Zeitschrift: IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen

Band: 19 (1974)

Artikel: Détermination des contraintes dans la console et les arcs du barrage de Frera moyennant témoins sonores placés dans des cubes de béton préalablement soumis à étalonnage triaxial

Autor: Carati, Luigi

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-17538

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: 05.12.2025

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

IABSE
AIPC
IVBH

SEMINAR on:
«CONCRETE STRUCTURES SUBJECTED TO TRIAXIAL STRESSES»
17th-19th MAY, 1974 - ISMES - BERGAMO (ITALY)

Détermination des contraintes dans la console et les arcs du barrage de Frera moyennant témoins sonores placés dans des cubes de béton préalablement soumis à étalonnage triaxial

Calculation of the Stresses on the Console and on the Arches of the Frera dam by means of Electro-Acoustic Strain Guages placed within cubes of concrete tri-axially calibrated previously

Feststellung der Beanspruchungen im Kragstein und in den Boegen des Frera-Staudammes mittels Elektroakustischen Dehnungsmessern, die in Vorher Dreiachsig Geeichten Beton-Wuerfeln untergebracht Wurden

Luigi CARATI, ex-Directeur du Service Electrique de la Sté. - Falck

Note rédigée sur la base du mémoire R 36 de la Question n. 29, présenté au VIIIe Congrès des Grands Barrages - Edimbourg, mai 1964 - Vol. II au nom de: L. Carati et E. Del Felice

Une intéressante application des mesures triaxiales a été menée à bien sur des cubes de béton plus tard noyés dans la maçonnerie du barrage de Frera, des "Acciaierie e Ferriere Lombarde Falck".

Ce barrage, construit dans la province de Sondrio de 1956 à 1959, est du type poids-voûte. Sa hauteur atteint 137 m, entre les cotes 1348,00 et 1485,00; sa longueur développée en crête, 315 m; son épaisseur, 33 m à la base et 5 m en crête; son cube de béton, approximativement 400.000 m^3.

L'ouvrage en question (cf. Fig. 1) a été calculé par la méthode de Tölke et contrôlé sur des modèles à l'échelle de 1:70 et de 1:40, représentant l'ensemble du massif ainsi que la console prinçipale et des arcs isolés.

En vue d'un contrôle ultérieur des valeurs fournies par le calcul et les modèles, un nombre considérable d'appareils de mesure ont été installés dans le massif du barrage, aux fins de l'évaluation des contraintes effectivement exercées sur l'ouvrage par les accumulations, les vidanges, les variations thermiques et autres actions extérieures éventuelles.

L'installation de cet ensemble d'appareillages est indiquée par la Fig. 2, où chaque instrument est représenté conformément à la symbologie internationale.

Les appareils installés s'énumèrent comme suit: 3 pendules spatiaux - 3 alignements de collimation du couronnement - 3 clinomètres et 4 chaînes clinométriques; - 2 stations photoclinographiques - 34 dilatomètres mécaniques et électriques - 38 thermomètres électriques - 41 piézomètres- enfin 32 points de mesure pour l'enregistrement des "variations des déformations élastiques locales" qui se manifestent, en ces points, sous l'effet des variations de température, mais surtout sous l'effet des variations de contraintes dérivant à leur tour de la variation de la charge hydrostatique causée par les alternatives d'accumulation et de vidange du réservoir, ainsi que pour l'évaluation des contraintes résultantes. Ces points de mesure ont été réalisés moyennant installation de trois témoins sonores susceptibles d'enregistrer de 1 à 2 millièmes de mm sur la longueur de la corde incorporée et sur la longueur de base de 200 mm. Les appareils en question ont été disposés dans la masse de l'ouvrage, l'un vertical, l'autre tangentiel - autrement dit parallèle aux parements - et le troisième normal aux deux premiers, et par conséquent axial vis-à-vis des arcs du barrage.

Deux autres extensomètres, placés de façon à former avec les autres un angle de 45°, ont été installés auprès de quelques-uns de ces points de mesure, à des fins de contrôle. On dispose ainsi, dans l'ensemble, de plus de 100 extensomètres.

Un réseau semblable d'instruments avait été déjà réalisé dans trois autres barrages, précédemment construits par la Société Falck. Là, toutefois, les appareils avaient été directement noyés dans la coulée de béton - toujours conformément aux modalités nécessaires - au moment où le bétonnage atteignait le point prévu pour leur pose.

Les résultats obtenus par les instruments ainsi installés avaient toutefois donné das valeurs entachées de plusieurs incertitudes et même de quelques contradictions. Cette situation a été imputée à une incorporation imparfaite de l'appareil dans la masse du béton et, de ce fait, à une signalisation irrégulière, de la part de l'appareil, des microdéformations de la masse sous l'effet des variations des conditions de charge ou de température du barrage.

Vu ces résultats décourageants, la décision a été prise de procéder différemment pour le barrage de Frera: à savoir, de positionner d'abord les instruments dans des cubes de béton d'un mètre de coté, d'étalonner ces instruments une fois mis en place dans les cubes et d'installer enfin les cubes ainsi préparés dans le béton frais, à l'endroit préalablement fixé.

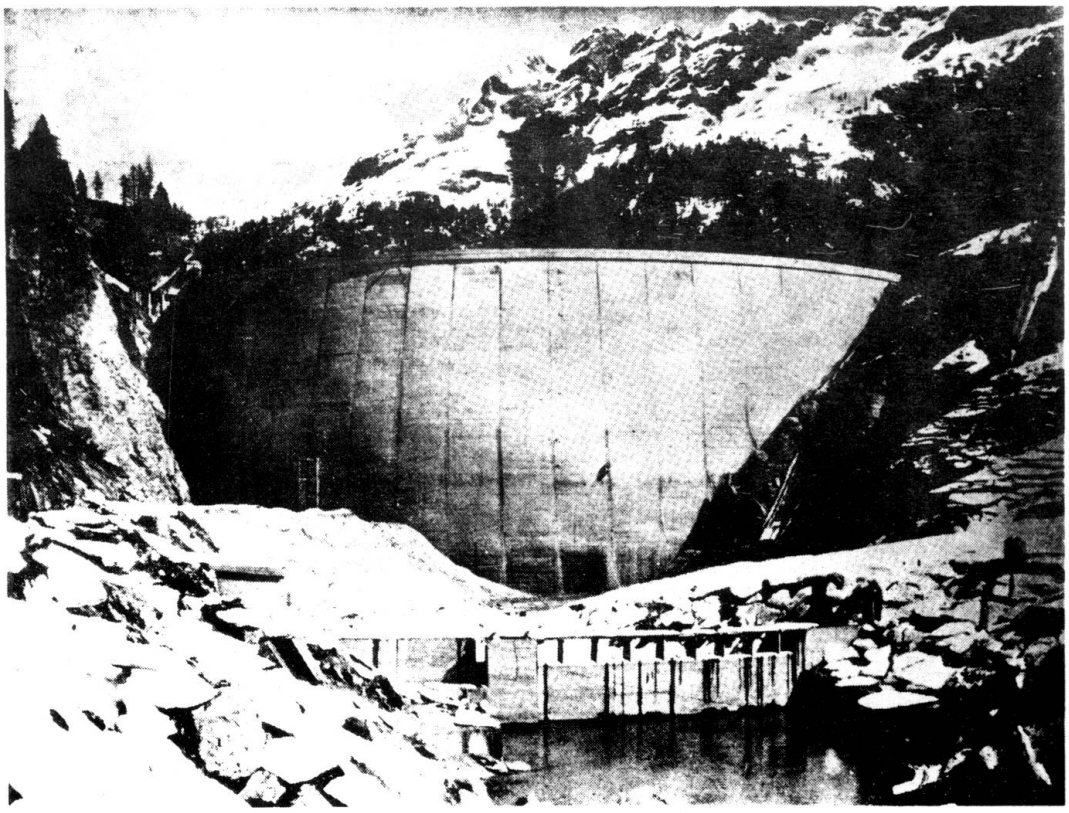


FIG. 1

Le barrage de Frera, vu d' amont. - View of the Frera dam from the hill.
Ansicht des Frera-Staudammes vom Berg.

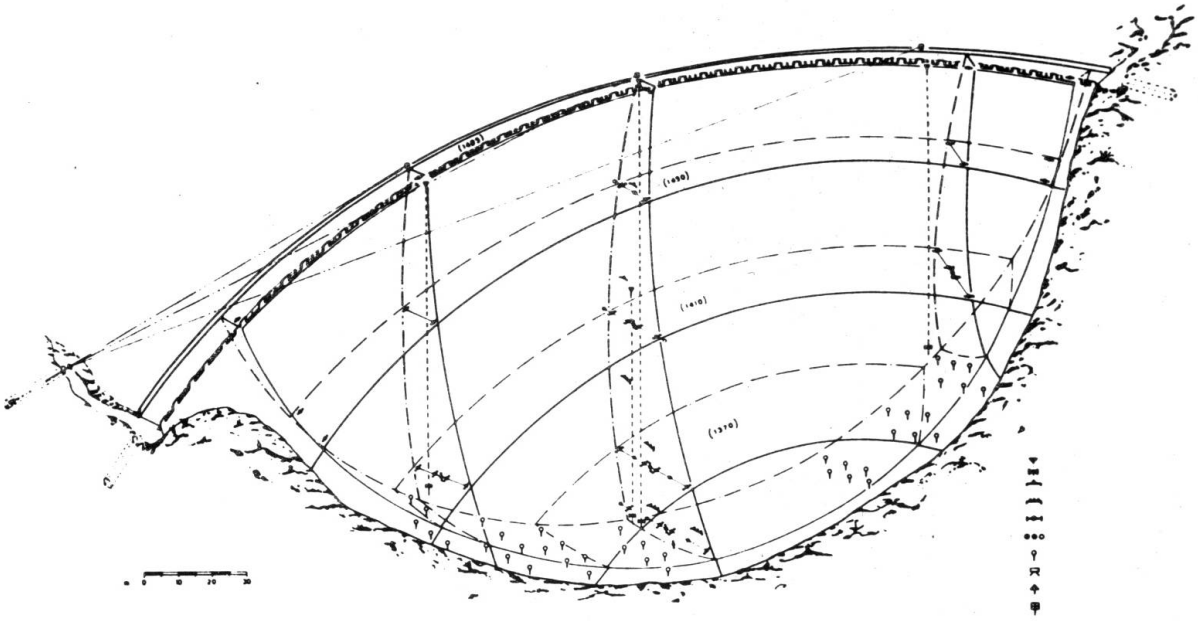


FIG. 2

Vue assonométrique du barrage, avec indication des instruments de mesure positionnés pour les observations. - Axonometric view of the dam indicating the measuring instruments for the observations. - Axonometrische Ansicht des Staudammes mit Hinweis auf die untergebrachten Messgeräte.

Les cubes en question ont été construits au laboratoire du chantier du barrage, avec emploi d'un béton identique à celui de l'ouvrage comme composition, dosage, vibrage, etc. Une fois réalisés, ils ont été envoyés à l'ISMES(°), où les instruments ont été étalonnés en soumettant chaque face du bloc à une charge unitaire jusqu'à 40 kg/cm^2, moyennant presse de 2000 tonnes.

On a ensuite obtenu, pour chacun des trois ou des cinq appareils noyés dans le bloc, la courbe représentant les variations des déformations élastiques en fonction de la variation de la charge et, plus directement, les variations lues à la station extensométrique au fur et à mesure des variations de la charge, sans passer par le module d'élasticité du béton.

Notre Fig. 3 reproduit, à titre d'exemple, le graphique de ces courbes. On a plus tard employé, pour les mesures sur l'ouvrage, une station extensométrique identique à celle de l'ISMES, avec contrôle répété de la parfaite identité d'étalonnage des deux stations.

Les cubes étalonnés ont été mis en oeuvre - nous l'avons dit - dans la masse du béton, au point prévu, et attentivement incorporés à l'intérieur de cette masse, compte tenu de toutes les précautions estimées nécessaires afin d'obtenir une adhérence parfaite entre cube et béton frais. A cet effet, des clapets et des tuyaux en fer pour injections ont été prévus tout autour du cube, et des injections répétées de coulis de ciment ultra-fluide ont été exécutées sur chaque face par étapes progressives, avec contrôle de l'adhérence au bétonnage frais.

La Fig. 4 représente, justement, cette installation mise en oeuvre dans le barrage en construction.

Les résultats ont été, nous le verrons, vraiment satisfaisants.

Passons maintenant à l'examen des résultats obtenus par cette installation d'extensomètres dans le barrage, sans illustrer ici les données fournies par les autres instruments, données pour lesquelles nous renvoyons à la publication R 36, Q. 29 déjà citée.

Tous les appareillages ont régulièrement fonctionné dès le début de leur installation à l'intérieur de la masse de

(°) ISMES: Istituto Sperimentale Modelli e Strutture, Bergame

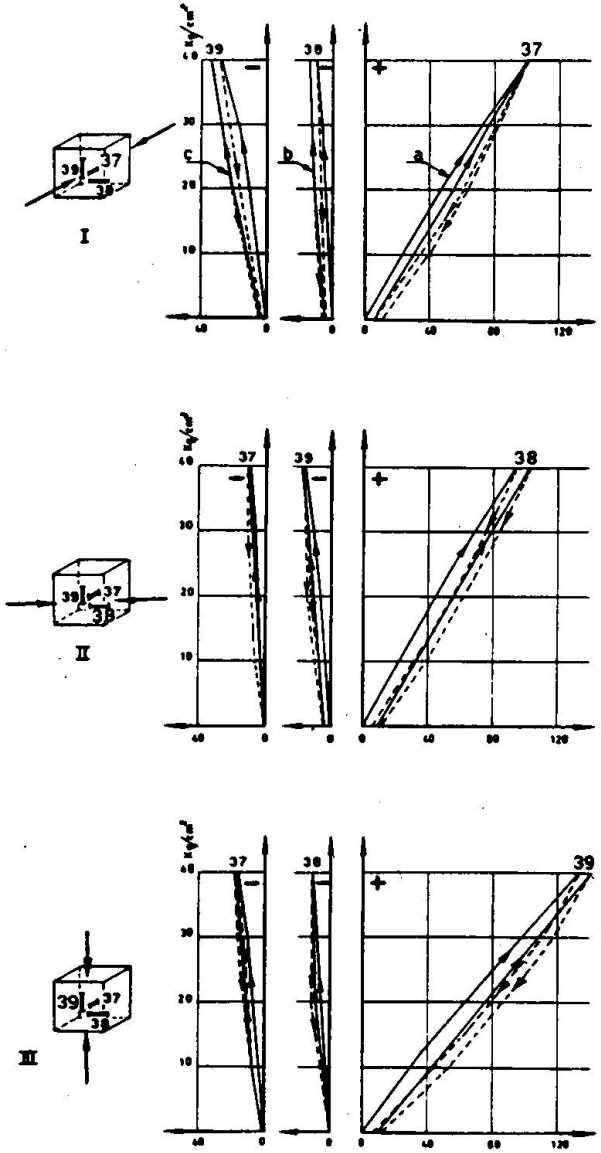


FIG. 3

Exemple de cube avec trois extensomètres électroacoustiques (témoins sonores):
An example of a cube with three electro-acoustic strain gauges:
Beispiele eines Würfels mit drei elektroakustichen Dehnungsmessern:

I étalonnage avec charge dans la direction de l' instrument n. 37 - calibration with the load in the direction of the no. 37 strain gauge - Eichung mit Belastung in Richtung des Messgerätes Nr. 37

a) courbe de l' instrument n. 37 - curve of the no. 37 instrument - Kurve des Messgerätes Nr. 37

b), c) courbes des extensomètres n. 38 et 39 dans la direction normale à celle de l' extensomètre n. 37 - curves of the no. 38 and 39 strain gauges in the normal direction, and that of the no. 37 strain gauge - Kurve der Dehnungsmessern Nr. 38 und. Nr. 39 in normaler Richtung und Kurve des Dehnungsmessers Nr. 37

II étalonnage avec charge dans la direction de l' instrument n. 38 - calibration with the load in the direction of the no. 38 strain gauge - Eichnung mit Belastung in Richtung des Dehnungsmessers Nr. 38

a) courbe de l' instrument n. 38 - curve of the no. 38 instrument - Kurve des Messgerätes Nr. 38

b), c) courbes des extensomètres n. 37 et n. 39 dans la direction normale à celle de l' extensomètre n. 38 - curves of no. 37 and no. 39 strain gauges in the normal direction, and that of the no. 38 strain gauge - Kurve der Dehnungsmessern Nr. 37 und Nr. 39 in normaler Richtung und Kurve des Dehnungsmessers Nr. 38

III étalonnage avec charge dans la direction de l' instrument n. 39 - calibration with the load in the direction of the no. 39 strain gauge - Eichung mit Belastung in Richtung des Dehnungsmessers Nr. 39

a) courbe de l' instrument n. 39 - curve of the no. 39 instrument - Kurve des Messgerätes Nr. 39

b), c) courbes des extensomètres n. 38 et n. 37 dans la direction normale à celle de l' extensomètre n. 39 - curves of the no. 38 and no. 37 strain gauges in the normal direction and that of the no. 39 strain gauge - Kurve der Dehnungsmessern Nr. 38 und Nr. 37 in normaler Richtung und Kurve des Dehnungsmessers Nr. 39

l'ouvrage. En particulier, les extensomètres ont enregistré les dilatations dues au développement de chaleur résultant de la prise du béton et de son refroidissement ultérieur, l'augmentation de poids motivée par l'élévation des plots au fur et à mesure des progrès du betonnage, etc.

Ce n'est qu'à partir de 1960 qu'on a estimé que la masse de l'ouvrage avait atteint son équilibre général et que, par conséquent, les données obtenues étaient désormais exemptes de l'influence des effets secondaires indiqués - d'où la possibilité d'enregistrer isolément l'effet dû aux variations de la charge hydrostatique par suite de l'accumulation et de la vidange du réservoir.

Il serait intéressant de pouvoir examiner ici toutes les données enregistrées par les instruments incorporés, et analyser de ce fait séparément - selon notre intention de départ - le comportement de la console principale et des arcs aux cotes 1495-1450-1410-1370-1357, ainsi que les effets sur les parements amont et aval.

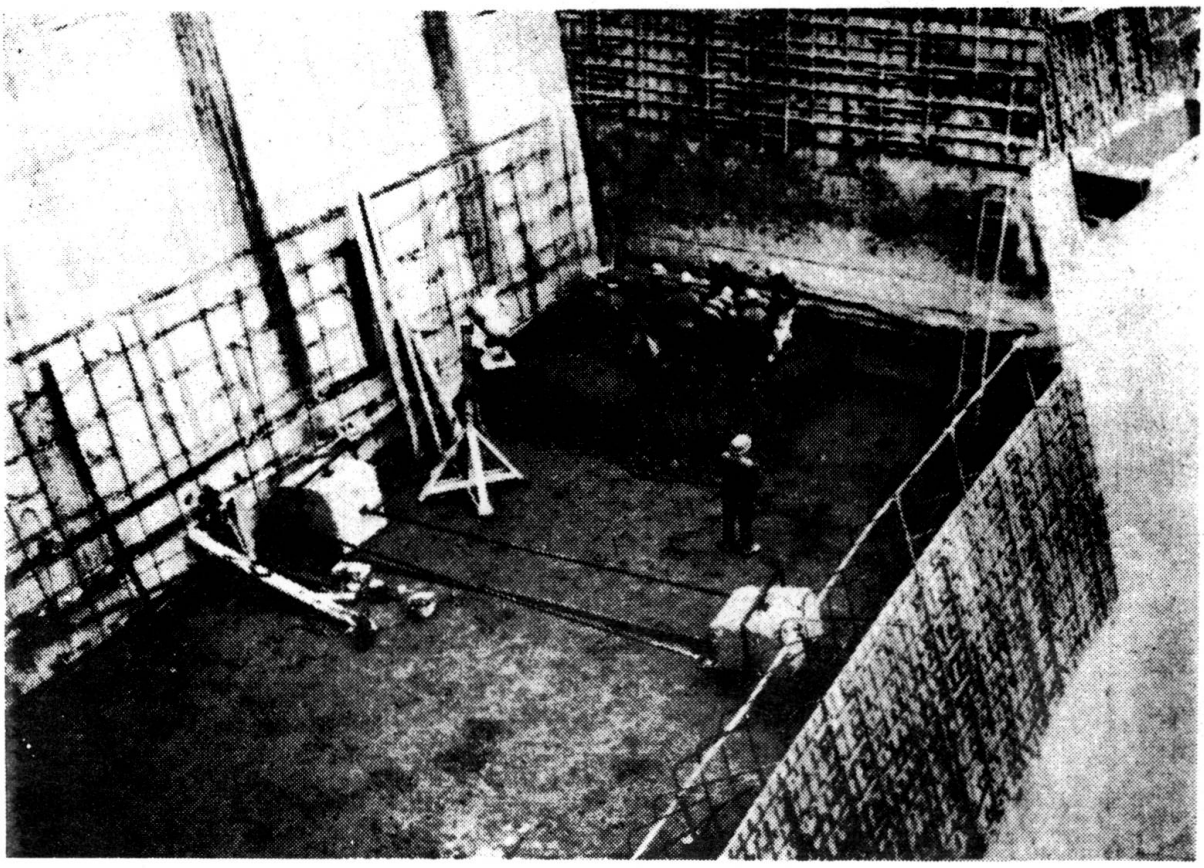
Les limites de la présente note nous imposent de nous borner à illustrer ici en détail un seul cycle complet d'accumulation et de vidange, et précisément le cycle allant d'avril 1960 à avril 1961, et de ne considérer en outre que les données intéressant la console principale et l'arc à la cote 1410.

Nous reproduisons justement, à titre d'exemple (Fig.5), le graphique des valeurs lues aux extensomètres installés au point de rencontre entre console et arc à la cote citée, avec indication, pour chaque extensomètre, des valeurs des écarts Δ lus à la station extensométrique entre le debut et la fin de l'accumulation et entre le début et la fin de la vidange.

Après élaboration relative, les valeurs des contraintes résultant de la seule charge hydrostatique motivée par la seule accumulation et par la seule vidange ont été groupées dans le tableau ci-après, exprimées en kg/cm^2 et affectées du signe - pour les efforts de compression et du signe + pour les efforts de traction:

A) Dans la console principale (selon l'allure indiquée par la Fig. 6), nous avons:

cote	valeurs constatées en phase d'accum.		valeurs constatées en phase de vidange		val.moyennes	
	parement		parement		parement	
	amont	aval	amont	aval	amont	aval
1485	19.6		16.3		17.9	
1450	-8.5	+11.3	-10.8	+7.2	-9.6	+9.2
1410	-13.3	+1.2	-8.0	+7.5	-10.6	+4.3
1370	+1.4	-11.3	+4.7	-6.7	+3.0	-9.0
1357	+8.8	-14.9	+7.5	-11.0	+8.1	-12.9



F I G . 4

Mise en oeuvre de deux cubes dans le massif du barrage; on apperçoit clairement les tuyaux et les clapets servant aux injections de ciment autour du cube. - Two cubes in the body of the dam are set running: the tubes and valves for the injection of concrete around the cubes are clearly seen. - Installation von zwei Würfeln im Staudammkörper. Man sieht eindeutlich die Leitungen und die Ventile für die Zementeinspritzung um den Würfel.

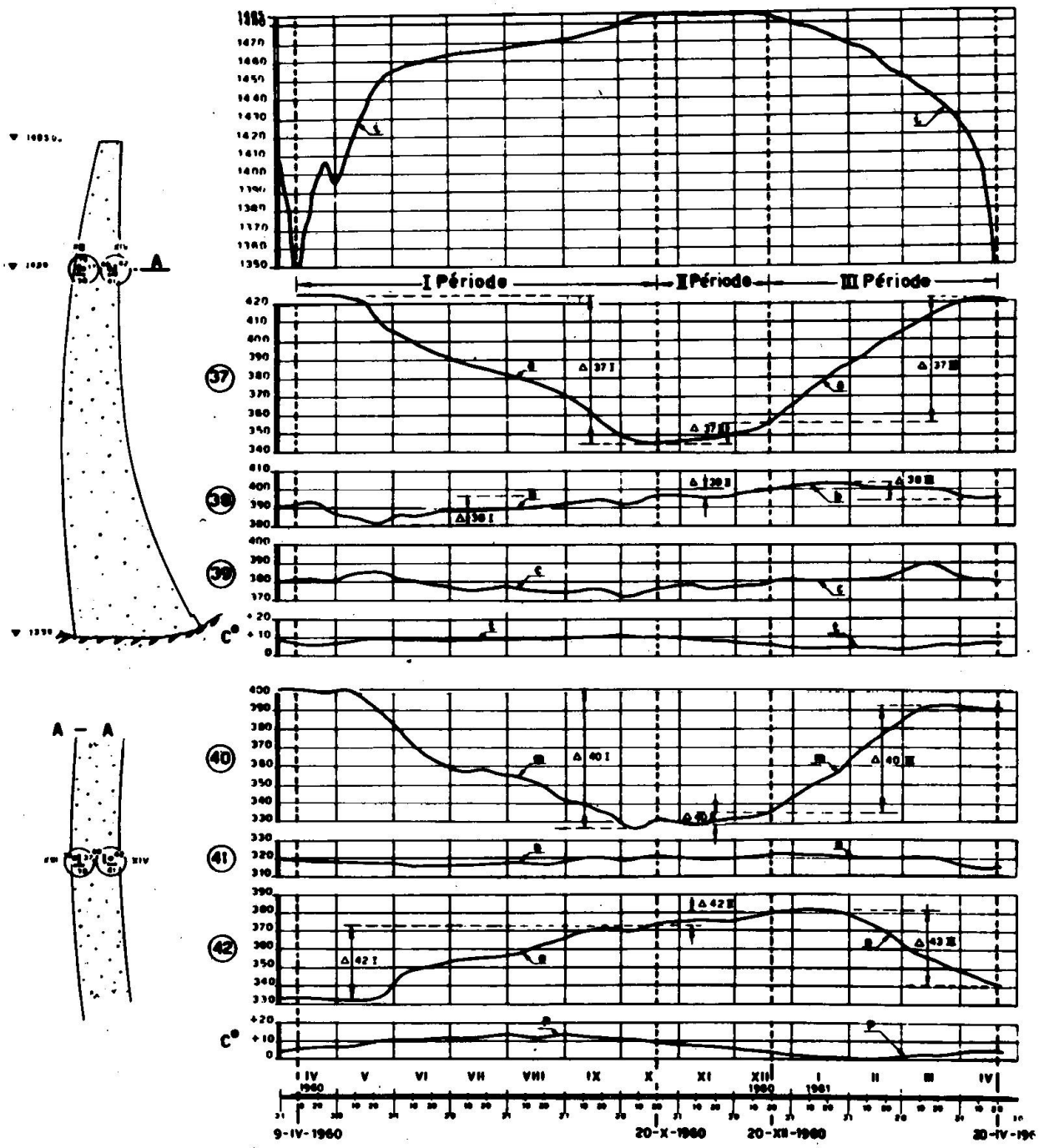


FIG. 5

Diagrammes des extensomètres placés dans les cubes XIII et XIV, d' avril 1960 à avril 1961.

Diagrams of the strain gauges attached to cubes XIII and XIV from April 1960 to April 1961.

Diagramme der Dehnungsmessern, die vom April 1960 bis zum April 1961 in den Würfeln XIII und XIV untergebracht wurden.

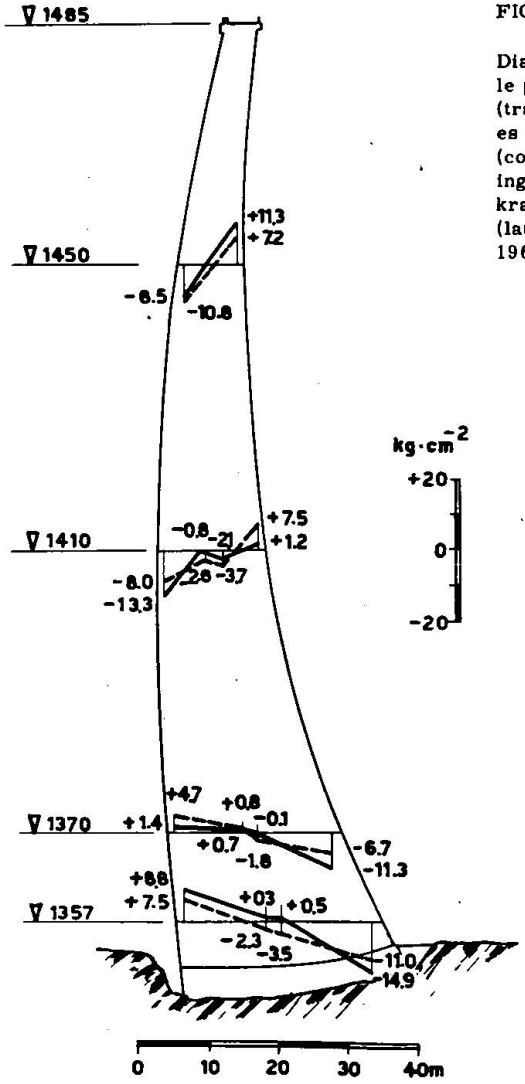


FIG. 6

FIG. 6

Diagramme des efforts mesurés à l' aide des appareils dans la console principale et dus à l' accumulation (trai continu) et à la vidange (trait interrompu) - Période 1960-1961. - Diagrams of the stresses measured by the instruments in the main console due to the sliding (continuous stretching) and the counter-sinking (intermittent stretching) made in 1960-1961. - Diagramme der mit den im Hauptkragstein untergebrachten gemessenen Ansprüchen bei der Stauung (laufende Linie) und bei der Entleerung (unterbrochene Linie), die 1960-1961 durchgeführt wurden.

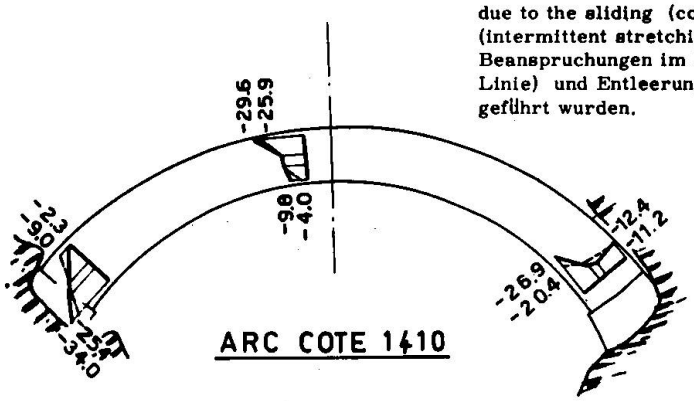


FIG. 7

FIG. 7

Diagramme des efforts dans l' arc à la cote 1410, par suite de l' accumulation (trait continu) et de la vidange (trait interrompu) - Período de 1960-1961. - Diagrams of the stresses on the arch at level 1,410 due to the sliding (continuous stretching) and the counter - sinking (intermittent stretching) made in 1960-1961. - Diagramme der Beanspruchungen im Bogen in Höhe 1410 durch die Stauung (laufende Linie) und Entleerung (unterbrochene Linie), die 1960-1961 durchgeführt wurden.

B) et dans l'arc à la cote 1410 (selon l'allure indiquée par la Fig. 7) nous avons:

	a) en phase d'accumul.		b) en phase de vidange		c) valeurs moyennes	
	amont	aval	amont	aval	amont	aval
rive droite	-2.3	-34.0	-9.0	-25.4	-16.0	-29.7
axe médian	-29.6	-9.8	-25.9	-4.0	-27.7	-6.9
rive gauche	-12.4	-26.9	-11.2	-20.4	-11.6	-23.6

Les différences entre valeurs obtenues en phase d'accumulation et valeurs obtenues en phase de vidange trouvent leur justification dans la valeur différente de la température de l'ouvrage entre le début et la fin des deux phases.

Comme déjà précisé, nous n'avons indiqué que les données concernant la console principale et l'arc à la cote 1410; néanmoins, tous les autres résultats obtenus sur les arcs aux cotes 1485, 1450, 1370 et 1357 ont été logiques et dignes de foi, ce qui a permis une comparaison effective avec les valeurs fournies par le calcul et les modèles.

Après les constatations satisfaisantes dérivant de l'élaboration des données recueillies en 1960-61, les mesures ont été poursuivies et continuent encore actuellement.

A titre d'exemple, nos Fig. 8 et 9 donnent les diagrammes des lectures effectuées pour les appareils intéressant la console principale et l'arc à la cote 1410, considérés plus haut.

Ces graphiques confirment notamment la régularité des observations et le fonctionnement satisfaisant de toute l'installation - bien que certains appareils aient été mis hors d'usage.

Parmi les valeurs en question, nous avons estimé opportun d'élaborer celles qui concernent l'accumulation et la vidange de la période 1969-1970, à l'instar de ce qui avait été fait pour 1960-1961.

En appliquant l'échelle définie au cours de cette dernière période pour le rapport divisions lues à la station de mesure (déformations) - contraintes, et en établissant, pour simplifier, la moyenne entre les valeurs collectées pendant la phase d'accumulation et celles de la phase de vidange, nous obtenons les valeurs suivantes de contraintes:

A) dans la console principale (selon l'allure indiquée par la

Fig. 11 - valeurs en kg/cm^2):

cotes	amont		aval
1485		(°)	
1450	-3		+5.5
1410	-3		(°)
1370	+4.5		-7.0
1357	+8.1		-10.5

(°) appareil reconnu hors de service

B) dans l'arc à la cote 1410 (selon l'allure indiquée par la Fig. 12 - valeurs en kg/cm^2)

	amont	aval
rive droite	-3	-1.8
axe médian	-14.5	-5.5
rive gauche	-7	-13

Ces valeurs concernent, nous l'avons dit, l'étalonnage effectué en 1956 pendant la construction du barrage, au cours de laquelle il a été déterminé que le module d'élasticité du béton atteignait, au moment de l'étalonnage des blocs, 230.000 kg/cm^2. (Fig. 10).

Quatre éprouvettes cylindriques de 50 cm de hauteur et de 20 cm de diamètre, prélevées en 1971 dans le béton du barrage, ont accusé une valeur moyenne du module d'élasticité de 360.000 kg/cm^2.

En corrigeant les valeurs indiquées ci-dessus selon le rapport entre les modules, nous obtenons pour les contraintes citées les valeurs suivantes:

A) dans la console:

cote	amont		aval
1485		(°)	
1450	-4.8		+8.6
1410	-4.8		(°)
1370	+7.0		-10.9
1357	+12.6		-16.5

B) dans l'arc à la cote 1410:

	amont	aval
rive droite	-4,6	-28.0
axe médian	-22.8	-8.6
rive gauche	-10.9	-20.2

Les indications des instruments placés dans les autres arcs ont également fourni, même après 10 ans de service, des éléments logiques d'évaluation, dignes de foi et analogues à ceux que nous venons de mentionner.

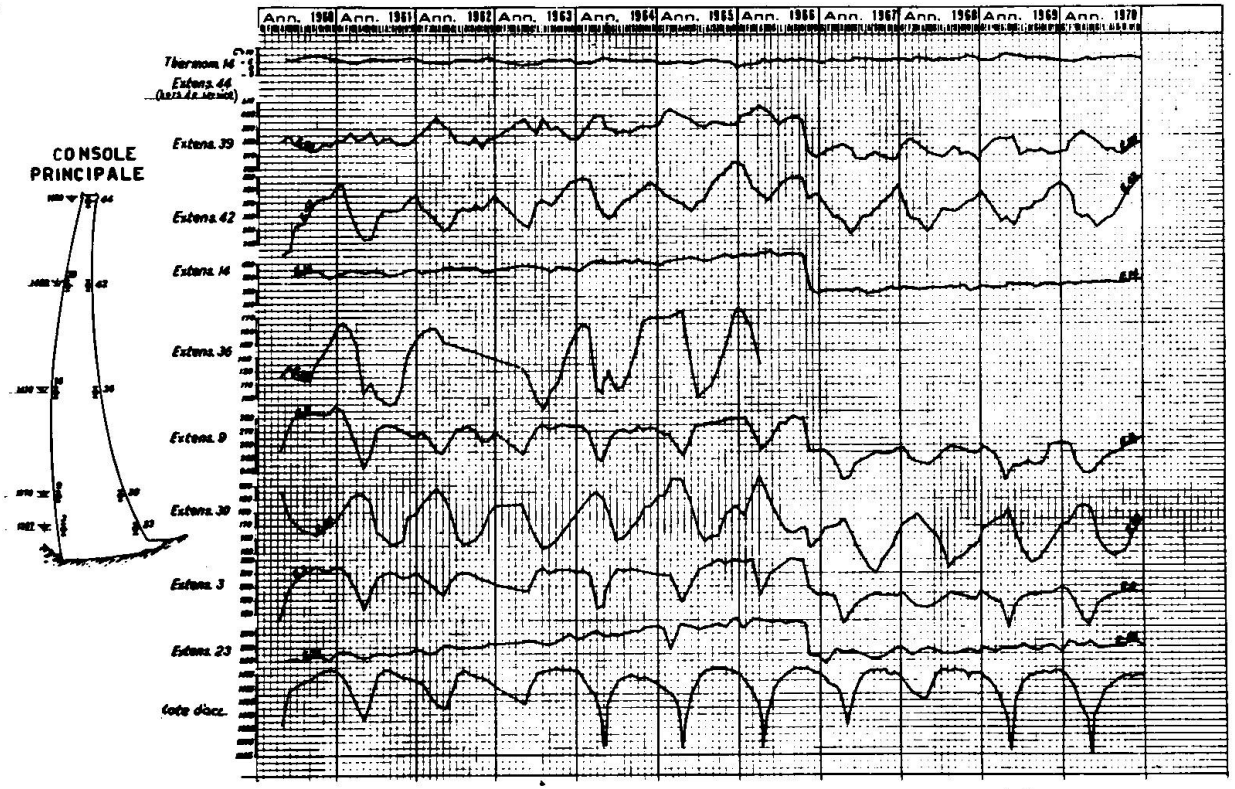


FIG. 8

Diagramme des lectures effectuées à la station extensométrique sur les appareils intéressant la console, pendant la période 1960-1970. - Diagrams of the readings taken in the strain gauge station of the instruments pertaining to the console during the period 1960-1970. - Diagramme der an den Dehnungsmessstation erhaltenen Lesungen der während dem Zeitraum 1960-1970 in Kragstein untergebrachten Ger-äten.

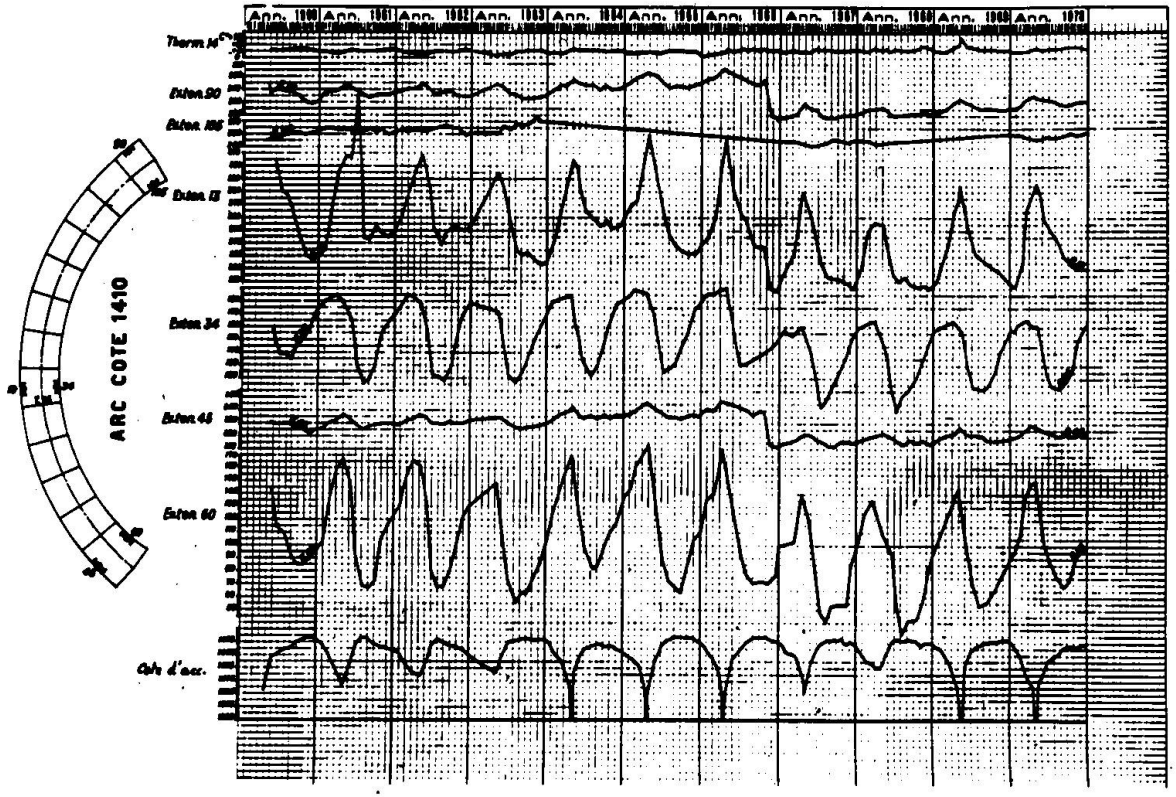
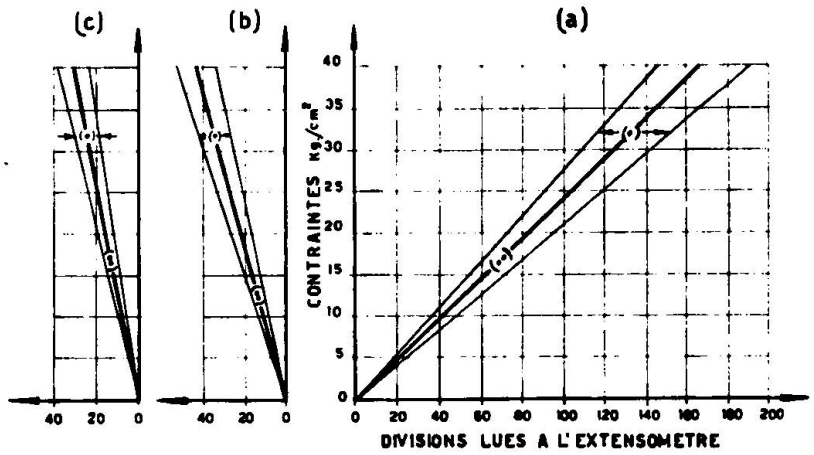
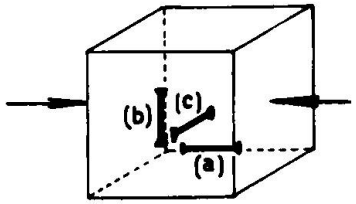


FIG. 9

Diagrammes des lectures effectuées à la station extensométrique sur les appareils intéressant l' arc à la cote 1410, pendant la période 1960-1970. - Diagrams of the readings taken at the strain gauge station of the instruments pertaining to the arch at level 1,410 during 1960-1970. - Diagramme der an den Dehnungsmessstation erhaltenen Lesungen der während dem Zeitraum 1960-1970 im Bogen in Höhe 1410 untergebrachten Geräten.

DIAGRAMMES EXTENSOMETRE





(•) VALEURS COLLECTEES

(••) VALEUR MOYENNE

FIG.10

Rapport divisions lues à la station extensométrique - contraintes en Kg/cm², pour un vieillissement de 90 jours (module d'élasticité E = 230,000 Kg/cm²).

Ratio of the indexes read at the gauge station in Kg/cm² at a distance of 90 days (modulus of elasticity E = 230.000 Kg/cm²).

Divisionenverhältnis in Kg/cm² bei einer Dauer von 90 tagen (elastisches Modul E = 230.000 Kg/cm²), dasn an der Dehnungsmessstation gelesen wurde.

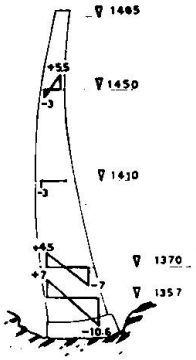


FIG.11

Diagrammes des efforts mesurés sur les appareils existant dans la console principale, pendant la période d'accumulation et de vidange 1969-1970.

Diagrams of the stresses measured with the existing instruments in the main console in the sliding and counter-sinking period 1969-1970.

Diagramme der Beanspruchungen in dem Hauptkragstein, die mit den Geräten während der Stauung und Entleerung 1969-1970 gelesen wurden.

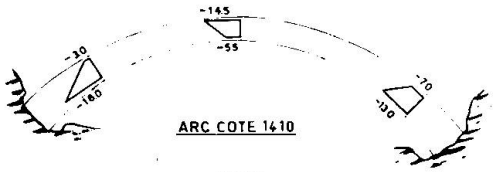


FIG12

Diagrammes des efforts mesurés sur les appareils existant dans l'arc à la cote 1410 pendant la période d'accumulation et de vidange 1969-1970.

Diagrams of the stresses measured with the existing instruments in the arch at level 1,410 in the sliding and counter-sinking period 1969-1970.

Diagramme der Beanspruchungen im Bogen bei Höhe 1410, die mit den Geräten während der Stauung und Entleerung 1969-1970 gelesen wurden.

Nous ne prétendons pas avoir résolu par les observations et considérations citées, le problème de la mesure des efforts à l' intérieur d' un barrage, mais nous avons néanmoins signalé un système qui a donné, à notre avis, des résultats positifs.

RESUME

Après avoir décrit l' installation des instruments dans le massif du barrage de Frera, l' Auteur illustre, en particulier, le positionnement des témoins sonores installés en vue d' enregistrer les contraintes qui se produisent dans cinq arcs et dans la console principale de l' ouvrage par suite du remplissage et de la vidange du réservoir.

Pour la première fois, les extensomètres ont été préalablement noyés dans des cubes de béton, puis étalonnés triaxialement, c' est-à-dire dans les trois directions spatiales.

Une fois noyés dans le bétonnage, les cubes ont été soigneusement injectés.

Les instruments ainsi installés ont enregistré des valeurs qui se sont avérées logiques, réelles et dignes de foi, dans toute la mesure permise par une installation de ce genre.

A titre d' exemple, l' Auteur mentionne les contraintes constatées, dans la console principale et dans l' arc à la cote 1410, lors de l' accumulation et de la vidange effectuées en 1960-1961, ainsi que pendant l accumulation et la vidange de neuf ans plus tard.

L' installation décrite est encore en service à l' heure actuelle.

SUMMARY

The author, after having described the positioning of the instruments into the body of the Frera dam, illustrates, in detail, the positioning of the electro-acoustic strain gauges, put there for the purpose of recording the stress that is produced on five arches and on the main console, due to the effect of fillings and emptying the reservoir.

For the first time, in this dam, the strain gauges had been placed beforehand in cubes of concrete; then calibrated in the three spacial directions i. e. tri-axially.

The cubes were immersed in the dam's stream and accurately impregnated.

These instruments recorded logical, expected, actual resulting values, in so far as could be hoped for from a similar installation.

As an example the resulting strains on the main console and on the arch at level 1,410 are reproduced, for sliding and counter-sinking which came out in 1960-1961 and for the same, repeated nine years later.

The installation is still functioning.

ZUSAMMENFASSUNG

Nachdem der Schriftsteller die Installation der Messgeraete in Körper des Frera-Staudammes erklärt hat, beschreibt er hauptsächlich die Installation der elektroakustischen Dehnungsmessern, die zur Registrierung der Beanspruchungen bei dem Füllen und Leeren der Behälter in den Haupt-

kragstein und in den 5 Bögen dienen.

Zuerst wurden die Dehnungsmesser in Beton-Würfel eingetaucht, die dann dreiachsig geeicht wurden. Daraufhin wurden die Würfel in Staudammguss eingesenkt.

Diese Messgeräte haben logische Risultate registriert, wie von einer derartigen Installation erwartet werden konnte.

Beispielsweise wurden die erreichten Beanspruchungen in dem Hauptkragstein und in den Bögen bei einer Höhe von 1410 während der 1960-1961 durchgeführten Stauung und Entleerung angegeben, die neun Jahre später wiederholt wurde.

Die Installation ist noch heutzutage in Betrieb.