Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 74 (1982)

Heft: 3

Artikel: Constatation de mouvements anormaux du barrage et premières recherches sur leur origine = Abnormal dam deformations and first investigations about their origin

Autor: Gicot, Olivier

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-954758

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: 13.07.2025

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

cessaires pour protéger la population. Cela implique que même des divergences de faibles importances par rapport au comportement normal soient prises en considération et ensuite rapidement vérifiées par un spécialiste si possible familiarisé avec l'ouvrage.
Dans le cas d'événements de nature extraordinaire, il est prévu que l'Autorité de haute surveillance doit être prévenue. Comme cette dernière a la faculté de pouvoir engager des experts, il devient donc possible d'accélérer l'examen et, en même temps, d'établir une large base technique de travail. Ce mode de faire s'est révélé efficace dans le cas de Zeuzier, car, assez vite, les raisons des déformations ont pu être déterminées et les conditions pour une remise en état fixées. L'engagement total du propriétaire lors de ces investigations a d'ailleurs été d'une aide précieuse.
Enfin, le recours aux mesures géodésiques se revéla un moyen efficace. En effet, ce moyen permet non seulement de vérifier les résultats des mesures des pendules, mais également d'obtenir des informations sur les déformations des environs immédiats du barrage, ce qui, dans le cas particulier, fut de première importance pour expliquer le mécanisme des déformations. Comme le réseau géodésique original s'était révélé trop limité, il a donc fallu l'étendre. On peut conclure que de tels réseaux devraient être conçus de façon large afin qu'ils puissent fournir toutes indications utiles en cas d'événement extraordinaire. Cela n'implique toutefois pas qu'en temps d'exploitation normale, chaque campagne de mesures géodésiques soit exécutée dans sa totalité.

Adresse de l'auteur: Dr *Rudolf Biedermann,* ing. civil EPFZ, chargé de la sécurité des grands barrages, Office fédéral de l'économie des eaux, case postale 2743, 3001 Berne.

cient in the case of Zeuzier because the reason for the deformations could be defined promptly and the conditions for the repair of the dam could be formulated. The very intensive assistance of the owner was an essential help for the quick elaboration of the measures to be taken.
The resort to geodesic measurements proved to be very effective. In reality, this method does not only allow to verify the results of the pendulum measurements, but also to get information about the deformations of the immediate environment of the dam. This, in our special case, was of primary importance to explain the mechanism of the deformations. The original geodesic net proved to be too small. It therefore had to be extended. This proves that geodesic networks should be based on a very large area so that they will be useful in cases of extraordinary events. However, this does not imply that during normal reservoir operation each geodesic measurement has to be spread over the entire network.

Address of the author: Dr. *Rudolf Biedermann,* civil eng. ETHZ, head of the Federal Dam Supervision Authority, Swiss Federal Office for Water Economy, P. O. Box 2743, CH-3001 Berne.

II. Constatation de mouvements anormaux du barrage et premières recherches sur leur origine

Olivier Gicot

1. Introduction

Si le comportement d'un barrage à long terme forme en soi un thème de grand intérêt, il faut admettre que celui d'un barrage, soumis à des déformations extraordinaires après 21 années d'exploitation et un comportement entièrement satisfaisant jusqu'à ce moment, représente un sujet exceptionnel.
Avant d'exposer les événements remarqués dès la fin de 1978 au barrage de Zeuzier, et de présenter certaines conséquences qui en ont découlé, il est utile de mentionner des données d'ordre général relatives à l'aménagement de la retenue.
Propriété de la Société de l'Electricité de la Lienne SA, cet aménagement est situé dans la vallée de la Lienne, à environ 15 km au NE de Sion. Les ouvrages de retenue comprennent le barrage-voûte de Zeuzier et la digue annexe de Proz-Riond. Ils créent une accumulation dont le volume utile est de 50 mio de m³ pour un niveau maximum du lac situé à l'altitude de 1777 m, le niveau minimum d'exploitation étant de 1670 m (figures 1 et 2).
Les caractéristiques principales du barrage, construit de

II. Abnormal Dam Deformations and First Investigations about their Origin

Olivier Gicot

1. Introduction

The long term behaviour of a dam represents in itself a topic of high interest. It becomes however an exceptional subject when a dam, being since 21 years under operation with an entirely satisfactory behaviour during this period of time, undergoes abnormal deformations.
Some general features of the scheme will be mentioned, before presenting the events disclosed at the end of 1978 at the Zeuzier arch dam and exposing some related consequences.
Owned by the "Société de l'Electricité de la Lienne S.A.", the scheme is located in the valley of La Lienne, about 15 km NE far from Sion. It includes two dams, the Zeuzier arch dam and the Proz-Riond earth dam. They create a reservoir of 50 mio m³ effective storage capacity at a maximum water level of 1777 m, the available drawdown reaching 107 m (figures 1 and 2).
The main features of the dam, built from 1954 to 1957, are the followings (figures 3 and 4):
- maximum height above foundations: 156 m
- crest length at elevation 1778 m: 256 m

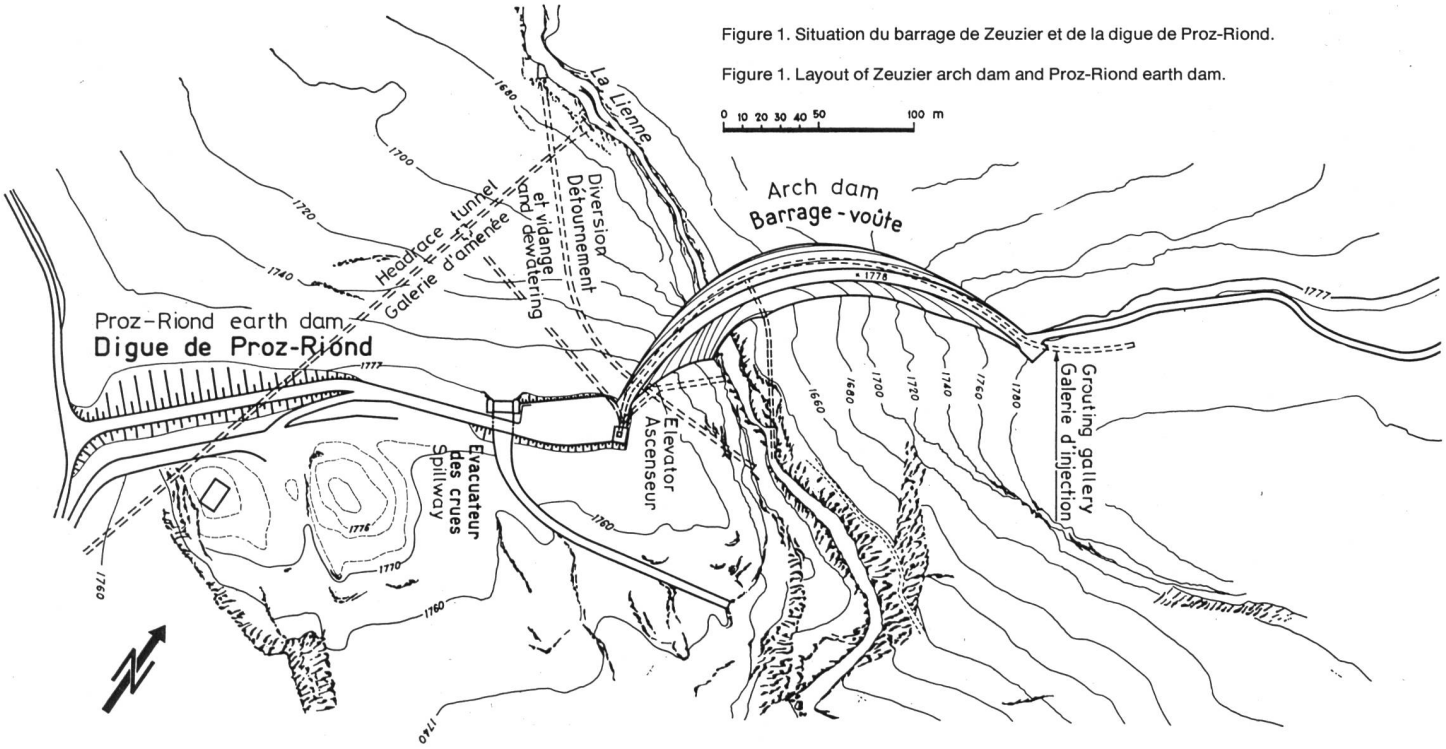

Figure 1. Situation du barrage de Zeuzier et de la digue de Proz-Riond.

Figure 1. Layout of Zeuzier arch dam and Proz-Riond earth dam.

1954 à 1957, sont les suivantes (figures 3 et 4):
- hauteur max. au-dessus des fondations: 156 m
- longueur au couronnement arasé à l'altitude de 1778 m: 256 m
- extrados des arcs circulaire, de rayon décroissant progressivement de 140 m au couronnement à 57,40 m à la base; en raison de la forte asymétrie de la vallée, le centre des arcs inférieurs est déjeté vers la rive droite
- épaisseur des arcs à la clé: 7,00 m au couronnement, 25,60 m à la base
- volume total de béton: 300 000 m³

L'auteur du projet du barrage est M. Dr. h. c. *Henri Gicot.*
La première mise en eau totale eut lieu au début octobre 1957.

2. *Equipement d'auscultation*

Jusqu'à fin 1978, le comportement du barrage était contrôlé par les mesures suivantes:
a) mesure des déformations du barrage par:
- 3 pendules normaux, de 3 étages à la console de gauche et de 5 étages aux consoles médiane et de droite; la station de mesure la plus profonde est située au centre du barrage, à 40 m en dessous de la fondation;

- circular extrados of the arches, with a radius decreasing progressively from 140 m at the crest to 57,40 m at the base; because of the asymmetry of the valley, the center of the lowest arches has been shifted to the right bank
- arch thickness at dam center: 7,00 m at the crest, 25,00 m at the base
- total volume of concrete: 300 000 m³

The dam designer is Dr h. c. *Henri Gicot.*
The first complete filling of the reservoir took place at the beginning of October 1957.

2. *Measuring Equipment*

Up to the end of 1978, the dam behaviour was controlled by the following measurements:
a) deflection measurements of the dam by means of:
- 3 normal pendulums, consisting of 3 stages at the left cantilever and of 5 stages at the central and right cantilevers; the lowest measuring point is located at the dam center, 40 m below foundation;
- geodetic measurements on bench marks sealed in the downstream face.

b) temperature measurements of the concrete by means of:

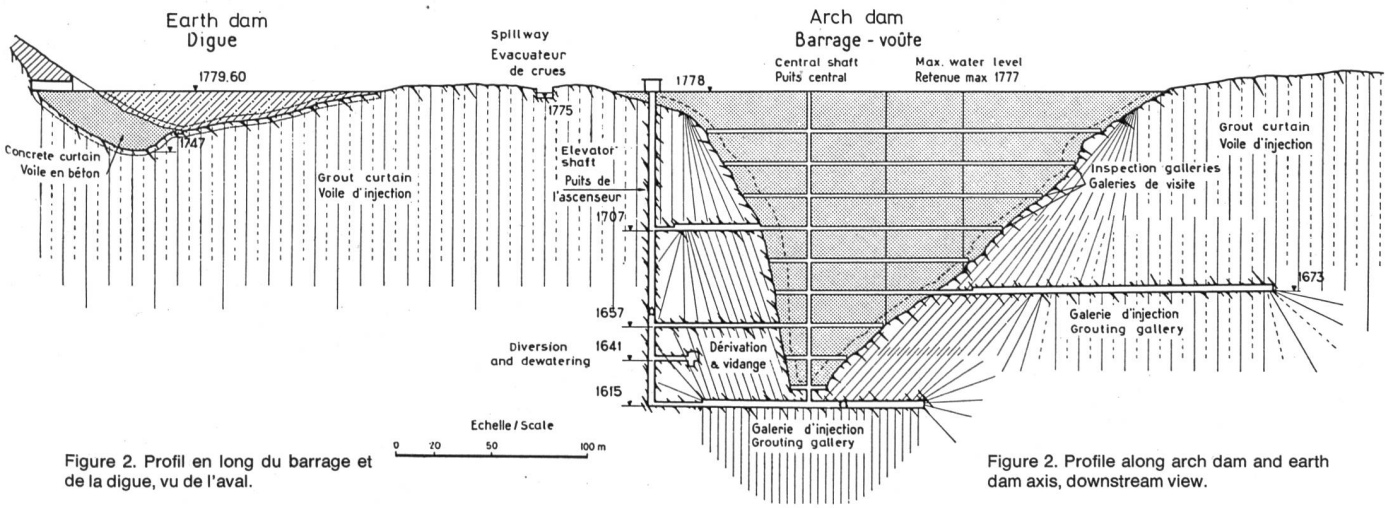

Figure 2. Profil en long du barrage et de la digue, vu de l'aval.

Figure 2. Profile along arch dam and earth dam axis, downstream view.

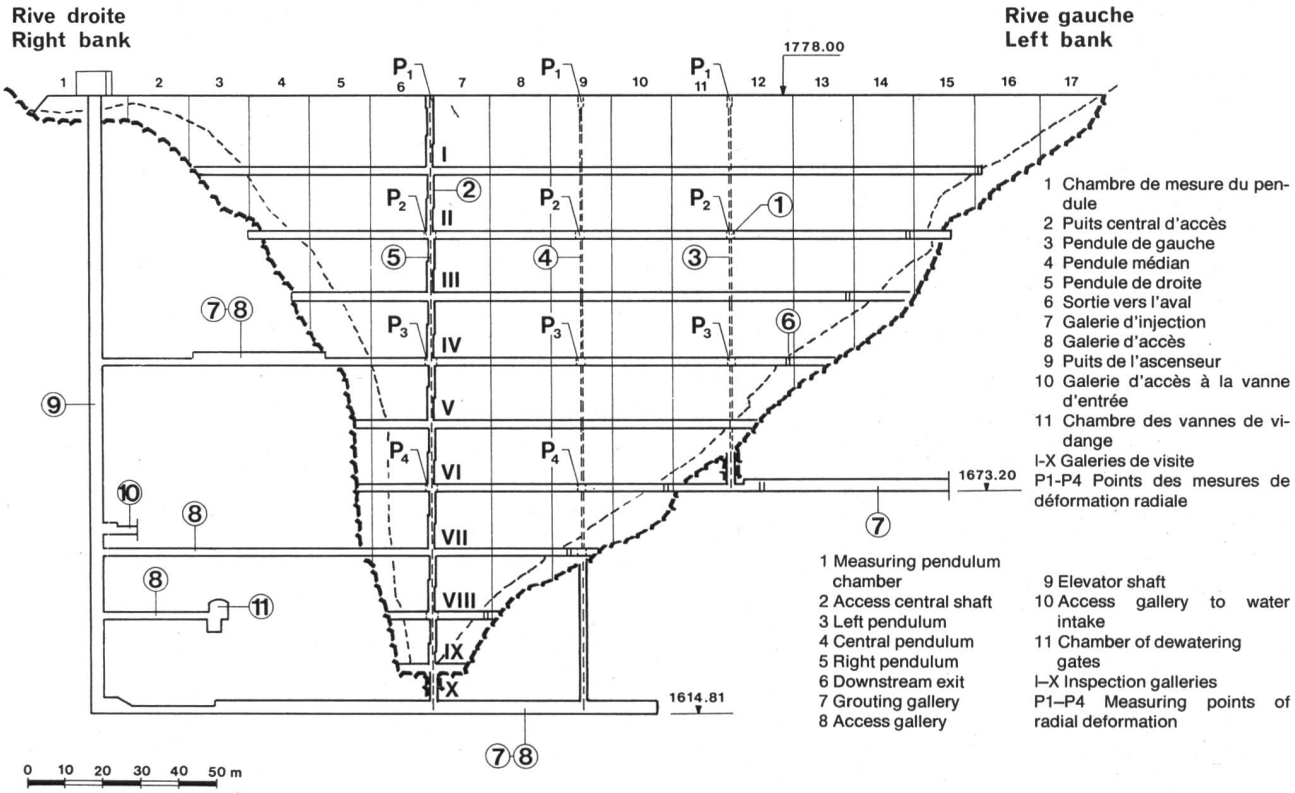

Figure 3. Coupe en long développée du barrage, vue de l'aval.

Figure 3. Developed longitudinal section of arch dam, downstream view.

– visées de triangulation sur des cibles scellées sur le parement aval.
b) mesure des températures du béton par:
– thermomètres électriques placés à différents niveaux et distances du parement, dans la console médiane;
– thermomètres à mercure dans des tubes en Eternit répartis du côté amont et aval du barrage au niveau des galeries I à VIII.
c) mesure de la température de l'air.
d) mesure du débit des eaux de drainage et d'infiltration dans les galeries d'injection VI et X.

Le programme d'auscultation comprenait alors une série mensuelle des mesures mentionnées ci-dessus, sauf celles des températures du béton par thermomètres à mercure effectuées trimestriellement.
Cet équipement d'auscultation a été complété de 1979 à 1981 (voir articles IV et VII).

3. Comportement du barrage avant l'apparition des mouvements exceptionnels de 1978

D'après la première étude de synthèse sur les mesures et observations couvrant la période d'octobre 1957 à octobre 1963, l'analyse des déformations du barrage par méthode statistique montra que le régime de ces déformations était pratiquement élastique depuis 1959 [2], ce qui signifie que les déformations provoquées par le fluage du béton, du rocher, et le serrage des joints du barrage ou des fissures du rocher, s'étaient à peu près amorties.
La deuxième analyse de synthèse s'étendant sur la période d'octobre 1963 à octobre 1973 confirma le régime essentiellement élastique des déformations. Le seul fait particulier à signaler durant ce laps de temps fut l'apparition, à la suite d'une secousse sismique le 20 octobre 1965,

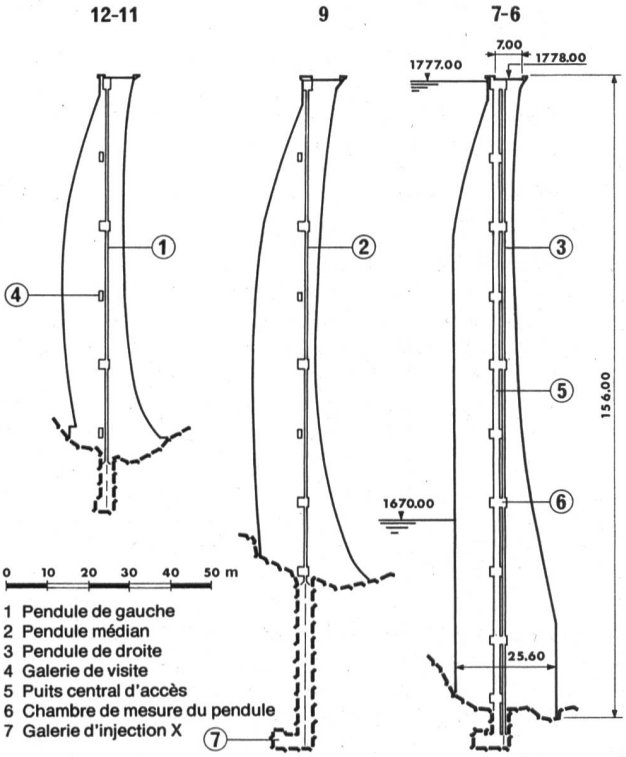

Figure 4. Coupes en travers du barrage au droit des pendules.

Figure 4. Cross sections of arch dam along pendulums.

1 Left pendulum
2 Central pendulum
3 Right pendulum
4 Inspection gallery
5 Access central shaft
6 Measuring pendulum chamber
7 Grouting gallery X

d'une source sur rive gauche, dans le tronçon en rocher de la galerie d'injection VI, dont le débit maximum n'a jamais dépassé environ 1,2 l/s. L'examen des mesures de triangulation et leur comparaison avec les mesures des pendules ne décelèrent aucun mouvement des appuis rocheux, qui aurait pu être causé par cette secousse sismique.
De 1973 à 1978, les mesures et observations faites par l'Exploitation de l'Electricité de la Lienne SA et consignées dans ses rapports annuels ne révélèrent aucune anomalie dans le comportement du barrage.
On mentionnera que le débit des eaux de drainage et d'infiltration, même après les événements de 1978, est toujours demeuré très raisonnable puisqu'il s'élève au maximum à 2,2 l/s en galerie VI (y compris le débit de la source apparue en 1965) avec une moyenne de 1,2 l/s, et à 1,3 l/s au maximum en galerie X, avec une moyenne de 0,5 l/s.

4. Historique des événements et premières recherches sur l'origine des déformations anormales du barrage

Au début décembre 1978, l'Electricité de la Lienne SA avisa ses experts, M. Dr h. c. *Henri Gicot* et le soussigné, que les mesures radiales données par les pendules indiquaient depuis peu, contrairement au régime des déformations enregistrées les années précédentes, un mouvement du barrage *vers l'amont,* à retenue pratiquement pleine. Les questions qui se sont posées alors furent les suivantes:
– y a-t-il un dérangement dans les pendules? (ce point vérifié immédiatement se révéla négatif)
– s'agit-il d'un échauffement exceptionnel du barrage à la suite d'un automne particulièrement chaud?
– est-ce un phénomène d'hysteresis?
La comparaison entre déformations radiales calculées et mesurées faite pour les consoles médiane, gauche et droite en appliquant la relation:

$$e = r_W + r_\theta - r_M \qquad (4.1.)$$

avec

r_W déformation radiale calculée pour la poussée des eaux
r_θ déformation radiale calculée pour la température
r_M déformation radiale mesurée

montra que, depuis octobre 1978, l'écart e qui était à ce moment de 2 à 3 mm (c'est-à-dire de l'ordre de grandeur d'un écart dû aux erreurs accidentelles, aux approximations de calcul et à l'hysteresis) allait en augmentant (figures 5, 6 et 7), révélant ainsi un comportement anormal du barrage. Cette comparaison permit en outre de constater que le début des déformations anormales était progressif, et que l'écart e n'était pas le même sur toute la hauteur du barrage, excluant par-là un accident au niveau de la station inférieure des pendules.
En raison de la neige, il n'était, à fin 1978, pas possible d'effectuer des mesures de triangulation qui auraient permis d'obtenir une image d'ensemble des déformations et de déterminer s'il y avait des mouvements verticaux du barrage et de ses environs.
Les mesures pendulaires et de température furent, dès fin 1978, effectuées hebdomadairement.
Dès la première étude sur l'origine de ces déformations exceptionnelles, la conviction se dégageait qu'il s'agissait d'un mouvement d'ensemble du rocher, au vu de l'allure des déformations radiales et tangentielles données par les pendules.

– electrical thermometers installed in the central cantilever at various levels and distances from dam faces;
– mercury thermometers placed in borings upstream and downstream from galleries I to VIII.
c) temperature measurement of the air.
d) measurement of drainage and infiltration water flows in grouting galleries VI and X.
At that time, the measuring programme consisted of monthly series of the measurements mentioned above, unless the concrete temperature measurements by means of mercury thermometers, carried out quarterly.
This monitoring equipment has been completed from 1979 to 1981 (see articles IV and VII).

3. Dam Behaviour Preceeding the Exceptional Movements Disclosed in 1978

According to the first general study on measures and observations covering the period from October 1957 to October 1963, the analysis of dam deformations by a statistical method showed that the rate of deformations was practically elastic since 1959 [2]. Deformations due to creeping of concrete and rock and to tightening of dam joints or rock fractures were almost amortized.
The second general analysis extending from October 1963 to october 1973 confirmed the mostly elastic rate of deformations. The only particular fact to point out during this period of time was a water source that appeared in the rock section of the grouting gallery VI, on October 20, 1965, following an earth tremor.
The maximum flow of this source was never higher than 1.2 l/s. The analysis of the geodetic measurements and their comparison with the pendulum measurements didn't disclose any movements of the rock abutments which could have been caused by this earth tremor.
From 1973 to 1978, measures and observations carried out by the "Electricité de la Lienne S.A." and recorded in their annual reports didn't show any disturbance in the dam behaviour.
Even after the events of 1978, the flow of drainage and infiltration water remained always reasonable, reaching a maximum value of 2.2 l/s in gallery VI (including the flow of the source appeared in 1965), with a mean value of 1.2 l/s, and a maximum of 1.3 l/s in gallery X, with a mean value of 0.5 l/s.

4. Chronology of Events and First Investigations about the Origin of the Abnormal Dam Deformations

At the beginning of December 1978, the "Electricité de la Lienne S.A." informed his experts, Dr h. c. *Henri Gicot* and the undersigned, that radial deflections measured by the pendulums indicated lately, contrarily to the rate of deformations recorded previously, a dam movement towards upstream, with an almost completely filled reservoir. The following questions raised at first:
– is there any disturbance in the pendulums? (this point was verified immediately and brought a negative answer)
– is it the consequence of an exceptional dam heating following a particularly warm autumn?
– is it an hysteresis phenomenon?
The comparison between calculated and measured radial deformations for the left, central and right cantilevers applying the following relation:

$$e = r_W + r_\theta - r_M \qquad (4.1.)$$

where

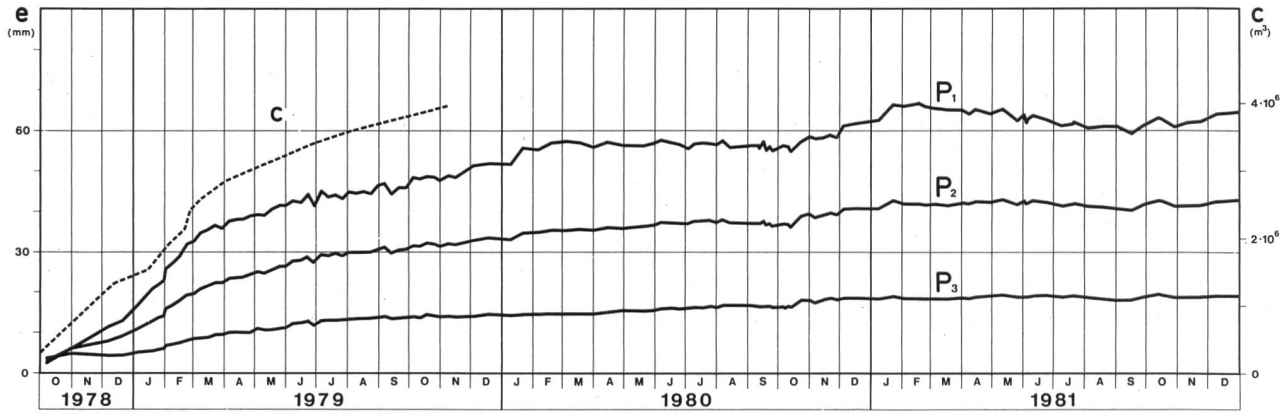

Figure 5. Evolution des écarts e entre déformations radiales calculées et mesurées d'octobre 1978 à décembre 1981 (console de gauche) et courbe des venues d'eau cumulées *c* dans la galerie du Rawil.

Figure 5. Evolution of differences e between calculated and measured radial deformations from October 1978 to December 1981 (left cantilever) and curve of cumulative water flows *c* in the Rawil tunnel.

Une recherche théorique entreprise au début 1979 sur les mouvements possibles des appuis rocheux compatibles avec ceux du barrage montra que la rive droite avait certainement subi des déplacements, et probablement aussi la rive gauche, déplacements se faisant dans l'ensemble en direction de la corde des arcs, c.-à-d. transversalement à la vallée. La question qui se posait alors était de savoir à quel phénomène de grande ampleur étaient dus ces mouvements des appuis rocheux. Une enquête auprès du Service sismologique suisse indiqua que seules de faibles secousses sismiques s'étaient produites dans la région durant les semaines qui précédèrent octobre 1978. Un phénomène d'ordre géologique en relation avec un séisme semblait donc devoir être écarté. Le seul élément nouveau existant dans la région était le percement de la galerie de sondage du Rawil. L'idée vint alors de comparer les courbes de déformations excédentaires du barrage avec la courbe des débits cumulés de l'eau drainée par ladite galerie (figure 5). La similitude était frappante et amena les experts de la Société de la Lienne à formuler l'hypothèse de l'influence des travaux de construction de la galerie du Rawil sur les mouvements du barrage et de ses appuis rocheux.

C'est à la suite d'une séance avec l'Office fédéral de l'économie des eaux lors de laquelle fut exposée cette hypothèse, graphique à l'appui, le 26 mars 1979, que l'Office fédéral des routes ordonna au début du mois d'avril l'interruption des travaux de forage de la galerie du Rawil.

A l'appui de cette hypothèse, on assista à partir de ce moment, presque simultanément à la diminution des débits d'eau drainés par la galerie du Rawil, à un net amortissement des déformations excédentaires du barrage. On peut considérer que ces déformations sont actuellement stabilisées (figures 5 à 7).

5. Détermination du début des déformations

A fin 1978, les mouvements anormaux du barrage étaient suffisamment importants pour apparaître lors d'un examen attentif des mesures brutes et par la comparaison entre les déformations radiales calculées et mesurées selon la relation (4.1.) du chapitre 4. Il en est autrement s'il s'agit du *début* des déformations excédentaires, où les très faibles écarts e étaient masqués par les erreurs accidentelles, les approximations de calcul et l'hysteresis. La difficulté fut levée grâce à une analyse statistique des déformations radiales moyennes de la console médiane du barrage portant sur 61 mesures s'étendant de novembre 1973 à sep-

r_W calculated radial deformation for water load
r_θ calculated radial deformation for temperature
r_M measured radial deformation

showed that, since October 1978, the difference *e,* being of 2 to 3 mm at that time (it means in the order of magnitude of a difference due to fortuitous errors, computation approximations and hysteresis) was increasing (figure 5), thus disclosing an abnormal dam behaviour. This comparison enabled further to state that the beginning of the abnormal deformations was progressive and that the difference e was not the same over the entire dam height, excluding consequently an accident at the lowest pendulum measuring point.

At the end of 1978, because of snow, it was not possible to make geodetic measurements, which had allowed to get a general deformations picture and to determine if vertical movements of the dam and its surroundings had occured.

Pendulum and temperature measurements were carried out weekly since the end 1978.

As early as the first study about the origin of the exceptional deformations, according to radial and tangential deformations given by the pendulums, the conviction was that a general rock movement had occured.

At the beginning of 1979, a theoretical study about the possible movements of rock abutments compatible with those of the dam, showed that the right abutment had certainly undergone displacements, the left bank probably too, displacements on the whole into the direction of the chord of the arches, it means crosswise to the valley. The question was then to know what phenomenon of large magnitude these movements of the rock abutments were due to. Data delivered by the Swiss Seismological Service indicated that only slight earth tremors had occured in the area during the weeks preceeding October 1978. A geological phenomenon related to an earthquake had then to be eliminated. The only new fact existing in the region was the boring of the Rawil exploration tunnel. The idea then came to compare the curves of exceeding dam deformations with the one of the cumulative water flows drained by the mentioned tunnel (figure 5). The similitude was striking and led the experts of the "Electricité de la Lienne S.A." to assume that the construction works of the Rawil exploration tunnel had caused the movements of the dam and its rock abutments.

Following a meeting with the Swiss Federal Office for Water Economy where this assumption, illustrated graphically, was presented on March 25, 1979, the Swiss Federal

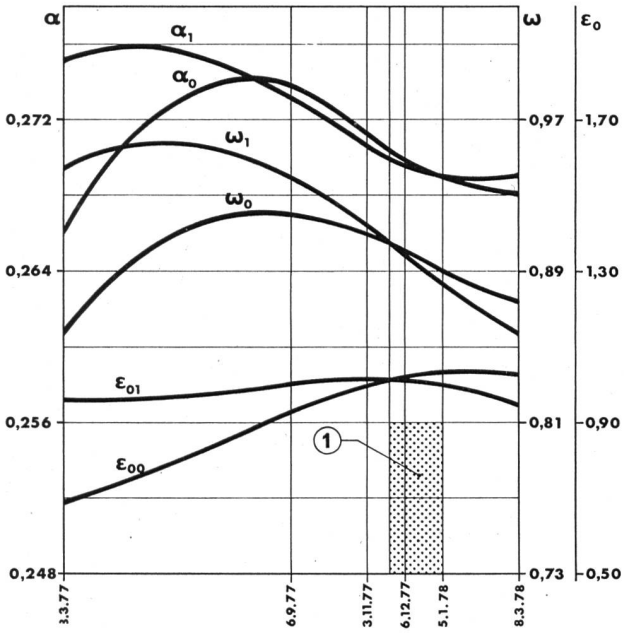

Figure 6. Détermination du début de la poussée anormale du barrage vers l'amont.

Figure 6. Determination of beginning of the abnormal dam deformations towards upstream.

Pour la figure 6.
α coefficient d'élasticité = $1/E^b$
ω facteur correctif des déformations thermiques
ε^0 erreur accidentelle de la mesure de référence du 3-10-73
indice 0: $\Phi = 0$ avant la date D_x
indice 1: $r_p = \Phi t$ après la date D_x
1 époque du début de la poussée

To figure 6
α elasticity coefficient = $1/E_b$
ω corrective factor of thermal deformations
ε_0 accidental error of referring measurement of October 3, 1973
index 0: $\Phi = 0$ before date D_x
index 1: $r_p = \Phi$ after date D_x
1 time of beginning of upstream abnormal deformations.

tembre 1978. La méthode générale [3] consiste à considérer comme inconnues le module d'élasticité du béton E_b, celui du rocher E_r (respectivement le rapport $\alpha = E_b/E_r$), le coefficient de dilatation thermique ω du béton, un coefficient de fluage éventuel Φ et l'erreur ε_0 faite sur la mesure de référence, choisie en l'occurence à la date du 3 octobre 1973. Pour le barrage de Zeuzier, les coefficients appliqués au calcul des déformations thermiques du barrage étant tirés des mesures elles-mêmes, ω fut introduit comme un facteur correctif des mesures de températures du béton. Les coefficients α, ω et ε_0 furent déterminés dans une première phase de l'analyse en prenant en compte les 61 mesures disponibles et en supposant qu'il n'y avait eu aucune déformation anormale jusqu'en septembre 1978, c'est-à-dire en posant $\Phi = 0$. Les valeurs des coefficients furent: $\alpha = 0{,}255$, $\omega = 0{,}716$ et $\varepsilon_0 = 1{,}07$ mm. Les valeurs trop faibles de α et ω par rapport aux valeurs obtenues antérieurement laissaient supposer qu'un mouvement anormal du barrage s'était déjà produit avant octobre 1978.

Afin de cerner l'époque du début de ce mouvement, les 61 mesures furent divisées en 2 groupes (mesures de septembre 73 à août 76 et de septembre 76 à septembre 78) dans une deuxième phase de l'analyse dont les résultats furent les suivants:

1er groupe (73–76): $\alpha = 0{,}266$ $\omega = 0{,}821$ $\varepsilon_0 = 0{,}52$ mm

2e groupe (76–78): $\alpha = 0{,}236$ $\omega = 0{,}498$ $\varepsilon_0 = 1{,}68$ mm

Φ était posé égal à zéro.

Les coefficients du premier groupe étaient plausibles, contrairement à ceux du second groupe. L'hypothèse $\Phi = 0$ n'était donc pas valable après la mesure de septembre 1976, autrement dit un mouvement anormal devait s'être produit entre septembre 1976 et septembre 1978.

La dernière phase de cette analyse statistique fut effectuée en formant 4 hypothèses sur la date D_x du début des mouvements anormaux du barrage, dates comprises entre mars 1977 et mars 1978. L'étude statistique fut faite pour chacune de ces hypothèses en posant $\Phi = 0$ pour les mesures précédant la date D_x, et $r_p = \Phi t$ pour celles qui la suivaient, avec r_p = déformation radiale plastique et t = temps compté à partir de la date D_x.

Office of Roads ordered at the beginning of April the interruption of the boring works at the Rawil tunnel.

In support of this assumption, exceeding dam deformations flattened almost simultaniously to the decreasing of water flows in the Rawil tunnel. It can be considered that these deformations are actually stabilized (figure 5).

5. Determination of Beginning of the Abnormal Dam Deformations

At the end of 1978, the abnormal dam movements were sufficiently large to appear after an attentive examination of rough measures and by comparing the calculated and measured radial deformations according to equation (4.1.) of chapter 4. The problem is different if it concerns the *beginning* of the exceeding deformations, where the very slight differences *e* were masked by fortuitous errors, calculus approximations and hysteresis. This was however made possible by applying a statistical analysis on the mean radial deformations of the central dam cantilever considering 61 measures extending from November 1973 to September 1978. The general method [3] considers as unknowns the modulus of elasticity of concrete E_b, the one of the rock mass E_r (respectively the ratio $\alpha = E_b/E_r$) the coefficient of thermal dilatation of concrete ω, an eventual coefficient of creeping Φ and the error ε_0 on the referring measure of October 3, 1973. For the Zeuzier dam, the coefficients applied to the computation of deformations due to temperature have been deduced from the measures themselves, so that ω was introduced as a corrective factor of concrete temperature measurements.

The coefficients α, ω and ε_0 were determined in a first stage of analysis considering 61 measures and assuming that no abnormal deformation had taken place up to September 1978, thath is to say by setting $\Phi = 0$.

The obtained coefficients were: $\alpha = 0.255$, $\omega = 0.716$ and $\varepsilon_0 = 1.07$ mm. The too low values of α and ω in comparison with the values obtained previously let suppose that an abnormal dam movement had already occured before October 1978.

In order to precise the beginning of the movement, the 61 measures were divided into 2 groups (measures from September 73 to August 76 and from September 76 to September 78) in a second stage of the analysis. The results were the followings:

1st group (73–76): $\alpha = 0.266$, $\omega = 0.821$, $\varepsilon_0 = 0.52$ mm

2nd group (76–78): $\alpha = 0.236$, $\omega = 0.498$, $\varepsilon_0 = 1.68$ mm

Φ was set equal to zero.

The coefficients of the first group were plausible, but not of the second one. The assumption $\Phi = 0$ was then not valid after the measure of September 1976. In other words, an abnormal movement must have occured between September 1976 and September 1978.

The last stage of this statistical analysis was performed by setting 4 assumptions about the date D_x of beginning of the abnormal dam deformations, these dates being included between March 1977 and March 1978. The statistical study was performed for each of these assumptions, setting $\Phi = 0$ for measures preceeding date D_x, and r_p =

Les résultats de cette analyse sont représentés dans la figure 6. Le moment où a débuté le mouvement est celui pour lequel les coefficients α, ω et ε_0 sont les mêmes pour les périodes précédant et suivant la date D_x. De la figure 6, on déduit que les mouvements anormaux du barrage ont débuté entre la mi-novembre 1977 et le début janvier 1978. D'après les calculs, la déformation radiale moyenne excédentaire e de la console médiane valait 2,8 mm en septembre 1978.

6. Détérioration du barrage

Vu l'ampleur que prenaient les mouvements du barrage, il est évident qu'il fallait s'attendre à l'apparition de fissures et à l'ouverture de joints verticaux du barrage. Les premières observations de détérioration du barrage furent faites en mars 1979. Certains dommages sont sans doute apparus un peu avant. Les accès rendus impraticables par la neige en empêchaient cependant le constat.

Les principales observations faites durant les premiers mois se résument de la manière suivante:

- ouverture de joints verticaux;
- fissures sur le parement aval, principalement le long de la fondation rive gauche, avec localement prolongement dans le rocher d'appui;
- fissures le long des tronçons de galerie de sortie vers l'aval;
- autres fissures dans les galeries de contrôle du barrage, essentiellement vers les appuis, avec quelques fissures dans le puits central;
- fissures sur le couronnement, plus ou moins selon la direction des joints verticaux du barrage.

Le mouvement des fissures les plus importantes est actuellement contrôlé au moyen d'extensomètres.

Adresse de l'auteur: *Olivier Gicot,* ing. civil dipl. EPF/SIA/ASCE, Master of Science, MIT (USA), expert de la Lienne SA, Fort-St-Jacques 25, CH-1700 Fribourg (Suisse).

Φt for the ones following it, with r_p = plastic radial deformation and t = elapsed time from date D_x.

The results of this analysis are shown in figure 6. The moment where the movement started is the one for which α, ω and ε_0 are the same for the periods of time preceeding and following the date D_x. Hence, from figure 6, the abnormal dam deformations have started between the middle of November 1977 and the beginning of January 1978. According to the calculations, the mean radial deformation e of the central cantilever was 2.8 mm in September 1978.

6. Dam Deteriorations

Because of increasing dam deformations, it was evident that cracks and opening of dam joints would occure. First observations of dam deterioration were made in March 1979. Some damages have certainly appeared some time before. However, the accesses, impassable because of snow, didn't enable to notice it.

The main observations made during the first months are summarized below:

- opening of vertical joints;
- cracks on downstream face, mainly along the left bank foundation, extending locally into the rock abutment;
- cracks along downstream exit galleries;
- other cracks in the inspection galleries of the dam, essentially towards the abutments, with a few cracks in the central shaft;
- cracks at dam crest, following more or less the direction of the vertical joints.

The opening of the most important cracks are actually controlled by means of extensometers.

Bibliography

[1] Dr h. c. *Henri Gicot:* "Conceptions et techniques de quelques barrages-voûtes suisses", Barrages en Suisse, special issue of the publication "Cours d'Eau et Energie", 1961.

[2] Dr h. c. *Henri Gicot:* "Zeuzier arch dam", Behaviour of Large Swiss Dams, 1964.

[3] Dr h. c. *Henri Gicot:* "A method of analysis of arch dam deformations", Transactions, XIIth International Congress on Large Dams, Mexico, 1976, C. 1, vol. I.

Address of the author: *Olivier Gicot, ing. civil dipl. EPF/SIA/ASCE,* Master of Science, MIT (USA), Lienne SA Expert, Fort-St-Jaques 25, CH-1700 Fribourg (Suisse).

III. Mesures géodésiques des déformations

Kurt Egger

1. Introduction

Entre 1959 et octobre 1978, le comportement du barrage de Zeuzier qui était notamment contrôlé par des pendules et des mesures géodésiques n'avait pas montré d'irrégularités [1]. Subitement, les trois pendules indiquèrent un mouvement inhabituel du couronnement du barrage vers l'amont.

La tâche du géomètre, membre du groupe d'experts, fut de fournir de plus amples informations et de contrôler les résultats des mesures des pendules.

2. L'ancien réseau trigonométrique

L'ancien réseau trigonométrique (figure 1) consistait en un réseau de piliers de triangulation se trouvant près du bar-

III. Geodetic Deformation Measurements

Kurt Egger

1. Introduction

Between 1959 and October 1978 the behaviour of the Zeuzier arch-dam controlled by pendulums and geodetic measurements showed no irregularities [1]. Then the three pendulums suddenly indicated an unusual upstream movement of the crest of the dam.

It was the task of the geodesist, member of the group of experts, to furnish further information and to check the results derived from pendulum measurements.

2. The Old Geodetic Scheme

The old geodetic scheme (figure 1) consisted of a triangulation scheme in the immediate down-stream area of the dam. From these observation pillars a number of dam-tar-