

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 74 (1982)
Heft: 3

Artikel: Mesures géodésiques des déformations = Geodetic deformation measurements
Autor: Egger, Kurt
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-954759>

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: 15.01.2026

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

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 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.

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 preceding 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 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 occur. 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-vôûtes 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), expert de la Lienne SA, Fort-St-Jacques 25, CH-1700 Fribourg (Suisse)*.

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)*.

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-

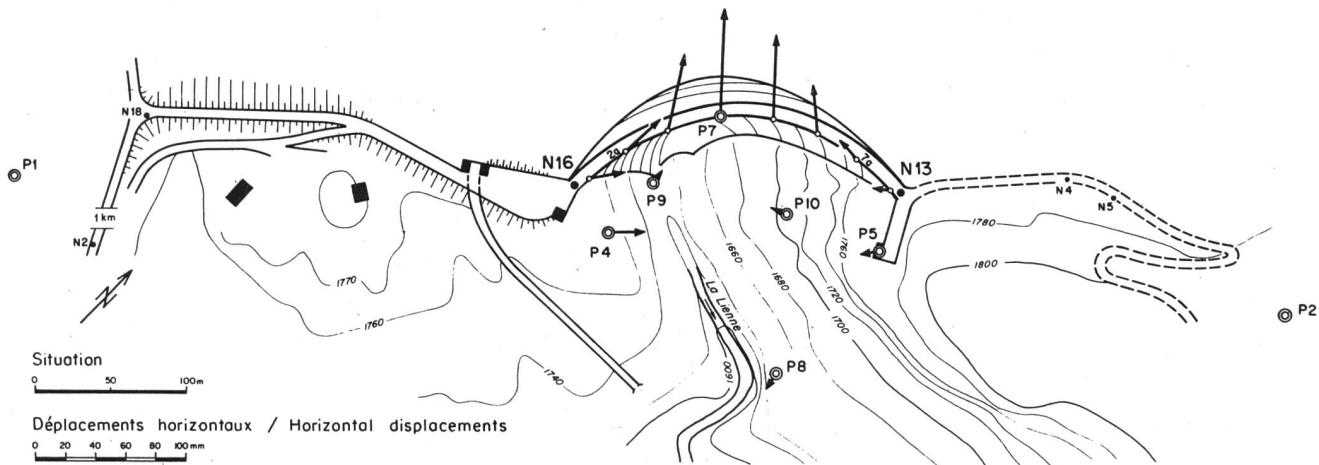


Figure 1. L'ancien réseau de triangulation et les déplacements horizontaux entre 1972 et 1979.

rage, côté aval. A partir de ces piliers, un certain nombre de repères fixés sur le parement du barrage étaient déterminés par intersection. En plus, un nivelllement s'étendait du couronnement du barrage jusqu'au point de référence N2 situé à environ 1 km.

Ce réseau fut observé huit fois entre 1961 et 1976 à intervalles différents et à diverses altitudes du plan d'eau. Les résultats de ces mesures géodésiques ne mettaient en évidence que de très petits déplacements horizontaux et verticaux.

3. Les résultats de la mesure géodésique de mai 1979

3.1 Mesure

L'ancien réseau fut à nouveau observé en mai 1979 alors que le plan d'eau était très bas (1672 m) et aussitôt que les conditions d'enneigement le permirent.

Outre les mesures des angles horizontaux et verticaux, on utilisa un instrument de précision pour mesure de distance, le Mekometer ME 3000, pour la mesure de distances entre les piliers du réseau [2].

La mesure de référence retenue fut celle de l'année 1972.

3.2 Déplacements horizontaux 1972–1979

Sur la base de mesures d'angles et de distances seules des modifications de forme et de grandeur c'est-à-dire une déformation relative, peuvent être déterminées.

Pour obtenir des déplacements absolus, il faut disposer d'un nombre suffisant de points de référence. Le calcul montra que tous les piliers se trouvant près du barrage s'étaient déplacés. Les moyens informatiques et le système de programmes Helmert/77 pour le calcul de réseaux géodésiques généraux [3] permirent l'exploitation du réseau de triangulation comme réseau libre à trois dimensions suivie d'une transformation de Helmert tridimensionnelle. Les piliers P4, P5, P8, P9 et P10 servirent de points fixes de transformation, et l'orientation azimutale fut déduite des points d'orientation.

Les déplacements horizontaux qui en résultent (figure 1), ne représentent que des valeurs minimales, les vrais déplacements horizontaux peuvent être plus grands.

Les mesures géodésiques confirmèrent le résultat des mesures des pendules. Le pilier P7 au milieu du couronnement s'était déplacé de 71 mm vers l'amont. La distance entre P5 et P4 (culée gauche – culée droite) a diminué de 37 mm. La figure 1 montre aussi les déplacements horizontaux des repères du parement au niveau du couronnement du barrage.

Figure 1. The old triangulation scheme and the horizontal displacements 1972–1979.

gets were intersected. In addition there was a levelling from the dam-crest to a reference point N2 approximately 1 km off the dam.

This scheme was observed eight times between 1961 and 1976 in different intervals and at different reservoir levels. The results of these geodetic measurements showed very small horizontal and vertical displacements.

3. The Results of the May 1979 Geodetic Measurement

3.1 Measurement

The old scheme was re-observed in May 1979 at a very low reservoir level (1672 m) as soon as the snow-conditions permitted this.

In addition to horizontal and vertical angles, also the distances between pillars of the scheme were observed with a high precision distance meter, the Mekometer ME 3000 [2].

The geodetic measurement of 1972 served as a reference.

3.2 Horizontal displacements 1972–1979

Based on measurements of angles and distances, only changes of form and size—the relative deformation—of a structure can be determined.

To obtain absolute displacements a sufficient number of reference points is required. The evaluation showed that in the near surrounding of the dam all pillars had moved. The means of EDP and the Helmert/77 program system for the computation of general geodetic nets [3] allowed the evaluation of the triangulation scheme as a 3-dimensional free net with a subsequent 3-dimensional Helmert transformation. The pillars P4, P5, P8, P9 and P10 served as transformation fixpoints and the azimuthal orientation was derived from orientation points.

The thus obtained horizontal displacements (see figure 1) only describe minimum values, i.e. the true horizontal displacements may be greater.

The geodetic measurement confirmed the result of the pendulums. P7 in the central cantilever of the dam moved 71 mm upstream. The distance between P5 and P4 (left-right abutment) became 37 mm smaller. Figure 1 also shows the horizontal displacements of the dam-targets at the crest of the dam.

3.3 Vertical displacements 1972–1979

Based on the assumption that the elevation of the bench mark N2 approximately 1 km downstream the dam is unchanged, the calculated settlements reach 83 mm for

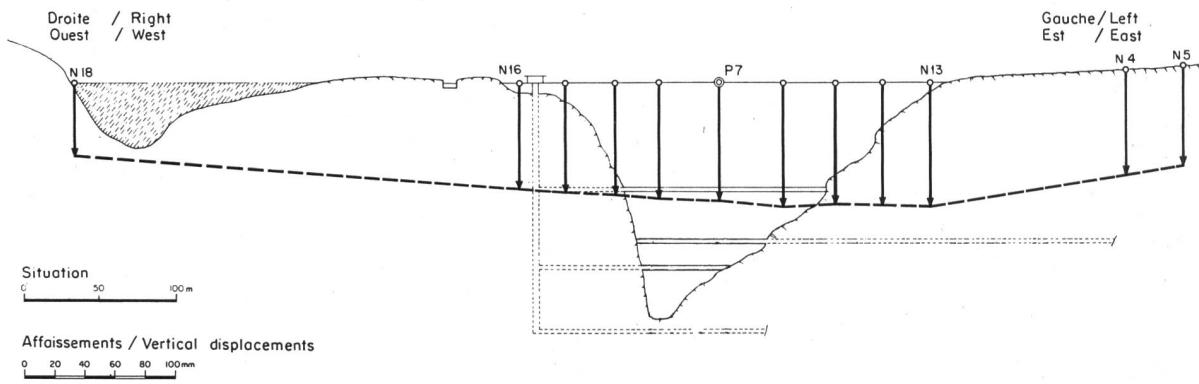


Figure 2. The vertical displacements 1972–1979.

3.3 Déplacements verticaux 1972–1979

En supposant que la hauteur du repère N2, situé à environ 1 km du barrage vers l'aval, n'a pas changé, les affaissements calculés atteignent 83 mm pour les points du barrage et diminuent graduellement vers les rives.

3.4 Quelques remarques

Les déplacements déterminés par mesures géodésiques sont tels qu'il est inutile de discuter des erreurs moyennes. Des mesures précises de distances permettent l'observation par exemple de la distance P5–P4 de 173 m longueur avec un écart type inférieur à un millimètre. Il est donc incontestable que les déplacements sont réels.

Les résultats furent surprenants et les mesures géodésiques des déformations contribuèrent à un haut degré aux connaissances du phénomène observé au barrage de Zeuzier (voir aussi articles I, II et IV).

4. Le nouveau réseau trigonométrique

L'ancien réseau de triangulation avait quelques imperfections. Son extension était trop petite et des mesures pendant les mois d'hiver étaient pratiquement impossibles.

Il fut par conséquent nécessaire d'installer en été 1979 un nouveau réseau trigonométrique plus vaste. Des piliers ad-

points on the dam and slightly less towards the slopes of the valley.

3.4 Some remarks

The displacements determined by geodetic measurements are of such magnitude that a discussion about mean-errors or standard deviations is unnecessary. Precise distance measurement allows the observation e.g. of the distance P5–P4 of 173 m length with a standard deviation of fractions of a millimeter. There is no doubt that the displacements are real.

The results were surprising and the geodetic deformation measurement contributed to a high degree to the knowledge about the phenomenon of the Zeuzier arch-dam (see also papers I, II and IV).

4. The New Geodetic Scheme

The old geodetic scheme had some deficiencies. Its extension was too small and any measurement during the winter months was practically impossible.

It was therefore necessary to install a new enlarged geodetic scheme during summer 1979. Additional pillars were erected up- and downstream of the dam, where topography and geology permitted. The observation of horizontal and vertical angles was supplemented by the measure-

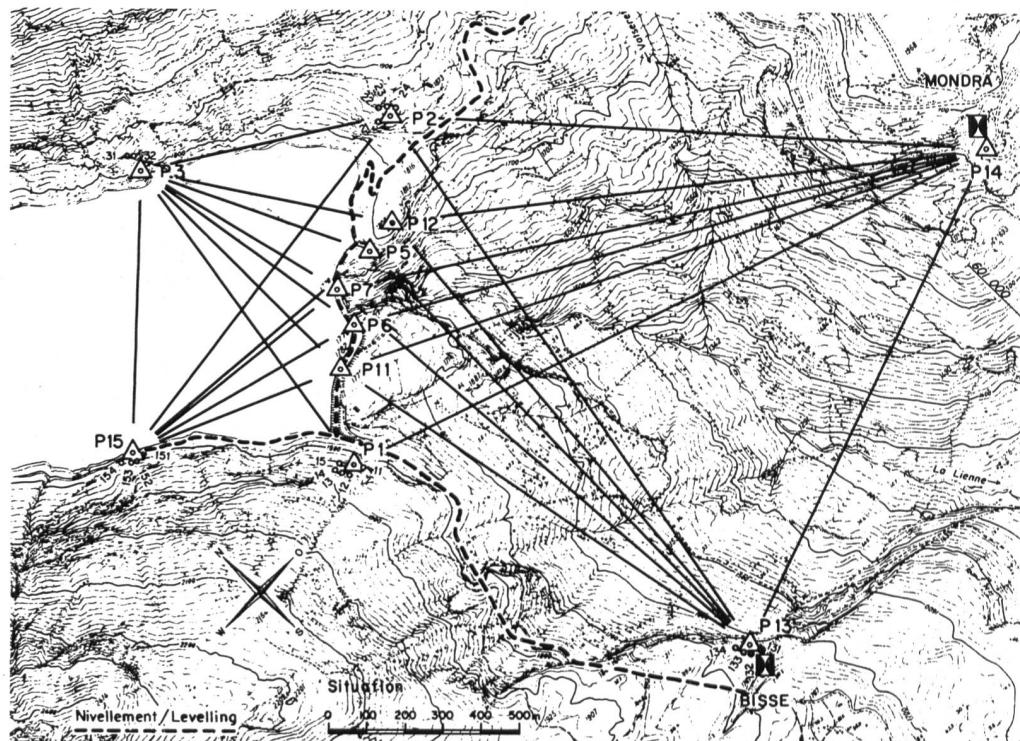


Figure 3. The new triangulation scheme.

Droite / Right
Ouest / West

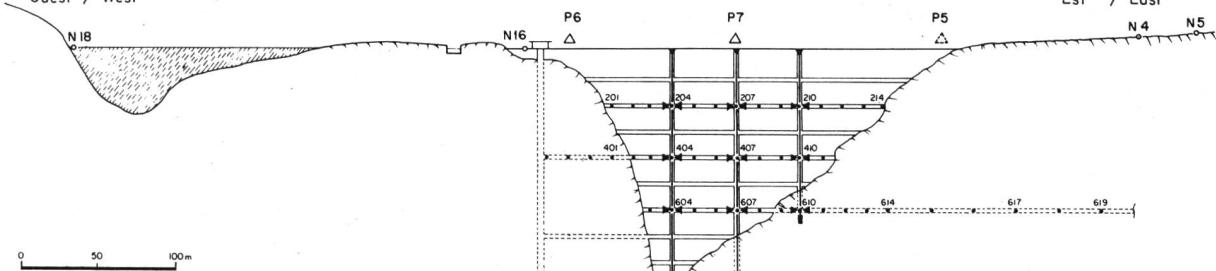


Figure 4. Le réseau polygonal.

ditionnels furent construits en aval et en amont du barrage où la topographie et la géologie le permettaient. L'observation des angles horizontaux et verticaux fut complétée par des mesures de distance de précision avec le Mekometer ME 3000.

Le niveling fut considérablement étendu sur les rives gauche et droite.

La continuité entre l'ancien et le nouveau réseau a été assurée et une attention spéciale a été portée au rattachement des pendules, des extensomètres et des inclinomètres au réseau de triangulation. Le nouveau réseau permet de déterminer directement les déplacements horizontaux des pendules par triangulation.

Une amélioration importante fut obtenue par l'installation et la mesure de polygonaux de précision [4] dans les galeries 2, 4, 6 et 10 du barrage (figure 4). Ces polygonaux sont rattachées aux pendules et par conséquent au réseau de triangulation.

Le nouveau réseau trigonométrique a été projeté de façon à offrir plusieurs possibilités de mesure. Il faut, dans un réseau de triangulation moderne, que l'on puisse mesurer non seulement le réseau complet, mais aussi un réseau réduit ou même faire des mini-mesures géodésiques qui fournissent des résultats partiels ou des informations clés avec une sûreté et une précision suffisante.

Le nouveau réseau de triangulation, plus vaste et plus fiable, donne un bon nombre d'informations sur le barrage et ses environs. La mesure géodésique des déformations et les autres appareils de mesures également plus nombreux (voir article IV) rendent possible le contrôle permanent, exact et sûr du comportement du barrage de Zeuzier.

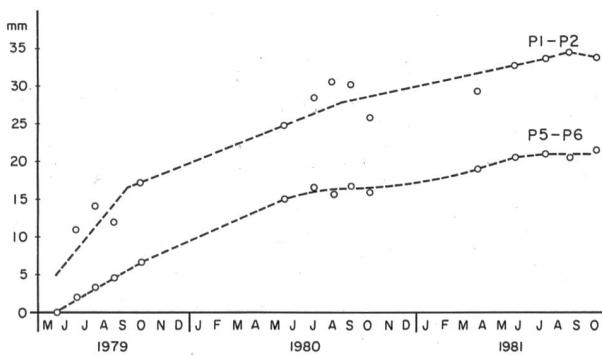
5. Les mesures géodésiques et les résultats depuis 1979

5.1 Les mesures

Des mesures géodésiques complètes furent exécutées chaque année au printemps et en automne. Simultanément tous les autres appareils (pendules, extensomètres, piézomètres, inclinomètres, etc.) furent observés.

Figure 5. Réduction des distances P1-P2 et P5-P6.

Figure 5. Reduction of distances P1-P2 and P5-P6.



Gauche / Left
Est / East

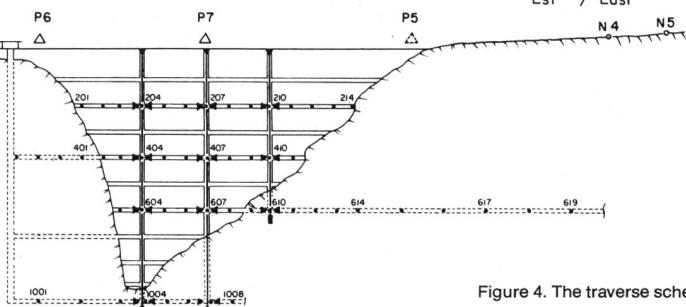


Figure 4. The traverse scheme.

ment of precise distances by means of the Mekometer ME 3000.

The levelling was considerably extended on the left and right side of the valley.

Continuity between the old and the new scheme had to be established and special attention was paid to the interconnection of pendulums, extensometers, slope indicators and the geodetic scheme. In the new scheme horizontal displacements of the pendulums are directly determined by triangulation procedures.

An important improvement was the installation of precision traverses [4] in the control galleries 2, 4, 6 and 10 of the dam (see figure 4). These traverses are connected to the pendulums and hence to the triangulation scheme.

Another important point of view for the project of the new geodetic scheme was its multistage possibilities. A modern geodetic scheme should not only allow measurements of the complete scheme, but also observations of a reduced scheme or even geodetic mini-measurements which may furnish partial results or key-information with a reduced reliability and accuracy.

The new geodetic scheme produces a considerably larger and more reliable number of informations on the dam and its surroundings. The geodetic deformation measurements, together with the equally enlarged instrumentation (see paper IV) enables the permanent, accurate and reliable behaviour control of the Zeuzier arch-dam.

5. The Geodetic Measurements and Results Since 1979

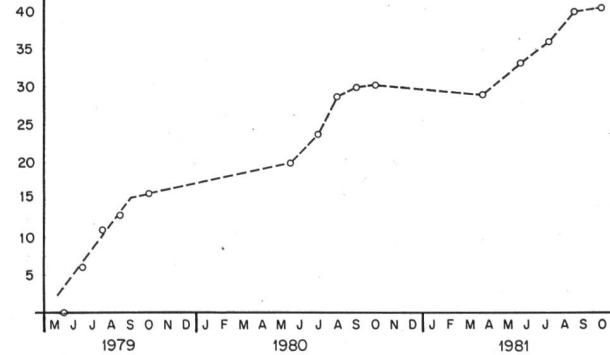
5.1 The measurements

Complete geodetic measurements were carried out each year in spring and autumn. At the same time all other instrumentation (pendulum, extensometer, piezometer, slope indicator etc.) was observed.

Reduced geodetic measurements were observed each year in midsummer. They mainly consisted of the observation of the triangulation scheme and the levelling.

Figure 6. Déplacement radial géodésique du P7.

Figure 6. Radial geodetic displacements of P7.



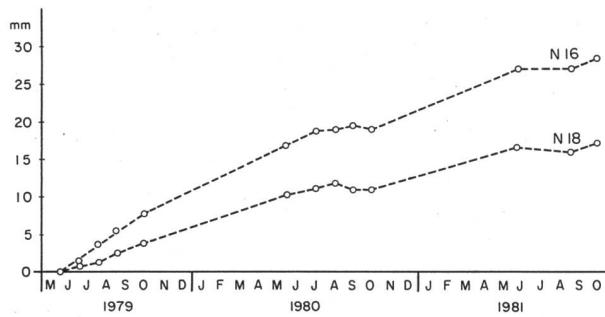


Figure 7. Affaissements de N16, N18, N13 et N5.

Des mesures géodésiques réduites furent effectuées chaque année vers le milieu de l'été. Elles se composent principalement de l'observation du réseau de triangulation et du nivelllement.

Enfin des mini-mesures furent exécutées pendant l'été et l'hiver à une fréquence variable. Elles comportent la mesure des distances P1-P2 et P5-P6, le déplacement radial du P7 et un nivelllement très réduit en été. En hiver, la mesure de la polygonale dans la galerie 2 remplace les autres mesures.

5.2 Les résultats

Il ne s'agit pas de présenter ici en détail tous les résultats des différentes mesures géodésiques. Trois informations clés sont illustrées ci-dessous. Les diminutions des distances P1-P2 et P5-P6 (situation voir figure 3) sont reportées dans la figure 5, quant à la figure 6, elle montre le déplacement radial géodésique du P7 au niveau du couronnement du barrage. Ce dernier est comparable au déplacement radial déterminé par les mesures du pendule. Finalement, les affaissements de quelques points caractéristiques (situation voir figure 1) sont présentés dans la figure 7. Tous les graphiques montrent une stabilisation considérable des mouvements en particulier par rapport aux déplacements entre 1972 et 1979 (voir 3.2 et 3.3) et il semble que les mouvements aient pratiquement cessé.

6. Remarques finales

Les mesures géodésiques des déformations et leurs résultats furent décisifs pour l'interprétation des mouvements extraordinaires dans la région du bassin d'accumulation de Zeuzier; ils resteront essentiels pour des décisions futures.

Le contrôle du comportement d'un barrage nécessite une coopération interdisciplinaire entre l'ingénieur civil, le géologue et le géomètre. L'information mutuelle contribue beaucoup à rendre les mesures géodésiques des déformations sûres et fiables.

Bibliographie

- [1] Dr. h. c. H. Gicot Comportement des Grands Barrages Suisses, Comité National Suisse des Grands Barrages, 1964.
- [2] K. Egger and W. Keller New Instruments, Methods and their Application for Geodetic Deformation Measurements on Dams, Douzième Congrès des Grands Barrages, Mexico, 1976, Volume IV, pages 995–998.
- [3] K. Egger and W. Keller The Helmert/77 Program System for the Computation of General Geodetic Nets, Proceedings of the Industrial and Engineering Survey Conference, London, September 1980.
- [4] W. Keller Geodetic Deformation Measurements on Large Dams, Kern & Co. Ltd., Aarau, Walter Schneider Ltd., Chur, Switzerland 1977.

Adresse de l'auteur: Kurt Egger, Ing. civil, expert fédéral, c/o Walter Schneider SA, Reichsgasse 61, 7000 Coire/Suisse.

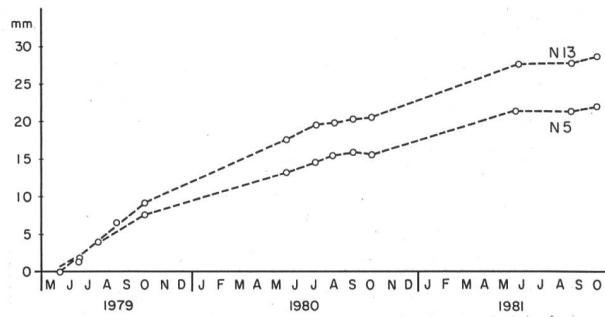


Figure 7. Settlements of N16, N18, N13 and N5.

And geodetic mini-measurements were carried out with variable frequency during summer and winter. They comprise the measurement of the distances P1-P2 and P5-P6, the radial displacement of P7 and a much reduced levelling in summer. In wintertime the measurement of the traverse in gallery 2 substitutes the outdoor-measurements.

5.2 The results

It would be beyond the scope of this paper to present the various results of the different geodetic measurements in detail. Three key-information shall be representative: Figure 5 shows the reduction of the distances P1-P2 and P5-P6 (location see figure 3), and figure 6 represents the radial geodetic displacement of P7 on the crest of the dam. It is corresponding to the radial displacement determined by pendulum measurements.

And the settlements of some characteristic points (location see Firgure 1) are finally shown in Figure 7.

All graphs show the considerable slow-down of the movement, particularly when the displacements between 1972 and 1979 are considered also (see 3.2 and 3.3), and it seems that the movement has come to a standstill altogether.

6. Final Remarks

The geodetic deformation measurements and their results were directive for the model conception of the extraordinary movement of the Zeuzier basin; and they will be guiding future decisions.

The behaviour control of a dam is an interdisciplinary cooperation between civil engineer, geologist and geodesist. The mutual understanding considerably contributes to a reliable geodetic deformation measurement.

Bibliography

- [1] Dr. h. c. H. Gicot: Zeuzier Arch Dam, Behaviour of Large Swiss Dams, Swiss National Committee on Large Dams, 1964
- [2] K. Egger and W. Keller: New Instruments, Methods and their Application for Geodetic Deformation Measurements on Dams, Douzième Congrès des Grands Barrages, Mexico, 1976, Volume IV, pages 995–998
- [3] K. Egger and W. Keller: The Helmert/77 Program System for the Computation of General Geodetic Nets, Proceedings of the Industrial and Engineering Survey Conference, London, September 1980
- [4] W. Keller: Geodetic Deformation Measurements on Large Dams, Kern & Co. Ltd., Aarau/Walter Schneider Ltd., Chur, Switzerland 1977

Address of the author: Kurt Egger, reg. civ. eng., federal expert, c/o Walter Schneider Ltd., Reichsgasse 61, 7000 Chur/Switzerland.