

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 52 (1926)  
**Heft:** 8

**Artikel:** A propos du barrage à arches multiples du Gem Lake  
**Autor:** Sarrasin, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-40277>

### **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:** 22.11.2024

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

signé ou ratifié la présente Convention, ceux qui y ont adhéré ou qui l'ont dénoncée. Ce recueil sera constamment ouvert aux membres de la Société, ainsi qu'à tout Etat invité à la Conférence visée à l'article 8, et publication en sera faite aussi souvent que possible, suivant les indications du Conseil.

ART. 14. — La présente Convention peut être dénoncée par l'un quelconque des Etats contractants, après l'expiration d'un délai de cinq ans à partir de la date de son entrée en vigueur pour ledit Etat. La dénonciation sera faite sous forme de notification écrite adressée soit au Secrétaire général de la Société des Nations, soit pour les Etats ayant fait usage de la faculté accordée par l'article 11, au Gouvernement français qui en communiquera copie au Secrétaire général de la Société des Nations. Copie de cette notification informant tous les autres Etats contractants de la date à laquelle elle a été reçue, leur sera transmise par le Secrétaire général. La dénonciation prendra effet un an après la date à laquelle elle aura été reçue par le Secrétaire général, et ne sera opérante qu'en ce qui concerne l'Etat qui l'aura notifiée.

ART. 15. — La révision de la présente Convention pourra être demandée à toute époque par un tiers au moins des Etats contractants.

En foi de quoi, etc...

(A suivre.)

## A propos du barrage à arches multiples du Gem Lake,

par M. A. SARRASIN, ingénieur-conseil, à Lausanne.

Les « *Annali dei Lavori Pubblici* » ont donné en juillet 1925, sur la base d'informations recueillies dans l'« *Engineering News Record* » divers renseignements sur la destruction par le gel, du barrage à arches multiples du *Gem Lake*, en Californie.

Cet ouvrage, terminé en 1916, se trouve à une altitude de 2760 m. dans une région où la température descend parfois à 32° en dessous de zéro. Sa longueur totale de 211 m. se décompose en 16 voûtes de 12,20 m. de portée et 2 voûtes plus petites, aux extrémités. L'axe des voûtes est un arc de cercle dont l'angle au centre atteint 100°. Leur épaisseur varie de 0,30 m. en haut à 1,20 m. au niveau des fondations. Elles s'appuient sur des contreforts d'épaisseur variable (56 cm. à la crête et 1,30 m. à la base). L'inclinaison du parement amont du contrefort est de 50°, la hauteur d'eau maximum est 25,50 m.

Après 4 ans de service, on constata que le béton des voûtes était détruit par le gel, à la profondeur de 8 m. à peu près en dessous de la crête, ce qui correspond au niveau moyen de l'eau pendant l'hiver.

On procéda à des réparations locales, qui consistaient à remplacer très soigneusement, par un bon béton, tout le béton désagrégé et à recouvrir toute la surface du barrage d'un enduit spécial appelé « *Ironite* ». Elles s'avèrent insuffisantes et il fallut transformer partiellement le barrage à arches multiples en barrage à gravité.

On comprend que cet insuccès éveille chez les profanes un sentiment de méfiance contre ce type de barrage; mais il est par contre étonnant qu'un technicien connu comme le professeur Gaudenzio Fantoli, se base

sur ce cas, pour condamner en bloc l'emploi du barrage à arches multiples dans les Alpes, sans se demander s'il n'y a peut-être pas, dans la conception ou dans l'exécution de l'ouvrage, quelques fautes qui ont causé cette destruction<sup>1</sup>. Il est non moins surprenant que les « *Annali dei Lavori Pubblici* » ne se soient également pas posé cette question et qu'ils affirment, à la fin de leur description du barrage du *Gem Lake*, « qu'avec de telles dimensions, les sollicitations unitaires se maintiennent dans les limites d'une saine pratique et qu'effectivement le coefficient de sécurité dans cette construction, surpasse notablement celui d'autres barrages du même type! »

Or, contrairement à cette assertion, on voit tout de suite que cet ouvrage présente une grosse erreur de conception. On se rend immédiatement compte que l'épaisseur des voûtes est beaucoup trop grande et leur angle au centre trop réduit, ce qui leur a enlevé l'élasticité nécessaire pour supporter les variations de température. Les calculs qui suivent prouvent qu'il devait en résulter un grand nombre de petites fissures, qui ont permis au gel de produire ses effets désastreux.

Pour confirmer ce résultat théorique, voici d'ailleurs comment les « *Annali dei Lavori Pubblici* » expliquent l'échec de la réparation à l'« *ironite* » :

« Après ces travaux, le barrage se montra imperméable pour une courte durée, mais par suite d'un abaissement de température, des fissures capillaires apparurent sur le parement amont et les détériorations du béton recommencèrent comme auparavant. »

Et le professeur Fantoli extrait lui-même d'un rapport Huber-Dolson, les remarques suivantes :

« Après l'application du procédé *ironite*, le barrage fut imperméabilisé pour un temps assez court. Néanmoins le revêtement à l'*ironite* montra des fissures capillaires (*hair line cracks*) dues probablement aux extensions et contractions des arcs. Après le retour des basses températures, la détérioration recommença. Il apparut alors inévitable d'adopter un remède beaucoup plus radical. »

Si le professeur Fantoli ou les « *Annali dei Lavori Pubblici* » avaient calculé l'influence d'un changement de température, il est probable que leurs articles eussent été rédigés différemment.

Supposons en effet (ce qui est favorable) que les voûtes ont été bétonnées par une température de + 5°; l'on voit qu'il faut alors, d'après les renseignements fournis par les « *Annali dei Lavori Pubblici* » tenir compte d'un abaissement de température de 5 + 32 = 37°, sans rien ajouter pour le retrait qui, ici, a pu être d'importance minime, si l'on a pris les précautions nécessaires.

Si l'on admet une épaisseur constante de 56 cm. pour le contrefort, les voûtes de 100° d'angle au centre auront un rayon

$$r = \frac{5,82}{\sin 50^\circ} = 7,60 \text{ m.}$$

<sup>1</sup> Professeur Gaudenzio Fantoli: « *Intorno ai problemi delle dighe per serbatoi e del loro tipo nelle applicazioni italiane* ». — Appendice alla parte prima ed intermezzo polemico inerente. —

Le centre de gravité *S* de l'axe de l'arc est déterminé par :

$$b = 7,60 \left( 1 - \frac{\sin 50^\circ}{\text{arc } 50^\circ} \right) = 0,91 \text{ m.}$$

L'influence d'un abaissement de température peut se remplacer par l'effet d'une force *H* agissant en *S* et ayant l'importance suivante :

$$H = \frac{\alpha \cdot t \cdot E \cdot I \cdot \sin 50^\circ}{r^2 \left( \frac{\text{arc } 50^\circ}{2} + \frac{1}{4} \sin 100^\circ - \frac{\sin^2 50^\circ}{\text{arc } 50^\circ} \right)}$$

où  $\alpha$  représente le coefficient de dilatation linéaire du béton (Fig. 1),

*t*, la différence de température

*E*, le module d'élasticité du béton

*I*, le moment d'inertie d'une lamelle de voûte de 1m.

*r*, le rayon de l'axe des voûtes

soit  $\alpha = 0,0000125$

$$t = 37^\circ$$

$$E = 1400000 \text{ tn/m}^2$$

*d* = l'épaisseur de la voûte en m.

On aura :  $H = 71,5 \text{ d}^3$

Les moments et efforts axiaux seront donc :

à la clé :  $M = 65,1 \text{ d}^3$

$$N = 71,5 \text{ d}^3 \text{ (traction)}$$

à la naissance :  $M = 128,8 \text{ d}^3$

$$N = 46 \text{ d}^3 \text{ (traction)}$$

En négligeant les armatures qui, en proportion des sections exagérées de béton, sont certainement d'importance minime, on obtient pour les tractions dans le béton à la clé et à la naissance, à différentes hauteurs, les valeurs suivantes. (On admet dans ce calcul que la loi de Hook-Navier est applicable au béton et que ce matériau tendu et comprimé a toujours le même module d'élasticité.)

Distance verticale des la crête.	Epaisseur de la voûte.	Traction maximum dans le béton à la clé, kg/cm <sup>2</sup> .	Traction maximum dans le béton à la naissance kg/cm <sup>2</sup> .
0,00	0,30	12,3	23,6
2,84	0,40	16,80	31,6
8,50	0,60	26,1	47,9
14,20	0,80	35,8	64,7
19,80	1,00	46,1	81,8

Les tractions sont telles que ces voûtes et leur enduit devaient nécessairement se fissurer bien avant que la température descende à  $-32^\circ$ . Par conséquent la destruction de ces ouvrages par le gel était un fait à prévoir. Ce n'est donc pas le type choisi, mais bien les erreurs commises qui sont cause des dégâts.

Il est aussi évident que si l'auteur du projet avait calculé l'influence de la température, il aurait été amené à changer l'épaisseur des voûtes ainsi que leur angle au centre, car avec les dispositions qu'il a prises, il aurait

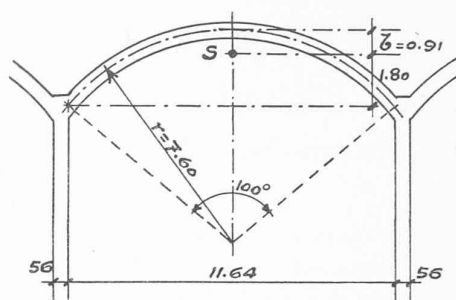


Fig. 1.

fallu une quantité phénoménale de fers pour obtenir une construction offrant la sécurité requise. (En effet, à 8,50 m. de profondeur, au point où l'épaisseur des voûtes atteint 60 cm., les efforts dus à l'abaissement de la température, auraient déjà nécessité à la naissance, sur le parement amont seulement, 10  $\otimes$  30 mm. par mètre courant pour éviter les petites fissures de tractions dans le béton.)

Il aurait été facile d'améliorer la conception de cet ouvrage et de réaliser en même temps de grosses économies. Portons, par exemple, l'angle au centre des voûtes à  $130^\circ$  seulement, en prenant une épaisseur de 30 cm. à 8,50 m. de profondeur.

Le rayon de l'axe des voûtes sera :

$$r = \frac{5,82}{\sin 65^\circ} = 6,43 \text{ m.}$$

La distance *b* atteindra 1,29 m.

La force *H* représentant l'influence de la température, deviendra

$$H = 34 \text{ d}^3$$

et nous aurons les efforts suivants à la naissance (section la plus défavorable)

$$M = 2,2 \text{ m. tn.}$$

$$N = 0,39 \text{ tn.}$$

La traction dans le béton, sans tenir compte des armatures, n'atteindrait que 14,8 kg/cm<sup>2</sup>.

A titre de comparaison, on obtient pour la construction exécutée, un moment fléchissant de 27,8 m. tn. à la naissance. Ce moment était donc 12 fois plus grand que celui que nous avons dans notre proposition. Notons que l'épaisseur de 30 cm. à 8,50 m. de profondeur est également suffisante, lorsque le bassin est plein. Toutefois, pour un ouvrage de cette importance, il serait indiqué d'adopter un arc dont l'épaisseur varierait de la clé à la naissance pour obtenir le maximum d'élasticité tout en réalisant des économies.

Un barrage construit de cette façon et où l'on aurait eu soin d'avoir un enduit étanche sur du béton compact, aurait très certainement donné d'excellents résultats.

Le cas typique de ce barrage nous montre que, de nos jours encore, on croit malheureusement trop souvent qu'il suffit d'augmenter les dimensions d'un ouvrage pour obtenir un coefficient de sécurité plus élevé. Puisse l'insuccès du *Gem Lake* contribuer à extirper complètement cette dangereuse erreur.