceci n'est pas représenté sur la figure ci-dessus.

ment a aussi été refait à neuf lors de ces travaux.

Le second cas discuté dans cette section est celui du barrage voûte des Toulès, illustré à la Figure 6 ci-dessus. La construction en deux étapes a permis la mise en service de la centrale de Pallazuit dès 1958, mais a aussi été rendue nécessaire à cause de la route du col du Grand-Saint-Bernard qui longe la rive droite de la vallée, et qui devait être remontée d'une cinquantaine de mètres avant que la retenue puisse être mise en eau.

On constate que le premier ouvrage est un barrage voûte à simple courbure, alors que sa surélévation est de type double courbure. Le joint entre les deux structures s'est avéré particulièrement difficile à gérer. Ajouté à cela la forme très large de la vallée, peu propice à recevoir un barrage voûte (ratio longueur du couronnement/hauteur > 5) et une géologie peu homogène notamment en rive gauche, il a été nécessaire de conforter ce barrage par l'adjonction de renforcement sur les deux rives aval. Ces travaux ont eu lieu dans les années 2008–11.

4. Surélévations modernes

Trois barrages voûtes majeurs de Suisse ont été surélevés depuis les années 1990. Il s'agit des barrages de Mauvoisin, Luzzzone et Vieux Émosson.

Le rehaussement d'un barrage voûte ne peut se faire que de deux façons :

- Soit par propagation vers le haut de la forme des parements amont et aval. Cette méthode de faire est naturellement la plus simple et intuitive. Elle n'est toutefois pas toujours réalisable en fonction de la forme des deux parements. Les barrages de Mauvoisin

et Luzzzone ont été rehaussés suivant cette méthode.

- Soit par modification de la forme de la voûte. Cette méthode est sensiblement plus compliquée et coûteuse que la précédente car elle implique de partiellement déconstruire le barrage voûte existant avant de le surélever. C'est le cas de barrage de Vieux Émosson.

4.1 Barrage de Mauvoisin

La surélévation du barrage de Mauvoisin a pour but un transfert d'énergie d'été en hiver. En effet, la production d'énergie d'été est supérieure à la demande, alors que celle du semestre d'hiver ne suffit pas à couvrir les besoins du pays. Grâce aux conditions hydrologiques favorables dans le Haut Val de Bagnes, les Forces Motrices de Mauvoisin ont la possibilité d'accroître la production d'énergie d'hiver de 100 millions de KWh en réduisant d'autant la production d'été. Ce transfert peut être réali-

sé par une augmentation de la capacité d'accumulation du lac de Mauvoisin d'environ 30 millions de m³.

Avec une hauteur de 236,5 m, le barrage de Mauvoisin était, en 1989, le plus haut barrage de type voûte en service en Europe. Sa longueur en crête est de 520 m et la largeur de son couronnement de 14 m au niveau de 1962,5 m s.m. La surélévation est réalisée par la construction d'un arc supplémentaire dans le prolongement des parements du barrage initial. La largeur du couronnement surélevé à une altitude de 1976,0 m s.m. est de 12 m avec une route de 6,6 m de largeur. Une galerie de 5 m de large et 5,5 m de hauteur, placée dans la partie surélevée, assure l'accès à la centrale hydraulique souterraine du palier supérieur de l'aménagement de Mauvoisin. Le volume de béton mis en place est de 80 000 m³ et représente 4% de volume du béton du barrage initial.

La surélévation a une longueur du couronnement de 540 m et consiste en 28 blocs qui sont bétonnés entre les joints verticaux du barrage. Chaque bloc d'environ 18 m de longueur et 13,5 m de hauteur est bétonné en 5 levées de 2,7 m. Le volume de chaque levée varie entre 400 et 650 m³ de béton.

Des travaux annexes sur l'évacuateur de crue de surface, la vanne de la vidange intermédiaire et la cheminée d'équilibre de la centrale de Fionnay ont eu lieu en parallèle aux travaux principaux au barrage.

Les travaux sont réalisés durant trois périodes estivales (avril à octobre) de 1989 à 1991. Les installations de chantier ont débuté en avril 1989. La centrale à béton, les silos pour le ciment et le concasseur pour la préparation des agrégats à béton se situent au pied du barrage, à proximité du grand dépôt de matériaux restant de la construction du barrage. Le ciment est acheminé

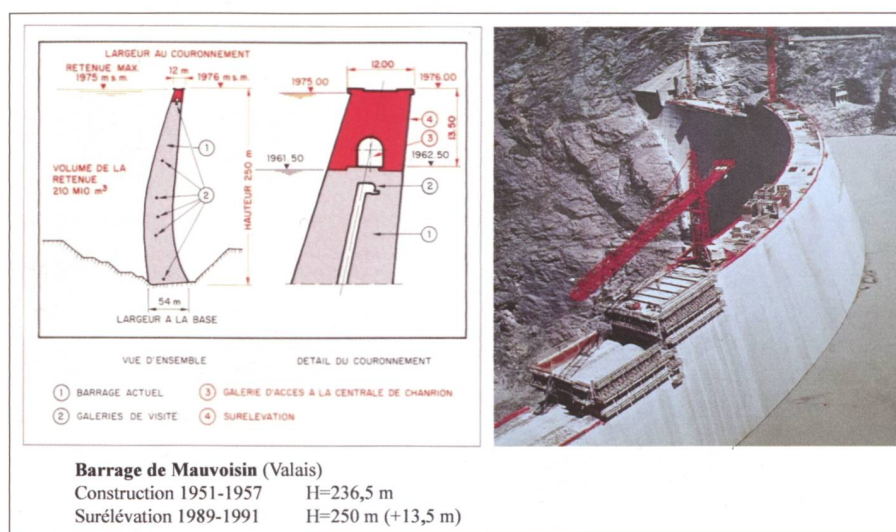


Figure 7: Barrage de Mauvoisin. À droite, photo du chantier de surélévation (1990).

par train jusqu'au Châble, gare terminus de la vallée, puis transporté par camion jusqu'aux silos.

Les opérations de bétonnage ont été menées de septembre 1989 à août 1991, au moyen d'une grue (150 tm) la première année et de deux grues placées sur les blocs déjà construits en 1990. Au printemps 1991, ne restait que le bétonnage du nouveau couronnement. Quant au clavage des joints du barrage surélevé, il s'est déroulé entre fin mai et début juillet 1991.

La mise en eau du barrage rehaussé a eu lieu à l'été 1991, atteignant le niveau maximal de 1975 m s.m. fin septembre. Le barrage a montré un comportement conforme aux prévisions des ingénieurs concepteurs.

4.2 Barrage de Luzzone

Le barrage voûte de Luzzone a été construit entre 1959 et 1963. Avec une hauteur de 208 m, une longueur au couronnement de 550 m, une épaisseur de 36 m à la base et de 10 m au couronnement le volume de béton pour ce barrage s'élevait à 1,32 millions de m³. Le bassin d'accumulation saisonnier était d'une capacité de 87 millions de m³ et constitue le réservoir principal de l'aménagement des Forces Motrices de Blenio. Toutefois, avec la demande d'énergie hivernale croissante et vu que les apports estivaux avec 127 millions de m³ dépassaient largement la capacité du réservoir, une augmentation du volume de stockage devenait intéressante.

Un projet de rehausser le barrage de 17 m a été élaboré et les travaux ont commencé en 1995. Depuis 1998, le barrage a une hauteur de 225 m, possède un volume de béton de 1,40 millions de m³ et une capacité de stockage de 107 millions de m³ (85% des apports estivaux moyens), voir Figure 8.

Comme montré précédemment pour le barrage de Mauvoisin, le concept technique de la surélévation porte sur la propagation vers le haut de la définition géométrique des parements amont et aval. Ainsi, un arc supplémentaire a été rajouté au barrage, ce qui amène la largeur au niveau du nouveau couronnement à 5,6 m. L'appui en rive gauche de la surélévation est particulier. Dans le but d'économiser du béton, la partie surélevée s'achève sur un appui artificiel en forme d'un barrage poids (voir Figure 8, photo à droite) et afin de forcer les efforts de l'arc à descendre dans la partie existante, les joints près de l'appui artificiel n'ont été clavés que partiellement. Pour garantir l'accès à un alpage à l'amont du lac de Luzzone pendant et après les travaux de rehaussement, une galerie routière a été intégrée dans la partie de la surélévation.

Le bétonnage s'est effectué au moyen d'une grue placée à mi-hauteur de la surélévation qui se déplaçait suivant la progression des travaux de la rive gauche vers la rive droite. Comme pour le barrage initial, les agrégats provenaient d'une gravière morainique d'une vallée latérale distante de quelques kilomètres. La centrale à béton se trouvait sur la rive droite du barrage et a produit un total de 80 000 m³ de béton de masse, avec un taux de liant de 250 kg/m³ et une granulométrie avec un diamètre maximal de 63 mm. Le liant contenait 80% de ciment Portland et 20% de cendres volantes et permettait de renoncer à une réfrigération artificielle du béton.

Parallèlement aux travaux de bétonnage au barrage, l'évacuateur de crues et la cheminée d'équilibre ont été rehaussés et une nouvelle galerie d'accès à l'alpage situé à l'amont de la retenue a été creusée.

Depuis 1998 le barrage surélevé est en service et montre un comportement satisfaisant et conforme aux prévisions.

4.3 Barrage de Vieux Émosson

Le barrage de Vieux Émosson se situe dans le Canton du Valais, à proximité de la frontière avec la France. La surélévation du barrage est un élément clé du vaste aménagement de pompage-turbinage de Nant de Drance, mis en service en 2022. La retenue joue le rôle de palier supérieur, et la surélévation du barrage permet de doubler le volume utile (de 11,2 Mio m³ à 24,6 Mio m³) et ainsi d'offrir plus de flexibilité à l'exploitation du pompage-turbinage.

Le barrage a été construit dans les années 1950 par les Chemins de Fer Fédéraux CFF. Le profil en travers du barrage est similaire à un barrage poids de 62 000 m³ de béton, toutefois, il s'agit d'un barrage voûte à simple courbure. La surélévation consiste en un barrage voûte à double courbure dont les sections horizontales et verticales sont formées de segments paraboliques. Les contraintes géométriques dues à la forme de la vallée et du premier barrage ont nécessité la démolition de la partie supérieure de ce dernier (volume de béton de 17 000 m³), avant de pouvoir y construire le rehaussement (mise en place de 65 000 m³ de béton) et le passage de la simple courbure initiale à la double courbure de la surélévation. Le volume total de béton de l'ouvrage rehaussé se monte à 110 000 m³. Le concept de surélévation est montré ci-dessous à la Figure 9.

Au niveau du couronnement en rive droite, le premier barrage vient effleurer la surface du rocher. Sur cette rive, le couronnement du barrage surélevé se trouve nettement au-dessus du rocher. Pour cette raison, un mur d'aile a dû être implanté à l'extrémité de la voûte. Il a pour fonction la fermeture de la retenue et d'abriter l'évacuateur de crue, un déversoir libre non vanné.

La retenue est restée vide dès le début des travaux de démolition et jusqu'au clavage de la surélévation. Pendant cette période, les vannes de la vidange sont demeurées ouvertes et ont fait l'objet de travaux d'assainissement. Toutefois, une vanne au moins est toujours restée opérationnelle de sorte à pouvoir gérer le débit en cas de crue.

La démolition de la partie supérieure du premier barrage a été un point critique et un grand défi pour le projet. Dans un premier temps, le minage était prévu pour démolir le béton sur une vingtaine de mètres de hauteur. Toutefois cette techno-

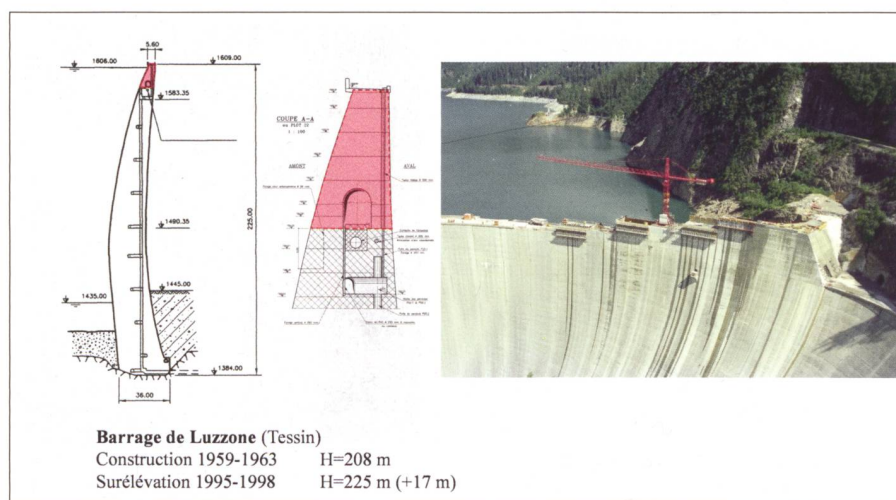


Figure 8: Barrage de Luzzone. À droite, photo du chantier de surélévation, détail de l'appui rive gauche.

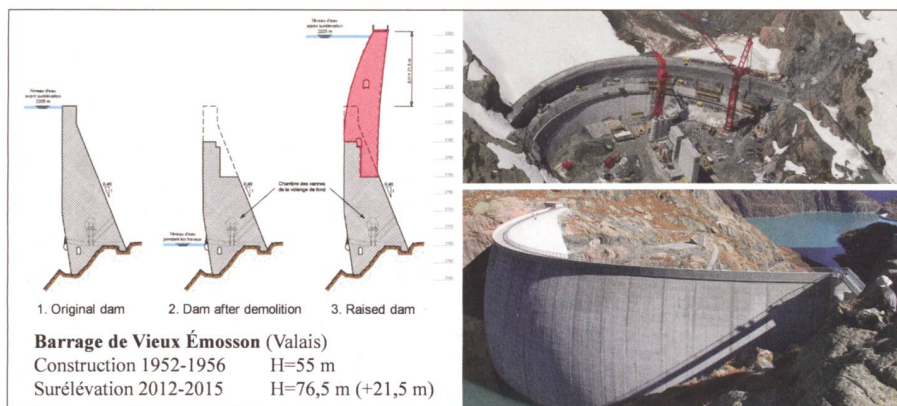


Figure 9: Barrage de Vieux Émosson. À droite, photos du chantier de surélévation.

logie s'est avérée peu adaptée, les surfaces démolies présentaient des formes discontinues et les limites d'ébranlement étaient difficiles à respecter. Finalement, le rendement de la démolition par minage était faible. Suite à ce constat, l'entreprise a abandonné la méthode et est passée à une démolition du béton par rabotage à l'aide de machines de type routier faisant des aller-retours sur le couronnement. Des fraises équipaient des machines à attaques ponctuelles pour démolir le béton que les grandes raboteuses ne pouvaient pas atteindre. Cette méthode de démolition a montré un rendement bien supérieur au minage, tout en limitant la problématique des vibrations générées par le minage. La démolition a duré de mi-juin à fin octobre 2012.

Le bétonnage de la surélévation s'est déroulé sur deux saisons estivales (avril à octobre), en 2013 et 2014. La fabrication des agrégats à béton s'est faite à basse altitude et ceux-ci étaient acheminés au pied aval du barrage en camion, où se trouvait la centrale à béton. Le béton était acheminé sur le barrage à l'aide de deux grues-tours également installées à l'aval du barrage.

Le clavage de la voûte, en deux étapes sur la hauteur surélevée, s'est déroulé en 2015. À la suite et durant les années suivantes, le barrage a été mis en service à satisfaction de l'ingénieur projeteur et des autorités de surveillance.

5. Surélévation de barrages à l'étranger

Le savoir-faire de l'ingénierie suisse dans le domaine des (grands) barrages est largement reconnu dans le monde et s'est historiquement bien exporté au cours du 20^{ème} siècle et en ce début de 21^{ème} siècle. De nombreux exemples, aussi parmi les projets les plus audacieux, peuvent être cités et on trouve de nombreuses références et publications à ce sujet.

Il en est certainement de même pour le domaine bien particulier des surélévations de barrages. Bien que ce type de travaux soit plus récent et ses applications plus rares pour l'instant encore, les bureaux d'ingénieurs suisses ont eu quelques opportunités de faire valoir leurs capacités d'innovation et leur maîtrise technique dans différents pays. Quelques exemples marquants sont décrits brièvement à la suite.

Au début des années 2000, la surélévation du barrage à contreforts d'Ekbatan en Iran, construit entre 1959 et 1963, a été conçue et dimensionnée par l'ingénierie suisse. Le projet considérait le rehaussement du barrage de 25 m, passant de 54 m à 79 m. Le projet a été construit et mis en service avec succès au début des années 2010.

En Angola, le barrage voûte à double courbure de Cambambe, sur le fleuve Kwanza, à 180 km à l'Est de la capitale Luanda, a été rehaussé entre 2012 et 2018 (Figure 10). Les phases de dimensionnement, projet d'exécution et supervision des travaux ont été assumées par des bureaux d'ingénieurs suisses. Particulièrement svelte

et élancé, et localisé dans un site naturel spectaculaire, le projet de surélévation a donné lieu à plusieurs publications. En particulier, la construction de la surélévation a dû être planifiée en fonction du débit du fleuve, ce dernier déversant en continu par-dessus le barrage existant.

Finalement, mentionnons encore le barrage voûte de Limberg en Autriche, situé à proximité de Kaprun/ Zell am See, dont la hauteur initiale de 120 m sera rehaussée à 129 m. Les études sont en cours et les travaux sont prévus dans les années à venir. Le dimensionnement de cette surélévation et la production du projet d'exécution sont assurés par un bureau d'ingénieurs suisse.

6. Conclusions et perspectives

6.1 Rétrospective

La surélévation des barrages se pratique en Suisse depuis plus d'un siècle. Douze exemples ont été répertoriés et exposés dans le cadre du présent article. La taille des ouvrages rehaussés est très variable, s'étendant d'une dizaine de mètres pour les plus modestes à plus de 200 m de hauteur pour les barrages voûtes de Mauvoisin et Luzzone.

Les nombreux avantages de tels projets audacieux ont été mis en exergue, tant du point de vue environnemental qu'économique. D'une façon générale, le gain d'un volume de stockage supplémentaire relativement grand en regard du caractère souvent modéré des travaux de surélévation et de leur impact sur l'environnement et le paysage rend la surélévation d'un barrage économiquement intéressante.

La rétrospective a montré qu'en Suisse, il s'agit essentiellement de surélévations de barrages en béton ; toutefois des projets

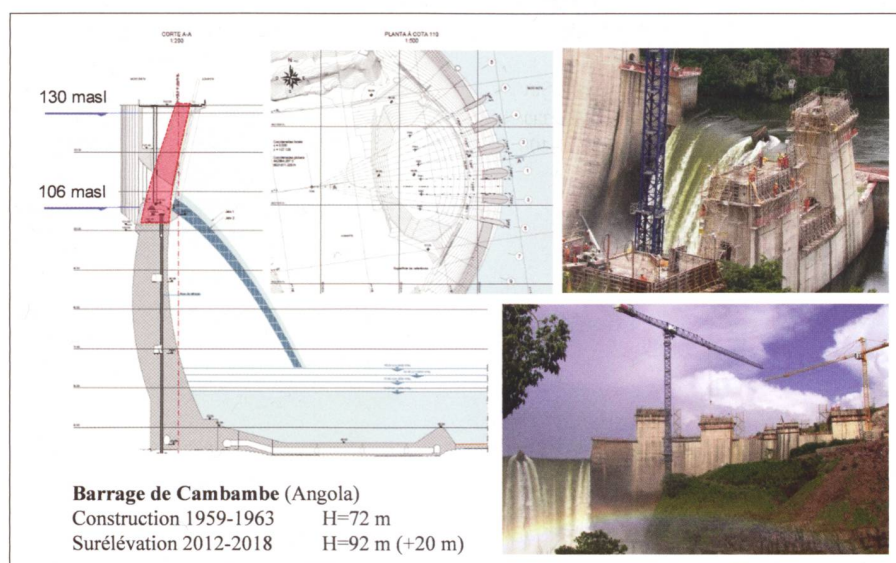


Figure 10: Barrage de Cambambe. À droite, photos du chantier de surélévation.

de surélévation de digues existent également. Et les travaux de rehaussement de la digue de Plans Mayens à Crans-Montana sont prévus en 2023–2025.

Étant donné la diversité de chaque barrage dans son milieu naturel et le caractère unique de chaque installation, chaque projet de surélévation requiert la mise en œuvre de solutions spécifiques et propres au site et aux problématiques rencontrées, comme cela a été largement montré au fil de cette rétrospective. La richesse des solutions techniques déployées au cours du dernier siècle démontre le savoir-faire de l'ingénierie suisse dans la matière, qui a du reste également eu l'occasion de s'exporter.

6.2 Perspectives

Dans la situation géopolitique et énergétique actuelle (augmentation de la population, augmentation de la consommation électrique, volonté politique de sortir du nucléaire, dépendance marquée aux sources d'énergie fossile que sont le gaz et le pétrole, situation politique instable en Europe, crise climatique, fort développement des énergies solaire et éolienne), le besoin de créer des réserves d'énergie pour l'hiver devient de plus en plus évident. Seuls les aménagements hydroélectriques via

leurs barrages réservoirs peuvent offrir la possibilité de transférer des réserves d'eau (c'est-à-dire d'énergie) de l'été vers l'hiver, les retenues jouant le rôle de gigantesques batteries.

Dans ce contexte et sous l'égide de la Confédération, les différents acteurs du monde de l'énergie hydraulique (Cantons, hautes écoles, associations environnementales et de protection du paysage, entreprises électriques) se sont réunis en 2020–2021 dans une table ronde afin de mettre au point une démarche commune pour les défis que l'hydraulique doit relever dans le contexte de la stratégie énergétique 2050, de l'objectif climatique zéro émission nette, de la sécurité de l'approvisionnement et de la préservation de la biodiversité. La table ronde a identifié 15 projets de centrales hydroélectriques à accumulation qui, en l'état des connaissances actuelles, sont les plus prometteurs sur le plan énergétique et dont la mise en œuvre impliquerait un impact minimal sur la biodiversité et le paysage. Leur réalisation permettrait d'atteindre une production hivernale réglable supplémentaire cumulée de 2 TWh d'ici à 2040. La liste de ces 15 projets a un caractère indicatif et non exhaustif. Les projets peuvent bénéficier de contributions

d'investissement pouvant aller jusqu'à hauteur de 60%.

Parmi les 15 projets mis en évidence par la table ronde en décembre 2021, au moins 10 impliquent des surélévations de barrages existants. Le contexte est donc très favorable pour que plusieurs barrages soient rehaussés dans les prochaines années et décennies, et de nombreuses études sont en cours en Suisse.

6.3 Remarque conclusive

Il n'existe pas de répertoire officiel des barrages surélevés en Suisse. Autant que possible, cet article a pour ambition de présenter une liste exhaustive des barrages surélevés de ce pays. Toutefois, on ne peut exclure qu'un barrage ou l'autre ait échappé à la démarche des auteurs.

Cette recherche n'aurait pas été possible sans la collaboration active de plusieurs exploitants (Alpiq, Axpo, Groupe E, KWO) et bureaux d'ingénieurs spécialisés (AFRY, Gruner Stucky, Lombardi), ainsi que de l'autorité de surveillance (OFEN) et de l'EPFZ, qui ont tous contribué à ce travail en partageant les informations et données en leur possession. Qu'ils en soient tous sincèrement remerciés.

Références:

Amman E. 1985. La transformation des barrages de Muslen et de List. Commission Internationale des Grands Barrages, Quinzième Congrès des Grands Barrages, Lausanne: Q59, R23, 381–394.
Dams in Switzerland, Source for Worldwide Swiss Dam Engineering. 2011. Swiss Committee on Dams. Baden-Dättwil: buag.
Felix, D., Müller-Hagmann, M. & Boes, R. 2020. Ausbaupotenzial der bestehenden Speicherseen in der Schweiz. «Wasser Energie Luft – Eau, énergie air» Heft 1: 1–10.
Feuz, B. & Schenk, Th. 1992. Die Erhöhung der Staumauer Mauvoisin. «Wasser Energie Luft – Eau, énergie air» Heft 10: 245–248.
Feuz, B. 1994. Raising of the Mauvoisin Dam. Structural Engineering International, International Association for Bridge and Structural Engineering, 2/94: 103–104.

Golliard, D., Lazaro, P., Demont, J.-B. & Favez, B. 2001. Travaux de réhabilitation de l'aménagement de l'Oelberg-Maigrage, Fribourg. «Wasser Energie Luft – Eau, énergie air» Heft 3/4: 63–70.
Kressig, D. 2012. Realisierung Sanierung Talsperre Illsee. Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband, Fachtagung Wasserkraft, Luzern.
Leite Ribeiro, M., Vallotton, O. & Wohnlich, A. 2022. Two Recent Cases of Arch Dam Raising, Lessons Learnt and Innovation. Commission Internationale des Grands Barrages, Vingt-Septième Congrès des Grands Barrages, Marseille: Q104c.
Vallotton, O. 2012. Surélévation du barrage de Vieux Émosson. «Wasser Energie Luft – Eau, énergie air» Heft 3/4: 209–215.
Vallotton, O. 2015. Surélévation du barrage de Vieux Émosson. Commission Internationale des Grands

Barrages, Vingt-Cinquième Congrès des Grands Barrages, Stavanger: Q99.
Wohnlich, A. 2012. Surélévation du barrage-voûte de Cambambe, Angola. «Wasser Energie Luft – Eau, énergie air» Heft 3/4: 216–219.
Wohnlich, A. 2021. Barrage des Toules – Faiblesses structurelles, confortement du barrage. Comité Suisse des Barrages, Journées d'études CSB, Crans-Montana.

Auteurs:

Alexandre Wohnlich, Gruner Stucky SA
Andres Fankhauser, Kraftwerke Oberhasli AG
Bernard Feuz, Consultant indépendant

