

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

Artikel: Le dispositif d'auscultation : un développement constant
Autor: Pougatsch, Henri / Fern, Isabelle
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1049999>

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>

Le dispositif d'auscultation : un développement constant

Henri Pougatsch, Isabelle Fern

Résumé

Le propos principal de cette présentation est de rappeler les éléments essentiels qui régissent l'installation d'un dispositif d'auscultation, dont le but est d'assurer le suivi du comportement des ouvrages d'accumulation. Il fait état du passé, du présent et du futur de ce type d'installation.

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht hat zum Ziel, das wesentliche Element der Messanlagen-einrichtung zur Überwachung des Verhaltens von Talsperren aufzuzeigen. Es beschreibt die Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft dieser Art von Anlagen.

1. Introduction

C'est vers 1920 que commença en Suisse l'essor de la construction des grands barrages et que se fit sentir la nécessité de disposer de moyens de mesure propres destinés d'une part, à contrôler le comportement de l'ouvrage et de ses environs et, d'autre part, obtenir des indications et données utiles lors de projets futurs. Le barrage de Montsalvens (FR) (d'une hauteur de $H=55$ m), fut le premier à être équipé d'appareils d'auscultation. À l'aide de triangulation et de niveling (Figure 1), de clinomètres et la pose de thermomètres en différents points, il fut donc possible

de mesurer les déformations pour différents niveaux de retenue et les sollicitations thermiques. Ces mesures avaient pour but de confirmer la justesse des hypothèses de calculs. L'Office fédéral de topographie devait assurer les mesures de triangulation et de niveling. En outre, c'est en 1932 au barrage de Spittalamm (BE) d'une hauteur de 114 m, un ouvrage de l'aménagement de l'Oberhasli, qu'a été mis en place le pendule à système de lecture mécanique pour la mesure des déformations dont le développement est dû à l'ingénieur Juillard. Cet instrument devint un élément essentiel des dispositifs d'auscultation des barrages en Suisse et dans le monde.

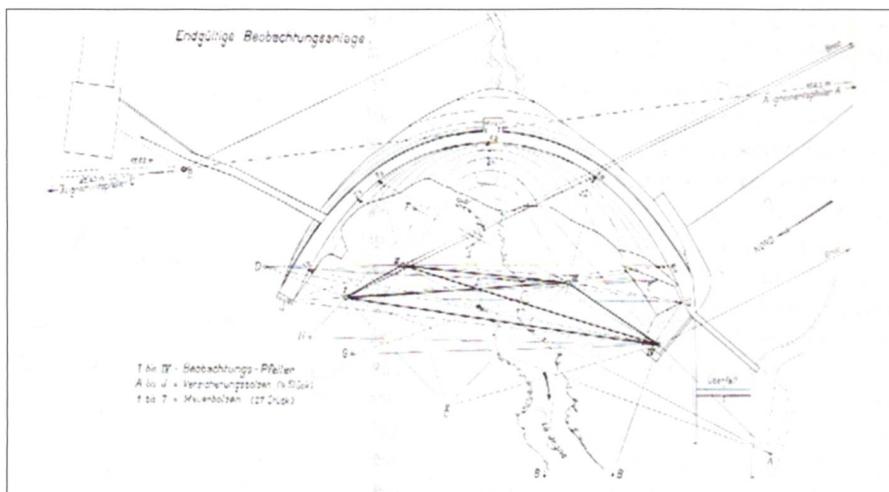


Figure 1 : Barrage de Montsalvens.

Plan du réseau des mesures trigonométriques et d'alignement (CSGB 1946).

Progressivement, l'auscultation des barrages devint prépondérante et les exigences pour ce mode de surveillance évoluèrent. Grâce au développement des appareils et aux méthodes de mesure, il en résulte une précision accrue et une simplification des mesures. Par ailleurs, le traitement par ordinateur des données a permis une analyse performante. Vu l'importance attribuée au dispositif d'auscultation, des adaptations ont été apportées périodiquement en relation avec les connaissances acquises et les exigences nouvelles.

2. Exigences introduites dans la législation

Avec l'intensification de la construction des barrages, l'Autorité de surveillance a jugé utile de compléter la législation limitée à ce moment à l'article 3bis de la loi fédérale de juin 1877 sur la police des eaux, aussi un règlement concernant les barrages a été développé et est entré en vigueur en 1957. Lors de sa rédaction, l'importance prépondérante du suivi du comportement des barrages a été admise. Un article de ce règlement précise que des installations adaptées aux dimensions de l'ouvrage seront aménagées afin qu'il soit possible de mesurer tant les charges qui sollicitent l'ouvrage (causes) que les différents paramètres qui caractérisent le comportement d'un ouvrage de retenue (conséquences). Ces mesures devront autant que possible être entreprises déjà pendant la construction de l'ouvrage. Il est aussi fait mention de l'importance d'exécuter des mesures régulièrement et de les interpréter sans délai. Il est en outre demandé de constituer un dossier du barrage et de le tenir à jour. Au cours du temps, ce règlement a subi diverses modifications et améliorations. Actuellement, l'aspect législatif est réglé par la loi fédérale sur les ouvrages d'accumulation (LOA RS 721.102 du 1^{er} octobre 2010) et son ordonnance (OSOA RS721.101.1 du 17 octobre 2012). Ces dernières ont été complétées dès 2002 par des Directives qui régissent les modalités



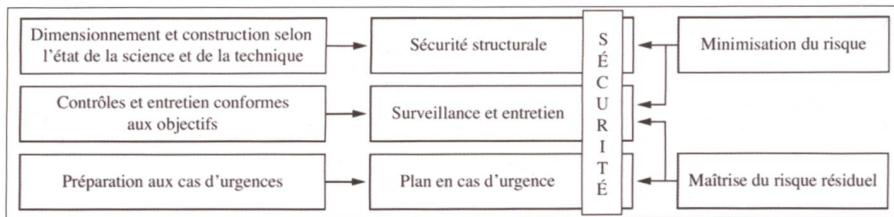


Figure 2: Représentation schématique du concept de sécurité en vigueur pour les ouvrages d'accumulation en Suisse basé sur 3 piliers (OFEN, 2015).

d'application de l'ordonnance et fournissent notamment des informations sur le concept de sécurité basé sur trois piliers qui sont: la sécurité structurale, la surveillance et l'entretien, ainsi que le plan en cas d'urgence (Figure 2). Il faut relever que le premier pilier permet de minimiser le risque, alors que les deux autres minimisent le risque résiduel.

La surveillance implique la mise en place d'une organisation stricte pour le suivi du comportement des ouvrages d'accumulation et de leurs fondations. Elle fait appel au personnel de l'exploitant, à des ingénieurs, ainsi qu'à des experts spécialistes dans le domaine des barrages. Ils doivent s'assurer en toutes circonstances d'un comportement adéquat de l'ouvrage et de ses fondations, et, le cas échéant, proposer toute mesure utile pour remédier à toute menace potentielle. Notons que durant la vie du barrage, des phénomènes connus ou moins connus, voire imprévisibles, peuvent se manifester. Trois tâches essentielles sont exécutées selon un programme précis: a) des contrôles visuels, b) des mesures directes grâce au dispositif d'auscultation, et, c) des contrôles de fonctionnement d'éléments mobiles, de l'instrumentation, ainsi que des moyens de communication.

3. Objectifs du dispositif d'auscultation

Le système de mesure a fondamentalement divers objectifs. Tout d'abord, celui d'exécuter des contrôles pendant la construction et le premier remplissage; pour cette raison, ce dispositif sera déjà projeté dans le cadre du projet. Les contrôles sont effectués pendant l'exploitation afin de pouvoir détecter à temps toute anomalie du comportement. Par ailleurs, comme ce fut le cas au début avec les premiers dispositifs installés, il permet de compléter et d'améliorer les connaissances de l'ingénieur (recherches techniques ou scientifiques, prévisions analytiques, analyses de risques).

4. Principe et concept

Le dispositif d'auscultation doit permettre de mesurer, d'une part, les charges exté-

rieures qui sollicitent l'ouvrage (notamment, la charge hydrostatique (eau et glace) et celle des sédiments, les températures de l'eau et de l'air, ainsi que l'effet sismique) et, d'autre part, les différents paramètres qui caractérisent le comportement d'un ouvrage de retenue (à savoir, les déformations subies par les fondations et le corps du barrage, les fuites et percolations à travers le barrage et les fondations, l'état thermique, les sous-pressions dans les fondations du barrage, ainsi que les pressions de l'eau interstitielle et éventuellement les lignes de saturation dans les digues) (Tableau 1).

Le projet du dispositif d'auscultation sera adapté aux particularités et à l'importance de l'ouvrage d'accumulation. En outre, on tiendra compte que le barrage et ses fondations constituent un ensemble,

aussi il doit permettre de distinguer clairement le comportement du barrage de celui de ses fondations et de ses environs. Il n'y a pas de règle pour définir le nombre d'appareils de mesure nécessaires pour assurer un suivi satisfaisant du comportement; il est préférable de disposer d'un nombre restreint d'instruments fiables, ce qui facilite aussi l'interprétation des mesures. Pour parer à des pannes ou défaillances, il est recommandé de prévoir des mesures redondantes de certains paramètres (par exemple, la mesure des déformations). Il faut aussi relever qu'un dispositif d'auscultation n'est pas un système figé. En effet, il est bon d'examiner périodiquement s'il satisfait toujours aux exigences et aux besoins; si nécessaire, il sera complété, adapté ou modernisé. Même si les instruments proposés sont de plus en plus nombreux et sont en constante évolution, il faut toutefois remarquer que les paramètres à mesurer restent les mêmes.

5. Qualité requise de l'instrumentation et évolution attendue

Le choix des appareils de mesure dépend des paramètres à observer, du mode de

Barrage en béton	Barrage en remblai	Fondations
Déformations de la structure	Déformations du corps de la digue	Déformations
Mouvements particuliers (fissures, joints)	Mouvements particuliers (liaisons avec une structure béton)	Mouvement des appuis Mouvements particuliers (fissures, diaclases)
Température dans le corps du barrage	Température dans le corps de la digue pour la détection de percolation éventuelle	
Sous-pressions (au contact béton-fondation et dans le rocher)	Pressions interstitielles dans le corps du barrage en remblai et niveau piézométrique	Pressions interstitielles Sous-pressions au contact béton-fondation Niveau piézométrique
Débits de fuites et de drainage, infiltration	Débits de fuites et de drainage	Débits de fuites, de drainage, réurgences
Chimie des eaux de percolation	Chimie des eaux de percolation	Chimie des eaux de percolation
Turbidité (éventuelle)	Turbidité	Turbidité

Tableau 1 : Paramètres significatifs et mesurés grâce au dispositif d'auscultation (Schleiss et Pougatsch, 2011).

Types de mesure	Instruments
Déformation de la structure	Pendule direct, Pendule indirect, Clinomètre, Extensomètre, Capteur et câble optique, Géodésie, Réseau extérieur (mesures terrestres et GPS), Nivellement, Polygonale, Visées verticales, Mesures d'angles, Alignement
Mouvements particuliers (fissures, joints)	Jointmètre, Micromètre, Capteur et câble fibre optique, Rissmaximètre
Température dans le corps du barrage	Thermomètre, Thermomètre électrique, Capteur et câble fibre optique
Sous-pression au contact béton-fondation	Manomètre, Cellule de pression
Chimie des eaux de fuite	
Tension des ancrages (dans le corps du barrage, en fondation)	Cellules de mesures de force (système hydraulique ou électrique)

Tableau 2: Équipements et types de mesure d'un barrage béton.

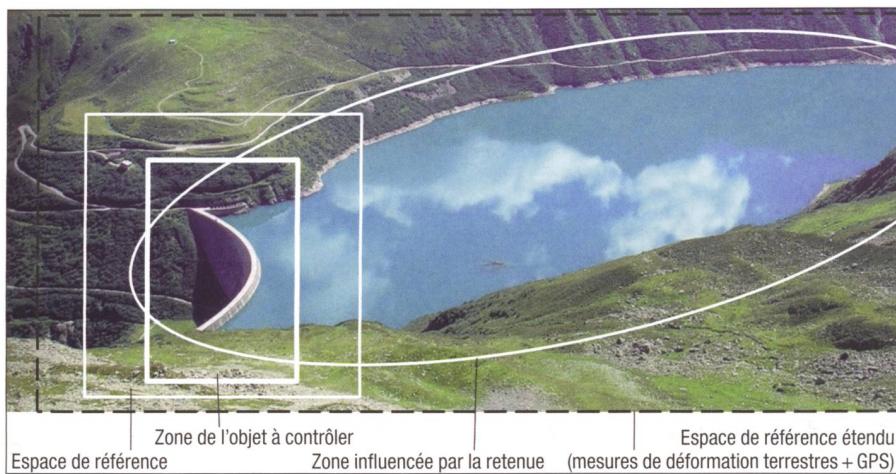


Figure 3: Espace de référence étendu (mesures de déformations terrestres + GPS), (Schleiss et Pougatsch, 2011).

construction de l'ouvrage et des possibilités d'installation. Le choix doit être adapté à chaque cas spécifique. La priorité doit cependant être donnée aux instruments répondant aux critères suivants: simples et robustes, précis et fiables, durables, de lecture facile, insensibles aux conditions environnementales; pour autant qu'ils ne soient pas intégrés dans le corps de l'ouvrage, ils seront accessibles et remplaçables (SwissCoD, 2005, 2006).

Pour parer à des pannes ou défaillances, il est recommandé de prévoir des mesures redondantes de certains paramètres (par exemple, la mesure des déformations). En ce qui concerne la fiabilité des appareils de mesure, le taux de défaillance est très variable et dépend du type d'instrument. Il faut encore relever que la longévité des instruments est inférieure à la durée de vie du barrage. Parfois, un instrument défectueux doit être remplacé. Il est donc recommandé de disposer d'instruments de réserve adaptés (SwissCoD, 2013b).

De manière générale, une surveillance adaptée des déformations requiert un dispositif de mesure étendu (Figure 3) et spa-

tial (Figure 4), ce qui permet, à l'aide de la géodésie, de recueillir des informations sur les déplacements altimétriques et planimétriques de points choisis (SwissCoD, 2013a). Les points de contrôle ou de mesure sont situés sur le couronnement et dans les galeries, sur les parements ou sur les talus, ainsi que sur le terrain (environs du barrage). Dans le cadre de la surveillance courante d'un ouvrage de petite ou de moyenne hauteur, on se limite souvent au suivi des mouvements de points situés au niveau du couronnement.

6. Analyse des résultats et prédition du comportement

Afin d'interpréter de manière adéquate le comportement d'un barrage, il est possible de s'appuyer sur des modèles mathématiques qui déterminent la réponse attendue sous l'effet des charges appliquées. Les modèles interprétatifs permettent, d'une part, de vérifier la plausibilité des mesures et, d'autre part, d'identifier tout comportement irréversible. Les deux grandes familles de modèles utilisées sont, d'une part, sta-

tistique et, d'autre part, déterministe. Les seconds sont particulièrement utiles dans le cas de l'interprétation des déplacements des ouvrages en béton dont la réaction est majoritairement influencée par le niveau de la retenue ainsi que l'état thermique.

Le processus global de surveillance d'un ouvrage d'accumulation est illustré par la Figure 5.

7. Les principaux développements récents de l'instrumentation et leurs applications

L'actualisation du dispositif d'auscultation peut englober la mise en place de nouveaux types d'appareils de mesure. Selon le type de mesure, on distingue les appareils suivants:

7.1 Mesures de déformations et de température

7.1.1 Capteur et câble fibre optique

La fibre optique est un dispositif dans lequel la fibre optique constitue elle-même l'instrument de mesure (mesures de déformation et de déplacement, capteur de température, de localisation d'écoulement, capteur de pression des terres, indicateur de tassement). C'est aussi un support de transmission des données.

7.1.2 Mesure 3D de déformation dans un forage (Micromètre coulissant de forage)

Il s'agit d'un système mobile qui permet de déterminer par tronçon de 1 m des variations différentielles de longueur; équipé d'un inclinomètre, il est possible de déterminer par tronçons des déplacements selon 3 directions orthogonales le long d'un forage vertical. Une technique de forage permet de réaliser des forages en garantissant sa verticalité; il existe la possibilité

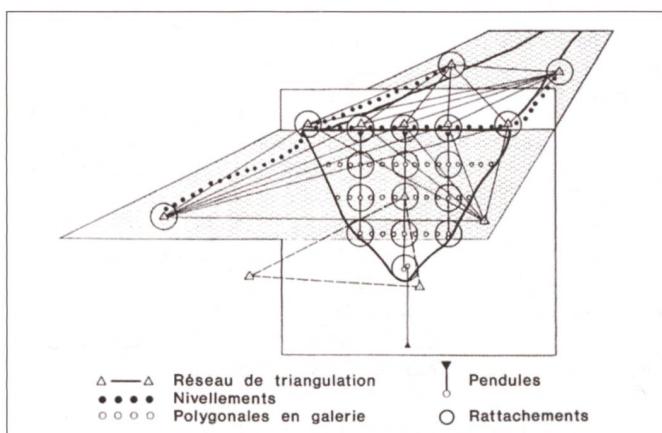


Figure 4: Schéma d'un réseau de mesure spatial (Biedermann, 1997).

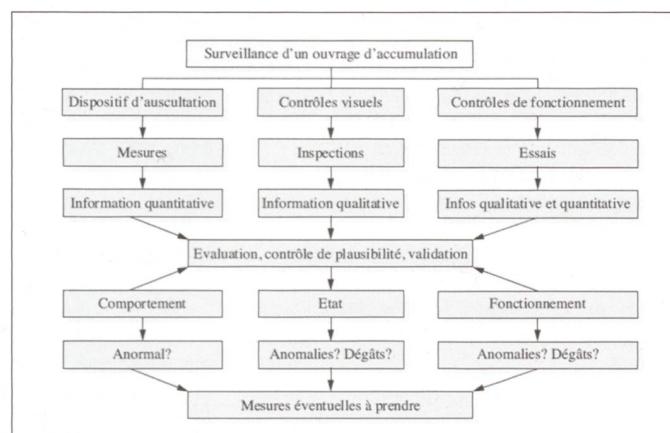


Figure 5: Processus de surveillance d'un ouvrage d'accumulation (Schleiss et Pougatsch, 2011).

de glisser un guide-fil auto-centre le long d'un tube rainuré.

7.2 Mesures de déplacements

7.2.1 GPS (Global Positioning System)

Il s'agit de mesures spatiales par satellites (mesures précises des distances entre l'antenne du récepteur et les satellites). Ce système de navigation permet la détermination précise d'une position par rapport à un point connu. En géodésie, il s'agit d'une méthode élégante pour intégrer hors de la zone de déformation des points géologiquement stables.

7.3 Relevés divers

7.3.1 Ground Survey Aperture Radar

Cette méthode de photogrammétrie utilise des images à partir de stations au sol pour surveiller la structure. Elle permet la mesure des déplacements horizontaux des surfaces.

7.3.2 Ground Penetrating Radar (GPR)

Permet de détecter les changements dans les propriétés des couches de sol près de

la surface, par exemple la localisation des défauts ou des vides dans les structures en béton.

7.4 Observation de surfaces (parements)

7.4.1 Laser scanning (balayage laser)

Mesures de distance précises au laser sans réflecteur avec une résolution spatiale élevée sur les surfaces pour établir un modèle géométrique tridimensionnel du barrage. Il remplace la photogrammétrie terrestre. Un des atouts de cette technique est de pouvoir suivre des zones dont la surface est dégradée. Cette méthode a été utilisée au barrage d'Illgraben (VS).

7.4.2 Observation d'un parement à l'aide d'un drone

À l'aide d'un drone, il est possible de produire un enregistrement photographique de haute résolution de la face aval du barrage qu'il est ensuite possible d'utiliser dans le cadre d'un rapport d'inspection. Ce type d'inspection a notamment été réalisée au barrage de Zeuzier (VS) en Suisse en 2016.

8. Automatisation et transmission des mesures

À la suite des développements de l'électronique et de l'informatique, les possibilités et l'intérêt de l'automatisation des dispositifs d'auscultation se sont accrus. Ils permettent une liaison directe avec l'utilisateur.

De tels dispositifs se composent de moyens de mesure (appareils de mesure), de moyens de transmission des données, de moyens automatiques d'acquisition et de stockage des données (bases de données) et de moyens de traitement et de présentation des données (analyse des résultats de mesure, élaboration de graphiques et rédaction de rapports).

Citons par exemple la plateforme SaaS MIC (Combined Interpretative Model) conçue par le bureau Lombardi (*Stucchi, Crapp, Fern, 2011; Lombardi, 1992*) afin d'accompagner les acteurs en charge de la surveillance des barrages de l'acquisition des données jusqu'à leur interprétation, leur visualisation ainsi que leur archivage, de même que le logiciel CESMON développé par Alpiq.

Sources:

Publications du CNSGB et du SwissCoD

CNSGB 1946. Mesures Observation et Essais sur les Grands Barrages Suisses 1919–1945. Commission Suisse des Grands Barrages.

CNSGB, 1964. Comportement des Grands Barrages suisses. Comité National Suisse des Grands Barrages.

CNSGB, 1985. «Barrages suisses – Surveillance et entretien». Comité National Suisse des Grands Barrages, publié à l'occasion du 15^e Congrès International des Grands Barrages, Lausanne.

CNSGB, 1993: L'informatique dans la surveillance des

barrages, saisie et traitement des mesures. Comité National Suisse des Grands Barrages. Groupe de travail pour l'observation des barrages.

CNSGB, 1997a. Surveillance de l'état des barrages et check-lists pour les contrôles visuels.

Comité National Suisse des Grands Barrages, Groupe de travail pour l'observation des barrages.

CNSGB, 1997b. Mesures de déformations géodésiques et photogrammétriques pour la surveillance des barrages, Comité National Suisse des Grands Barrages, Groupe de travail pour l'observation des barrages 82 pages.

SwissCoD, 2003. «Méthodes d'analyse pour la prédiction et le contrôle du comportement des barrages». Wasser Energie Luft – Eau énergie air, 95^e année, cahier 3/4, 74–98.

SwissCoD, 2005. Dispositif d'auscultation des barrages. Concept, fiabilité et redondance. Groupe de travail pour l'observation des barrages. Comité Suisse des Barrages. Version Avril 2005, disponible sur Internet à la page www.swissdams.ch/monitoring.

SwissCoD, 2006. «Dispositif d'auscultation des barrages. Projet, fiabilité et redondance». Comité Suisse des Barrages, Groupe de travail pour l'observation des barrages. Wasser Energie Luft – Eau énergie air, 98^e année, cahier 2, 144–180.

SwissCoD, 2013a. Géodésie pour la surveillance des ouvrages d'accumulation. Comité suisse des barrages, Groupe de travail pour l'observation des barrages.

SwissCoD, 2013b. Instruments de mesures – contrôles et calibrages.

Actes législatifs et directives

LOA, 2010. Loi fédérale sur les ouvrages d'accumulation.

RS 721.101 du 1^{er} octobre 2010 (État le 1^{er} janvier 2013).

OFEN, 2015. Directive sur la sécurité des ouvrages d'accumulation. Partie A: Généralités.

OSOA, 1998. Ordonnance sur la sécurité des ouvrages d'accumulation du 7 décembre 1998.

OSOA, 2012. Ordonnance sur les ouvrages d'accumulation (OSOA). RS 721.101.1 du 17 octobre 2012 (État le 1^{er} avril 2018).

Articles de revues techniques suisses

Biedermann R., 1987. «Anforderung an die Mess-einrichtungen von Talsperren». Wasser Energie Luft – Eau énergie air, 79. Jahrgang, Heft 1/2, 10–11.

Biedermann R., 1997. «Concept de sécurité pour les ouvrages d'accumulation: évolution du concept suisse depuis 1980». Wasser Energie Luft – Eau énergie air, 89^e année, cahiers 3/4, 63–72.

Bischoff R. et al., 2000. «205 dams in Switzerland for the welfare of the population». Q.77 – R.64. Compte rendu du XXe Congrès CIGB, Beijing 2000, 997–1018.

CIGB, 2018. Guide la surveillance des barrages, Bulletin 158.

Darbé, G. R. et Pougatsch H., 1993. «L'équipement de barrages dans le cadre du réseau national d'accéléromètre». Wasser Energie Luft – Eau énergie air, 85^e année, cahiers 11/12, 368–373.

Deinum Ph. J., 1987. «Versuchsanstellung des Sperry Tilt Sensing Systems» zum Erfassen der Durchbiegung der Bogenmauer Emosson». Wasser Energie Luft – Eau énergie air, 79. Jahrgang, Heft 1/2, 17–19.

Egger K., 1982. «Geodätische Deformationsmessungen. Eine zeitgemäss Vorstellung». Wasser Energie Luft – Eau énergie air, 74. Jahrgang, Heft 1/2, 1–4.

Gicot H., 1976. «Une méthode d'analyse des déformations des barrages». Compte rendu du 12e Congrès de la CIGB. Mexico 1976, Vol. IV, rapport C1, 787–790.

Lombardi G., 1992. «L'informatique dans l'auscultation des barrages». Wasser Energie Luft – Eau énergie air, 84^e année, cahiers 1/2, 2–8.

Lombardi G., 2001. «Sécurité des barrages – Auscultation. Interprétation des mesures». Commentaires généraux, 25 pages.

Pougatsch H., 2002. «Surveillance des ouvrages d'accumulation. Conception générale du dispositif d'auscultation». Wasser Energie Luft – Eau énergie air, 94^e année, cahiers 9/10, 267–271.

Sinniger R., 1987. Observation des versants d'une retenue. Wasser Energie Luft – Eau énergie air, 79. Jahrgang, Heft 9, 209–210.

Sinniger R., 1985. «L'histoire des barrages». EPFL, Polyclama, 1985, 2–5.

Schleiss A. et Pougatsch H., 2011. Les barrages. Du projet à la mise en service. EPFL Press. Traité de génie civil, Vol 17. Presse polytechnique et universitaire romande.

Stucchi R., Crapp R., Fern I., Development of a Software as a Service platform for dam monitoring, Hydro 2022, Strasbourg, France.

Auteurs:

H. Pougatsch, Ingénieur civil EPFL, Membre d'honneur du CSB, anc. Chargé de la sécurité des barrages à l'OFEG.

Isabelle Fern, Ingénierie civil EPFL, Responsable section Hydraulique, Lombardi SA Ingénieurs conseil, Fribourg.

