

**Zeitschrift:** IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen  
**Band:** 19 (1974)  
**Artikel:** I-6  
**Autor:** Fumagalli, E.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-17512>

### **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:** 19.01.2026

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

Of particular interest may be the chapter where the cracked state of concrete is considered and the chapter on the calculation of ultimate load behaviour. We have pointed out how to take account of complicated geometry conditions, of space and time dependent variations and non-linearity of material behaviour, and of the influence of variable temperatures. We think our knowledge on this type of structure has increased in the last years considerably.

To finish up my short remarks I may show you a slide not given in this paper. You will see the so-called HHT reactor where a gas turbine is used with a horizontal axis. If you consider the PCRV on this slide you will find that there really exist triaxial stress states. The investigation of this type of reactor has just started. Thank you.

#### I-6 Prof. E. FUMAGALLI

M. le Président, Mesdames et Messieurs, dans mon rapport je traite la reproduction et l'expérimentation des structures massives par modèles statiques. Dans ce domaine on doit considérer trois types différents de modèles:

- 1) Les modèles des conténiteurs nucléaires pour lesquels le poids propre ne représente pas une composante importante dans leur comportement statique. Ces modèles seront traités d'une manière spécifique dans un autre rapport.
- 2) Les modèles statiques traditionnels des barrages dans lesquels le massif rocheux d'appui intervient seulement pour assurer les conditions au contour de l'ouvrage. Dans ces modèles l'application de l'effet de poids propre est limitée au corps du barrage. L'installation est réalisée par des câbles mis en tension par des ressorts étalonnés ou par une planchée mobile et des anneaux en gomme à grand allongement.
- 3) Les modèles géomécaniques utilisés pour le contrôle d'instabilité des massifs rocheux, particulièrement des falaises de fondations aux barrages en béton. Il s'agit éminemment de modèles à essayer à la rupture. Dans ces modèles on reproduit un schéma géologique avec les accidents et les discontinuités plus importantes qui peuvent intervenir dans l'instabilité du système rocheux.

Pour éviter l'application du poids propre par les câbles susdits (câbles qui représenteraient des liaisons inadmissibles en domaine de grandes déformations) on utilise des matériaux à haute déformabilité, c'est-à-dire qui disposent de caractéristiques mécaniques réduites à peu près dans le même rapport de l'échelle géométrique. En tel cas pour respecter les forces de masses, il est suffisant d'employer des matériaux qui disposent d'un poids propre égal à celui de la roche.

Brèvement pour fournir aux participants des idées sur cette technique, je vous présente les résultats sur le dernier modèle essayé à l'ISMES: il s'agit des essais sur le barrage de "Canelles" (Espagne). La fig. 1 représente le schéma reproduit dans le modèle à trois dimensions. Des trois systèmes de discontinuité représentés par les blocs, deux sont coïncidents; le troisième présente un gisement différent dans les deux falaises. Par l'expérimentation des deux modèles, on a vérifié en rive droite deux solutions de renforcement du rocher qui offrent des appuis plutôt corticaux.

La première solution était représentée par une installation de câbles de précontrainte ayant le bût d'empaqueter les couches du rocher sub-verticales et de augmenter par conséquent les forces résistantes de frottement. La seconde était représentée par un contrefort en béton d'intégration aux courbes de niveau (fig. 2). Le contrefort était relié aux couches intérieures du rocher par des tunnels revêtus en béton précontraint.

Les essais ont démontré que la première solution, même si elle augmente la rigidité du système, n'empêche pas de brusques tassements de plasticité et le danger de ruptures fragiles superficielles.

La deuxième solution s'est démontrée plus efficace et moins couteuse. Elle assure une résistance d'ensemble plus élevée et s'insère d'une manière harmonieuse dans l'équilibre statique naturel du système. En rive gauche le massif d'appui résulte plus volumineux mais plus déformable à cause de plus fréquentes discontinuités

Le cadre des déformations aurait été jugé de toute sécurité si par le dépouillement des résultats, après les essais à rupture du premier modèle, on n'aurait pas constaté que, à front des déformations éminemment réversibles dans la direction de la poussée transmise par le barrage, des déformations permanentes assez importantes s'étaient accumulées en direction presque normale aux précédentes (fig. 3). Parmi des cycles impulsifs à charge toujours plus élevée, des processus de disorganisation dans la roche s'étaient manifestés, donnant lieu à un effet d'ouverture en éventail des couches verticales et par conséquent à un danger de ces dernières en direction normale à l'axe de la vallée (fig. 4).

Par conséquent, dans le deuxième modèle on a reproduit des tunnels précontraints tout à fait semblables à ceux de la rive droite (fig. 5). Dans le paquet des couches verticales ainsi obtenu les essais ont démontré que si d'une part la déformabilité du système ne s'était pas réduite en mesure appréciable, par contre l'effet d'ouverture en éventail était totalement disparu.

Un tel comportement porte à une première considération: dans les systèmes discontinus, les déformations permanentes ne représentent pas, en principe, en pourcentage des déformations globales. Elles peuvent se dérouler d'une manière totalement indépendante aux déformations élastiques et obéir à des lois propres suggérées par la logique des discontinuités. C'est pour ça qu'elles peuvent même se présenter en direction tout à fait différente par rapport aux résultantes de charge. A ce sujet, on doit encore examiner le diagramme de déformation radiale mesurée à la clef du couronnement du modèle pendant les cycles à outrance (fig. 6). Le diagramme susdit documente comment la structure parvient à la rupture très lentement selon le cadre des fissures (figg. 7 et 8).

Une observation qui sort d'évidence c'est que les essais à outrance exécutés par cycles impulsifs résultent plus lourds par rapport à des essais conduits par charge de longue durée (fig. 6). La vitesse moyenne de déformation qui en résulte est en effet plus élevée.

Si l'on passe à des considérations d'ordre général et interprétatif on observe qu'aux cycles alternés font suite des processus importants de déformation différées. En plus les cycles ne sont pas réversibles et dénoncent des phénomènes d'hystérèse non négligeables.

Le modèle est encore en vision à l'ISMES et je reste à votre disposition pour des éventuels renseignements de détail.

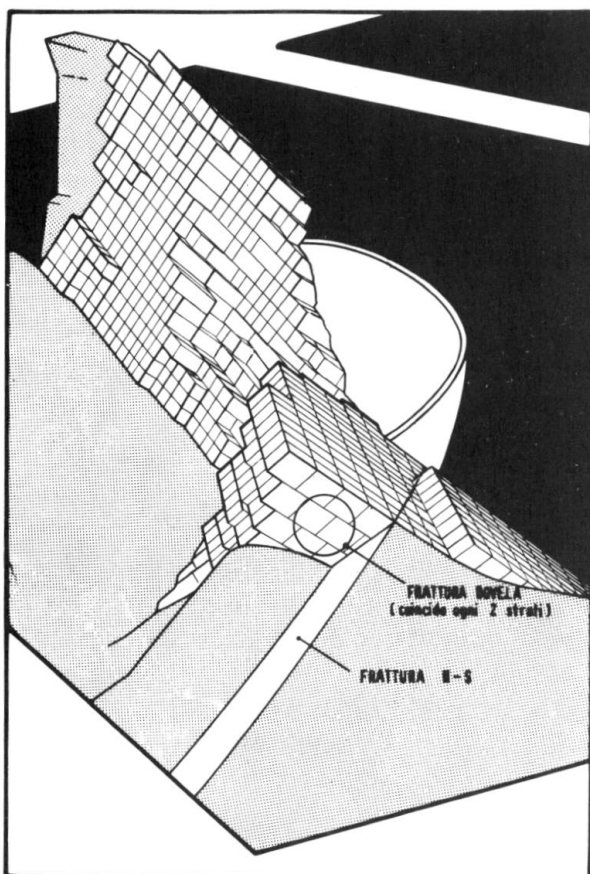


FIG. 1

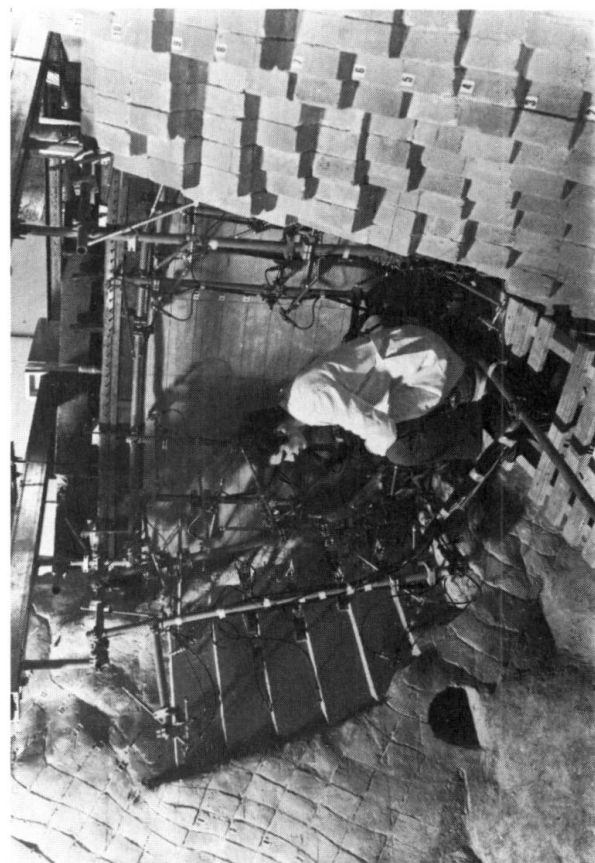


FIG. 2

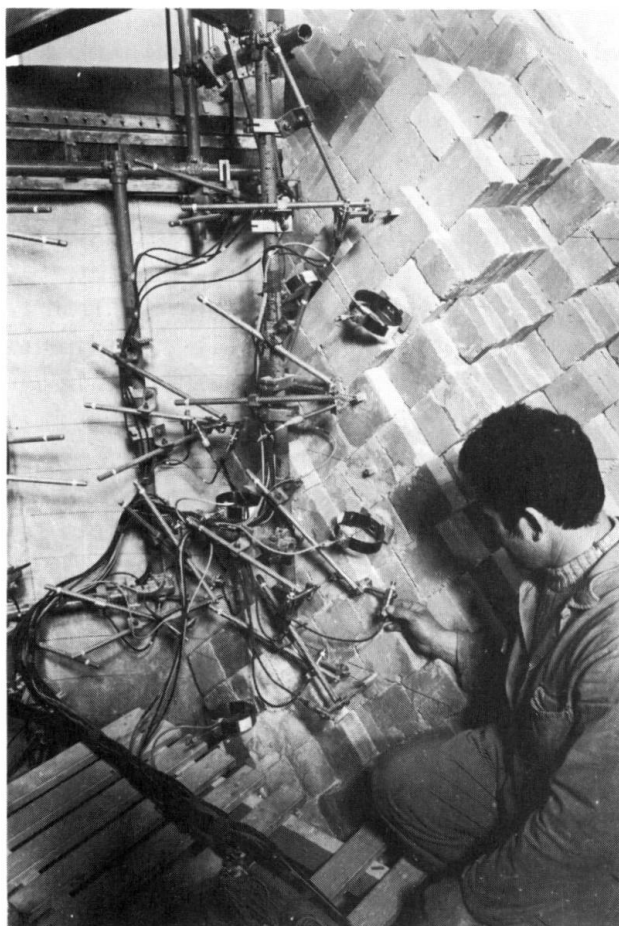


FIG. 5



FIG. 8

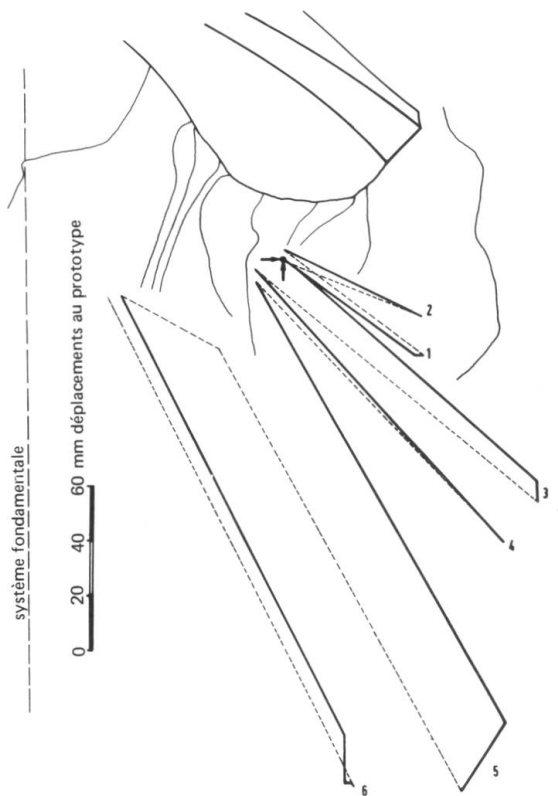


FIG. 3

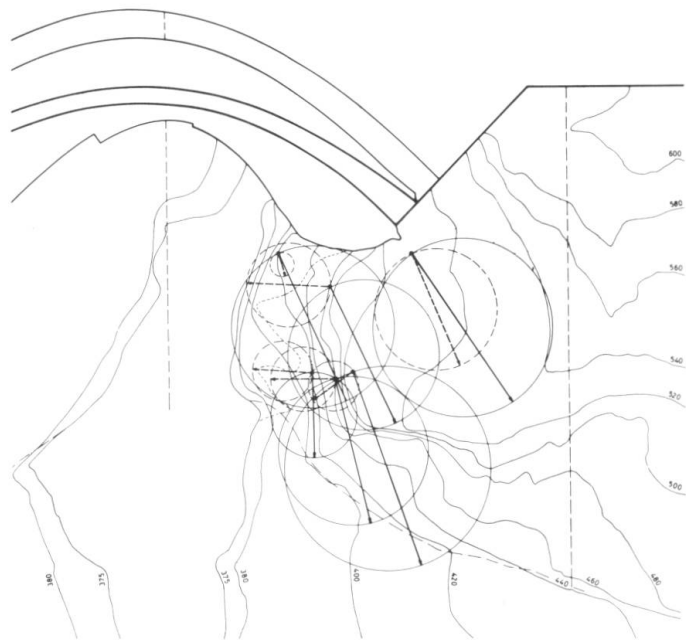


FIG. 4

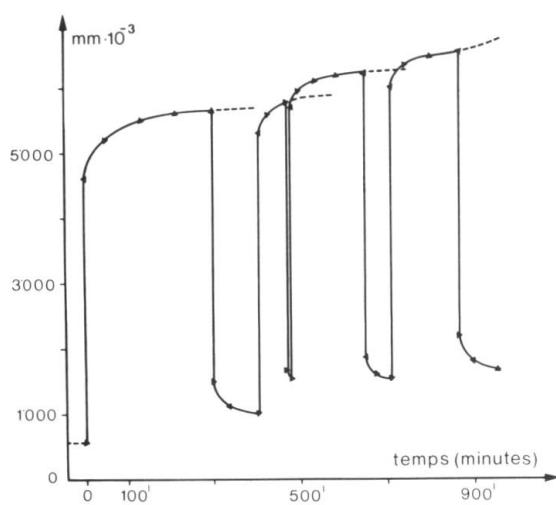


FIG. 6

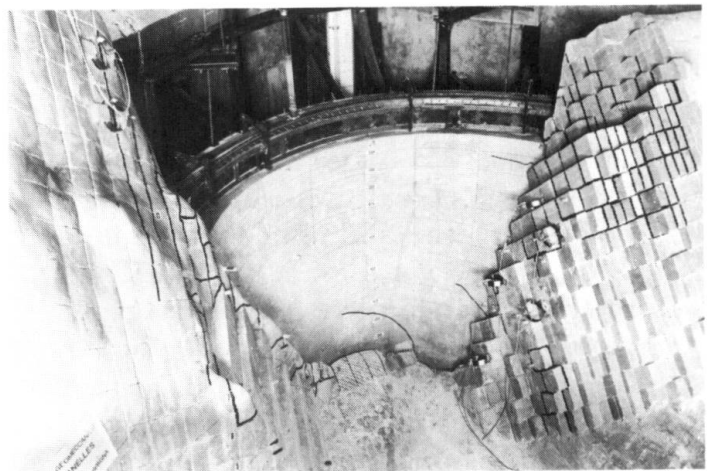


FIG. 7