

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

Artikel: Le développement des barrages en Suisse
Autor: Pougatsch, Henri / Schleiss, Anton
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1049994>

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: 12.02.2026

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

Le développement des barrages en Suisse

Henri Pougatsch, Anton Schleiss

Résumé

Avec environ plus de 220 grands barrages en exploitation, la Suisse par rapport à une surface du pays de 41 000 km² possède un parc très important. Ils ont été érigés pour répondre à divers besoins économiques et de protection. Leurs principales affectations concernent le stockage de l'eau en vue d'une utilisation ultérieure surtout pour la force hydraulique et la protection de biens, notamment en cas de crues.

C'est à partir du XIX^e siècle avec l'accroissement de la population et le développement industriel que se situe le début marqué de leur construction. Le présent article décrit, au fil du temps, les diverses étapes de ce développement, dont la principale période se situe entre 1950 et 1970.

Garantir en tout temps la sécurité de ces installations est essentiel. Un concept basé sur 3 piliers (sécurité structurale, surveillance et entretien, plan en cas d'urgence) a été développé. Des évaluations périodiques de la sécurité ont conduit à entreprendre des travaux d'entretien et de réhabilitation pour plusieurs aménagements d'accumulation.

Dans le futur, le suivi des ouvrages existant restera une tâche importante. De nouveaux projets pour augmenter la capacité de stockage sont aussi envisagés et sont en partie déjà intégrés dans un processus d'expansion, notamment pour répondre aux besoins énergétiques actuels et pour garantir une transition énergétique sûre. La recherche et le développement restent bien entendu des objectifs particuliers aussi pour maintenir les compétences de l'ingénierie suisse pas seulement pour le pays, mais aussi pour participer au développement des ouvrages d'accumulation à l'étranger.

Zusammenfassung

Mit etwa 220 in Betrieb befindlichen grossen Talsperren verfügt die Schweiz bei einer Landesfläche von rund 41 000 km² über einen sehr grossen Bestand. Sie wurden aus verschiedenen wirtschaftlichen Gründen und Schutzbedürfnissen gebaut. Ihre Hauptzwecke sind die Speicherung für die Wasserkraft und der Schutz von Gütern, insbesondere bei Hochwasser.

Schon im 19. Jahrhundert, als die Bevölkerung wuchs und sich die Industrie zu entwickeln begann, wurden erste grosse Wasserspeicher gebaut. Der vorliegende Artikel beschreibt die verschiedenen Etappen dieser Entwicklung im Laufe der Zeit, deren Hauptperiode in der Schweiz zwischen 1950 und 1970 liegt. Die jederzeitige Gewährleistung der Sicherheit dieser Anlagen ist von entscheidender Bedeutung. Es wurde ein Konzept entwickelt, das auf drei Säulen basiert, nämlich die strukturelle Sicherheit, Überwachung und Unterhalt sowie die Notfallplanung. Regelmässige Sicherheitsüberprüfungen führten dazu, dass Unterhalts- und Sanierungsarbeiten bei mehreren Talsperren durchgeführt wurden.

Auch in Zukunft wird die Überwachung und der Unterhalt der bestehenden Talsperren eine wichtige Aufgabe bleiben. Neue Projekte zur Erhöhung der Speicherkapazität werden in Betracht gezogen, insbesondere um den aktuellen Energiebedarf und die Sicherheit der Energiewende zu gewährleisten. Forschung und Entwicklung bleiben natürlich wichtig, insbesondere um die schweizerischen Kompetenzen nicht nur für die Talsperren in der Schweiz, aber auch für den weiteren Ausbau im Ausland zu erhalten.

1. Introduction

Les ouvrages les plus anciens encore en service datent du XIX^e siècle. Puis durant le XX^e siècle, le développement économique et les besoins énergétiques ont influencé la cadence de la réalisation des barrages intégrés à de remarquables aménagements hydroélectriques. Si la Suisse est aujourd'hui dotée d'importants barrages, il faut souligner l'impulsion déterminante d'éminents ingénieurs qui ont tenu un rôle de pionniers: F. L. Ritter, H. Juillard, F. Meyer-Peter, H. E. Gruner, Alfred Stucky, Henri Gicot, Giovanni Lombardi. La période de construction la plus active se situe entre 1950 et 1970 (Figure 1). Le parc des barra-

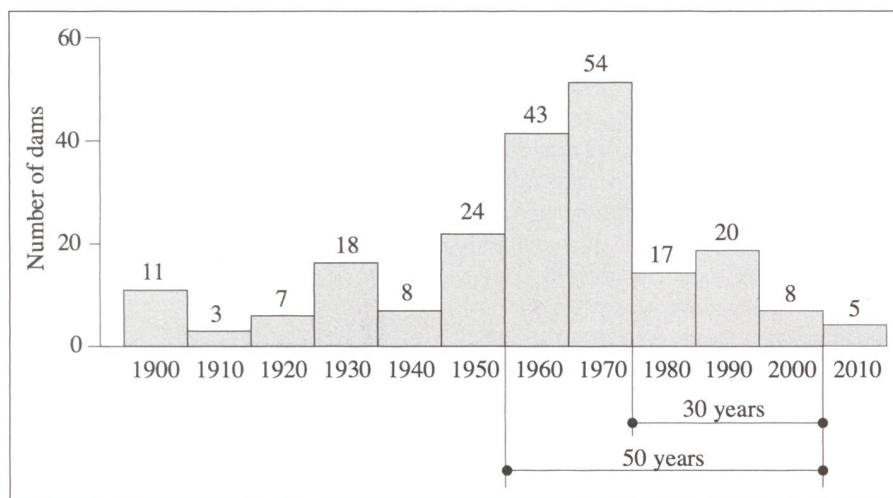


Figure 1 : Structure d'âges des grands barrages suisses par décennies.

ges suisses comprend plus de 220 grands ouvrages assujettis au contrôle de la Confédération dont 86% sont destinés à l'exploitation de la force hydraulique. Les autres affectations concernent, d'une part, des ouvrages pour le stockage de l'eau en vue de l'irrigation, l'alimentation en eau potable et la production de neige artificielle (3%) ainsi que pour les loisirs et des biotopes (3%) et, d'autre part, des ouvrages de protection pour la maîtrise des crues et la rétention de sédiments (8%). Parmi l'ensemble de ces barrages, 60% sont des barrages en béton (qui se subdivisent pour 58% en barrages poids, 39% en barrages voûtes et 3% en barrages à voûtes multiples et à contreforts), 35% des barrages en remblai (en terre ou en enrochement) et 5% des aménagements au fil de l'eau. 25 barrages ont une hauteur supérieure à 100 mètres et 4 d'entre eux dépassent les 200 mètres. La majorité des barrages les plus imposants se situe dans les Alpes. Enfin, il faut relever l'existence de plusieurs centaines d'ouvrages de dimensions plus modestes de types et d'affectation divers.

2. Principales étapes de la construction des barrages

C'est au XIX^e siècle avec l'accroissement de la population et le développement industriel que l'on note l'apparition en Suisse des premiers ouvrages d'accumulation, de dimensions modestes, ces installations servaient à la production d'énergie hydroélectrique et seuls quelques-uns de ces réservoirs subsistent aujourd'hui (*Sinniger, 1985*).

La révolution industrielle aux XVIII^e et XIX^e siècles apporta un essor économique important grâce notamment au développement d'aménagements hydroélectriques dans lesquels les turbines ont progressivement remplacé les roues à eau. C'est entre 1869 et 1872 que *Guillaume Ritter* (1835–1912) construisit l'aménagement de Pérolles sur la Sarine en amont de Fribourg. Le barrage poids légèrement incurvé d'une hauteur de 21 m et d'une longueur en crête de 195 m fut à l'époque le plus grand barrage de Suisse. Sa section trapézoïdale comprend deux parements inclinés. Sa construction en béton fut également une nouveauté en Europe. Des travaux de réhabilitation intéressant l'ensemble de l'ouvrage ont été entrepris entre 2000 et 2004.

À la fin du XIX^e siècle et au début du XX^e siècle, on note la construction de nombreux barrages en remblai (*Figure 2*). À cette époque, on faisait appel à des techniques de terrassement se basant sur des critères empiriques éloignés d'une mécanique des

sols scientifique. Une rupture d'une petite digue d'une hauteur de 5 m en 1877 a incité l'ingénieur cantonal *Friedrich von Salis* (1825–1901) à entreprendre un examen détaillé de l'onde de submersion, ce qui fut vraisemblablement un des premiers calculs de ce genre. Parmi les réalisations marquantes, on relève la digue de col du Günsen (SG/1900/H=19 m) et la digue de Klöntal (GL/1910/H=30 m) destinée à surélever un lac naturel (*Figure 2*). Pendant la même période, de nombreux barrages poids furent aussi construits le plus souvent de manière traditionnelle en maçonnerie tels les barrages de Buchholz (SG/1892/H=19 m), List (AR/1908/H=29 m), Muslen (SG/1908/H=29 m) et du col de la Bernina (GR/1911/H=15 et 26 m). Ces derniers ont fait l'objet d'importants travaux d'assainissement vers la fin du XX^e siècle et au début du XXI^e siècle.

Dès 1914, en raison des besoins croissants en énergie, on envisagea la réalisation d'ouvrages permettant le stockage de l'eau, notamment celle issue de la fonte estivale des neiges et des glaciers, et ainsi d'assurer une production d'énergie lors de la demande d'électricité hivernale. Ce transfert d'énergie impliquait de disposer de grandes retenues et, par conséquent, la réalisation de grands barrages.

La construction du barrage de Montsalvens (FR/1920/H=55 m) marque le début d'une époque de développements importants. Par sa forme arquée à double courbure, ce barrage constituait une première européenne et fut l'œuvre d'*Heinrich E. Gruner* (1873–1947). Le calcul sta-

tique se basait sur une méthode publiée par *Hugo F. L. Ritter* (1883–1956) qui fut par la suite développée par *Alfred Stucky* (1892–1969) et *Henri Gicot* (1897–1982), alors collaborateurs de *H. E. Gruner*.

C'est le 2 octobre 1928 que la Commission Suisse des Grands Barrages fut fondée par d'éminents savants et praticiens des constructions des barrages: *H. Eggenberger, H. E. Gruner, A. Kaech, E. Meyer-Peter, M. Ritter, A. Stucky, A. Zwygart, W. Schurter*. Plus tard, d'autres personnalités vinrent rejoindre cette commission: *J. Bolomey, O. Frey-Bär, H. Gicot, H. Juillard, M. Lugeon, E. Martz, M. Roš, M. Roš. jun.* Les buts poursuivis par cette commission étaient selon ses statuts de «s'occuper des problèmes liés aux barrages et de collecter des informations et des expériences sur ces constructions et leur exploitation». Au début, la Commission s'occupa des questions concernant les congrès de la Commission Internationale des Grands Barrages (CIGB) fondée en 1928. Elle établit par la suite des directives pour la construction et l'entretien des barrages suisses. Elle se fixa par ailleurs la tâche de soumettre à un examen scientifique les résultats des observations faites sur les barrages. La Commission Suisse des Grands Barrages devint en 1948 le Comité National Suisse des Grands Barrages (CNSGB) et ensuite en 1999 le Comité Suisse des Barrages (CSB).

Dans les années 1930, le déclenchement d'une crise économique mondiale freina l'accroissement de la consommation d'électricité ainsi que les besoins en

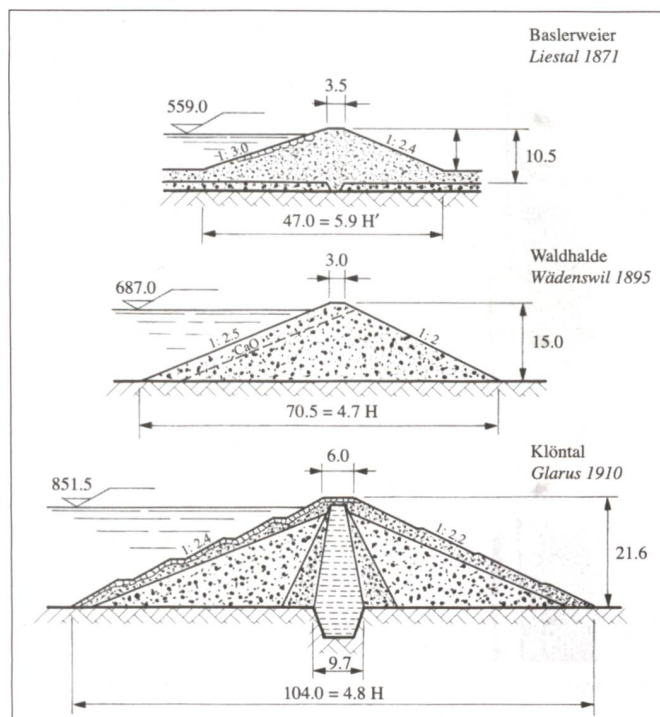


Figure 2: Exemples de barrages en remblai construits vers la fin du XIX^e siècle et le début du XX^e siècle (selon *Schnitter, 1985*).

nouveaux aménagements et, par conséquent, la construction de barrages. C'est à cette époque que fut pourtant construit d'après un projet d'*Alfred Stucky* le barrage de la Grande Dixence (VS/1935/H=87 m), un barrage à contrefort d'un volume de 421 000 m³ qui resta jusqu'aux années 1940 le plus haut barrage de ce type au monde. Pendant la Seconde Guerre mondiale, commencèrent la construction du barrage de Verbois (GE/1943/H=34 m) et celle du barrage à contreforts de Lucendro (TI/1947/H=73 m).

Suite à des bombardements de barrages poids allemands par l'aviation anglaise en mai 1943, les autorités fédérales

prescrivirent la mise en place d'étrésillons horizontaux au barrage à contreforts de Lucendro déjà achevé, ainsi que des renforcements importants au barrage de Cleuson (VS/H=87 m) construit entre 1947 et 1950. Par la suite, ne furent tolérés que d'étroits évidements comme ce fut le cas des barrages de Räterichsboden (BE/1950/H=94 m) et d'Oberaar (BE/1953/H=100 m).

Pendant les années de guerre, on nota déjà une forte augmentation de la consommation d'électricité qui continua de croître en relation avec la conjoncture d'après-guerre. La construction d'aménagements hydroélectriques, dont des grands barrages en étaient la pièce maîtresse, fut entreprise pour répondre à cette demande en énergie supplémentaire. Ainsi en 1945, commença la construction du barrage voûte de Rossens (FR/1947/H=83 m). Dès 1950 et jusque dans les années 1970, la construction de barrages connut une

période faste puisque plus d'une centaine d'ouvrages furent mis en exploitation. La construction du barrage voûte du Mauvoisin d'une hauteur de 237 m (*Figure 3*) et celle du barrage poids de la Grande Dixence d'une hauteur de 285 m (*Figure 4*) débutèrent en 1951. Mis en service respectivement en 1957 et 1961, ces deux ouvrages comptent encore aujourd'hui parmi les plus hauts du monde en exploitation. Grâce aux compétences d'experts renommés et d'ingénieurs de bureaux d'études de haut niveau, de nombreux barrages voûtes imposants furent érigés.

Dans la conception des barrages voûtes, les arcs circulaires traditionnels furent remplacés par des arcs paraboliques ou elliptiques afin d'obtenir une meilleure orientation des poussées des arcs contre le rocher de fondation. Parmi les ouvrages d'une hauteur supérieure à 100 m, on peut citer particulièrement les barrages d'Émosson (VS/1974/H=180 m), de Zeuzier (VS/1957/



Figure 3: Barrage de Mauvoisin (H=250 m).

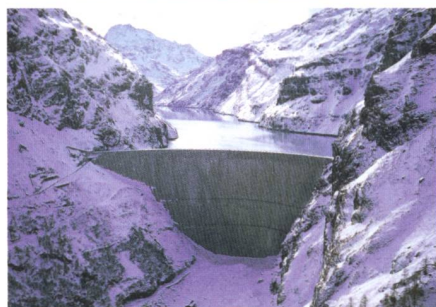


Figure 4: Barrage de la Grande Dixence (H=285 m).



Figure 5: Les barrages voûtes de l'Hongrin (H=125/90 m).

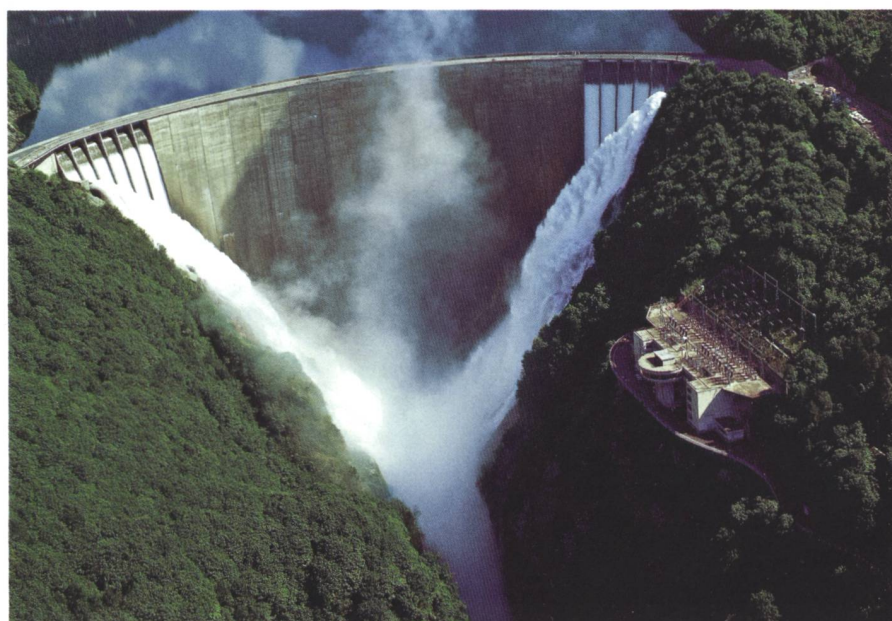


Figure 6: Le barrage voûte de Contra (H=220 m).



Figure 7: De haut en bas: Digue de Mattmark (H=120 m), Digue de Göscheneralp (H=155 m), Digue de Marmorera (Castiletto) (H=91 m).

H=156 m), de Curnera (GR/1966/H=155 m), de Zervreila (GR/1957/H=151 m), de Moiry (VS/1958/H=148 m), de Limmern (GL/1963/H=146 m), de Punt dal Gall (GR/1968/H=130 m), de Nalps (GR/1962/H=127 m) et de Gebidem (VS/1967/H=122 m). Il faut aussi relever les barrages jumeaux de l'Hongrin (VD/1969/H=125 et 90 m) où deux voûtes rejoignent une culée centrale commune donnant à cette ouvrage une certaine originalité (Figure 5). Après les barrages de la Grande Dixence et du Mauvoisin, la marque des 200 m de hauteur fut dépassée notamment au Tessin par les barrages voûtes de Luzzzone (TI/1963/1998/H=225 m) et de Contra (TI/1965/H=220 m) (Figure 6), ce dernier étant l'œuvre de Giovanni Lombardi (1926–2017).

Mettant à profit les développements de bases scientifiques et rationnelles dus notamment à Karl Terzaghi, fondateur de la mécanique des sols, la construction de quelques digues fut entreprise. Par ailleurs, à l'initiative d'Eugen Meyer-Peter (1883–1969), l'EPFZ créa un Institut de technique des fondations et de mécanique des sols dont les résultats des travaux furent d'une grande utilité. Les digues de Marmorera (Castiletto) (GR/1954/H=91 m), de Göscheneralp (UR/1960/H=155 m) et de Mattmark (VS/1967/H=120 m) sont les barrages en remblai les plus importants construits en Suisse (Figure 7).

Dès 1980, les constructions nouvelles intégrées aux aménagements hydroélectriques furent moins nombreuses, dont les plus importantes sont les ouvrages de Solis (GR/1986/H=61 m) et de Pigniu (GR/1989/H=53 m). Cependant pour améliorer les conditions d'exploitation et favoriser un meilleur transfert d'énergie, des barrages ont été surélevés. Cela concerne entre autres 2 barrages voûtes de plus de 200 m. Le barrage voûte de Mauvoisin (VS) qui a été surélevé de 13,5 à 250 m en 1991 et celui de Luzzzone (TI) de 17 à 225 m en 1998. Par ailleurs, dans le cadre du projet de la centrale de pompage-turbinage du Nant de Drance, le barrage du Vieux-Émosson a été surélevé de 21,5 mètres de 45 à 76,5 m. L'ouvrage surélevé consiste en un barrage voûte à double courbure et s'appuie sur le premier barrage poids incurvé. Il a été possible de doubler la capacité de stockage du lac et d'assurer ainsi suffisamment de flexibilité pour exploiter pleinement la puissance de 900 MW de la centrale.

Le barrage de Muttsee (GL/2016/H=35 m) fait partie d'un nouvel aménagement de pompage-turbinage (1000 MW) réalisé entre le lac de Muttsee et la retenue existante du barrage de Limmern. Dans le cadre

de ce projet, la capacité de la retenue naturelle de Muttsee de 9 mio de m³ a été augmentée de 24 mio de m³ par la réalisation d'un barrage poids d'une longueur de 1054 m. Grâce à cet ouvrage, le niveau naturel du lac a été surélevé de 28 m. Le niveau normal de la retenue actuelle se situe à une altitude 2474 m. s.m., ce qui en fait l'ouvrage d'accumulation le plus élevé en altitude de la Suisse. Le parement aval est équipé d'une centrale solaire photovoltaïque.

Par contre, de nombreux ouvrages de protection contre les événements naturels telles les crues et les avalanches, dont les hauteurs varient entre 7 et 30 m, ont été réalisés. À la fin des années 1990, des bassins créés pour le stockage d'eau en vue de la fabrication artificielle de neige ont commencé à faire leur apparition.

3. Travaux de confortement et de réhabilitation

Dans un autre registre, l'attention s'est portée dès le début des années 1980 sur des ouvrages d'accumulation anciens de toutes dimensions pour lesquelles il était important de réévaluer leur sécurité en tenant compte des dernières connaissances techniques et des règles les plus modernes en vigueur. Selon les résultats obtenus, il n'était pas rare qu'un assainissement de tout ou partie de l'ouvrage soit nécessaire afin de permettre la poursuite d'une exploitation sûre durant de nombreuses années encore. Bien entendu, il peut exister plusieurs raisons qui rendent nécessaire un confortement et une réhabilitation d'un ouvrage. Souvent, l'ouvrage ne répond pas aux critères de stabilité les plus récents admis. Il n'est pas exclu que, par rapport au projet initial, les hypothèses admises pour les charges sollicitant l'ouvrage doivent être revues. Elles peuvent concerner entre autres le poids propre, la répartition des sous-pressions ou les sollicitations dues à un séisme. Des nouvelles conditions d'exploitation, comme par exemple de nouveaux niveaux atteints en cas de crue, une accumulation massive de sédiments à l'amont ou une mise en place de remblais à l'aval peuvent avoir aussi une incidence sur les charges. Les travaux à entreprendre sont de plusieurs types et parfois sont combinés. La liste ci-dessous dresse un inventaire de la nature de diverses interventions possibles.

- Surélévation
- Assainissement global des structures
- Traitement des parements
 - Pose de membranes
 - Revêtement bitumineux
 - Enveloppe béton, gunite

- Traitement du corps du barrage (béton, remblais)
 - Injections
 - Étanchéité
- Confortement du pied aval
- Traitement des fondations
 - Injections
 - Drainage
- Sécurité en cas de crue
 - Modification de l'évacuateur de crue
 - Modification du couronnement
 - Création d'un parapet
- Abaissement de la retenue
 - Transformation de la vidange de fond
 - Réalisation d'une nouvelle vidange de fond

Dans le cas du barrage de la Maigrauge (FR/H=22 m) mis en service en 1872, le projet de réhabilitation avait pour objectif d'améliorer la sécurité en cas de crue par le renouvellement des évacuateurs de crue, la sécurité structurale du barrage par la mise en place d'ancrages précontraints et les conditions d'exploitation en modifiant les prises d'eau. Par ailleurs, le dispositif d'auscultation a été modernisé. Enfin, les poissons n'ont pas été oubliés puisqu'ils peuvent franchir le barrage vers l'amont (montaison) grâce à la construction d'un ascenseur ou vers l'aval (dévalaison) grâce à une suite de canaux et de bassins successifs. Les travaux ont été effectués entre 2000 et 2004.

Quand l'examen des contraintes et de la stabilité montre que les conditions de sécurité ne sont pas remplies, un abaissement de la retenue ou un renforcement de l'ouvrage est inéluctable. Pour le barrage du Günsensee (SG/1900/H=24/17 m), la solution de la mise en place d'ancrages précontraints a été choisie. En ce qui concerne les barrages en béton de Muslen (SG/1908/H=29 m) et de List (AR/1908/H=29 m), leurs parements amont et aval ont été recouverts d'une enveloppe en béton en prévoyant une surélévation du niveau du couronnement pour accroître le volume de la retenue et optimiser la production hydroélectrique.

Des interventions peuvent devenir nécessaires si les matériaux constituant le corps du barrage ont subi des dommages internes importants, dus par exemple à des phénomènes de gonflement provoqués par une réaction alcali-agrégats qui peuvent avoir une incidence non négligeable sur les caractéristiques des bétons. Pour limiter le développement du phénomène, le parement amont au barrage de l'Illsee (VS/1923-43/H=25 m) a été revêtu

d'une géomembrane en PVC et le barrage du Lago Bianco Sud (GR/1912-42/H=26 m) d'une membrane constituée par un produit synthétique liquide mis en place en plusieurs couches successives. Au barrage de l'Illsee, le système mis en place ne permet pas de court-circuiter la circulation d'eau par la fondation, ce qui ne contribue pas à ralentir le phénomène. Aussi est-il prévu de procéder à des saignées du béton pour soulager l'ouvrage, en raison d'un béton fortement affecté par une réaction alcali-agrégats conduisant au gonflement du béton. Le phénomène a entraîné une déformation irréversible vers l'amont et un soulèvement du barrage, une réhabilitation du barrage de Serra (VS/1952/2010/H=20 m) se révéla nécessaire. La solution retenue a consisté à réaliser un nouveau barrage à l'aval de l'ancien. Une démolition partielle du pied aval de l'ancien barrage a permis de définir une nouvelle géométrie plus favorable. D'un point de vue structurel, le barrage de Serra s'apparente à un barrage voûte à double courbure (Figure 8) (SwissCoD, 2017).



Figure 8: Le barrage de Serra au cours des travaux de réhabilitation.

Dans les années 1930, les concepteurs et les constructeurs du barrage de Spitalamm (BE/1932/H=114 m) ont réalisé un véritable travail de pionnier. Le barrage sur le Grimsel est l'un des premiers grands barrages poids voûte. Le barrage poids de Seeuferegg (BE/1932/H=42 m) a été construit en même temps que le barrage de Spitalamm. Ces deux murs ont permis de créer la retenue d'eau du lac du Grimsel. Dans les années 1960, on s'est aperçu lors d'examen et de contrôles détaillés que le barrage de Spitalamm présentait en son sein une fissure verticale. En fait, le couronnement et le béton de parement du barrage de Spitalamm avaient commencé à se séparer du reste du mur. Dans un premier temps, il avait été décidé de procéder aux travaux de rénovation nécessaires dans le cadre d'une possible surélévation des deux barrages du Grimsel. En raison d'une possible réaction alcali-granulat, l'exploitant

renonçait à rénover le mur et, à l'automne 2015, il lançait les travaux d'étude en vue de construire un nouveau barrage. En juin 2019, la construction d'un nouveau barrage voûte à double courbure implanté immédiatement devant l'ancien mur commença. L'ancien barrage de Spitallamm sera laissé en l'état et sera par la suite submergé (Figure 9).



Figure 9: Le barrage de Spitallamm en cours de travaux (Photo Schleiss, 2022).

En raison de fortes dégradations dues principalement au gel, un traitement des parements doit être entrepris. Par exemple, après repiquage des zones dégradées, la surface du parement amont du barrage de Schräh a été recouverte d'un béton projeté légèrement armé sur une épaisseur de 8 à 12 cm vers 1983. Dans un autre exemple, un béton projeté par voie humide a été appliqué sur pratiquement toute la surface du parement amont du barrage de Cleuson entre 1995 et 1998. Au préalable, la surface altérée a été décapée par hydrodémolition. La solidarité entre le béton de base et le béton projeté est assurée par un réseau serré de goujons d'ancrages.

Suite aux fortes crues de 1978 au Tessin et à l'obstruction des passes de l'évacuateur de crue du barrage de Palagnedra (TI/1952/H=72 m) par l'arrivée massive de bois flottants (Figure 10), l'Autorité de haute surveillance a revu les critères de



Figure 10: Obstruction des passes du barrage de Palagnedra (TI) lors de la crue du 7 août 1978.

sécurité en cas de crue et a demandé de procéder à un examen des conditions de sécurité. Il faut aussi souligner que les crues dans les Alpes sont des événements qui peuvent se développer très rapidement. Dans de nombreux cas, il a fallu modifier l'évacuateur de crue, le couronnement ou créer un parapet important afin de disposer d'un volume de rétention supplémentaire.

Des études ont montré que lors de crues importantes, les retenues des aménagements hydroélectriques ont fortement contribué à réduire les pointes de crue grâce à leur possibilité de rétention, bien que cela ne soit pas leur rôle premier. Dans le but de renforcer la protection en cas de crues à l'aval d'un barrage, sans devoir pour autant restreindre la production d'énergie hydroélectrique, une solution consiste à transformer une exploitation simple en exploitation à usage multiple. L'idée est donc de créer une nouvelle tranche d'exploitation dans la partie supérieure de la retenue permettant d'accumuler un volume déterminé en cas de crue. Un tel projet a été réalisé en 2001 pour la retenue de la digue de Mattmark.

Il est de règle en Suisse que tout barrage doit être équipé d'une vidange de fond afin de permettre une vidange de la retenue en cas de comportement anormal ou le maintien d'une retenue abaissée pour effectuer des travaux. En raison d'une capacité insuffisante et d'un équipement obsolète, il a fallu prévoir pour certains ouvrages la transformation complète ou la création d'une nouvelle vidange de fond. Ainsi, par exemple, une galerie transversale fut forée au pied du barrage de Schräh (SZ/1924/H=111 m). Pour être conforme, une vidange de fond a dû être créée au barrage de l'Illsee (VS/1924-43/H=25 m) en profitant d'une galerie réalisée pour abaisser le lac naturel lors de la construction. Dans d'autres cas, on a simplement procédé au remplacement des vannes ou à l'adjonction d'une nouvelle vanne.

Les mesures géodésiques effectuées entre 1921 et 1937 avaient déjà mis en évidence un faible mouvement plastique perpendiculairement au litage de la partie aval de l'appui de la rive gauche du barrage de Montsalvens (FR/1920/H=52 m). Ce mouvement persistant, un dispositif d'auscultation supplémentaire (pendule, extensomètres), a été installé en 1969 pour avoir un relevé plus systématique du comportement de la zone aval. Les analyses qui ont été faites par la suite ont montré que l'état d'équilibre se situait à la limite du comportement élastique. Un confortement a alors

été décidé de crainte que les déformations ne s'intensifient ou qu'il y ait un éboulement provoqué par une secousse sismique. Les travaux de confortement de l'appui gauche ont eu pour objectifs, d'une part, de protéger la falaise contre tout risque d'éboulement à l'aide de boullons scellés au coulis de ciment et de l'application en surface d'un béton projeté et, d'autre part, d'augmenter la résistance au cisaillement le long des plans de litage au moyen de barres d'armature entièrement scellées dans le rocher à l'aide d'un coulis de ciment. Au barrage de Pfaffensprung (UR/1921/H=32 m), ne connaissant pas la tenue sur la durée d'ancrages existants à l'aval de l'appui de la rive gauche, il a été décidé de poser des ancres supplémentaires en les dotant d'un système permettant de contrôler les tensions en tout temps.

4. Traitement de problèmes liés à la retenue

4.1 Les environs de la retenue

Il est de première importance de suivre le comportement des rives et des versants, car des instabilités peuvent se manifester parfois sans rapport avec l'exploitation de la retenue. Par exemple, à l'amont du barrage de Mauvoisin, on constata une fissure dans le chemin d'alpage longeant la retenue. La fonte des neiges avait gorgé d'eau les éboulis dans cette zone qui ont glissé sur des plans situés à différentes profondeurs. Un système de surveillance (mesures géodésiques, mesures inclinométriques dans des forages) a été mis en place et une restriction de niveau a été ordonnée tant que la zone n'avait pas retrouvé sa stabilité. Dans le même état d'esprit, de nombreux glaciers sont aussi inspectés par des spécialistes afin de s'assurer que des masses importantes pouvant atteindre la retenue ne se détachent pas. Avec le changement climatique, les risques des instabilités des rives et des versants des retenues vont augmenter.

4.2 L'alluvionnement

En raison des modifications climatiques et de ses conséquences (recul des glaciers, remontée de la limite du zéro degré et modification du permafrost, précipitations accrues), il faut compter avec une augmentation de l'arrivée de matériaux solides dans des bassins alpins. Ces matériaux solides provenant de l'érosion des sols sont transportés vers les bassins d'accumulation par les cours d'eau par charriage ou en suspension. C'est en fonction de leurs

dimensions qu'ils vont se déposer et se répartir dans les retenues. Ces dépôts ont des incidences directes, d'une part, sur l'exploitation des aménagements et, d'autre part, sur la sécurité des ouvrages de retenue. En ce qui concerne l'exploitation, cela se traduit tout d'abord par une perte de volume utile. Selon des estimations au niveau mondial, cette perte se situe entre 1 et 2% par année. Elle est de l'ordre de 0,2% pour nos aménagements alpins si on se réfère à l'analyse de 19 ouvrages (Beyer, Portner & Schleiss, 2000). Le comblement des retenues peut conditionner la durée d'utilisation d'un aménagement.

Côté sécurité, les risques d'obstruction devant les entrées des prises d'eau et surtout celles des vidanges de fond ne sont pas négligeables. De telles situations doivent être évitées. Pour que les entrées des vidanges de fond restent opérationnelles en tout temps, un espace libre directement à l'amont de cet organe de décharge doit être garanti. Pour ces différentes raisons, il est important de pouvoir éliminer ces dépôts de manière périodique et en quantité nécessaire. Des moyens existent déjà pour réduire l'arrivée des sédiments dans les retenues (bassin de décantation, galerie de dérivation, dessableur, etc.). Des galeries de dérivation de sédiments sont exploitées avec succès pour différents barrages (Palagnedra, Pfaffensprung, Rempen, Runcahez, Solis) avec plus de 100 ans d'expérience au barrage de Pfaffensprung (Boes, 2015). Dans de nombreux cas, des opérations périodiques de chasse sont programmées (Gebidem, Rempen, Palagnedra, Luzzzone, etc.) selon un programme préétabli. La base légale concernant la protection des eaux fixe les modalités relatives au curage et à la vidange des bassins de retenue. Il est notamment demandé de veiller dans toute la mesure du possible à ne pas porter atteinte à la faune et à la flore lors de ces opérations. En outre, sauf en cas d'événements extraordinaires, les autorisations seront délivrées par les Autorités cantonales compétentes, dont certaines ont établi des prescriptions. Dans le futur, les promoteurs et les exploitants seront toujours amenés à prendre des mesures efficaces pour éviter l'envasement.

Dans les retenues alpines, les courants de turbidité qui se produisent lors des crues, sont à l'origine de transports importants de sédiments fins le long des réservoirs. Les courants de turbidité, comparables à des avalanches sous l'eau, érodent également les sédiments déjà déposés et les amènent à proximité du barrage

où ils peuvent bloquer les entrées des vidanges de fond ou des prises d'eau (Schleiss & Oehy, 2002; Oehy & Schleiss, 2003). L'ensablement croissant des retenues peut obliger les exploitants à devoir entreprendre des travaux importants pour que ces organes conservent leurs fonctions. Par exemple au barrage de Mauvoisin, il a fallu rehausser la prise d'eau de 38 m et la vidange de fond de 36 m en construisant de nouveaux ouvrages d'entrée et de nouvelles chambres des vannes. Il existe de nombreux autres cas.

Les sédiments fins, principalement transportés au fond du réservoir par les courants de turbidité, peuvent contribuer à plus de 80% de la sédimentation dans les réservoirs alpins. Outre le contrôle des courants de turbidité dans les réservoirs par l'utilisation d'obstacles (Oehy & Schleiss, 2003), le dépôt de matériel fin à proximité du barrage peut être évité en l'évacuant par des orifices de fond. Cette approche est économiquement et écologiquement avantageuse. Les lâchers artificiels de crues combinés à la reconstitution des sédiments en aval des barrages peuvent contribuer à cette évacuation des sédiments fins et restaurer, voire dynamiser, le transport de la charge de lit dans la rivière en aval (Döring et al., 2018). Une autre option prometteuse pour la gestion des sédiments fins consiste à utiliser des installations de jet d'eau dans le réservoir près du barrage pour assurer leur mise en suspension avant de les évacuer à des concentrations contrôlées par la prise d'eau de la centrale (Jenzer, Althaus et al., 2011).

5. Bref rappel des bases légales

Au niveau de la sécurité des ouvrages d'accumulation, l'Autorité de haute surveillance suisse poursuit deux buts. Tout d'abord, celui d'assurer la sécurité du barrage et partant celle du public, et, ensuite, celui d'assurer la sécurité de l'exploitation. Historiquement, c'est la loi du 22 juin 1877 sur la police des eaux amendée en 1950 qui règle les dispositions concernant la sécurité des barrages. Elle stipule dans un article fondamental que le Conseil fédéral doit prendre pour les ouvrages de retenue les mesures nécessaires pour prévenir le plus possible les dangers et les dommages qui pourraient résulter de leur mode de construction, de leur entretien insuffisant ou de faits de guerre. Actuellement, les bases légales comprennent une loi sur les ouvrages d'accumulation (LOA, 2010) en vigueur depuis 2013, accompagnée par une ordonnance (OSO, 2012). Outre les modalités concer-

nant leur sécurité, la loi introduit une responsabilité civile à raison du risque.

En ce qui concerne son champ d'application, la loi (LOA, 2010) précise que l'assujettissement s'applique:

- aux ouvrages d'accumulation dont la hauteur de retenue H au-dessus du niveau d'étiage du cours d'eau ou du niveau du thalweg (hauteur de retenue) est de 10 m au moins, ou,
- si cette hauteur de retenue est de 5 m au moins, à ceux dont la capacité de retenue est supérieure à 50 000 m³ ;
- aux ouvrages d'accumulation de moindres dimensions lorsqu'ils représentent un risque potentiel particulier pour les biens et les personnes ; dans le cas contraire ils sont exemptés.

6. Mesures en vue de garantir la sécurité publique

Suite aux bombardements de barrages poids allemands situés dans la Ruhr par l'aviation anglaise dans la nuit du 16 au 17 mai 1943, les autorités militaires et civiles suisses eurent des craintes concernant la vulnérabilité des barrages suite à des actes de guerre ou de sabotage. Une première mesure prise en juin 1943 fut de tendre un câble au-dessus des barrages comme mesure de protection contre les avions. En septembre 1943, le Conseil fédéral qui avait rondement mené les affaires, promulgua un arrêté dont les dispositions portaient sur des mesures de protection actives et passives des barrages contre des destructions par fait de guerre, l'exploitation des bassins et l'abaissement de leur niveau ainsi que l'installation d'un dispositif d'alarme. Dans un premier temps, il fut décidé d'installer des sirènes dans une zone dite rapprochée inondable 20 minutes après la destruction du barrage et une liste des barrages qui devaient être équipés d'un système alarme-eau fut publiée fin novembre 1943. C'est en 1945 que les barrages en remblai de Bannalp (NW 1937/ $H=32$ m) et de Klöntal (GL/1910/ $H=30$ m) furent les premiers ouvrages équipés d'un tel système alarme-eau. Le règlement concernant les barrages entré en vigueur en juillet 1957 donna une base légale à l'appui de la mise en place d'un système d'alarme.

Une définition plus concrète du système alarme-eau fut introduite en 1957 dans le Règlement concernant les barrages. On distingue pour la première fois une zone rapprochée étendue à 2 heures au maximum et une zone éloignée. Les

moyens d'alarme mis en place dans chaque zone sont différents. Par ailleurs, il fut aussi décidé l'emploi du système alarme-eau également en temps de paix et de l'étendre à toutes les autres formes possibles d'atteinte à la sécurité des barrages. L'introduction de degrés de préparation et la définition de critères pour le déclenchement de l'alarme-eau étaient également des nouveautés.

7. Regard vers le futur

L'épopée de la construction de grands barrages en Suisse est aujourd'hui pratiquement achevée, car les sites techniquement les plus intéressants sont en majorité exploités.

En vue de soutenir la transition énergétique définie par la stratégie énergétique 2050, la Confédération a organisé en 2021 une table ronde incluant la société civile pour définir des projets avec pour objectifs d'assurer la sécurité de l'approvisionnement énergétique en hiver tout en préservant la biodiversité et le paysage. Avec le but d'augmenter la production flexible des aménagements à accumulation en hiver au minimum de 2000 GWh jusqu'en 2040, les participants se sont accordés sur une liste de 15 projets prioritaires. Dans cette liste figurent trois nouveaux barrages dans des vallées libérées suite au retrait des glaciers (*Figure 11*: exemple du futur barrage de Trift), le reste concerne des extensions d'aménagements existants avec notamment des surélévations de barrages.

Ces derniers exemples montrent que le domaine des barrages reste attractif pour les projeteurs, les constructeurs et les exploitants. En effet, par la diversité de ses affectations, il offre des perspectives intéressantes non seulement pour des projets de transformation ou de modernisation d'ouvrages existants, mais également pour de nouveaux projets. Il s'agit aussi de veiller à la bonne santé des ouvrages existants.

Avec le vieillissement des structures et des équipements, quelques problèmes doivent être examinés, telles l'évolution des bétons de masse (fluage à long terme, réaction alcali-agrégats) ou la tenue des fondations (développement de sous-pressions, conservation des réseaux de drainage).

À court terme, la surveillance et l'entretien des barrages de toutes dimensions restent des tâches essentielles afin de garantir leur sécurité. Si l'organisation de ces activités pour des grands et moyens ouvrages est assurée depuis de nombreuses

décennies, celle des petits ouvrages doit être encore réglée.

En ce qui concerne les aménagements hydroélectriques, l'avenir de la force hydraulique s'inscrit dans le cadre du développement durable. Plusieurs paramètres socio-économiques et écologiques influenceront les exploitants dans leurs investissements futurs, à savoir l'ouverture du marché, l'évolution de l'offre et de la demande, des prix de l'électricité et des coûts de construction, des redevances hydrauliques et de la politique.

Tout d'abord, de nombreuses concessions arrivent à échéance. Au moment de les renouveler, l'évaluation de la sécurité des ouvrages parfois anciens est une phase nécessaire qui conduit dans la plupart des cas à devoir envisager des travaux de confortement et de réhabilitation importants, voire le remplacement des équipements électromécaniques des ouvrages de décharge. D'autres mesures peuvent être prises avant cette échéance pour procéder à la modernisation et à l'optimisation des installations existantes. L'idée de surélever un barrage pour augmenter la capacité de son bassin d'accumulation est une option réaliste. Les projets de pompage-turbinage redeviennent d'actualité. Ils présentent les avantages de stocker de l'énergie hydraulique et de valoriser l'énergie des centrales non réglables (thermiques) ou des renouvelables peu prédictibles (solaires, éoliennes) produite en dehors des heures de forte consom-

mation. Une trentaine de sites potentiels avaient été évalués au cours des années 1970. Aujourd'hui, on recherche à combiner ce type d'ouvrage avec des aménagements à accumulation existants en les équipant de nouvelles adductions d'eau et en augmentant la capacité de retenue. Par exemple, le projet de pompage-turbinage de Nant de Drance, dont les travaux ont commencé en 2009, utilise la dénivellation de 300 m entre les lacs de retenue d'Émosson (VS/ 1974/H = 180 m) et de Vieux Émosson (VS/ 1974/2017/H = 76.5 m). La mise en service de ces installations entièrement souterraines est effective depuis 2022.

Si la majorité des retenues a été créée en vue de produire de l'énergie hydraulique, la construction de bassins pour le stockage d'eau pour la production de neige artificielle s'est fortement développée vers la fin des années 1990. Ces ouvrages sont généralement implantés hors rivière, sur un replat ou à flanc de coteau ; une grande partie de la cuvette artificielle peut être réalisée par excavation. Compte tenu des conditions locales et de la disponibilité en matériaux, le recours à un barrage en remblai est fréquent. Il ne fait pas de doute que les exploitants de remontées mécaniques vont encore continuer à utiliser ce moyen pour garantir au mieux l'enneigement des pistes. Enfin, un aménagement hydraulique peut aussi favoriser la création de biotopes et de zones de loisirs.

Les dangers naturels (crues, avalanches, laves torrentielles) engendrent chaque an-



Figure 11 : Photomontages du futur barrage de Trift, d'une hauteur de 180 m, qui utilise la vallée déjà libérée par le retrait du glacier. En-haut : à lac vide avec position du glacier en 2015. En-bas : à lac plein (Photo KWO).

née des dégâts pour des sommes considérables. Le besoin accru de sécurité va conduire à la conception et à la réalisation de nouveaux ouvrages de protection tels des bassins de rétention de crues ou des digues contre avalanches. Certains moyens de protection devront être reconsidérés, améliorés et complétés. En Suisse, les bassins d'accumulation des aménagements hydroélectriques existants sont en règle générale des retenues à but unique. Ils peuvent être convertis en retenue à buts multiples en réservant un volume bien défini de la retenue pour le stockage des apports de crue. Cette solution a déjà trouvé une application et d'autres pourraient suivre. Pour maintenir si nécessaire le volume utile des retenues, différentes solutions sont possibles, telles que la surélévation du barrage, la création d'un réservoir d'appoint communicant ou par adjonction d'un aménagement de pompage-turbine saisonnier. Il est possible de recourir à un modèle de prévision des crues afin de parvenir à une gestion la plus favorable des retenues. C'est le but que s'est fixé le canton du Valais en développant le projet Minerve pour simuler le comportement hydraulique global des bassins versants et des aménagements hydroélec-

triques valaisans. Ce modèle doit améliorer les bases de décision des responsables cantonaux (Raboud et al., 2001; Jordan et al., 2008; García Hernández et al., 2011, 2014).

La recherche et le développement travaillent depuis de nombreuses années pour permettre les progrès technologiques. Divers problèmes ont été abordés tels que la sécurité sous sollicitation dynamique, les crues extrêmes, le comportement à long terme des barrages et le comportement des fondations. Il est bien entendu que ces sujets ne sont pas clos. Les problèmes liés à la sécurité et au comportement global des barrages continueront d'occuper les chercheurs. On peut citer le comportement d'ouvrages submergés, le comportement à long terme des revêtements et des drainages, ainsi que l'alluvionnement des retenues.

Pour le suivi du comportement des barrages, on peut se préoccuper du développement de la saisie et du transfert des données, ainsi que de méthodes de mesures et d'analyse. Enfin, de nouvelles méthodes de construction de plus en plus appliquées, par exemple le béton compacté au rouleau (BCR), peuvent faire l'objet d'études particulières.

L'expertise suisse dans le domaine des barrages est reconnue et offre ainsi la possibilité d'être aussi présente à l'étranger. En effet, la demande pour la construction d'ouvrages hydrauliques et de barrages en particulier est et sera très forte au niveau mondial. Logiquement la stratégie qui s'impose est celle d'une expansion tournée vers l'extérieur (Schleiss, 1999). L'industrie et l'ingénierie suisses ont les capacités de réaliser cette vision grâce à une expérience plus que centenaire des constructions hydrauliques et leur renommée mondiale acquise depuis les années 1960 par la réalisation de plus de 180 grands barrages hors de Suisse.

Remerciements

Le présent article se base pour l'essentiel sur les chapitres 2.2 et 2.3.2 du livre «Les Barrages. Du projet à la mise en service», Anton J. Schleiss et Henri Pougatsch, 2^{ème} édition, Traité de Génie Civil Volume 17, EPFL Press, 2020 (www.epflpress.org/produit/67/9782889153145/les-barrages-tgc-volume-17).

La plupart des photos des barrages ont été publiées dans des calendriers «Barrages en Suisse» rédigés chaque année par le Comité suisse des barrages.

Abréviation des cantons suisses:

AG Aargau, AI Appenzel Innerrhoden, AR Appenzel Ausserrhoden, BE Bern, BL Basel-Landschaft, BS Basel-Stadt, GL Glarus, FR Fribourg, GE Genève, GR Graubünden, JU Jura, LU Luzern, NE Neuchâtel, NW Nidwalden, OW Obwalden, SG St. Gallen, SH Schaffhausen, SZ Schwyz, SO Solothurn, TG Thurgau, TI Ticino, UR Uri, VD Vaud, VS Valais, ZG Zug, ZH Zürich

Sources:

Beyer Portner N., Schleiss A., 2000. «Bodenerosion in alpinen Einzugsgebieten in der Schweiz». *Wasserwirtschaft* 90(2), 88–92.
Boes R.M. (ed.), 2015. Proc. 1st Int. Workshop on Sediment Bypass Tunnels Zurich. VAW Mitteilung 232, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zurich, Zürich, 258 pages.
Döring M., Tonolla D., Robinson Ch. T., Schleiss A., Stähly S., Guflier Ch., Geilhausen M. et Di Cugno N., 2018. «Künstliches Hochwasser an der Saane – Eine Massnahme zum nachhaltigen Auenmanagement». *Wasser Energie Luft – Eau énergie air*, 110. Jahrgang, Heft 2, 119–127.
García Hernández J., Schleiss A. J. et Boillat J.-L., 2011. «Decision Support System for the hydropower plants management: the MINERVE project». *Dams and Reservoirs under Changing Challenges* – Schleiss & Boes (Eds), Taylor & Francis Group, London, 459–468. ISBN 978-0-415-68267-1.
García Hernández J., Claude A., Paredes Arquiolá J., Roquier B. et Boillat J.-L., 2014. «Integrated flood forecasting and management system in a complex

catchment area in the Alps – Implementation of the MINERVE project in the Canton of Valais». *Swiss Competences in River Engineering and Restoration*, Schleiss, Speerli & Pfammatter Eds, 87–97. Taylor & Francis Group, London. ISBN 978-1-138-02676-6, doi:10.1201/b17134-12.
Jenzer Althaus J., De Cesare G. et Schleiss A. J., 2011. «Entlandung von Stauseen über Triebwasserfassungen durch Aufwirbeln der Feinsedimente mit Wasserstrahlen». *Wasser Energie Luft – Eau énergie air*, 103. Jahrgang, Heft 2, 105–112.
Jordan F., García Hernández J., Dubois J. et Boillat J.-L., 2008. *Minerve – Modélisation des intempéries de nature extrême du Rhône valaisan et de leurs effets*. Communication n° 38 du Laboratoire de constructions hydrauliques, LCH-EPFL, Ed. A. Schleiss, Lausanne. LÖA, 2010. Loi fédérale sur les ouvrages d'accumulation. RS 721.101 du 1er octobre 2010 (Etat le 1^{er} janvier 2013).
Oehy Ch. et Schleiss A., 2003. «Beherrschung von Trübestömen in Stauseen mit Hindernissen, Gitter, Wasserstrahl- und Luftblasenschleier». *Wasser Energie Luft – Eau énergie air*, 95. Jahrgang, Heft 5/6, 143–152.
ÖSOA, 1998. Ordonnance sur la sécurité des ouvrages d'accumulation du 7 décembre 1998.
ÖSOA, 2012. Ordonnance sur les ouvrages d'accumulation (ÖSOA). RS 721.101.1 du 17 octobre 2012 (Etat le 1^{er} avril 2018).
Raboud P.-B., Dubois J., Boillat J.-L., Costa S. et Pitteloud P.-Y., 2001. «Projet Minerve – Modélisation de la contribution des bassins d'accumulation lors des

crues en Valais». *Wasser Energie Luft – Eau énergie air*, 93^e année, cahiers 11/12, 313–317.
SwissCoD, 2017. Swiss Committee on Dams, Concrete swelling of dams in Switzerland. Report of the Swiss Committee on Dams on the state of concrete swelling in Swiss Dams. AAR Working Group. May 2017.
Schleiss A. et Oehy Ch., 2002. «Verlandung von Stauseen und Nachhaltigkeit». *Wasser Energie Luft – Eau énergie air*, 94. Jahrgang, Heft 7/8, 227–234.
Schleiss A., 1999. «Constructions hydrauliques. Facteur clé de la prospérité économique et du développement durable au XXI^e siècle». *IAS* n° 11, 9 juin 1999, 198–205.
Sinniger, R., 1985. *L'histoire des barrages*. EPFL, Polyrama, 1985, 2–5.
Schnitter, N.J., 1985. *Le développement de la technique des barrages en Suisse*. Comité national suisse des grands barrages, Barrages suisses – Surveillance et entretien, publié à l'occasion du 15^e Congrès international des grands barrages, Lausanne 1985, 11–23.

Auteurs:

Henri Pougatsch, Ingénieur civil EPFL, Membre d'honneur du CSB, Anc. Chargé de la sécurité des barrages à l'OFEG, h10pougatsch@bluewin.ch
Prof. em. Dr. Anton J. Schleiss, Hon. Président CIGB – ICOLD et Membre d'honneur du CSB, École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Station 18, 1015 Lausanne, anton.schleiss@epfl.ch.

