

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 79 (1987)  
**Heft:** 9

**Artikel:** Observation des versants d'une retenue  
**Autor:** Sinniger, Richard  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-940661>

### **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:** 22.02.2026

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

# Observation des versants d'une retenue

Richard Sinniger

Si l'on veut, moyennant une observation visuelle, détecter avec succès des signes d'un danger provenant des versants d'une retenue artificielle, il faut tout d'abord être capable de répondre à un certain nombre de questions:

- en quoi consiste le danger? (description du phénomène)
- où existe le danger? (distribution spatiale)
- pourquoi existe un danger? (description du mécanisme)
- quand existe un danger? (dépendance temporelle)
- quelle est l'importance du danger? (volumes concernés)

Cette liste montre que l'observation des versants d'une retenue exige un concept bien réfléchi. Elle met également en évidence l'effort nécessaire pour apporter des réponses satisfaisantes et elle nous renseigne finalement sur les travaux préliminaires indispensables pour donner une chance réelle aux observations visuelles.

Dans ce qui suit, les domaines particuliers de chaque question sont brièvement analysés.

## Description du phénomène

Dans le contexte des phénomènes d'instabilité, nous devons bien nous rappeler que les versants eux-mêmes sont le résultat de mouvements de terrain plus ou moins rapides. Les retenues sont donc le résultat d'un processus d'évolution non négligeable qui continue d'une manière ralentie ou accélérée selon les interventions de l'homme. L'état de repos, de mouvement nul, n'est donc qu'une phase exceptionnelle, le mouvement étant l'état normal. Cette conscience constitue une motivation certaine pour les observations, mais ne nous facilite évidemment pas la tâche. En effet, aux phénomènes d'instabilités bien connus et souvent observables s'ajoutent les phénomènes d'instabilité plus rares mais également de plus grande envergure.

Citons les grandes catégories de mouvements de terrain [4], sans nous préoccuper d'une division plus fine:

- glissement en terrains meubles,
- éboulements rocheux,
- coulées boueuses,

et ajoutons dans notre contexte de la sécurité des réservoirs également:

- érosion des rives,
- chute de glaciers,
- avalanches.

En règle générale, les phénomènes cités ci-dessus ne sont pas des événements uniques et s'inscrivent dans le processus de l'évolution de la croûte terrestre. Une interprétation adéquate de la morphologie permet donc souvent l'identification d'un ancien mouvement et donc la désignation du

type et de l'importance d'un éventuel mouvement futur. En d'autres termes, nous allons observer un versant rocheux là où l'histoire géologique nous a déjà signalé des phénomènes d'instabilité.

Il se peut pourtant que la morphologie actuelle cache les traces d'instabilité antérieure. Dans ce cas, seule une étude régionale, éventuellement renforcée par des reconnaissances utilisant les forages ou la géophysique, permet l'identification d'un éventuel danger.

Finalement, la création de la retenue artificielle provoque dans et proche de la zone inondée un nouveau état qui n'a probablement jamais existé auparavant. Il s'agit là des phénomènes liés à l'imbibition des matériaux et aux fluctuations plus ou moins rapides du plan d'eau [2]. Mentionnons dans ce contexte également toutes les autres interventions humaines comme déboisement, excavations, remblais, etc.

## Distribution spatiale

Si la surveillance visuelle ne doit pas se perdre dans les innombrables kilomètres carrés constituant les rives d'une retenue, les zones prédestinées à des éventuels mouvements doivent être identifiées et désignées. Pourtant, même en délimitant les zones, les surfaces à surveiller restent souvent considérables étant donné que les lieux d'apparition et la nature des signes d'un éventuel mouvement sont nombreux.

D'une manière générale, nous pouvons distinguer les trois zones suivantes (figure 1):

- sous le niveau de la retenue normale,
- au-dessus et influencée par la retenue,
- au-dessus et non influencée par la retenue.

Si la limite entre la zone I et II est facile à tracer, il est souvent très difficile, surtout pour des mouvements de grande envergure, de trouver une limite entre les zones II et III. L'événement de Vajont en est un exemple [1].

Il importe pourtant de souligner qu'une zone, identifiée comme zone de mouvement potentiel, ne doit pas forcément nous montrer tout de suite des signes de déplacement, ainsi nous confirmant le bien-fondé de notre jugement. Mais, le fait de n'avoir pas décelé d'anomalies pendant une longue période n'est pas nécessairement une preuve de sécurité. Nous ne pouvons pas suffisamment répéter cette remarque qui est presque textuellement reprise du chapitre concernant la doctrine de la sécurité des barrages du bulletin CIGB no 59 [3]. Ce document contient d'ailleurs dans le chapitre 19 des consignes d'inspection des zones critiques des berges d'une retenue.

## Description du mécanisme

Se faire une idée du mécanisme, s'imaginer les facteurs en jeu conduisant à un mouvement, sont des réflexions indispensables si une appréciation du danger est envisagée. Seul si nous sommes capables de simuler par nos pensées le déroulement d'un mouvement, dès son début jusqu'au

Figure 1. Partage d'un versant d'une retenue artificielle en zones I: sous la retenue normale, II: influencée par la retenue et III: non influencée par la retenue.

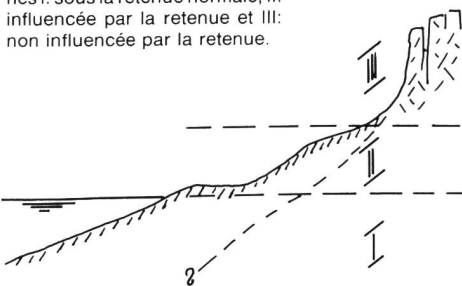
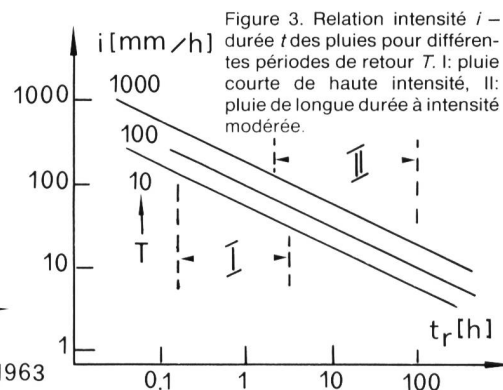
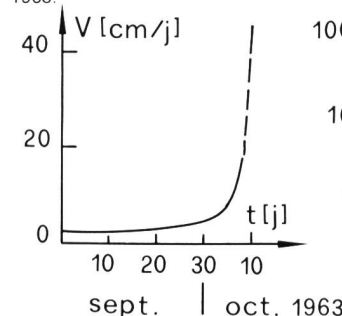


Figure 2. Evolution de la vitesse pour le glissement de Vajont en 1963.



nouveau état d'équilibre, nous avons une chance d'interpréter correctement les signes perçus lors de la surveillance. La compréhension du mécanisme nous met également en position de prévenir à un éventuel mouvement par des interventions constructives comme recharge stabilisante, drainage, ancrage, etc.

Si, par la création ou par l'exploitation d'une retenue, l'on craint la rémobilité d'un ancien mouvement, des méthodes classiques de reconnaissance nous permettent au moins l'imagination de la géométrie de la surface séparant la zone stable de celle en mouvement. En l'absence d'une surface prédessinée, la création d'un modèle du mouvement devient plus difficile et l'on s'approche souvent de la pure spéculation.

Le terme mécanisme nous incite pourtant sans aucun doute à quitter le domaine de la description qualitative du mouvement et à s'approcher du domaine quantitatif, c'est-à-dire du calcul. Hélas, dans le meilleur cas nous sommes capables de faire un calcul de «confirmation» après le mouvement, mais il ne nous est guère permis de prédire un mouvement, les coefficients de sécurité étant tout simplement impuissants et insignifiants. Le modèle analytique même le plus sophistiqué se heurte à la définition des propriétés mécaniques des matériaux. Seul des modèles probabilistes comme décrit dans [8] ont une réelle chance de nous aider. Il est encourageant de constater dans ce contexte que le plus récent bulletin du CIGB [3] concernant la sécurité des barrages nous mène dans la même direction, c'est-à-dire vers les calculs probabilistes.

Il ne nous reste ainsi très souvent qu'une approximation du risque d'un mouvement éventuel. En ce qui concerne les vitesses en jeu, des pronostiques basés sur un modèle mécanique sont encore plus difficiles à formuler. Les accidents catastrophiques, où l'élément vitesse était toujours d'importance primordiale, témoignent de cette difficulté (fig. 2). La description détaillée des différents mécanismes de mouvements possibles dans chaque catégorie dépasserait le cadre de la présente contribution et référence soit faite à la littérature spécifique, notamment la roche [5] et l'érosion des berges [6].

### Dépendance temporelle

Toute instabilité de terrain, même si elle s'est préparée pendant une très longue durée, connaît normalement un événement qui déclenche le mouvement. Comme certains événements sont liés à une période particulière de l'année, les mouvements relatifs sont également liés à une certaine période. L'observation au courant de l'année peut donc avoir des objectifs variables et tout à fait différents.

Citons tout d'abord l'événement le plus connu dans notre contexte, la variation plus ou moins rapide du plan d'eau. Si cette variation peut jouer l'élément décisif d'un mouvement, les observations sont à intensifier lors des variations excessives du plan d'eau. Le cas échéant, la vitesse de variation du plan d'eau est à limiter.

De très grande importance et non influençable par l'homme sont pourtant les éléments liés à la météorologie et à l'hydrogéologie. Ils sont sommairement rappelés ci-dessous, ensemble avec les conséquences principales possibles, sans prétendre que la liste soit complète:

- température → avalanches, chute de glacier, éboulements, fonte de neige et de glace.
- vents et neige → avanlanches.
- pluies → alluvions, chutes de pierres, remontée de la nappe, glissement de terrain.

Dans le contexte des phénomènes d'instabilité des rives d'une retenue, les relations entre la pluviométrie et les glissements sont à la fois les plus significatives mais également les plus difficiles à évaluer [7]. En effet, un phénomène pluvieux de même période de retour peut avoir des allures complètement différentes avec, en conséquence, des résultats tout à fait différents. Ainsi et selon la figure 3, une pluie extrême peut être courte et de très grande intensité ou bien d'extrêmement longue durée à intensité modérée. Il est évident que les conséquences de ces deux types de pluie sur la stabilité sont de nature très différente. À part l'influence des conditions géotechniques des versants sur les mouvements, il semble pourtant que la pluviométrie cumulée est le paramètre important vis-à-vis du risque d'instabilité. Elle nous renseigne sur la hauteur totale de pluie tombée dans un laps de temps donné, valeur décisive pour la saturation des matériaux du versant et pour la remontée éventuelle des nappes (figure 3).

Pour donner une image complète des événements causant d'éventuelles instabilités des rives à un moment bien précis, citons encore les séismes. En effet, ils peuvent également être à l'origine d'un accroissement du risque d'instabilité, voire même la cause conduisant à un mouvement. Après un séisme, la surveillance dans le bassin de retenue doit donc être intensifiée.

### Volumes en jeu

Ensemble avec l'estimation de la vitesse, l'estimation du volume éventuel de la masse instable est une tâche très difficile. Même si un modèle du mécanisme a pu être établi, l'incertitude quant au volume effectivement en mouvement reste souvent remarquable. Pourtant, plus grande la zone qui se prépare à un glissement, plus nombreux sont les signes avant le déplacement proprement dit. Et particulièrement dans le contexte des volumes, la surveillance minutieuse peut nous apporter des renseignements précieux sur une éventuelle extension des masses en mouvement. Le cas échéant, la surveillance visuelle de la surface doit être renforcée par une surveillance vers la profondeur, utilisant des instruments placés dans des forages.

### Remarques finales

Une surveillance des rives d'une retenue doit obligatoirement être basée sur une reconnaissance géologique et hydrogéologique détaillée. Pour certains sites, la simple inspection visuelle de la surface doit être renforcée par des installations particulières, notamment piézomètres, inclinomètres, etc.

Les calculs de stabilité ne sont pas de grande utilité et nous devons, une fois de plus, nous efforcer d'utiliser des méthodes probabilistes. Ne serait-ce que pour nous rappeler que la certitude absolue n'existe pas! Les différents types d'instabilités éventuelles, leurs distributions spatiales et la dépendance temporelle peuvent être reportées sur un plan, servant les exploitants de retenues comme guide et aide mémoire.

Pour assurer un maximum d'efficacité dans la surveillance, nous devons toujours nous rappeler que les rives d'une retenue ne sont en principe rien d'autre que des digues naturelles et que leur immobilité constatée dans le passé n'est ni preuve ni assurance pour une stabilité dans l'avenir.

[1] Biarez, J. et al.: Rôle des surfaces de faiblesse des propriétés mécaniques des roches dans les grands accidents. (Bull. Soc. Géol. FR.) XVIII, no 6, 1976

[2] Comité Français des Grands Barrages: Etudes et travaux réalisés en France en raison de l'instabilité de versants de retenue. ICOLD Proceedings, Rio de Janeiro, Q. 54, R. 35, 1982.

- [3] Commission Internationale des Grands Barrages: Sécurité des Barrages. Bull. no 59, 1987.
- [4] Durville, J. L.: Mouvement des Terrains. Colloque de CAEN, 1984; document no 83 du BRGM.
- [5] Gellatly, A. F. et al.: Rockfalls in mountainous regions: Establishing a rationale for effective study. Colloque de CAEN, 1984; document no 83 du BRGM.
- [6] Lukáč, M.: Failure of reservoir banks stability caused by wave abrasion. ICOLD Proceedings Rio de Janeiro, Q. 54, R. 1, 1982.
- [7] Rat, M.: Météorologie, hydrogéologie et glissements de terrain. IV International symposium on landslides, Volume 3, Toronto 1984.
- [8] Sinniger, R.: Geotechnik und Umwelt. «Schweizer Ingenieur und Architekt», Jahrg. 103, no. 19, 1985.

Conférence tenue lors des journées d'étude «Surveillance des rives des retenues; éboulement et glissements» des 25 et 26 juin 1987 à Lugano. Ces journées ont été organisées par le Groupe de travail pour l'observation des barrages du Comité national suisse des grands barrages.

Adresse de l'auteur: Richard Sinniger, Professeur à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Chaire de constructions hydrauliques, CH-1015 Lausanne.

## Hydraulische Modellversuche zur Gestaltung von Turbineneinläufen

Dieter Müller und Félix Raemy

### Zusammenfassung

Die Erneuerung und der Ausbau bestehender Wasserkraftwerke können zu hydraulischen Problemen führen, die durch Modellversuche gelöst werden müssen. Dies trifft insbesondere bei der optimalen Gestaltung von Turbineneinläufen zu. Einfache Versuchsprozeduren, die aber systematisch und unter enger Zusammenarbeit zwischen dem Bauingenieur und dem Maschinenkonstrukteur erfolgen müssen, erlauben die gestellten Ziele auf effiziente Weise zu erreichen.

**Résumé: Dimensionnement du convergent d'alimentation de turbines à l'aide d'essais hydrauliques sur modèle**

Le renouvellement et l'agrandissement d'aménagements hydro-électriques peuvent poser des problèmes d'hydraulique dont la solution est souvent donnée par les essais réalisés sur modèle. C'est en particulier le cas pour le dimensionnement optimal du convergent d'alimentation des turbines équipant les usines à basse chute. Une investigation simple permet d'atteindre efficacement les objectifs fixés. Celle-ci doit être toutefois menée d'une manière systématique et avec la collaboration étroite entre l'ingénieur civil et le constructeur des machines.

**Summary: Using hydraulic model tests to shape turbine intakes**

The renewal and extension of existing water power stations can bring hydraulic problems, which have to be solved with model tests. This is particularly the case for finding the optimum form of the turbine intakes. The form can be found efficiently by simple tests, which however have to be carried out systematically and with close cooperation between the civil and the mechanical engineer.

### 1. Einleitung

Aus technischen, betrieblichen und wirtschaftlichen Gründen werden immer häufiger ältere Wasserkraftwerke erneuert und ausgebaut. Dabei stellen sich oft spezielle hydraulische Probleme, die mit vorhandenen, einschränkenden Auflagen konstruktiver Natur verbunden sind. In diesem Zusammenhang wurde die Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich beauftragt, hydraulische Modellversuche zur Gestaltung verschiedener Turbineneinläufe durchzuführen. Die Lösung dieser Aufgabe setzt eine enge Zusammenarbeit zwischen dem Bauingenieur und dem Turbinenkonstrukteur voraus. Als Beispiel wird hier die Detailuntersuchung der

vorgesehenen, neuen Turbineneinläufe am Kraftwerk Laufenburg präsentiert. Diese Studie erfolgte an der VAW im Auftrag der Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, in Vertretung der Kraftwerk Laufenburg AG, und unter der Mitwirkung der ebenfalls am Projekt beteiligten Sulzer-Escher Wyss AG.

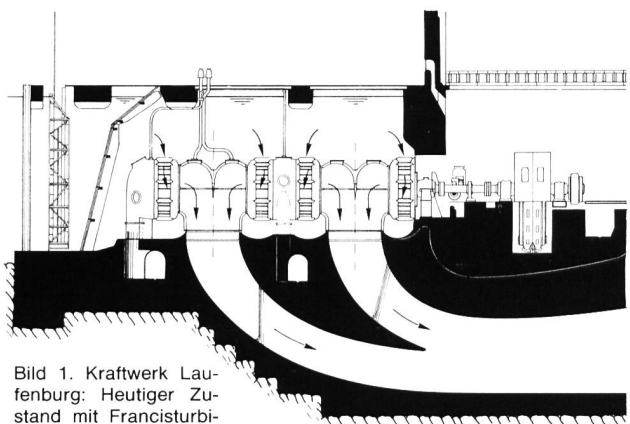


Bild 1. Kraftwerk Laufenburg: Heutiger Zustand mit Francisturbinen. Längsschnitt durch eine Öffnung.

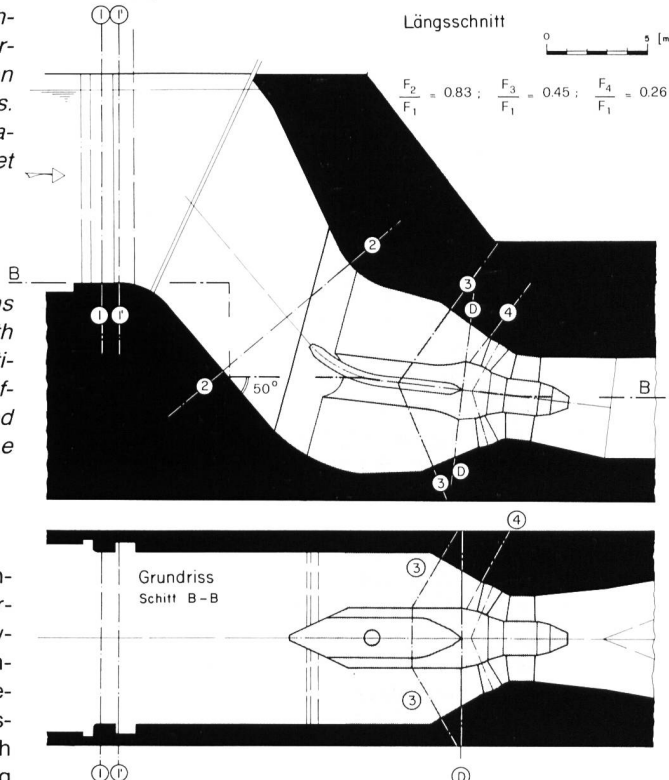


Bild 2. Kraftwerk Laufenburg: Schematische Darstellung der im Modell untersuchten neuen Einlauform, mit Strafloturbine. Angegeben sind ebenfalls die benutzten Messprofile (Geschwindigkeits- und Druckmessungen) sowie das Verhältnis der entsprechenden Durchflussquerschnitte  $F$ .