

La rupture du barrage du Gleno

Autor(en): **Stucky, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **50 (1924)**

Heft 6

PDF erstellt am: **11.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-39052>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

BULLETIN TECHNIQUE

DE LA SUISSE ROMANDE

Réd. : D^r H. DEMIERRE, ing.

Paraissant tous les 15 jours

ORGANE AGRÉÉ PAR LA COMMISSION CENTRALE POUR LA NAVIGATION DU RHIN

ORGANE DE L'ASSOCIATION SUISSE D'HYGIÈNE ET TECHNIQUE URBAINES

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

SOMMAIRE : *La rupture du barrage du Gleno*, par A. STUCKY, ingénieur à Bâle. — *L'élasticité du béton*, par A. DUMAS, chef du Laboratoire d'essais de matériaux de l'Université de Lausanne (suite et fin). — *Barrages-poids de grande hauteur*. — *Le pronostic des accidents de « fatigue » des métaux*. — NÉCROLOGIE : *Auguste Jegher, ingénieur*. — CARNET DES CONCOURS : *Programme de concours pour l'étude d'un projet d'hôtel destiné à la Succursale de la Banque Cantonale Neuchâteloise à la Chaux-de-Fonds*.

La rupture du barrage du Gleno¹

par A. STUCKY, ingénieur à Bâle.

Le 1^{er} décembre 1923 le barrage du Gleno s'écroulait ; cet accident, qui a coûté la vie à environ six cents personnes et dont les dégâts s'élèvent à une somme considérable, a naturellement alarmé les populations habitant au-dessous d'autres barrages en service ou en construction. Il est donc indiqué de profiter des leçons que comporte ce malheureux accident et de revoir quelle sécurité offrent en réalité les barrages en service qui nous intéressent le plus. La question des responsabilités d'autre part ne nous intéresse qu'incidemment en tant qu'étrangers ; aussi laisserons-nous de côté tous les noms des personnes engagées et ne nous attacherons-nous qu'au côté purement technique de la question. Si nous relevons des erreurs et si nous en parlons longuement, c'est uniquement afin d'éviter qu'elles soient répétées ailleurs.

Disons d'emblée que la catastrophe du Gleno n'est pas due à une erreur générale dans la conception des barrages modernes ou dans leur exécution, erreur qui pourrait jeter le discrédit sur les grands travaux de génie civil. Les causes de l'accident sont bien propres au barrage du Gleno et il

¹ Rapport présenté à l'instigation de M. H.-E. Gruner, Ingénieur-Conseil, à Bâle.

Les clichés qui illustrent cette notice ont été obligeamment mis à notre disposition par la *Schweizerische Bauzeitung*. Réd.

est probable, pour ne pas dire certain, qu'aucun autre ouvrage de ce genre, ni à l'étranger ni en Suisse, ayant subi sans accroc la première mise sous pression, ne subira le sort de celui du Gleno, à moins peut-être d'un tremblement de terre très violent.

Les barrages à voûtes multiples tels que celui du Gleno sont très en faveur en Italie. Ils ont fait l'objet de bien des recherches de la part d'ingénieurs italiens de grande réputation ; chez tous on retrouve le souci de projeter et d'exécuter ce genre d'ouvrage avec plus de soin que tout

autre. Si les précautions recommandées par les compatriotes des constructeurs du Gleno avaient été suivies, nous n'aurions évidemment pas à déplorer cette catastrophe.

Le barrage du Gleno.

Les quotidiens ont donné sur l'accident, ainsi que sur le barrage du Gleno des renseignements imprécis et contradictoires. Il est donc bon de rappeler en quelques mots les caractéristiques de cet ouvrage.

Le barrage du Gleno est situé à environ 1548 m. d'altitude, sur le petit torrent du même nom, affluent du Dezzo qui se jette lui-même dans l'Oglio. Ce barrage devait retenir un volume de 6 000 000 de mètres cubes d'eau environ, destiné à servir de réserve à cinq usines hydro-électriques disposées en cascade le long du Dezzo, et dont les deux premières appartenaient au propriétaire du barrage, un gros industriel de la région. Ces

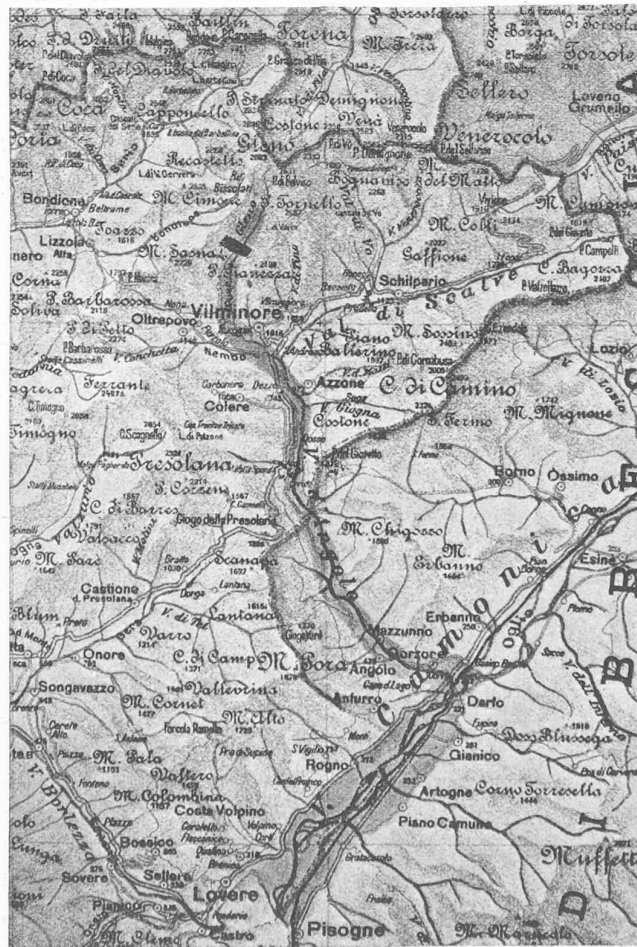


Fig. 1. — Carte générale, au 1 : 25 000 (en bas, Lovere et Pisogne, au bord du lac d'Iseo).

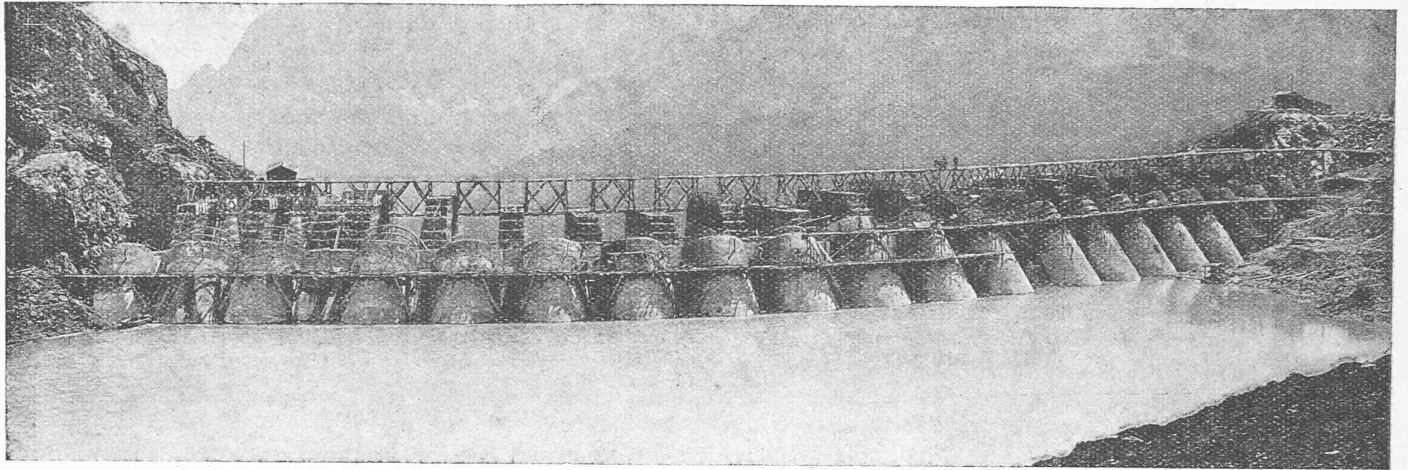


Fig. 3. — Vue de la face amont du barrage en construction, l'accumulation ayant déjà commencé.

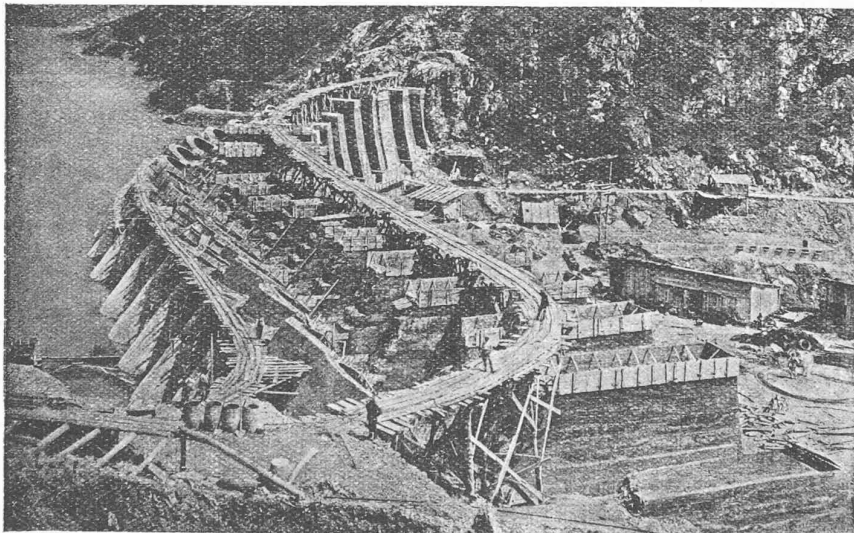


Fig. 2. — Vue du chantier, rive gauche.

cinq usines utilisaient la différence de niveau de 1300 m. comprise entre le lac d'accumulation et le Val Camonica (village de Darfo). Le barrage a été commencé en 1920 et le niveau du lac était élevé lentement au fur et à mesure de l'avancement des travaux, de manière à permettre une marche réduite de la première usine. Le 22 octobre 1923 le lac était plein pour la première fois et le premier décembre, entre sept et huit heures du matin, le barrage s'écroulait sur une longueur de 70 m. et laissait s'échapper en quelques instants presque tout le volume accumulé au cours de l'été.

Le bassin d'alimentation du lac du Gleno est relativement petit, ainsi qu'il ressort de la carte (fig. 1). Le fond en est constitué

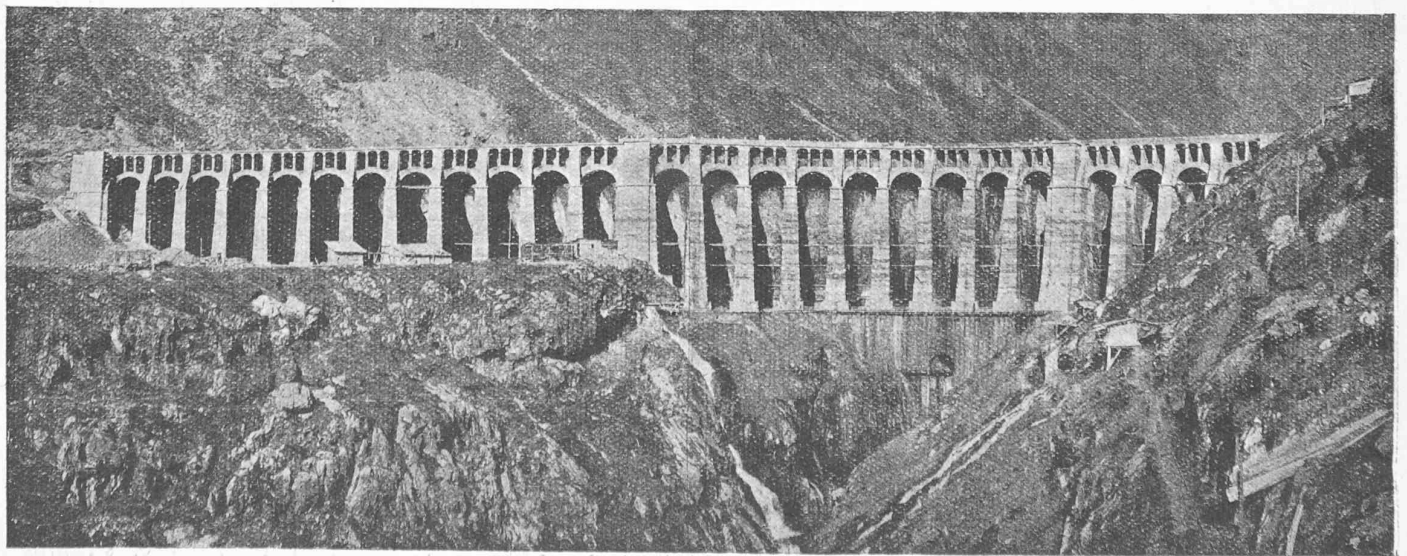


Fig. 4. — Vue générale du barrage, face aval, en automne 1923.

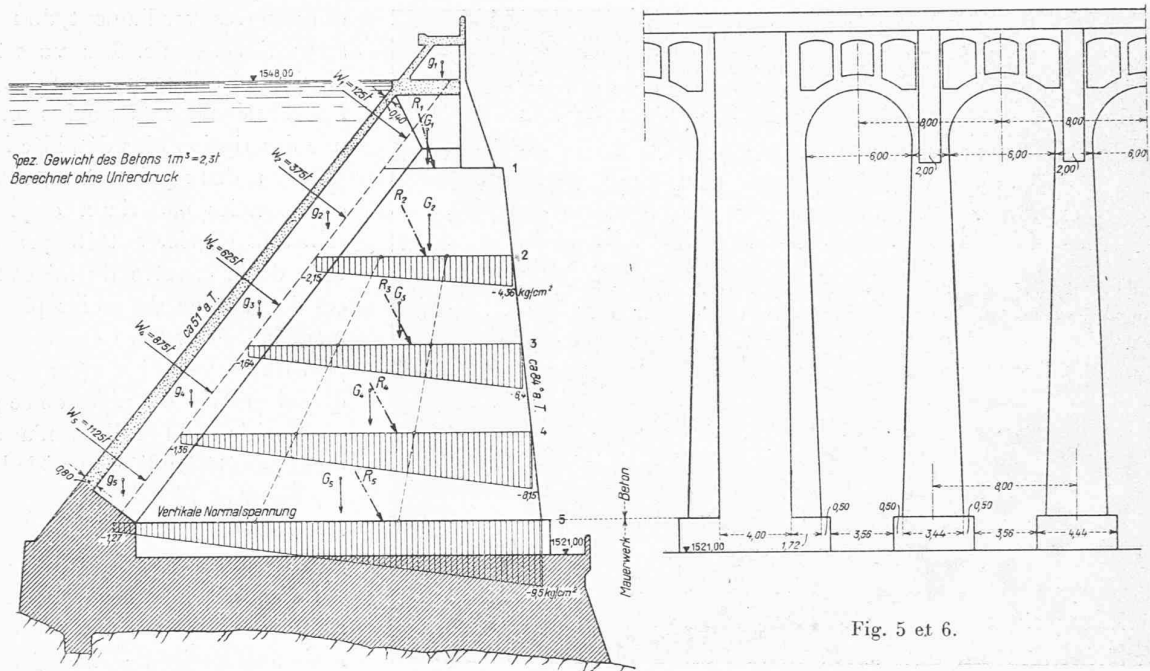


Fig. 5 et 6.

Coupe transversale du barrage du Gleno et vue de l'aval. 1 : 400. (Poids spécifique du béton 2,3 t/m³).
Calcul fait sans tenir compte des sous-pressions. Les diagrammes représentent les fatigues normales de compression.

sur le permien tandis' que le barrage lui-même est assis sur un seuil de serpentine où l'on retrouve aujourd'hui encore de superbes stries glaciaires. La partie inférieure de la vallée du Dezzo est constituée par des terrains triasiques, ce qui aura permis aux constructeurs de fabriquer eux-mêmes la chaux dont ils se sont servis au début des travaux. Au point de vue géologique on peut dire que, bien que par place un peu disloqué, le rocher de fondation eût été excellent s'il avait été traité comme on le fait en pareil cas.

Le barrage est du type à voûtes multiples. Sa longueur totale est de 260 m. environ ; la hauteur moyenne en est de 25 à 30 m. tandis que dans la gorge proprement dite la hauteur atteint 50 m. environ. Comme l'indiquent les figures 5 et 6, les piliers ont une hauteur totale de 27 m. ; à l'emplacement de la gorge, ils sont assis sur un massif inférieur de maçonnerie en forme de trapèze. On a prétendu que les constructeurs avaient eu l'intention de faire au début un barrage à gravité et que le projet

en avait été modifié au cours du travail. Il est possible qu'il y ait eu changement d'intention, mais il paraît peu probable, d'après la manière dont s'est comporté ce socle, que la modification ait eu lieu pendant les travaux. En effet si l'on avait allongé après coup le massif inférieur pour lui permettre de porter les piliers, toute la partie

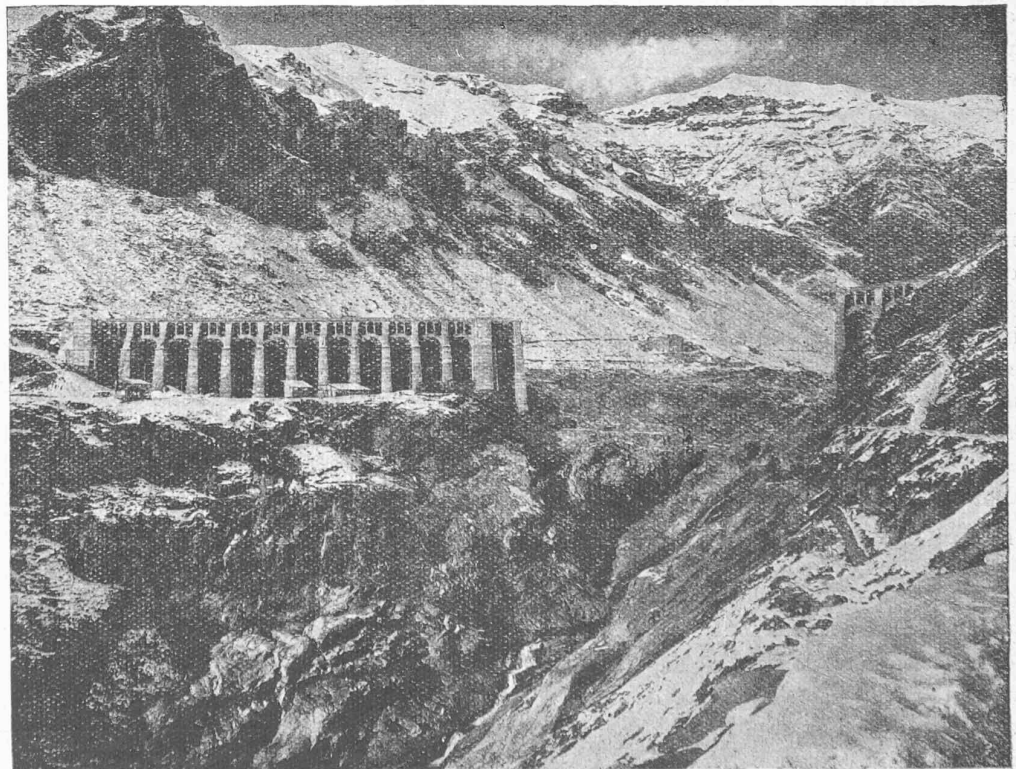


Fig. 7. — Vue prise de l'aval du barrage, après la catastrophe.



Fig. 8. — Vue, prise de l'aval, du barrage, après la catastrophe.

recollée sur le massif primitif aurait, à en juger par la manière dont il a été travaillé au Gleno, été emportée pendant l'accident, ce qui n'est précisément pas le cas. Ce socle de maçonnerie est percé d'une grosse ouverture de 4 m. de largeur sur 10 m. de hauteur pour la vanne de fond. Ecartons d'emblée l'hypothèse que la rupture est due à l'affaiblissement du massif de maçonnerie par cette grosse ouverture. Nous verrons plus loin que l'accident a commencé ailleurs et que le massif inférieur subsiste presque entièrement et n'a été abîmé que par la chute de l'eau et des blocs provenant des piliers. Relevons encore que les piliers ne sont pas maintenus entre eux au moyen de voûtes de raidissement comme cela se fait généralement. On ne peut évidemment pas dire que cette absence de raidissement ait provoqué la rupture, d'autres facteurs infiniment plus importants sont entrés en jeu. Mais il se pourrait bien que dans un autre cas ces raidissements aident à compenser un défaut local.

La forme générale de l'ouvrage est conforme à ce qui se fait généralement; quant aux détails du projet, nous aurons l'occasion de voir plus loin, lors du calcul des actions moléculaires, qu'ils n'étaient pas absolument satisfaisants.

En considérant le barrage depuis l'aval, on ne peut pas s'empêcher de trouver qu'il a été implanté trop bas, c'est à-dire trop près du précipice. Il aurait sans doute mieux valu le riper de quel-

ques mètres vers l'amont, du moins dans sa partie centrale. Les vues 2, 3 et 4 ainsi que les figures 5 et 6 donnent tous les renseignements voulus et rendent une description plus détaillée inutile.

Il y a deux points à noter en ce qui concerne les matériaux employés. Les sables et gravier ont été probablement tirés de la cuvette du lac et n'ont pas été du tout ou du moins pas suffisamment lavés et triés. Ceci ressort de l'aspect du béton qui n'a pas la compacité qu'exigent des ouvrages de ce genre. La composition du ballast n'a apparemment pas été étudiée, aussi le béton est-il poreux et inégal, et les infiltrations furent-elles nombreuses dès la mise sous pression du barrage.

Le massif inférieur sur lequel reposent les piliers est exécuté en maçonnerie au mortier de chaux, tandis que les piliers et les voûtes sont faits en béton de ciment. Il m'a été affirmé que la chaux avait été fabriquée dans un

four improvisé à quelques heures du chantier, ce qui est assez bizarre pour un pays où les bonnes fabriques de chaux et de ciment ne manquent pas. On ne s'improvise évidemment pas sans autre, fabricant de chaux, d'autant plus qu'il n'est pas facile d'obtenir un produit de première qualité.

On n'emploie en Suisse pour les barrages que du ciment Portland exclusivement. En Italie on travaille aujourd'hui encore beaucoup plus que chez nous avec de la

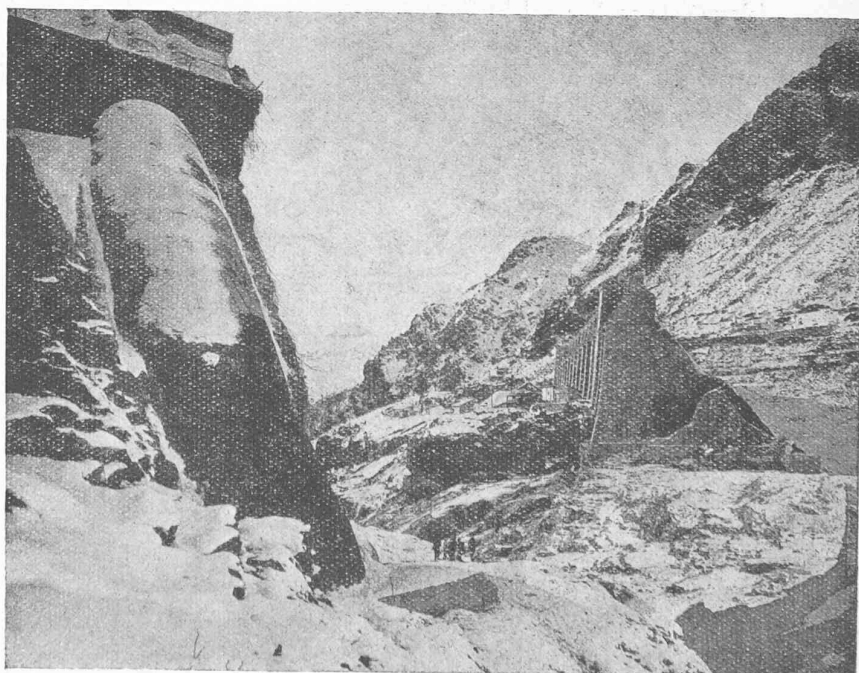


Fig. 9. — Vue, prise de l'amont, du barrage, après la catastrophe. (Secteur de la rive droite).

chaux ; on emploie alors de la chaux hydraulique s'il s'agit d'ouvrages qui seront exposés à l'eau, ou bien l'on y ajoute de la pouzzolane, ce qui semble ne pas avoir été le cas au Gleno, du moins pas partout. Dans ces conditions, la chaux n'a pas pu faire sa prise au milieu de ce gros massif et elle fut délavée très facilement par les infiltrations nombreuses, du fait que le niveau du lac a été élevé au fur et à mesure des travaux. Le constructeur aura peut-être été rendu attentif à ce danger puisque pour la partie supérieure il a utilisé du ciment. Mais mal-

L'accident.

Les renseignements recueillis sur place permettent de reconstituer l'accident comme suit :

Le niveau du lac a été élevé insensiblement jusqu'à la cote définitive de 1548 au cours de l'automne 1923. La cote supérieure a été atteinte pour la première fois le 22 octobre 1923. Pendant un mois environ le barrage s'est comporté de telle manière que l'on n'a pas soupçonné la gravité de son état. Mais il faut dire que ce remplissage n'a pas été effectué avec le contrôle qui est indiqué en

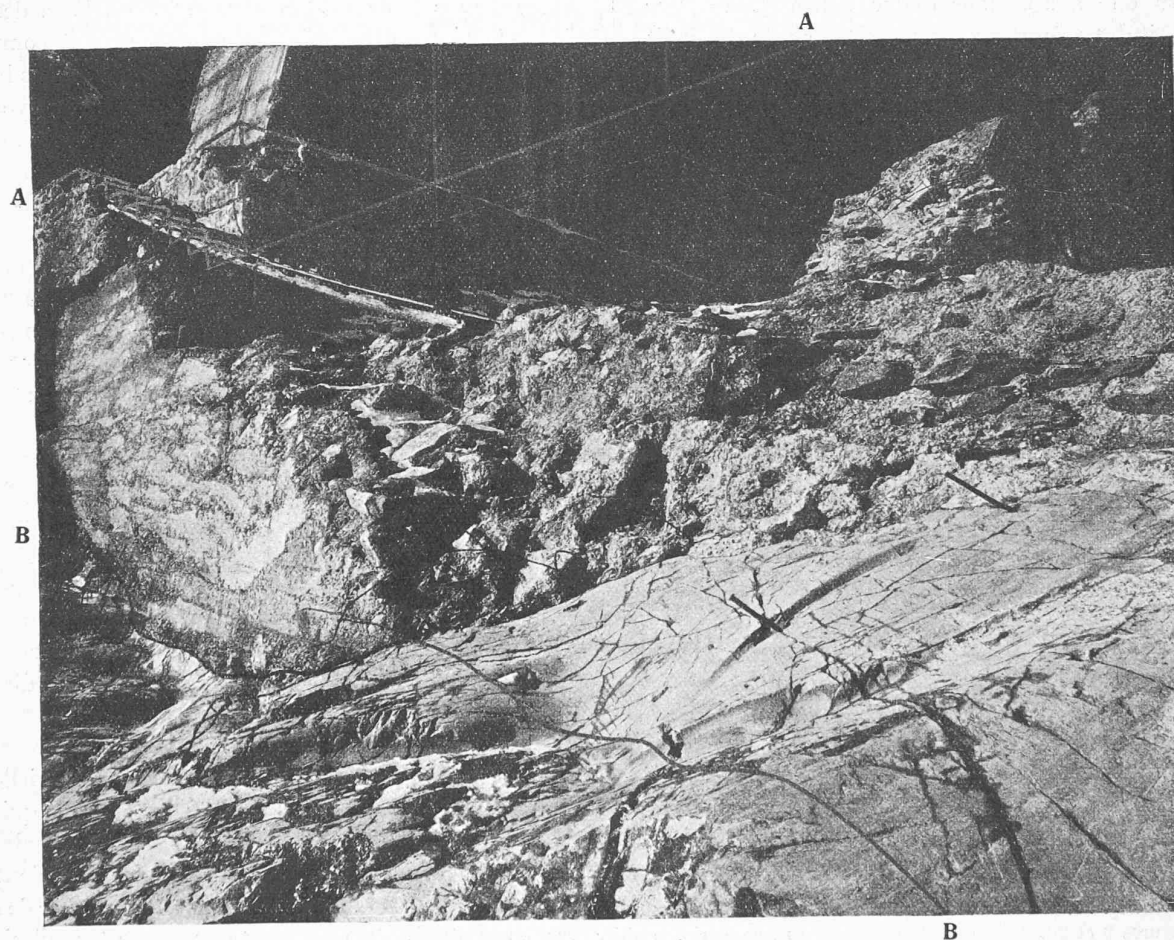


Fig. 10. — Fondation d'un des pieds du barrage, à l'extrémité droite (ouest) de la brèche. A gauche en haut, le premier des piliers de droite qui subsiste encore. A-A = arête supérieure du massif inférieur de fondation. B-B = intersection du front aval de ce massif avec le rocher de fondation.

heureusement il n'a pas pris la seule mesure qui s'imposait en pareil cas et qui consistait non seulement à abandonner la chaux, mais à refaire toute la partie déjà exécutée malgré le sacrifice considérable qu'elle impliquait.

Il semble d'après les renseignements obtenus et les photographies dont on dispose, que la mise en place du béton n'a pas plus été soignée comme elle aurait dû l'être. Le chantier était installé d'une façon assez rudimentaire malgré son importance. On a parlé à la Société des Ingénieurs de Milan de béton confectionné à la main. Je ne sais pas si cela est exact, mais les résultats ne démentent pas nécessairement cette affirmation.

pareille circonstance. Il eût été donné par exemple d'observer exactement les déformations élastiques ainsi que les pertes d'eau dont on retrouvait encore les traces après l'accident. Un examen minutieux aurait probablement révélé l'équilibre instable de l'ouvrage. La figure 12 indique sur la droite de la gorge un petit ruisseau. C'était une grosse infiltration à travers les fondations. Elle n'était pas la seule, en plusieurs points les voûtes, et ce qui est plus grave encore, les piliers, n'ont pas été étanches, voir figure 12 où l'on retrouve dans le pilier des glaçons provenant d'une grosse infiltration.

Si l'on avait examiné soigneusement les piliers, on aurait probablement constaté, sans instrument déjà, des

glissements qui doivent s'être produits, comme nous le verrons plus loin, avant la catastrophe. Tous ces signes sont donc restés inaperçus, jusque quelques minutes avant l'accident.

Le matin du 1^{er} décembre, à sept heures environ, le gardien du barrage qui résidait en permanence là-haut voulait se rendre à la vanne de fond et à cet effet il traversait la passerelle longeant les piliers. Il faisait encore nuit et il fut surpris par la chute de quelques pierres provenant du troisième pilier à droite du grand contrefort médian (vu de l'aval). Pour éviter d'être atteint par les pierres, il dut reculer et comme cette chute devenait

aurait tout au plus lieu de relever ici que contrairement à ce que l'on croit souvent, une gorge située à l'aval d'un barrage n'est pas une protection. Elle retient en effet l'eau un certain temps, mais comme le torrent entraîne avec lui une quantité considérable de blocs, d'arbres, de gravier, etc. il s'y forme des digues qui viennent à se rompre brusquement, de sorte que la vague, au lieu de s'étendre et de perdre ainsi de son intensité comme elle le ferait normalement, se concentre de nouveau par l'effet de ces ruptures successives.

Les figures 7, 8, 9 donnent une image de la destruction. Un secteur de 70 m. de longueur a été complète-

ment arraché, mais la partie inférieure massive est à peu près intacte, abstraction faite de la surface qui fut abîmée par le choc. Toute l'aile droite du barrage est encore debout, mais plusieurs des piliers sont rompus. Il en est de même des voûtes et cette constatation permet donc de conclure que l'accident n'est pas dû uniquement à une cause fortuite, c'est-à-dire au fait que l'un des piliers seul aurait cédé, entraînant dans sa chute les zones adjacentes, mais que tout le barrage était déjà plus ou moins disloqué avant la rupture.

Si l'on fait abstraction de la zone superficielle des restes de l'ouvrage qui a été évidemment fort malmenée au cours de l'accident, on ne peut s'empêcher de constater que le travail n'a pas été fait avec le soin désirable. La maçonnerie d'un

barrage à voûtes multiples doit évidemment être faite avec plus de soin que celle de n'importe quel autre ouvrage, ce n'est qu'à cette seule condition aussi que l'on préférera la maçonnerie au béton. Dans le cas particulier il est certain que du béton, même fait avec les mêmes matériaux eût été préférable, parce qu'il aurait été moins inhomogène. Par suite du travail de moindre qualité et du délavement dont il a été question plus haut, la maçonnerie dans son ensemble devait avoir une résistance déplorable (voir à cet effet la figure 11 qui représente la base d'un des piliers).

Ce qui est plus bizarre encore c'est la manière dont ces piliers ont été assis sur le rocher. Ce dernier se prêtait très bien à recevoir un barrage, mais il aurait fallu y tailler une fondation convenable avec marches pour le

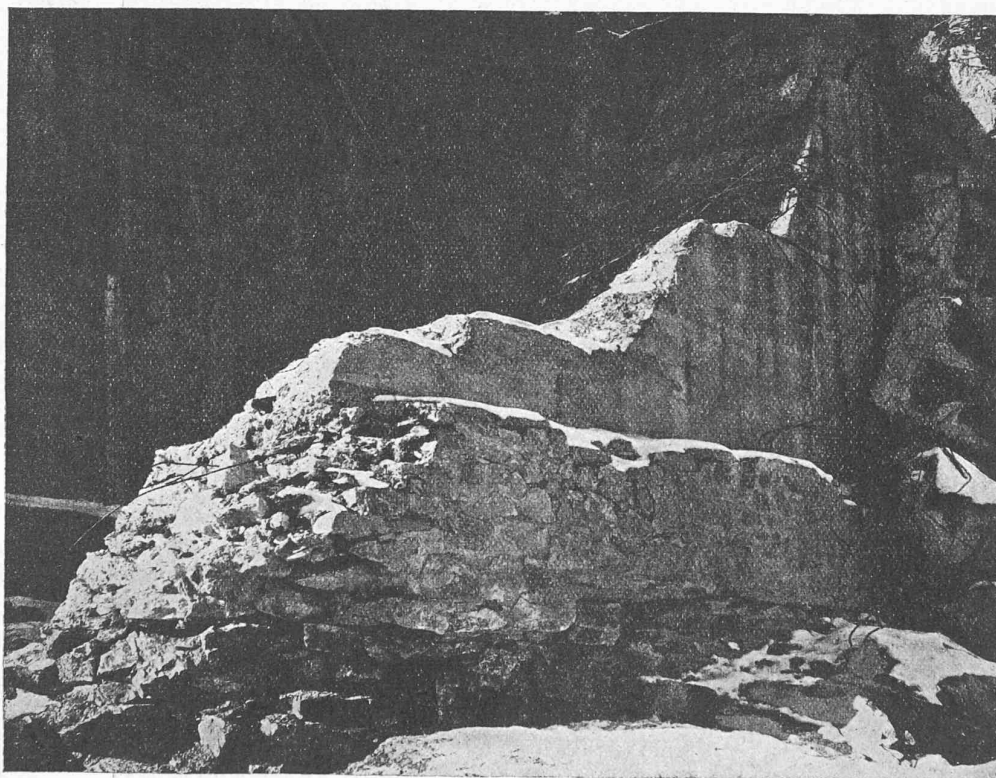


Fig. 11. — Extrémité aval du pilier à moitié démolie que l'on reconnaît sur les figures 9 et 10. Le soubassement est en maçonnerie, le pilier proprement dit, en béton. A droite, les lambeaux de la voûte en béton armé.

de plus en plus intense, il s'enfuit dans les rochers. En se retournant il constatait une ombre insolite dans le pilier et peu après celui-ci s'écroulait. C'était [la débâcle. Le gardien ne peut plus donner de renseignements certains sur ce qui s'est passé ensuite. Ce n'est donc pas dans la gorge où le barrage est le plus haut que la rupture a commencé, ainsi qu'on pourrait le croire au premier abord.

Le lac s'est vidé probablement dans l'espace de quinze à vingt minutes et la vague a mis une heure tout au plus pour atteindre le Val Camonica, c'est-à-dire pour parcourir une distance de 20 km. environ. Ce n'est pas ici l'endroit de donner une description des dégâts extraordinaires et parfois capricieux. L'état du Val Dezzo a été suffisamment décrit et illustré par d'autres revues. Il y

moins horizontales et non pas le laisser parfaitement lisse avec son inclinaison naturelle vers l'aval comme ce fut le cas. Ce rocher est tellement lisse que le mortier n'a en général pas adhéré, comme on s'en rend compte par la figure 10. On y voit quelques petits lambeaux de mortier collés au rocher, tandis que la plus grande partie de la surface de fondation est parfaitement propre et lisse, non point parce que le béton aurait été lavé au moment de l'accident, (ce qui eût été impossible pendant les quelques minutes qu'a duré l'écoulement), mais parce que l'adhérence était nulle déjà avant la rupture. On remarque même sur la photographie, entre la maçonnerie et le rocher, un espace de quelques millimètres. Ce décollement n'est pas local. On peut donc dire que tout l'ouvrage était particulièrement mal assis sur sa fondation, malgré les quelques crampons qu'on a voulu placer et qui ont été évidemment, vu leur petit nombre, sans effet.

Toute la partie supérieure des piliers et des voûtes a été faite en béton, mais ici aussi il y a des réserves à faire. La figure 12 montre une voûte cisailée à son encastrement dans le pilier et donne une image assez suggestive de la qualité du béton. On trouve ici facilement l'explication de la petite source qui a donné lieu au glaçon de droite. L'eau a naturellement trouvé un chemin très facile à travers ce béton si poreux. On n'a d'ailleurs pas craint dans ces voûtes de béton armé, qui auraient dû être parfaitement étanches, de jeter pêle-mêle de gros

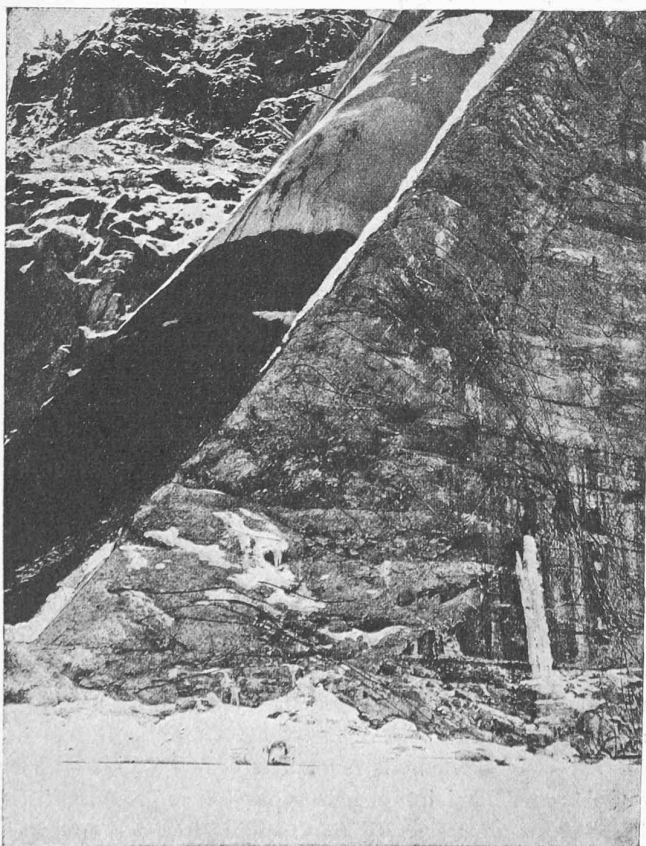


Fig. 12. — Vue du premier pilier, qui subsiste encore, sur la rive gauche. La voûte a été cisailée à son encastrement dans le pilier. Voir les divers joints de bétonnage.

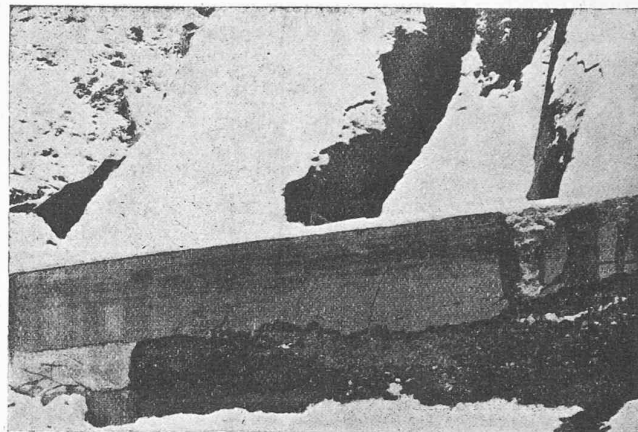


Fig. 13. — Fissure horizontale au pied des voûtes du secteur de droite.

blocs au milieu des fers. Aussi le résultat d'une telle méthode de bétonnage ne s'est pas fait attendre. Les fuites ont été nombreuses et d'après les dires de personnes qui ont vu l'ouvrage avant l'accident l'on aurait à maints endroits lancé un peu de mortier pour aveugler les pertes les plus grosses. Tous les fers ont été débarrassés par l'accident de leur béton, ce qui démontre que l'adhérence n'était pas bien forte. Malgré cela, l'effondrement n'est pas dû aux voûtes, tout le mal est venu des piliers. Ceci prouve une fois de plus quelle grande sécurité une voûte peut offrir.

Les voûtes qui subsistent encore à droite de la brèche présentent à leur base une grosse fissure horizontale indiquant qu'il y a eu un renversement des piliers vers l'aval dû à un écrasement de la fondation. La figure 13 montre cette fissure; les deux voûtes ne sont pas très faciles à reconnaître parce qu'elles sont recouvertes de neige, la couleur noire provient d'un vernis de goudron.

(A suivre).

L'élasticité du béton

par A. DUMAS, chef du Laboratoire d'essais de matériaux de l'Université de Lausanne.

(Suite et fin.)¹

Représentation analytique de la fonction $\varepsilon = f(\sigma)$.

La représentation par une équation de la fonction $f(\sigma)$ est d'un intérêt considérable. Cette représentation analytique est un problème d'ordre mathématique.

Si l'on considère une loi de déformation telle que celle qui est représentée par la fig. 4, on conçoit que l'on puisse sans peine en trouver une expression analytique.

D'habitude, cette représentation est mise sous la forme :

$$\varepsilon = a \cdot \sigma^b \quad (11)$$

où a et b sont des constantes.

Cette forme est adoptée par suite de la grande facilité que présente la détermination des coefficients a et b : Il

¹ Voir Bulletin technique du 1^{er} mars 1924, page 49.