

Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Band: 53 (1961)
Heft: 6-7

Artikel: Le comportement des barrages durant l'exploitation
Autor: Gilg, B.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-920758>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 19.11.2024

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

Le comportement des barrages durant l'exploitation

par B. Gölz, Dr ing., Electro-Watt, Zurich

CDU 627.839.1

1. Introduction

Le but des mesures sur les ouvrages de génie civil est double: faire progresser les connaissances scientifiques et contrôler la sécurité. En ce qui concerne les barrages, qui ont à supporter les charges maximales pendant de longues périodes, le problème de la sécurité est déterminant; il est nécessaire d'organiser soigneusement les contrôles et de choisir des dispositifs de mesure appropriés. C'est habituellement au bureau d'étude du projet qu'incombe cette tâche et il est souhaitable que lui soit confiée la mission de poursuivre les mesures après l'achèvement des travaux, afin qu'il puisse en tirer le maximum d'enseignements. Dans notre pays cette conception des mesures a donné d'excellents résultats dont le présent article relèvera quelques aspects. Les principales constatations peuvent d'ailleurs être résumées comme suit:

- a) Les mesures destinées aux contrôles doivent pouvoir être effectuées avec des appareils simples et pratiques et permettre une interprétation rapide.
- b) Les mesures de contrôle concernent les déformations extérieures du barrage et de ses appuis, le comportement thermique du béton et du rocher ainsi que les sous-pressions sur la fondation.
- c) Les mesures des déformations internes, des contraintes et de l'humidité du béton dont le caractère plus scientifique exige des analyses délicates, ne se prêtent pas aux contrôles usuels.

2. Le contrôle des barrages suisses

Tous les barrages suisses importants sont équipés de pendules. Un système de pendule complet s'étend depuis le couronnement du barrage jusqu'à une certaine profondeur. Pour atteindre la zone que l'on peut ad-

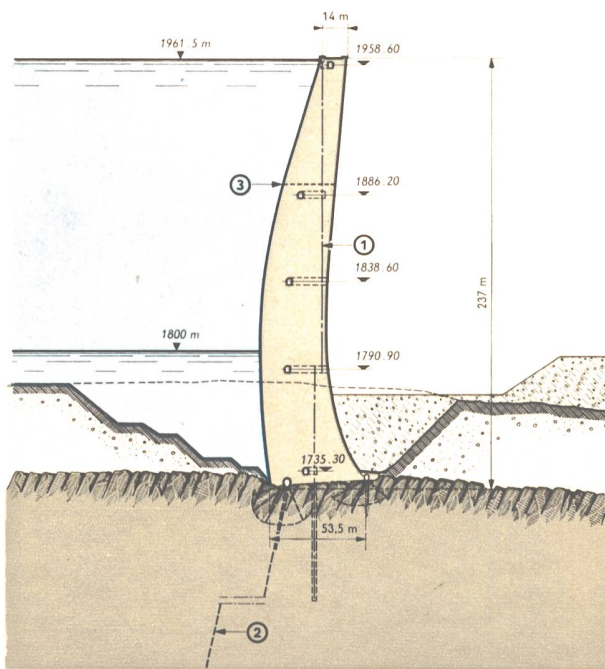


Fig. 1 MAUVOISIN

Coupe du barrage montrant les galeries de contrôle, le pendule dans le bloc 15 (1), le rideau d'injections (2) et le niveau des thermomètres (3).

Querschnitt durch die Staumauer mit Kontrollgängen, Pendel im Block 15 (1), Injektionsschirm (2) und Horizont der Thermometer (3).

Section through the arch dam showing control galleries, pendulum in block 15 (1), grouting curtain (2) and level of thermometers (3).

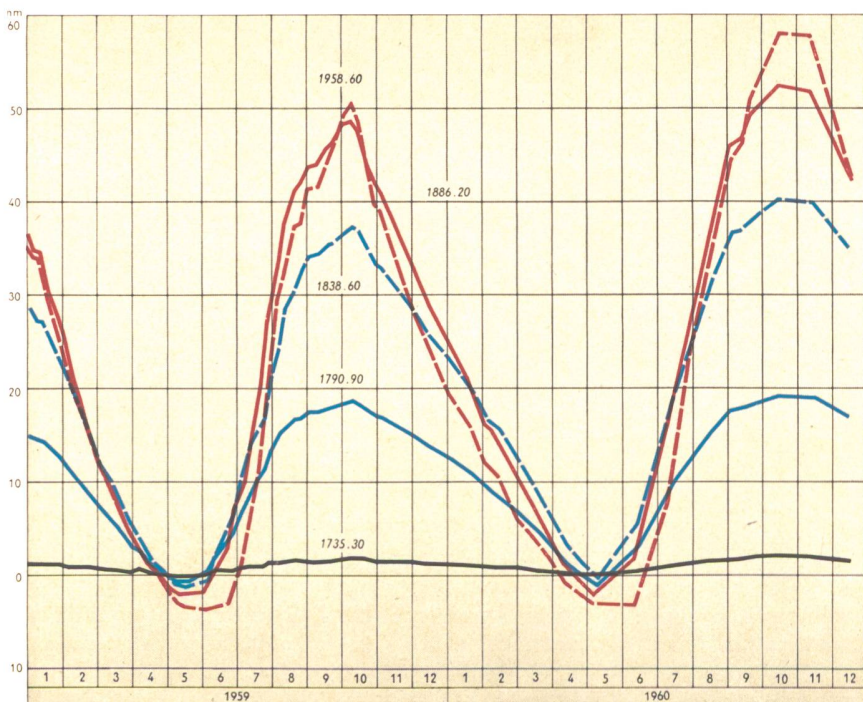


Fig. 2 MAUVOISIN

Diagramme des déformations radiales du bloc 15 (pendule) pendant la période du 1. 1. 59 au 31. 12. 60, pour des niveaux du barrage variables (1735.30, 1790.90, 1838.60, 1886.20, 1958.60). Voir le niveau de la retenue correspondante dans la figure 5. Les nombres positifs correspondent à une déformation vers l'aval.

Zeitlicher Verlauf der radialen Verschiebungen im Block 15 (Pendel) zwischen 1. 1. 59 und 31. 12. 60 auf verschiedenen Mauerkoten (1735.30, 1790.90, 1838.60, 1886.20, 1958.60). Vgl. entsprechenden Seestand in Fig. 5. Die positiven Zahlen entsprechen einer Verschiebung gegen die Luftseite.

Radial deformation diagram of the block 15 (pendulum) during the period from 1. 1. 59 to 31. 12. 60 at different dam levels (1735.30, 1790.90, 1838.60, 1886.20, 1958.60). Compare with the corresponding water level in figure 5. The positive numbers indicate a downstream deformation.

- 1958.60
- 1886.20
- 1838.60
- 1790.90
- 1735.30

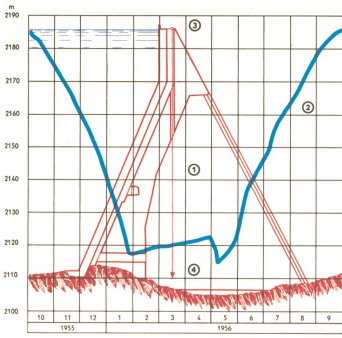


Fig. 3 ST-BARTHELEMY

Coupe du barrage de St-Barthelemy (barrage à contreforts) indiquant l'emplacement du pendule ⊙ et la variation au cours du temps du niveau et la retenue ⊚. L'emplacement de lecture des déplacements du point fixe du pendule ⊚ est indiqué par une flèche ⊚.

Querschnitt durch die Staumauer St. Barthelemy (Pfeilerkopfmauer) mit Lage des Pendels ⊙ und zeitlichem Verlauf des Seesandes ⊚. Die Ablesestelle für die Verschiebung des Pendelfixpunktes ⊚ wird durch die Pfeilspitze ⊚ dargestellt.

Cross section trough the St. Barthelemy dam (buttress type) showing the position of the pendulum ⊙ and the variation of the water level ⊚. The place for reading the movements of the top point of pendulum ⊚ is shown by an arrow ⊚.

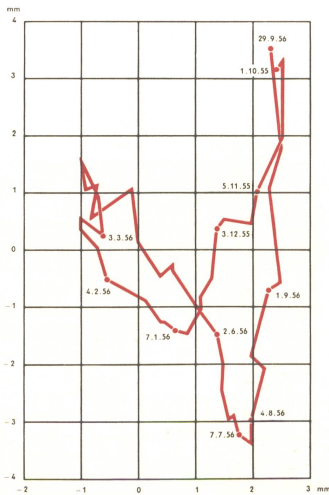


Fig. 4 ST-BARTHELEMY

Projection horizontale du déplacement de la crête du bloc le plus élevé. Les nombres positifs indiquent un déplacement vers l'aval ou vers la rive droite. Voir la coupe correspondante du barrage ainsi que le diagramme du niveau de retenue de la figure 3. Période de mesure: 1. 10. 55 au 29. 9. 56.

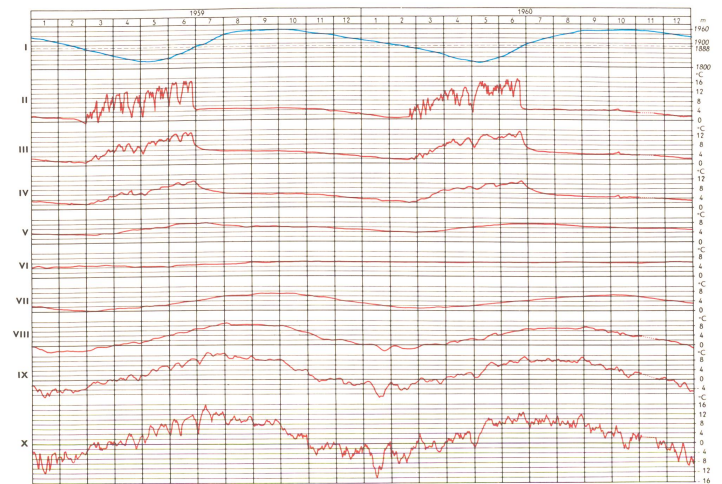
Projektion der Verschiebung des Kronenpunktes im höchsten Mauerblock auf eine Horizontalebene. Die positiven Zahlen entsprechen einer Verschiebung in luftseitiger Richtung resp. gegen die rechte Talflanke. Vgl. entsprechenden Querschnitt durch die Mauer sowie Kurve der Seesände in Fig. 3. Meltzeit vom 1. 10. 55 bis 29. 9. 56.

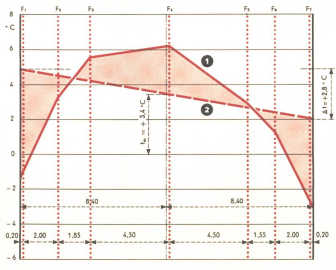
Horizontal projection of the deflection of the crest for the highest block. The positive numbers indicate a deflection towards downstream or towards the right abutment. Compare with the corresponding section of the dam and level diagram indicated in figure 3. Period of measuring: 1. 10. 55 to 29. 9. 56.

Fig. 5 MAUVOISIN

Evolution des températures journalières moyennes à la cote 1888 du bloc 18 entre le 1. 1. 59 et le 31. 12. 60. Verlauf der täglichen Temperaturmittel auf Kote 1888 in Block 18 zwischen dem 1. 1. 59 und dem 31. 12. 60. Evolution of the daily average temperatures at elevation 1888 m for block 18 between 1. 1. 59 and 31. 12. 60.

	Sectand	Water level
I Niveau du lac	Temperatur der wasserseitigen Außenfläche	Temperature at the upstream face
II Température à 0,3 m du parement amont	Temperatur in 0,3 m Tiefe von der Wasserseite	Temperature at 0,3 m of the upstream face
III Température à 1,0 m du parement amont	Temperatur in 1,0 m Tiefe von der Wasserseite	Temperature at 1,0 m of the upstream face
IV Température à 3,0 m du parement amont	Temperatur in 3,0 m Tiefe von der Wasserseite	Temperature at 3,0 m of the upstream face
V Température au milieu du bloc (15,4 m des deux parements)	Temperatur in Blockmitte (15,4 m von beiden Außenflächen)	Temperature in the center of the block (15,4 m of the two faces)
VI Température à 3,0 m du parement aval	Temperatur in 3,0 m Tiefe von der Luftseite	Temperature at 3,0 m of the downstream face
VII Température à 1,0 m du parement aval	Temperatur in 1,0 m Tiefe von der Luftseite	Temperature at 1,0 m of the downstream face
VIII Température à 0,3 m du parement aval	Temperatur in 0,3 m Tiefe von der Luftseite	Temperature at 0,3 m of the downstream face
X Température du parement aval	Temperatur der luftseitigen Außenfläche	Temperature at the downstream face

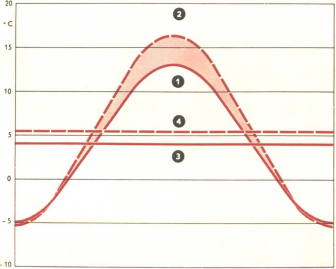




◀ Fig. 6 ZERVREILA
 Etat de température du bloc 9 à la cote 1830,8 m au 27 février 1958. La répartition des températures existantes ① mesurées à l'aide des thermomètres F_1, F_2, \dots, F_6 entre l'amont (à gauche) et l'aval (à droite) a été linéarisée pour le calcul de contrôle ②. La température moyenne t_m est de $3,4^\circ\text{C}$, la différence de température Δt de $2,8^\circ\text{C}$.
 Temperaturzustand im Block 9, Kote 1830,80, am 27. Februar 1958. Die mit Hilfe der Thermometer F_1, F_2, \dots, F_6 gemessene tatsächliche Temperaturverteilung ① zwischen Wasserseite (links in der Figur) und Luftseite (rechts in der Figur) wurde für die Kontrollberechnung linearisiert ②. Die mittlere Temperatur t_m betrug $3,4^\circ\text{C}$, die Temperaturdifferenz Δt $2,8^\circ\text{C}$.
 Temperatures in block 9, at elevation 1830,80, on February 27, 1958. The actual temperatures were measured at points F_1, F_2, \dots, F_6 . A linear temperature distribution ② was assumed between the upstream (left) and the downstream (right) face of the dam. The average temperature t_m is $3,4^\circ\text{C}$, the temperature difference Δt $2,8^\circ\text{C}$.

Fig. 9 MAUVOISIN
 Déplacement vertical de la galerie de contrôle au niveau 1885 m, en rapport avec la position en mai 1960. (Les nombres positifs correspondent à une élévation en relation avec la coupe du barrage de la figure 1.)
 Vertikalverschiebung des Kontrollganges auf Kote 1885, bezogen auf die Situation vom Mai 1960. (Die positiven Werte entsprechen einer Hebung; vgl. Mauerquerschnitt in Fig. 1.)
 Vertical deformation of the control gallery at elevation 1885 m, based on the situation in May 1960. (The positive numbers correspond to an uplift in relation to the dam section shown in figure 1.)

Etat Zustand State	Mois Monat Month	Niveau de la retenue Seestand Reservoir level
I	Octobre 1958	1961 m
II	Juin 1959	1870 m
III	Novembre 1959	1942 m
IV	Mai 1960	1825 m
V	Septembre 1960	1955 m



◀ Fig. 7 ZERVREILA
 Comparaison entre l'évolution annuelle des températures mesurées ① et les températures calculées ② à l'aide du procédé décrit dans la figure 6 (coefficient de diffusion = $0,006\text{ m}^2\text{h}$). La différence entre les courbes ① et ② resp. ③ = température annuelle moyenne véritable et ④ = température moyenne calculée, est due au rayonnement solaire et éventuellement à la chaleur terrestre.
 Vergleich des gemessenen Jahresverlaufs der Lufttemperatur ① mit der rekonstruierten Temperatur ②, welche auf Grund des in Fig. 6 dargestellten Verfahrens berechnet wurde (Diffusionskoeffizient $a = 0,006\text{ m}^2\text{h}$). Der Unterschied zwischen Kurve ① und ② resp. ③ = tatsächliche mittlere Jahrestemperatur und ④ = rekonstruierte mittlere Temperatur, ist auf die Sonnenbestrahlung und evtl. auf die Erdwärme zurückzuführen.
 Comparison of actual yearly variation of air temperature ① with calculated temperatures ②. Fig. 6 shows how these temperatures have been calculated (coefficient of diffusion $a = 0,006\text{ m}^2\text{h}$). The difference between curves ① and ② or ③ (actual yearly average temperature) and ④ (calculated average temperature) is due to sun radiation and possibly ground temperature.

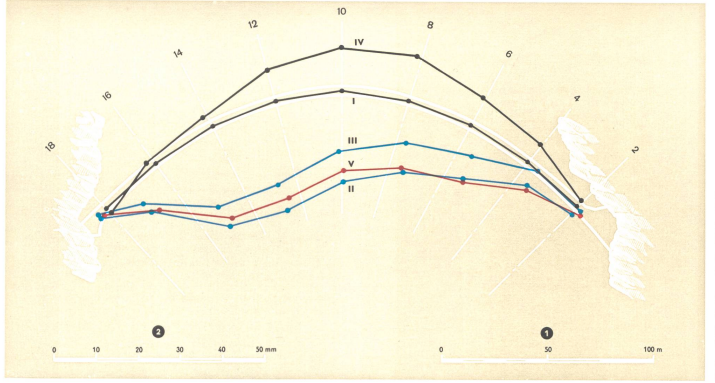
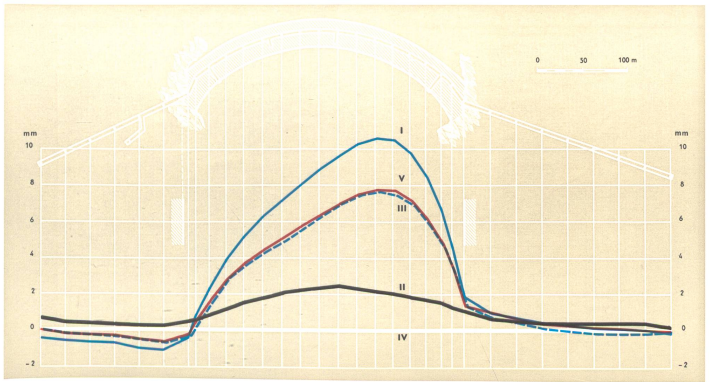


Fig. 8 MALVAGLIA
 Déplacement de la crête du barrage du 25. 3. 59 au 26. 10. 59, mesuré dans l'axe des blocs 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 et 18.
 Verschiebung der Mauerkrone in der Zeit vom 25. 3. 59 bis 26. 10. 59, gemessen in den Axen der Blöcke 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 und 18.
 Movement of the dam crest between 25. 3. 59 and 26. 10. 59, measured on the axes of blocks 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 and 18.

Etat Zustand State	Jour Tag Day	Niveau de la retenue Seestand Reservoir level
I	25. 3. 59	926 m (minimum)
II	29. 5. 59	990 m (maximum)
III	21. 7. 59	990 m
IV	26. 8. 59	926 m
V	26. 10. 59	990 m



① Echelle de la situation
 Maßstab der Situation
 Scale of situation
 ② Echelle des mouvements
 Maßstab der Verschiebung
 Scale of movement

mettre comme indéformable, il est nécessaire pour les grands barrages de s'enfoncer profondément sous la fondation. Il est alors avantageux de prévoir un pendule dont le point fixe se trouve à l'extrémité inférieure et muni d'un flotteur à la partie supérieure; ainsi, il n'est pas nécessaire de vider les puits pour chaque mesure. Des clinomètres permettent en outre le recoupement des lignes élastiques obtenues par les pendules. La mesure complète d'un pendule peut être exécutée en quelques heures; il n'est par conséquent pas nécessaire de la rectifier pour tenir compte de l'influence des variations du niveau de la retenue ou de la température durant ce court laps de temps. Le fait que ces mesures peuvent être fréquemment répétées avec une grande simplicité de moyens constitue un autre avantage non négligeable des pendules.

Des mesures géodésiques sont effectuées pour de nombreux barrages lors des charges ou températures extrêmes. Elles consistent en nivellements et triangulations de haute précision et englobent tout le voisinage du barrage; on a ainsi le meilleur contrôle possible du comportement de l'ensemble de l'ouvrage. Comme le cas de charge peut considérablement se modifier durant la période étendue des mesures, il est nécessaire parfois d'en corriger les résultats à l'aide des mesures des pendules.

L'emplacement des appareils utilisés pour déterminer les températures (thermomètres à fil de résistance ou à cordes vibrantes, thermoéléments) doit être déterminé avec grand soin, car la connaissance de l'état thermique qui provoque souvent pour les barrages minces des déplacements plus importants que la pression hydrostatique, est essentielle pour l'analyse des déformations. Il faut alors pouvoir connaître les variations des températures en fonction de la distance des parements car les moyennes de différents horizons sont insuffisantes.

Les sous-pressions au contact rocher-béton sont observées à l'aide de simples piézomètres ou de forages; quant à celles qui se développent dans le barrage lui-même, elles sont beaucoup moins importantes et peuvent être mesurées électriquement.

Les mesures des déformations internes ne sont pas courantes en Suisse et sont réservées à des buts purement scientifiques.

3. Quelques cas concrets

Il est nécessaire de limiter ici le choix à quelques exemples tirés des mesures de ces 5 dernières années qui ont été aimablement mises à notre disposition par les différents responsables.

a) Mesures de pendules

Les bassins de retenue suisses ont en général un rythme d'exploitation annuel qui est extrêmement régulier; lorsque les barrages sont relativement massifs comme celui de Mauvoisin (fig. 1) et que l'influence de la température est faible, la courbe des déformations en fonction du temps correspond sensiblement à celle du niveau de la retenue. Pour ce barrage, il ressort d'autre part que, lors des deuxième et troisième remplissages (années 1959 et 1960), le mur et sa fondation se sont pratiquement comportés comme des corps élastiques (fig. 2).

Un autre exemple de cycle fermé de charge et déformation est fourni par le barrage à contreforts de St-Barthélemy (fig. 3) entre le 1^{er} octobre 1955 et le 29 septembre 1956. Dans ce cas les déformations observées entre mi-janvier et fin mai par une retenue presque constante sont dues uniquement aux différences de température entre les parements amont et aval (fig. 4).

b) Mesures de température

Les appareils enregistreurs permettent l'analyse de l'influence en profondeur des différents cycles thermiques. A Mauvoisin, il s'est avéré que même les grandes variations journalières (15°C en 24 h) restaient sans influence au delà de 80 cm; quant aux variations annuelles des températures moyennes quotidiennes qui s'élèvent pour l'air ambiant à 30°C ($-13^{\circ} \div +17^{\circ}$) elles ne sont que de 8°C à 2 m de profondeur ($+1^{\circ} \div +9^{\circ}$) et 1°C à 10 m (fig. 5).

Les différentes coupes thermiques entre les parements amont et aval du barrage de Zervreila ont permis d'établir une fonction de température linéaire (fig. 6) et par là même, une courbe théorique de la température extérieure (fig. 7). Ce procédé mit en évidence le fait que le rayonnement solaire exerce en été une influence supplémentaire de 3°C au maximum avec un coefficient de diffusion de $0,006\text{ m}^2/\text{h}$.

c) Mesures géodésiques

Un réseau de repères géodésiques très serré permet de faire des observations comparatives sur les déformations. Ainsi pour le barrage de Malvaglia (hauteur 90 m, longueur du couronnement 290 m), on a pu observer, lors du premier remplissage, la flèche maximum à la crête au bloc no 13, pour la première vidange au bloc no 12 et pour le 2^{ème} remplissage au bloc no 11. La déformation maximum se déplace ainsi vers le centre. La différence entre les déformations de l'état de charge I (retenue vide, mars 1959) et l'état de charge IV (retenue vide, août 1959) montre aussi la forte influence de la température sur les déformations du barrage (fig. 8).

Les nivellements de précision effectués dans les galeries de contrôle et les tunnels adjacents dans le rocher donnent également des résultats très instructifs. Les mesures de triangulation ont permis de constater que les barrages se soulèvent lors du remplissage et s'affaissent à la vidange. La fig. 9 représente ce mouvement vertical dans la galerie de contrôle au niveau 1885 du barrage de Mauvoisin et montre clairement qu'il s'agit d'un mouvement du barrage seul auquel le rocher ne participe pour ainsi dire pas.

4. Conclusions

Les exemples mentionnés ci-dessus ne donnent naturellement pas un aperçu complet des mesures de contrôle faites sur les barrages suisses. Des renseignements plus précis sont donnés dans les ouvrages cités à la fin de ce cahier.

Quant aux lecteurs qui pourraient trouver étrange que l'on n'ait fait qu'une allusion aux mesures purement scientifiques, nous faisons remarquer que la Suisse ayant la plus grande densité de barrages, il est naturel qu'on se limite en général au problème des contrôles indispensables à la sécurité, et qu'on ait laissé de côté ici les mesures ayant un intérêt purement scientifique, dont l'utilité n'est pas toujours immédiate.