

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 66 (1940)  
**Heft:** 3

**Artikel:** L'évacuateur de crues du barrage d'Ermal, Minho (Portugal)  
**Autor:** Stucky, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-50642>

### **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:** 22.12.2024

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

# BULLETIN TECHNIQUE

## DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

### ABONNEMENTS :

Suisse : 1 an, 12 francs

Etranger : 14 francs

Pour sociétaires :

Suisse : 1 an, 10 francs

Etranger : 12 francs

Prix du numéro :

75 centimes.

Pour les abonnements  
s'adresser à la librairie  
F. Rouge & C<sup>ie</sup>, à Lausanne.

### ANNONCES

Le millimètre sur 1 colonne,  
largeur 47 mm. :

20 centimes.

Rabais pour annonces  
répétées.

Tarif spécial  
pour fractions de pages.

Fermage des annonces :  
Annonces Suisses S. A.  
8, Rue Centrale (Pl. Pépinet)  
Lausanne

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale. —

COMITÉ DE PATRONAGE. — Président: R. NEESER, ingénieur, à Genève; Vice-président: M. IMER, à Genève; secrétaire: J. CALAME, ingénieur, à Genève. Membres: *Fribourg*: MM. L. HERTLING, architecte; A. ROSSIER, ingénieur; *Vaud*: MM. F. CHENAUX, ingénieur; E. ELSKES, ingénieur; EPITAUX, architecte; E. JOST, architecte; A. PARIS, ingénieur; CH. THÉVENAZ, architecte; *Genève*: MM. L. ARCHINARD, ingénieur; E. ODIER, architecte; CH. WEIBEL, architecte; *Neuchâtel*: MM. J. BÉGUIN, architecte; R. GUYE, ingénieur; A. MÉAN, ingénieur cantonal; *Valais*: M. J. DUBUIS, ingénieur, à Sion.

RÉDACTION: D. BONNARD, ingénieur, Case postale Chauderon 475, LAUSANNE.

CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ ANONYME DU BULLETIN TECHNIQUE  
A. STUCKY, ingénieur, président; G. EPITAUX, architecte; M. IMER.

SOMMAIRE: *L'évacuateur de crues du barrage d'Ermal, Minho (Portugal)*, par A. STUCKY, ingénieur-conseil, professeur à l'Université de Lausanne. — NÉCROLOGIE: *Alexandre de Steiger, ingénieur; Georges Mercier, architecte.* — *Société suisse des ingénieurs et des architectes.* — *Société genevoise des ingénieurs et des architectes.* — *Société vaudoise des ingénieurs et des architectes.* — DIVERS: *Chronique de la propriété industrielle.* — BIBLIOGRAPHIE. — SERVICE DE PLACEMENT.

COMMUNICATIONS DU LABORATOIRE  
D'HYDRAULIQUE DE L'ÉCOLE D'INGÉNIEURS  
DE L'UNIVERSITÉ DE LAUSANNE

## L'évacuateur de crues du barrage d'Ermal Minho (Portugal)

par A. STUCKY, ingénieur-conseil, professeur à l'Université  
de Lausanne.

### I. Introduction. — Description générale du barrage.

La *Compagnie électro-hydraulique du Portugal* qui, avec la collaboration de la *Compagnie électrique du Varosa*, alimente en énergie électrique toute la région nord du Portugal et en particulier la ville de Porto, possédait sur le Rio Ave une usine électrique au fil de l'eau comportant un canal d'aménée d'eau à flanc de coteau de 1560 m de longueur et susceptible de produire, sous une chute brute de 70 m, une puissance de 7000 CV. Comme tous les fleuves du Portugal, le Rio Ave présente durant les mois d'été un étiage très prolongé. Le besoin s'est bientôt fait sentir de posséder sur la rivière une réserve d'eau capable de compenser dans une certaine mesure le déficit de l'été. L'emplacement de la prise d'eau de l'usine primitive se prêtait à l'érection d'un barrage-réservoir qui fut construit durant les années 1937 et 1938, et qui est donc en exploitation depuis un an.

Le barrage-réservoir, de 40 mètres de hauteur dans sa section la plus haute, est fondé sur les granites. La rive gauche est constituée par une roche très saine, mais dis-

posée en couches obliques plongeant parallèlement à la surface du terrain vers le lit de la rivière. L'étanchéité de la roche proprement dite pouvait être admise comme tout à fait satisfaisante, tandis qu'on devait craindre certaines pertes entre les dalles, pertes qu'il a d'ailleurs été facile d'éviter par de classiques injections de ciment. Le Rio coule dans un lit de granite où l'on retrouvait encore de superbes marmites; c'est donc dire que le fond du lit ne présentait que peu d'aléas au point de vue de l'étanchéité. La rive droite, au contraire, était formée de granites très fortement décomposés et la topographie générale de cette région laissait craindre certaines difficultés tant en ce qui concerne la résistance des fondations, que l'étanchéité de tout l'épaulement. On pouvait envisager des injections chimiques, mais on a préféré enfoncer le barrage à une profondeur suffisante et le prolonger sous l'aile droite par un écran de béton de 2,50 m d'épaisseur, complété lui-même par un voile d'injections<sup>1</sup>.

Au bas de l'épaulement supérieur de la rive droite, les injections classiques de ciment ont été complétées en quelques points par des injections bitumineuses au Shellperm. Les travaux ont exigé 1250 m de forages dont 406 m au marteau pneumatique et 844 m à la sondeuse rotative au diamant. Le rocher a absorbé 1615 t de ciment en tout.

Le barrage est en eau depuis le début de l'année 1939 et les pertes d'eau par infiltrations dans la roche sont insignifiantes. Les sous-pressions mesurées dans les drains de fondation sont également très faibles. C'est donc dire

<sup>1</sup> Les travaux d'imperméabilisation ont été menés à chef par la société *Sondages, Etanchements, Consolidations, Paris-Lisboa*.

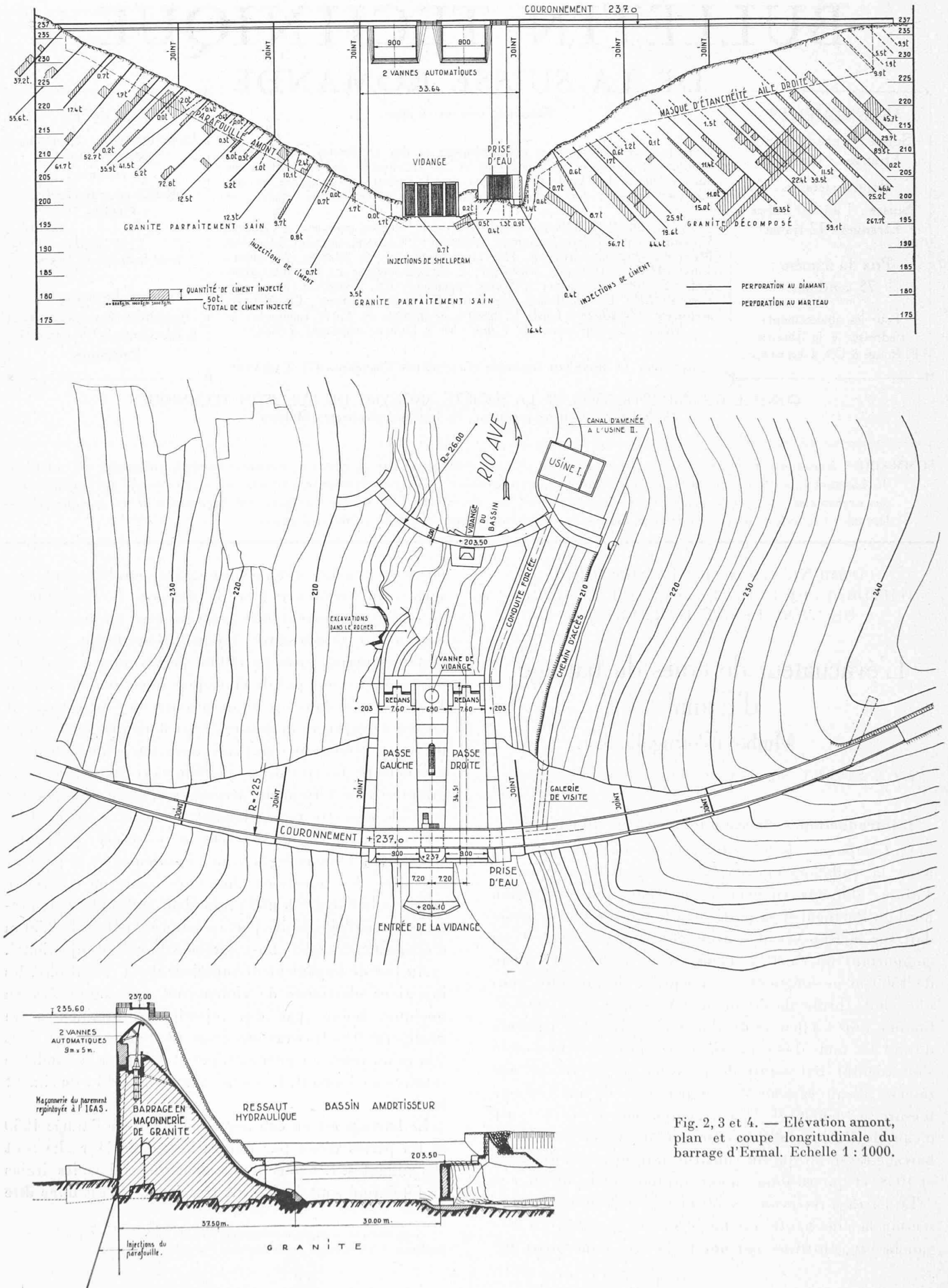


Fig. 2, 3 et 4. — Elévation amont, plan et coupe longitudinale du barrage d'Ermal. Echelle 1 : 1000.

que les mesures prises : injection de ciment et par endroits de Shellperm, réalisation d'un écran de béton dans la zone des granites très décomposés, ont atteint le but recherché.

Le barrage est exécuté en maçonnerie de granite, parce que dans la région du Minho le granite se laisse tailler très facilement, comme chez nous dans le Tessin, et que par conséquent l'on trouve dans la population autochtone de bons maçons, tandis que le ciment est au contraire relativement coûteux. Dans ces conditions particulières de main-d'œuvre et de ravitaillement en matières premières, le barrage en maçonnerie s'imposait malgré les quelques inconvénients que ce type de barrage peut présenter au point de vue purement technique<sup>1</sup>. Le parement amont du barrage a été très soigneusement rejointoyé et tous les joints traités au moyen d'un produit bitumineux, l'*Igas*<sup>2</sup>.

Le barrage est équipé d'une vidange de fond constituée par un tuyau de 1,80 m de diamètre fermé à l'aval par une vanne-papillon et à l'amont par une vanne-batardeau qui peut servir en même temps à la vidange et à la prise d'eau placée également dans le barrage. En temps normal, le batardeau est logé sur l'une des rives, à la hauteur du couronnement du barrage.

L'eau est amenée par un tuyau de 1,80 m de diamètre dans une petite centrale située au pied du barrage, en tête du canal d'aménée d'eau de l'ancienne usine. La chute de cette centrale est en moyenne de 32 m et permet de développer une puissance de 3000 CV<sup>3</sup>.

Un problème particulièrement important à résoudre était celui de l'évacuateur de crues. Le débit à évacuer a été fixé à 450 m<sup>3</sup>/sec. pour tenir compte des crues exceptionnelles très fortes, auxquelles on doit s'attendre dans ce pays. Un évacuateur de crues du type classique logé à l'une des extrémités du barrage ne pouvait pas être envisagé. La rive droite ne s'y prêtait pas à cause de l'état de décomposition des granites et la rive gauche pas davantage à cause des grandes dalles inclinées qu'il aurait fallu entailler en risquant de déclencher des glissements. On résolut donc, vu l'excellente tenue des roches formant le lit de la rivière, d'évacuer les crues par-dessus le barrage, malgré sa hauteur de 40 mètres (fig. 1, 2, 3 et 4; photographie, plan, élévation et coupe du barrage).

Depuis l'achèvement du barrage, la *Compagnie électrohydraulique* a poursuivi la réalisation de ses plans d'aménagement du Rio Ave en mettant en chantier une troisième usine qui sera sans doute suivie d'autres encore.

L'objet de cet article étant plus spécialement l'étude de l'évacuateur de crues, nous n'entrerons pas dans plus de détails au sujet du barrage proprement dit et de l'équipement des usines.

La construction de l'évacuateur comportant deux

passes de 9,00 m de largeur et 5,00 m de hauteur, fermée chacune par une vanne-clapet, sur la description de laquelle nous reviendrons succinctement plus loin, posait plusieurs problèmes qui ont été étudiés minutieusement au *Laboratoire d'hydraulique de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne*.

Il s'agissait tout d'abord de déterminer la forme à donner aux passes, aux avant-becs, ainsi qu'au tablier des vannes proprement dites pour obtenir un coefficient de débit satisfaisant et d'une manière générale, un écoulement convenable. On a étudié également le tablier ainsi que les pressions et les dépressions qu'il aurait à supporter, de manière à pouvoir en dimensionner convenablement tous les éléments. Il fallait en outre déterminer le couple nécessaire à la manœuvre des vannes dans toutes les positions et par conséquent pour tous les débits évacués. Enfin, bien que l'eau retombe sur le sol rocheux très sain, on ne pouvait pas se passer de précautions, étant donné le risque certain de déchaussement des dalles de granite sur la rive gauche dont il a été question plus haut, ou le danger que pouvait courir la canalisation d'aménée de l'eau à l'usine du pied du barrage située sur la rive droite (fig. 3). Sous cette chute importante de 40 mètres, la lame d'eau risquait de glisser sur le sol en écoulement torrentiel avec une vitesse considérable et dangereuse ; il fallait par conséquent ramener la vitesse de l'eau à des valeurs compatibles avec la bonne tenue des ouvrages voisins au moyen d'un bassin amortisseur. La topographie des lieux permettait la construction économique d'un petit barrage-voûte visible sur la photographie de la figure 1 et dont la hauteur devait être fixée par des essais de laboratoire.

Les essais hydrauliques ont été réalisés sur différents modèles et à des échelles différentes suivant le point spécial qui devait y être étudié. Le problème d'ensemble a été dégrossi d'abord sur un petit modèle à l'échelle 1 : 100 et contrôlé ensuite minutieusement sur un gros modèle à l'échelle 1 : 36. La forme des pertuis et des avant-becs,

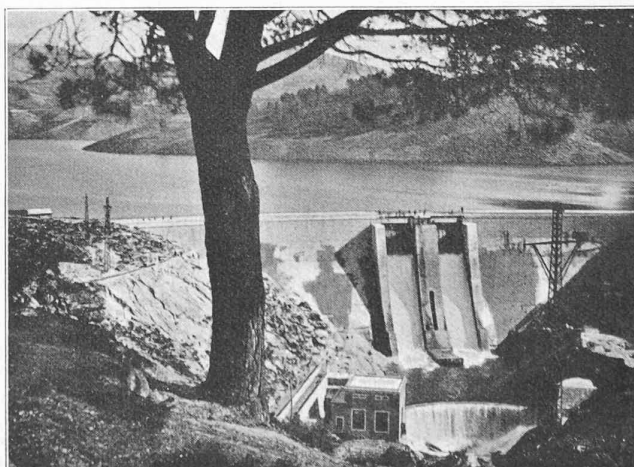


Fig. 1. — Vue générale du Barrage d'Ermal et des ouvrages annexes.

<sup>1</sup> Le barrage proprement dit fut exécuté par l'entreprise *Ramalho de Porto*.

<sup>2</sup> La fourniture et l'application de l'*Igas* furent confiées à la maison *K. Winkler, Altstetten-Zurich*.

<sup>3</sup> Les vannes de prise et de vidange ont été construites par les *Ateliers des Charmilles*, à Genève.

de même que toutes les questions intéressant le tablier de la vanne, ont fait l'objet d'expériences à l'échelle 1:18.

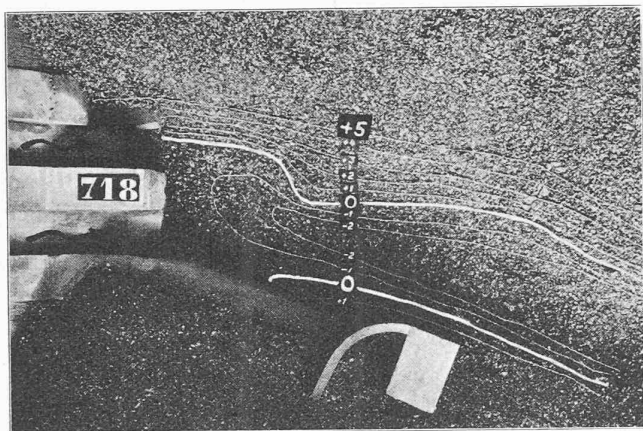


Fig. 5. — Extrémité inférieure de l'évacuateur de crues. Topographie à l'aval de l'ouvrage avant tout écoulement et sans bassin amortisseur.

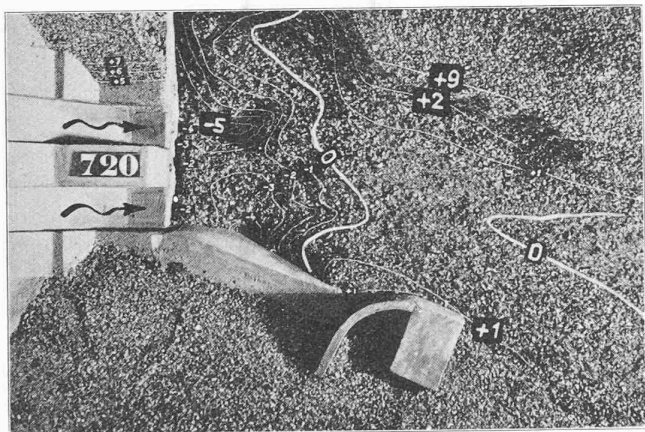


Fig. 6. — Etat des lieux après un écoulement de 110 m<sup>3</sup>/sec pendant 2 h. 30 min.

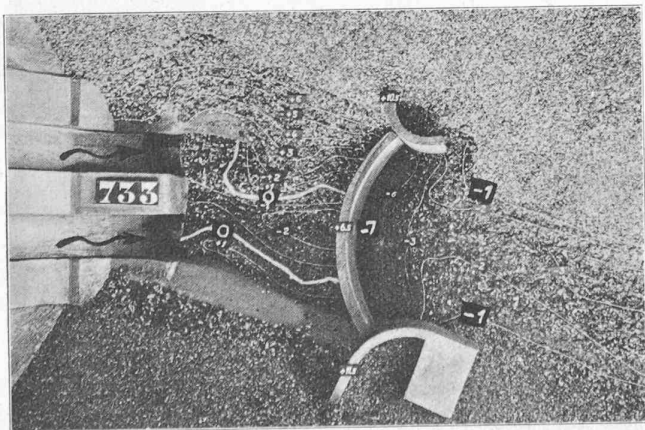


Fig. 7. — Etat des lieux après écoulement de 110 m<sup>3</sup>/sec pendant 2 h. 30 avec divers ouvrages de protection.

## II. Etude de l'ensemble de l'évacuateur des crues. Bassin amortisseur.

### 1. Essais préliminaires à l'échelle 1:100.

Avant de procéder à l'étude de détail des différentes questions mentionnées au chapitre précédent, il a paru opportun de réaliser un petit modèle à l'échelle 1:100 qui devait permettre de se rendre compte dans les grandes lignes de l'écoulement des crues dans le lit de la rivière légèrement désaxé par rapport au barrage. Ces premières expériences ont montré la nécessité de prévoir un barrage secondaire pour éviter que la lame d'eau ne soit relancée sur une des rives d'abord, puis sur l'autre où elle aurait pu compromettre très sérieusement la sécurité du canal d'amenée de la deuxième chute. La topographie du lit de la rivière a été réalisée en matériaux non affouillables pour certaines expériences, puis en matériaux affouillables pour d'autres. Cette série préliminaire d'essais a montré quels étaient les points de la rivière les plus sollicités; elle a permis de se rendre compte des remous dans le bassin amortisseur lui-même. L'essai a montré la nécessité de modifier, par des excavations, la forme du terrain naturel dans le bassin amortisseur si l'on voulait réaliser un épanouissement à peu près symétrique des lames déversantes, en vue d'obtenir le long du couronnement du barrage secondaire un écoulement aussi uniforme que possible.

Ce premier modèle de petites dimensions a montré également l'utilité de réaliser au pied du barrage des redans facilitant l'épanouissement de la lame.

La figure 5 donne l'état topographique du lit de la rivière à l'aval des coursiers de l'évacuateur avant tout écoulement et avant la construction du bassin. La figure 6 donne l'état des lieux après un écoulement sans ouvrage de protection et durant 2 h. 30 d'un débit de 110 m<sup>3</sup>/sec. seulement. On voit que la topographie a été complètement bouleversée.

La construction du barrage-voûte secondaire, d'un mur guideau à la base des coursiers sur la rive gauche, de

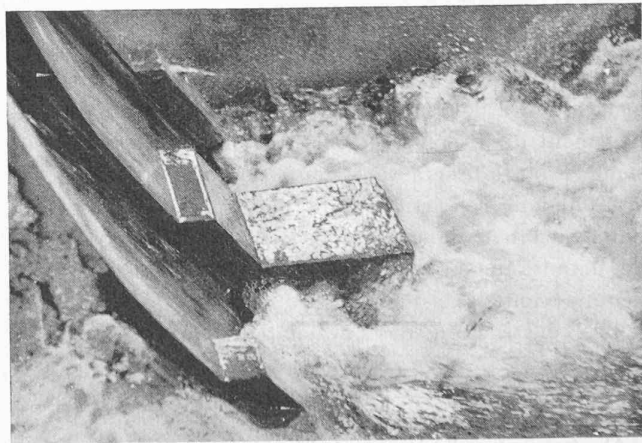


Fig. 12. — Ressaut hydraulique à l'entrée du bassin amortisseur. La vanne papillon de la vidange est logée dans le massif séparant les deux passes.

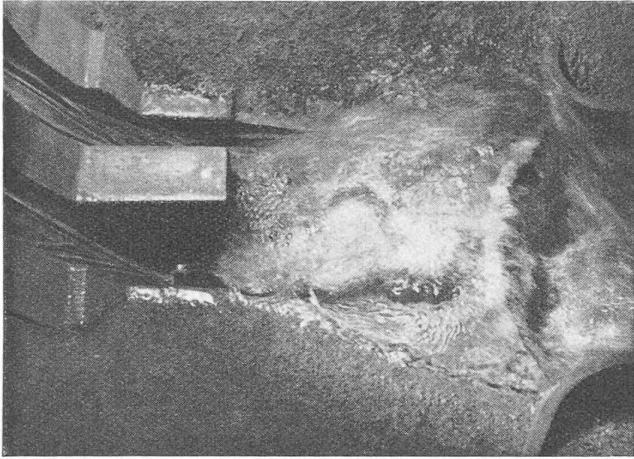


Fig. 8. — Ecoulement de 450 m<sup>3</sup>/sec. Le barrage aval est trop bas, l'écoulement reste torrentiel.

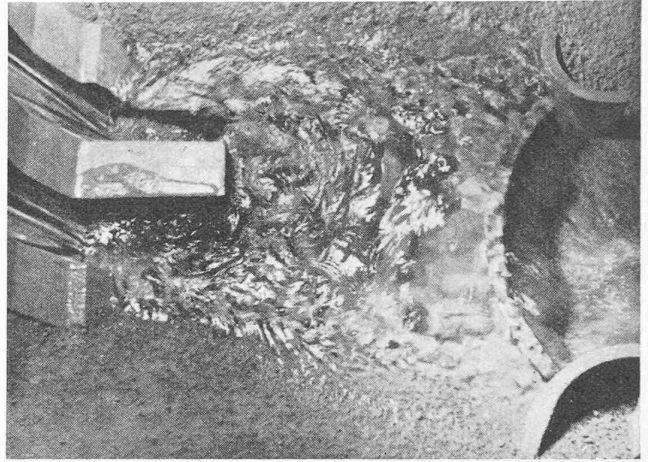


Fig. 9. — Ecoulement de 450 m<sup>3</sup>/sec. Le barrage aval a la hauteur adoptée dans l'exécution. L'écoulement dans le bassin est fluvial.

redans à la partie inférieure des doucines, modifie le phénomène, ce qui apparaît à la figure 7. Dans les mêmes conditions que dans les expériences précédentes, la topographie d'un sol affouillable n'a été que très peu modifiée au pied du barrage après 2 h. 30 d'écoulement.

La hauteur du barrage secondaire joue, cela va sans dire, un rôle important. Le ressaut hydraulique doit se produire au pied même du barrage, sinon l'efficacité des redans et du mur guideau est absolument illusoire. L'influence de la hauteur du barrage-voûte secondaire sur l'efficacité du bassin ressort nettement de la comparaison des figures 8 et 9 choisies parmi les plus typiques.

2. Essais définitifs à l'échelle 1 : 36.

a) Bassin amortisseur. Les essais précédents avaient uniquement pour but de dégrossir le problème, les détails des formes devaient être étudiés à une échelle plus grande. Ces expériences à l'échelle 1 : 36 ont confirmé la nécessité de modifier la topographie naturelle du bassin amortisseur par des travaux d'excavation qui sont indiqués dans

la figure 10. Il s'est confirmé que pour atténuer encore davantage les remous et par conséquent les érosions dans le bassin amortisseur, au pied du barrage, il était indiqué de briser le jet déjà sur le coursier de l'évacuateur à l'aide de redans et de détruire ainsi une partie de l'énergie des veines liquides (fig. 11 et 12).

b) Les dimensions des bajoyers latéraux du déversoir dépendent de la forme des nappes déversantes. Le mo-

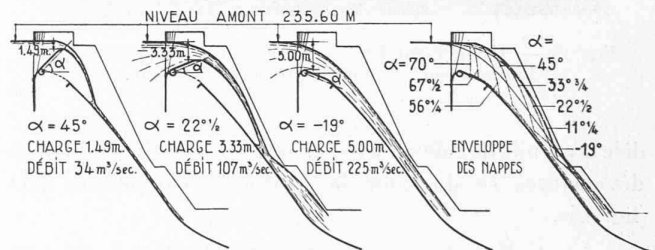


Fig. 14. — Nappes déversantes pour diverses positions de la vanne. L'épaisseur de la nappe dessinée pour -19° est plus forte que l'épaisseur réelle de la veine. On a tenu compte du rejaillement des paquets d'eau.

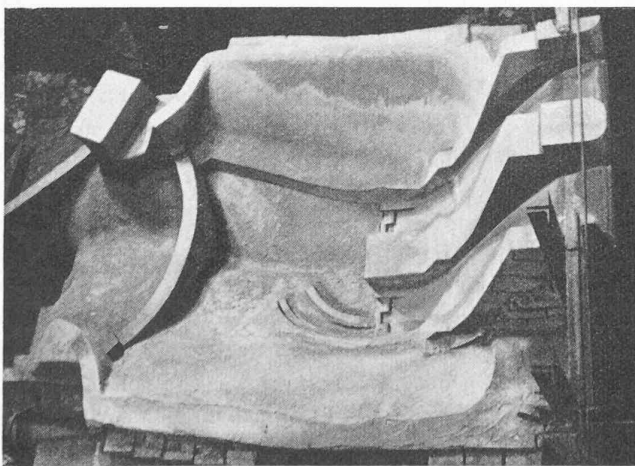


Fig. 10. — Bassin amortisseur avec redans et murs guideaux.

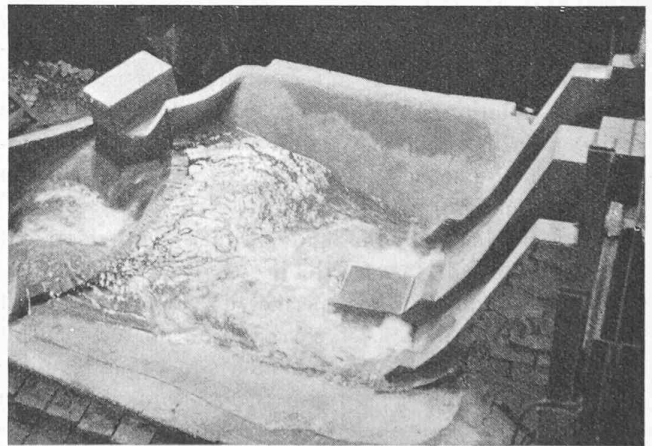


Fig. 11. — Vue générale de l'écoulement dans le bassin amortisseur.

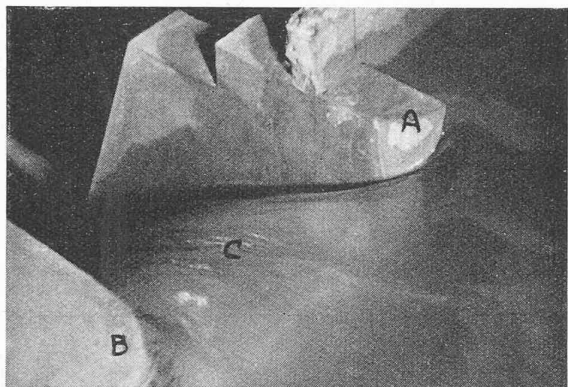


Fig. 15. — Entrée de l'une des passes.  
A et B, avant-becs coniques; C, lame-déversante.

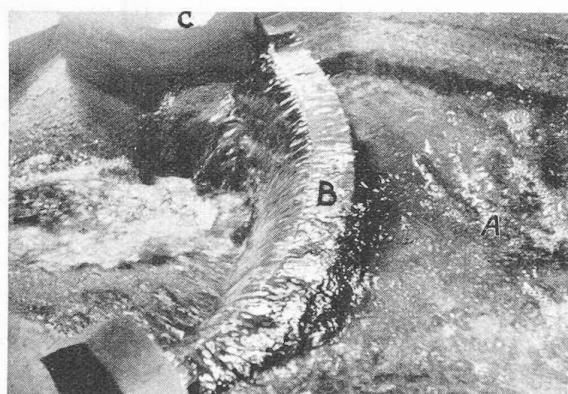


Fig. 13. — Ecoulement à l'aval du bassin amortisseur, sur le barrage-voûte B. On distingue en C l'usine.

dèle a permis de relever avec exactitude les diverses lames déversantes et d'établir la courbe-enveloppe des jets (fig. 14).

c) Le coefficient de débit des pertuis dépend, cela va sans dire, de la forme des tabliers des vannes proprement dits, sujet qui sera traité dans le chapitre suivant, mais aussi dans une très large mesure de la manière dont l'eau est amenée dans les passes. La figure 15 donne une image de l'une des passes de l'évacuateur. De nombreuses mesures de vitesse en grandeur et en direction, le relevé des niveaux d'eau, l'observation de l'allure de l'écoulement dans cette région ont conduit, après examen de diverses solutions, à adopter pour la tête amont des bajoyers la forme donnée à la figure 15 qui, tout en répondant aux exigences constructives, est satisfaisante au point de vue hydraulique.

Il ressort du graphique figure 16 que le remplacement des avant-becs de forme cylindrique par des avant-becs coniques (sommet en bas) permet d'augmenter le débit de 10 % environ tout en garantissant un écoulement moins tumultueux, c'est-à-dire une nappe plus régulière et sans porter aucun préjudice au fonctionnement de la vanne, bien au contraire. Nous verrons par contre sous III, qu'en cherchant à pousser autant que possible le coefficient de débit au moyen des formes du tablier des

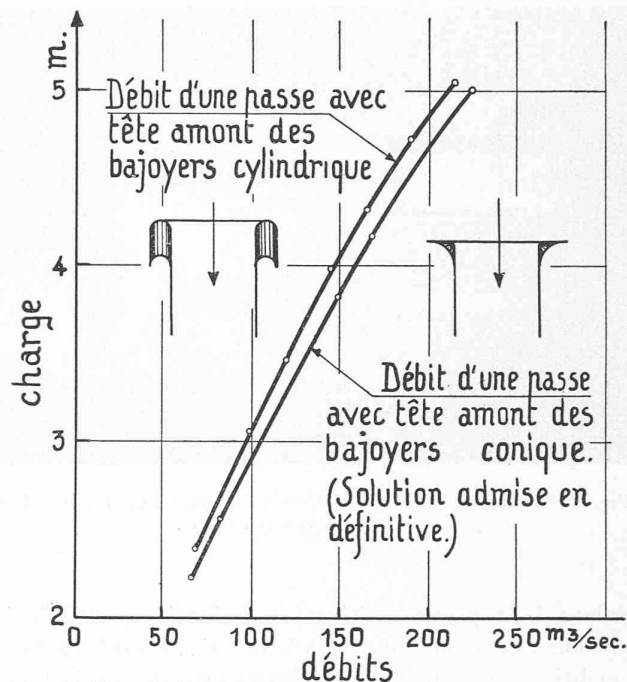


Fig. 16. — Influence de la forme des avant-becs sur le débit des passes.

vannes (dos du déversoir) on risque de se créer d'autres difficultés du fait des dépressions agissant sur la vanne.  
(A suivre.)

## NÉCROLOGIE

### Alexandre de Steiger, ingénieur.

1868 - 1939

L'un des derniers jours de décembre mourait à Berne, après une courte maladie, dans sa soixante-douzième année, *Alexandre de Steiger*, ancien ingénieur en chef à l'Inspectorat fédéral de travaux publics. Ses amis et tous ceux qui eurent le privilège de travailler sous sa direction ou avec sa collaboration ont appris avec tristesse le décès de celui qui prit il y a une année seulement sa retraite après une longue et brillante carrière.

Il avait en terre romande des attaches et des liens d'amitié qui dataient du temps où, après avoir suivi les écoles secondaires de Berne, il était venu faire ses études supérieures à Lausanne où l'École d'ingénieurs de l'Université lui décernait en 1889 le diplôme d'ingénieur constructeur. L'Association amicale des anciens élèves de l'E. I. L. le comptait parmi ses membres les plus dévoués.

Sa carrière d'ingénieur débuta en 1890. Durant deux ans il prit part à la construction de divers ouvrages comme ingénieur d'études ou conducteur de travaux, entre autres à l'entreprise J. Chappuis-de Stockhalper lors de la construction du chemin de fer Viège-Zermatt.

De 1892 à 1898 il occupe la place d'ingénieur cantonal adjoint à Glaris et dirige la construction de la route du Klausen. Il est ainsi d'emblée aux prises avec les forces naturelles, marque une prédilection pour les questions