Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 72 (1980)
Heft: 7-8

Artikel: Le récent comportement du barrage de Zeuzier
Autor: Gicot, Olivier
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941400

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: 29.07.2025

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

Le récent comportement du barrage de Zeuzier

Olivier Gicot

Résumé

Après 21 années d'exploitation et un comportement entièrement satisfaisant, des déformations anormales du barrage-voûte de Zeuzier en direction amont ont été décelées à fin 1978 par les mesures des pendules. Des premières recherches basées sur l'exploitation des mesures et observations et sur des études théoriques ont été entreprises aussitôt sur l'origine de ces mouvements.
Une analyse détaillée des déformations s'appuyant sur une méthode statistique a permis de déterminer l'époque du début de la poussée du barrage vers l'amont. L'ampleur des déformations anormales a provoqué, comme on pouvait s'y attendre, des dommages à l'ouvrage.

Zusammenfassung: Das Verhalten der Staumauer Zeuzier in jüngster Zeit

Nach 21 Betriebsjahren mit einem einwandfreien Verhalten sind Ende 1978 aussergewöhnliche flussaufwärts gerichtete Deformationen der Bogenstaumauer Zeuzier durch die Pendelmessungen festgestellt worden. Gestützt auf die Bearbeitung der Messungen und Beobachtungen sowie auf theoretische Studien, sind sofort erste Untersuchungen über die Herkunft dieser Bewegungen unternommen worden. Mit Hilfe einer statistischen Methode ist es gelungen, durch eine gründliche Analyse der Mauerdeformationen den Zeitpunkt des Beginns dieser Bewegungen zu bestimmen. Wie zu erwarten war, hat die Mauer unter den grossen aussergewöhnlichen Deformationen gelitten.

Summary: The Recent Behaviour of the Zeuzier Arch-Dam

Following 21 years of working and an entirely satisfactory behaviour, abnormal deformations of the Zeuzier arch-dam towards upstream have been disclosed by the pendulum measurements at the end of 1978. First investigations about the origin of these movements, based on measures and observations and on theoretical studies, have been immediately undertaken.
Using a statistical method, a detailed analysis of the dam deflections has allowed to determine the period of the beginning of these movements. As could be expected, the large abnormal deformations have caused damages to the dam.

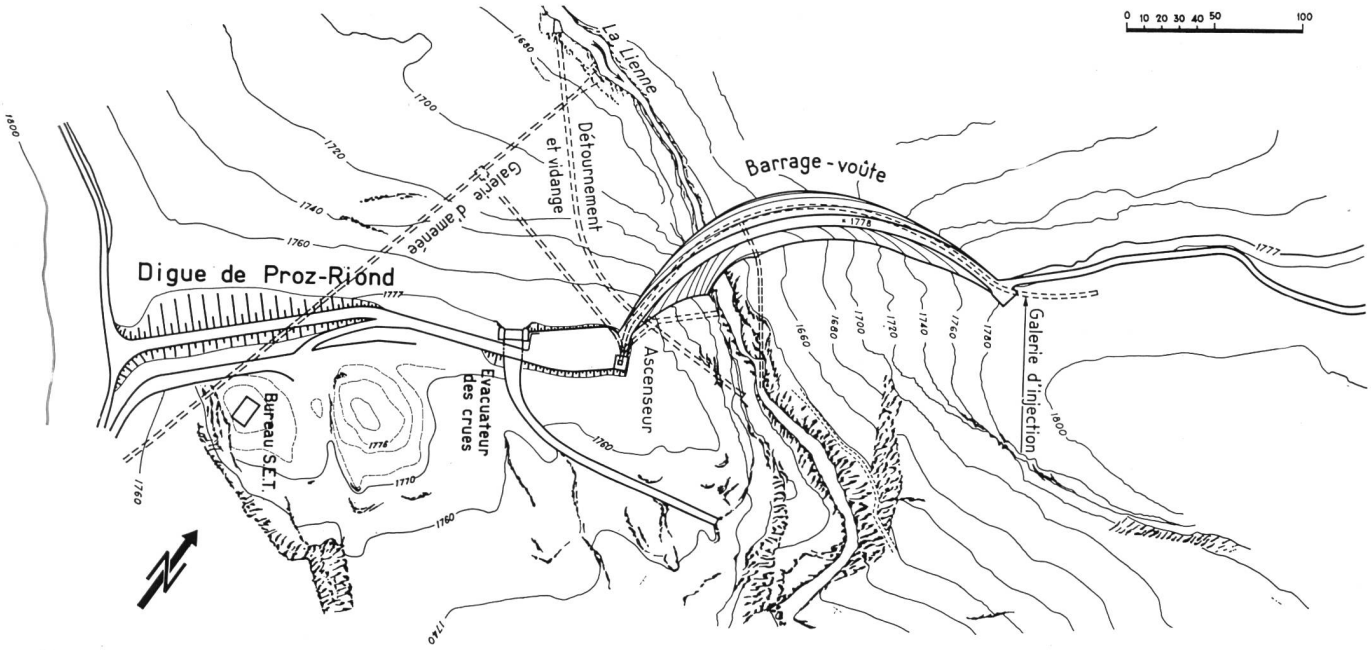

Figure 2. Situation du barrage de Zeuzier et de la digue de Proz Riond.

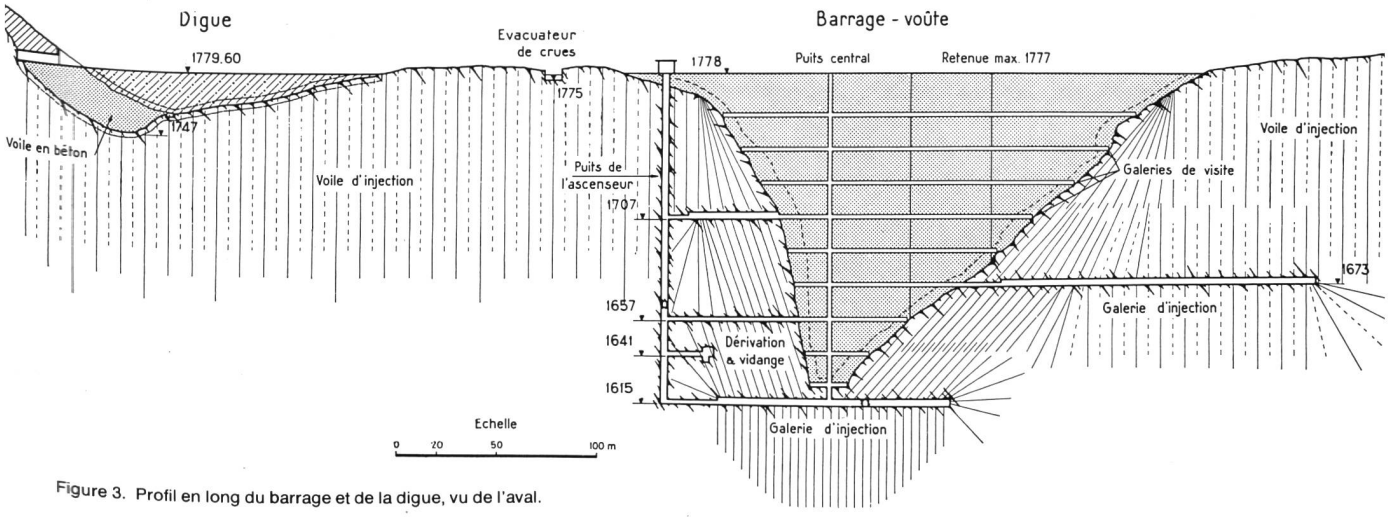

Figure 3. Profil en long du barrage et de la digue, vu de l'aval.

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 S. A., cet aménagement est situé dans la vallée de la Lienne, à environ 15 km au NE de Sion (figure 1). 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 1777,0 m, le niveau minimum d'exploitation étant de 1670 m (figures 2 et 3).

Les caractéristiques principales du barrage, construit de 1954 à 1957, sont les suivantes (figures 4 et 5):

hauteur max. au-dessus des fondations: 156 m
longueur au couronnement à l'altitude de 1778 m: 256 m
extrados des arcs circulaire, de rayon variant de 66,70 m à 140 m; en raison de la forte asymétrie de la vallée, le centre des arcs inférieurs est déjeté vers la rive droite;
épaisseur des arcs: 7,00 m au couronnement et 25,60 m à la base.

La première mise en eau totale eut lieu au début octobre 1957.

2. Équipement d'auscultation

Le comportement du barrage est 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;
– 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.

Jusqu'à fin 1978, le programme d'auscultation comprenait 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 en 1979 (voir contributions de MM. *K. Egger* et Dr *T. R. Schneider).*

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 [1], 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. De 1973 à 1978, les mesures et observations faites par l'Exploitation de l'Electricité de la Lienne S. A. 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, 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.

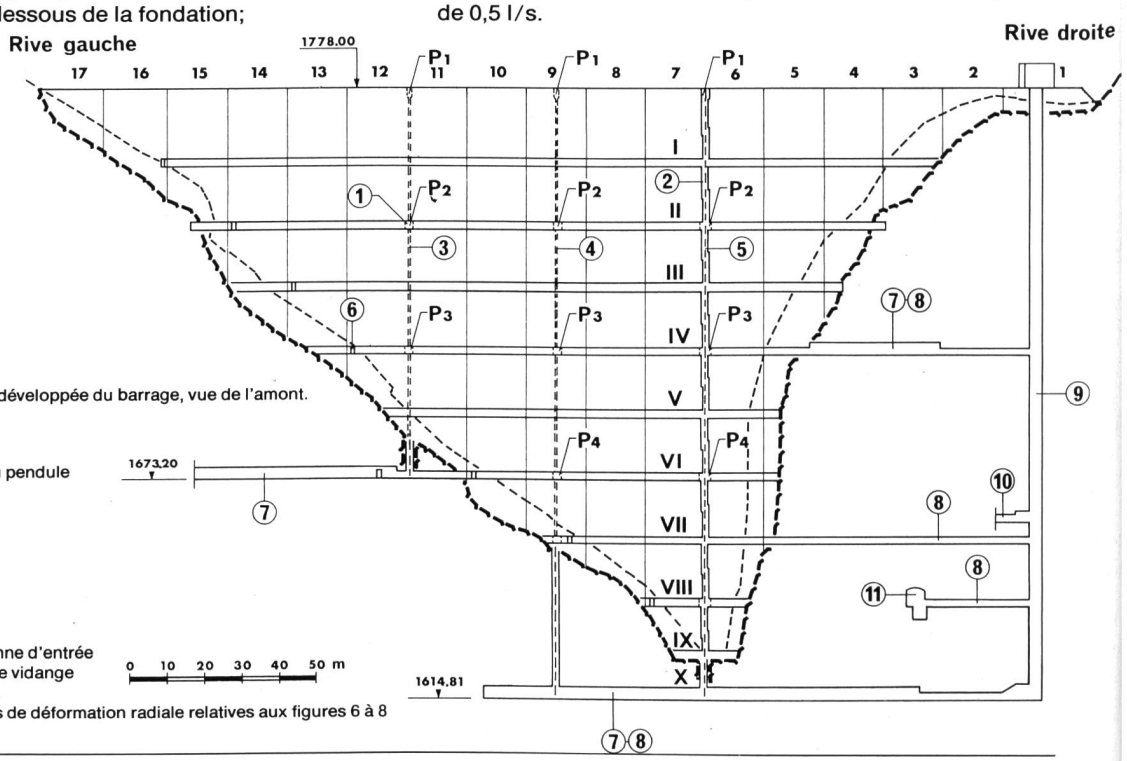

Figure 4. Coupe en long développée du barrage, vue de l'amont.

1 Chambre de mesure du pendule
2 Puits central d'accès
3 Pendule de gauche
4 Pendule médian
5 Pendule de droite
6 Sortie vers l'aval
7 Galerie d'injection
8 Galerie d'accès
9 Puits de l'ascenseur
10 Galerie d'accès à la vanne d'entrée
11 Chambre des vannes de vidange
I–X Galeries de visite
P1–P4 Points des mesures de déformation radiale relatives aux figures 6 à 8

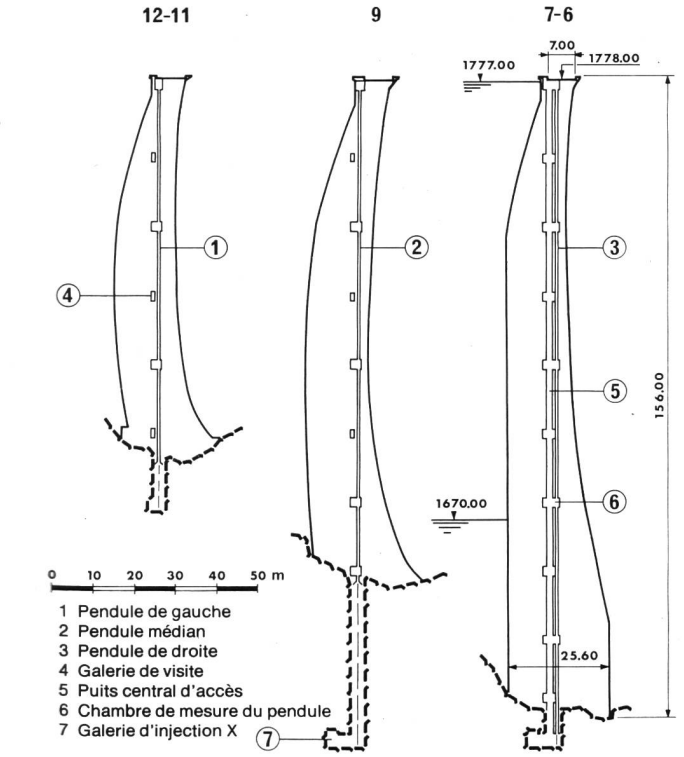

Figure 5. Coupes en travers du barrage au droit des pendules.

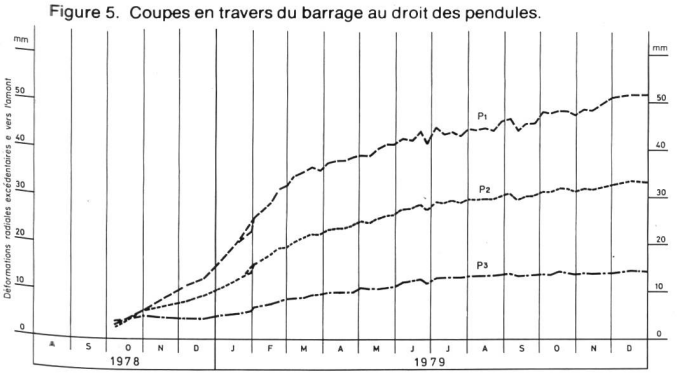

Figure 6. Evolution des écarts entre déformations radiales calculées et mesurées depuis octobre 1978: console de gauche.

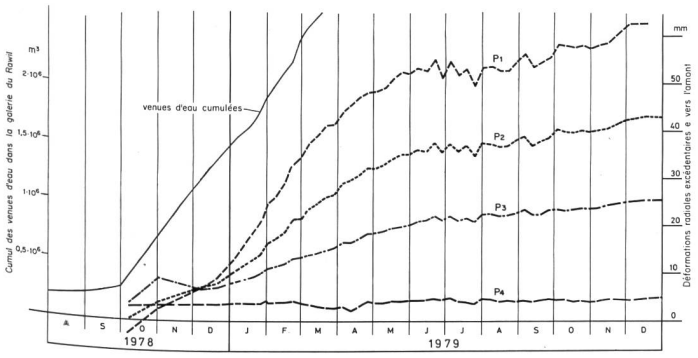

Figure 7. Evolution des écarts entre déformations radiales calculées et mesurées depuis octobre 1978: console médiane.

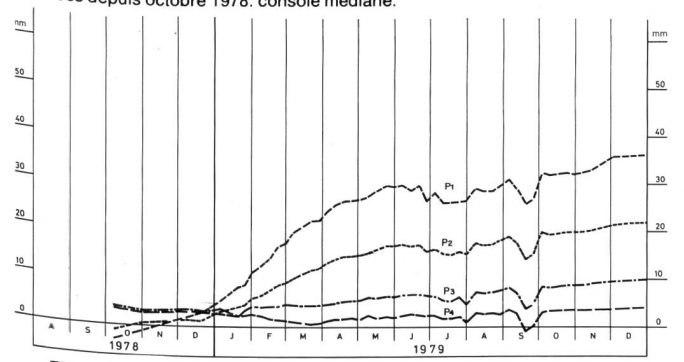

Figure 8. Evolution des écarts entre déformations radiales calculées et mesurées depuis octobre 1978: console de droite.

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

Au début décembre 1978, l'Electricité de la Lienne S. A. 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 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:

$$e = r_W + r_\theta - r_M \qquad (1)$$

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 6, 7 et 8), 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.

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'est-à-dire 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 de l'Institut suisse des tremblements de terre 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 7). La similitude était frap-

pante et amena les experts de la Lienne à formuler l'hypothèse de l'influence des travaux de construction de la galerie de 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 fut ordonnée l'interruption des travaux de forage de la galerie du Rawil par la Confédération.

5. Détermination du début des déformations anormales du barrage

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 (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 septembre 1978. La méthode générale [2] 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 $\varnothing$ et l'erreur ε_o 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_o 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 $\varnothing = 0$. Les valeurs obtenues des coefficients furent : $\alpha = 0{,}255$, $\omega = 0{,}716$ et $\varepsilon_o = 1{,}07$ mm. Les valeurs trop faibles de α et ω par rapport aux valeurs obtenues antérieurement laissaient supposer qu'un mouvement anormal 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 sept. 73 à août 76 et de sept. 76 à sept. 78) dans une deuxième phase de l'analyse dont les résultats furent les suivants:

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

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

$\varnothing$ était posé égal à zéro.

Les coefficients du premier groupe étaient plausibles, contrairement à ceux du second groupe. L'hypothèse $\varnothing = 0$ 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 $\varnothing = 0$ pour les mesures précédant la date D_x, et $r_p = \varnothing t$ pour celles qui la suivaient, avec r_p = déformation radiale plastique et t = temps compté à partir de la date D_x.

Les résultats de cette analyse sont représentés dans la figure 9. Le moment où a débuté le mouvement est celui pour lequel les coefficients α, ω et ε_o sont les mêmes pour les périodes précédant et suivant la date D_x. De la figure 9,

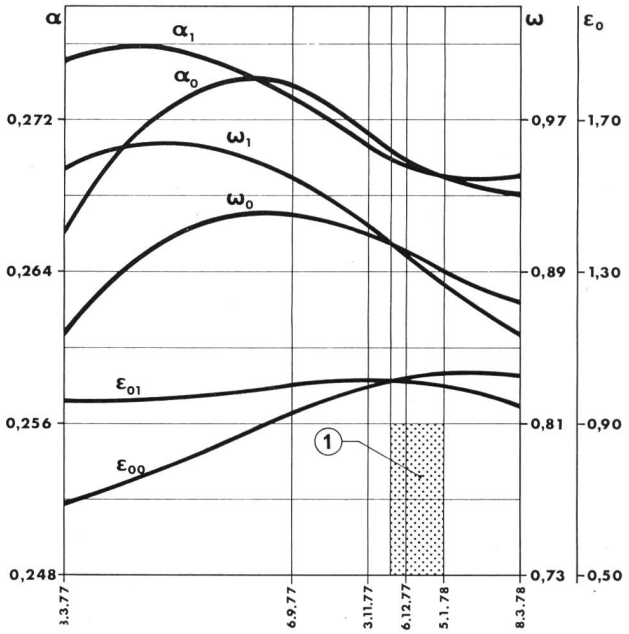

Figure 9. Détermination du début de la poussée anormale du barrage vers l'amont.

α coefficient d'élasticité, $\alpha = 1/E_b$

ω facteur correctif des déformations thermiques

ε_o erreur accidentelle de la mesure de référence du 3. 10. 1973

indice o : $\varnothing = 0$ avant la date D_x

indice 1 : $r_p = \varnothing t$ après la date D_x

1 époque du début de la poussée

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. Il est possible que certains dommages sont apparus un peu avant. Les accès rendus impraticables par la neige en empêchaient cependant le constat.

Les principales observations faites jusqu'à ce jour se résument de la manière suivante:

– ouverture de joints verticaux (max. 5 mm);

– fissures sur le parement aval, principalement le long de la fondation rive gauche (max. 10 mm), avec localement prolongement dans le rocher d'appui;

– fissures le long des tronçons de galerie de sortie vers l'aval (max. 5 mm);

– autres fissures dans les galeries de contrôle du barrage, essentiellement vers les appuis (max. 5 mm), avec quelques fissures dans le puits central (max. 1 mm);

– fissures sur le couronnement, plus ou moins selon la direction des joints verticaux du barrage (max. 1 mm).

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

Bibliographie

[1] Dr h. c. *Henri Gicot:* «Le barrage-voûte de Zeuzier», Comportement des grands barrages suisses, 1964.

[2] Dr h. c. *Henri Gicot:* «Une méthode d'analyse des déformations des barrages», comptes-rendus du XIIe Congrès international des Grands Barrages, Mexico, 1976, communication CI, vol. IV.

Adresse de l'auteur: *Olivier Gicot,* ingénieur civil dipl. EPF/SIA/ASCE, Fort St-Jacques 25, 1700 Fribourg.