

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 95 (1969)  
**Heft:** 21

**Artikel:** Modernisation de la vidange de fond du lac de Montsalvens  
**Autor:** Oberlé, Robert / Portier, Roger / Wenger, Marcel  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-70251>

### **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:** 22.02.2026

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

# BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

## ORGANE OFFICIEL

de la Société suisse des ingénieurs et des architectes  
de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes (SVIA)  
de la Section genevoise de la SIA  
de l'Association des anciens élèves de l'EPFL (Ecole polytechnique  
fédérale de Lausanne)  
et des Groupes romands des anciens élèves de l'EPFZ (Ecole poly-  
technique fédérale de Zurich)

## COMITÉ DE PATRONAGE

Président: E. Martin, arch. à Genève  
Vice-président: E. d'Okolski, arch. à Lausanne  
Secrétaire: S. Rieben, ing. à Genève

## Membres:

Fribourg: H. Gicot, ing.; M. Waeber, arch.  
Genève: G. Bovet, ing.; M. Mozer, arch.; J.-C. Ott, ing.  
Neuchâtel: J. Béguin, arch.; M. Chevalier, ing.  
Valais: G. de Kalbermatten, ing.; D. Burgener, arch.  
Vaud: A. Chevalley, ing.; A. Gardel, ing.;  
M. Renaud, ing.; J.-P. Vouga, arch.

## CONSEIL D'ADMINISTRATION

de la Société anonyme du « Bulletin technique »  
Président: D. Bonnard, ing.  
Membres: Ed. Bourquin, ing.; G. Bovet, ing.; M. Bridel; M. Cosan-  
dey, ing.; A. Métraux, ing.; A. Rivoire, arch.; J.-P. Stucky,  
ing.

Adresse: Avenue de la Gare 10, 1000 Lausanne

## RÉDACTION

F. Vermeille, rédacteur en chef; E. Schnitzler, ingénieur, et  
M. Bevilacqua, architecte, rédacteurs  
Rédaction et Editions de la S.A. du « Bulletin technique »  
Tirés à part, renseignements  
Avenue de Cour 27, 1000 Lausanne

## ABONNEMENTS

1 an . . . . .	Suisse	Fr. 46.—	Etranger	Fr. 50.—
Sociétaires . . . . .	»	» 38.—	»	» 46.—
Prix du numéro . . . . .	»	» 2.30	»	» 2.50

Chèques postaux: « Bulletin technique de la Suisse romande »  
N° 10-5775, Lausanne

Adresser toutes communications concernant abonnement, vente au  
numéro, changement d'adresse, expédition, etc., à: Imprimerie  
La Concorde, Terreaux 29, 1000 Lausanne

## ANNONCES

Tarif des annonces:

1/1 page . . . . .	Fr. 495.—
1/2 » . . . . .	» 260.—
1/4 » . . . . .	» 132.—
1/8 » . . . . .	» 68.—

Adresse: Annonces Suisses S.A.

Place Bel-Air 2. Tél. (021) 22 33 26, 1000 Lausanne et succursales



## SOMMAIRE

Modernisation de la vidange de fond du lac de Montsalvens, par Roger Oberlé, ing. civil EPUL, Roger Portier, ing. civil EPUL,  
et Marcel Wenger, ing. méc. SIA.

Bibliographie. — Carnet des concours. — Les congrès.

Documentation générale. — Documentation du bâtiment. — Informations diverses.

## MODERNISATION DE LA VIDANGE DE FOND DU LAC DE MONTSALVENS

par ROBERT OBERLÉ, ing. civil EPUL, ROGER PORTIER, ing. civil EPUL et MARCEL WENGER, ing. méc. SIA,  
ingénieurs à la Société Générale pour l'Industrie, Genève

### I. Préambule

Le Service fédéral des routes et des digues, à qui incombe le contrôle de la sécurité des barrages, s'est inquiété du fait qu'il n'était pas possible de vidanger rapidement le lac de Montsalvens en temps de guerre. Aussi a-t-il demandé aux Entreprises Electriques Fribourgeoises (EEF), propriétaires de l'ouvrage, d'étudier, dans le cadre des mesures de sécurité militaire, la remise en état des installations de vidange du lac.

Par ailleurs, les EEF avaient des problèmes d'exploitation qui ne pouvaient être résolus tant que la mise à sec des ouvrages d'amenée des eaux n'était pas possible. En effet, les vannes de tête — dites de sécurité — de la galerie d'amenée ne pouvaient plus être fermées, ce qui laissait planer un danger évident en cas de rupture d'une conduite forcée. Il fallait donc pouvoir les examiner et les remettre en état. D'autre part, la galerie d'amenée, depuis sa mise en service en 1924, n'avait jamais pu être inspectée tant au point de vue statique qu'au sujet de son degré d'ensablement

et de ses incrustations (pertes de charge); le même problème se posait pour les parois intérieures des deux conduites forcées. Il s'imposait enfin de contrôler l'état des aspirateurs des turbines et de procéder, dans l'usine de Broc, à divers travaux de réfection qui ne pouvaient être effectués que lorsque le système d'amenée était à sec.

### II. Généralités

#### A. Caractéristiques de l'aménagement

Le lac de Montsalvens fait partie de l'aménagement hydro-électrique de la Jogne, affluent fribourgeois de la Sarine, qui est entré en service en 1921 (fig. 1 et 2). Cet aménagement est à chute moyenne. La capacité utile du lac entre sa cote maximum de 800,80 m et sa cote minimum d'exploitation de 775,00 m est d'environ 11 millions de m<sup>3</sup>, alors que sa capacité brute est de 12,65 millions de m<sup>3</sup>. Les eaux de la retenue sont turbinées à l'usine de Broc où elles sont amenées par un tunnel de 1680 m de longueur et de 6,5 m<sup>2</sup> de section, suivi

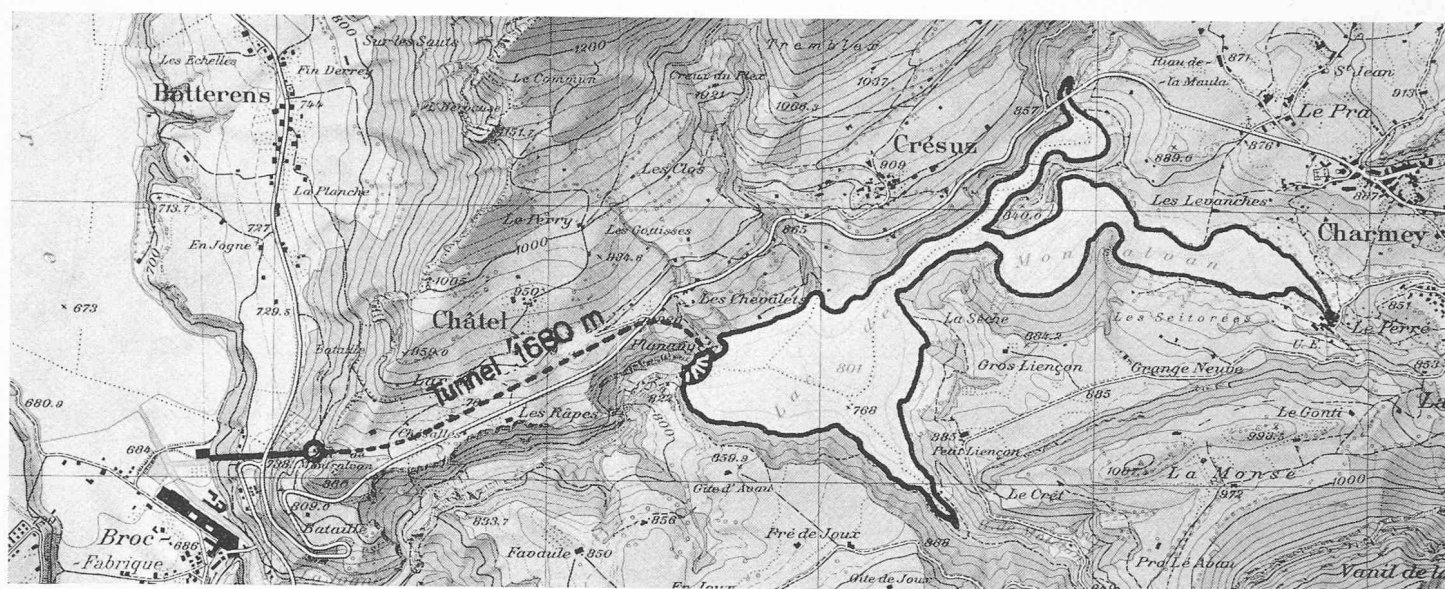


Fig. 1. — Plan de situation de l'aménagement, échelle 1 : 25 000.

Autorisation de la Direction fédérale des mensurations cadastrales du 23.9.69

par deux conduites forcées de 438 m de longueur chacune et de 2,55 m<sup>2</sup> de section. Ces organes d'amenée permettent d'écouler environ 20 m<sup>3</sup>/s. En tête de la galerie et des conduites forcées, les organes d'obturation de sécurité installés sont respectivement du type à glissières et du type papillon. La chute brute utile varie entre 122,30 m à lac plein et 96,50 m à niveau minimum.

La centrale est équipée de cinq groupes, d'une puissance unitaire moyenne de 6000 CV. L'eau turbinée est restituée à la Sarine à la cote 678,50 par l'intermédiaire d'un petit canal de fuite. La production annuelle moyenne est d'environ 56 GWh.

#### B. Etat de la vidange de fond avant sa modernisation

Lorsque les EEF ont chargé la Société Générale pour l'Industrie, ingénieurs-conseils à Genève, de la modernisation de la vidange de fond du barrage de Montsalvens, le premier souci de celle-ci fut de s'informer de la façon dont elle avait été conçue et de déterminer dans quel état elle se trouvait.

Les premières données furent fournies par une publication sur l'aménagement de Broc, parue dans le Bulletin Technique de la Suisse Romande des 24 mars, 21 avril, 19 mai et 16 juin 1928, et qui relatait entre autres : *Le pied du barrage est traversé par une conduite métallique de vidange de 2 m de diamètre, enrobée dans le béton du mur, fermée à l'amont par une vanne système Escher-Wyss commandée au moyen d'un treuil et d'une timonerie depuis le couronnement. Une grille de bois protège l'entrée de cette conduite contre les bois flottants qui auraient pu y pénétrer et s'y coincer* (fig. 3).

Puis nous avons appris par ouï-dire les avatars de cette vanne de fond dont l'étanchéité aurait causé des ennuis en 1921-22 à la suite, vraisemblablement, d'une déchirure lors d'une manœuvre. Les pertes qui en résultèrent ont dû être importantes puisque l'on décida alors son obturation définitive. Pourquoi définitive ? C'est là que les renseignements manquent. Y a-t-il eu blocage de la vanne par un obstacle quelconque ou a-t-elle été immobilisée par une autre cause ?

Confronté avec des pertes d'eau importantes, l'exploitant d'alors a-t-il dû prendre la décision de condamner cette vanne ? On sait que finalement il y eut colmatage des fuites par dépôt de scories et de ciment à l'amont de celle-ci.

Rien ne peut être affirmé de façon péremptoire puisque aucun membre de l'exploitation des années 1920-22 n'a pu être interrogé sur ce qui s'est passé à l'époque. Il reste que depuis 1922 cette vidange de fond ne fut plus utilisée. On a profité plus tard de son existence pour y pratiquer une prise de pression et y adapter un limnigraphe indiquant à l'usine de Broc le niveau du lac. La vanne n'a donc plus fonctionné depuis quarante-six ans.

Grâce aux plans retrouvés dans les archives des EEF, il a été possible d'obtenir un certain nombre de données constructives précieuses sur cette vidange de fond :

1. L'entrée du puits à travers le barrage ne se trouve pas dans l'axe du canyon de la Jogne, mais dans une excavation spéciale sur rive droite. Son seuil se situe à environ 8 m au-dessus du fond du canyon, c'est-à-dire à la cote 758.
2. Les ingénieurs de l'époque ont fait construire une sorte de cage grillagée en bois équarri pour protéger l'entrée du puits, dans le but d'éviter que des troncs d'arbres ne viennent, lors d'une vidange, obturer cette entrée et empêcher une éventuelle fermeture de la vanne (fig. 4).
3. La vanne est du type vantail à galets (quatre de chaque côté). Sa tôle de bordage s'appuie sur des montants IPN 300 et est maintenue par un cadre profilé UP 220 ; à l'aval est disposé un autre cadre en acier UP 220, mais destiné à recevoir l'étanchéité de la vanne. Cette étanchéité est constituée par une tôle mince formant cadre, fixée par un de ses côtés au fer U et supportant à l'autre extrémité, une sorte de cadre mobile en acier ou en bronze qui, par la pression de l'eau sur la tôle mince, s'appuie sur le cadre fixe de la vanne scellée dans le béton du barrage, assurant ainsi



Fig. 2. — Plan de situation du barrage de Montsalvens.

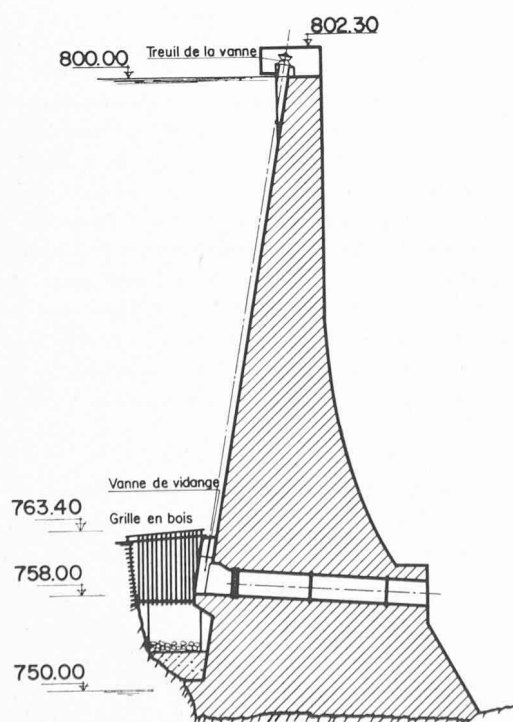


Fig. 3. — Profil du barrage au droit de la vanne de vidange

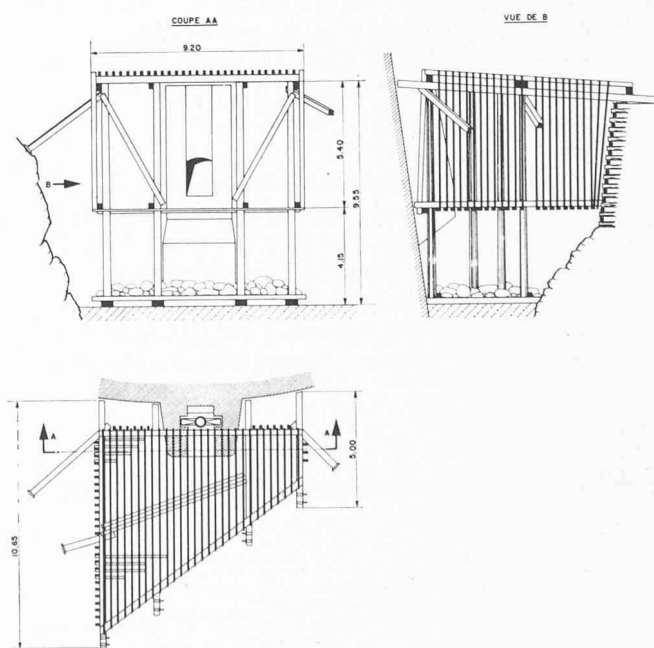


Fig. 4. — Grille en bois devant la vanne de vidange.



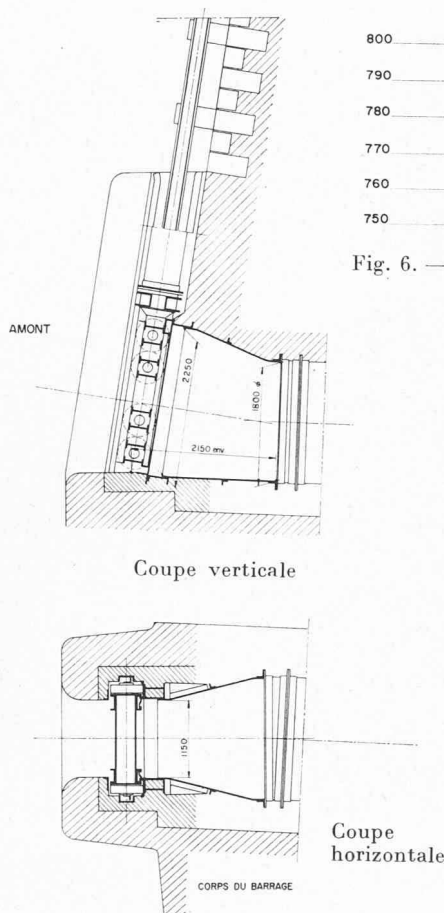


Fig. 5. — Vanne primitive de la vidange de fond.

l'étanchéité du système (fig. 5). La vanne peut être remontée jusqu'au couronnement du barrage par roulement sur une voie scellée dans le parement (fig. 3). La manœuvre se fait au moyen d'un engin à vis sans fin mû par un moteur situé dans un local aménagé dans le couronnement, actionnant une timonerie formée de tuyaux d'un diamètre de 500 mm boulonnés bout à bout par tronçons de 2,25 m.

Le pertuis a une entrée rectangulaire de  $1,15 \times 2,25 = 2,60 \text{ m}^2$ ; depuis le cadre fixe de la vanne, un blindage d'environ 1,80 m de long fait passer la section rectangulaire du pertuis à une section circulaire de 1,80 m de diamètre intérieur. Cette partie du pertuis est également blindée avec des viroles de 10 mm d'épaisseur, reliées

Profil situé à quelques mètres du barrage.

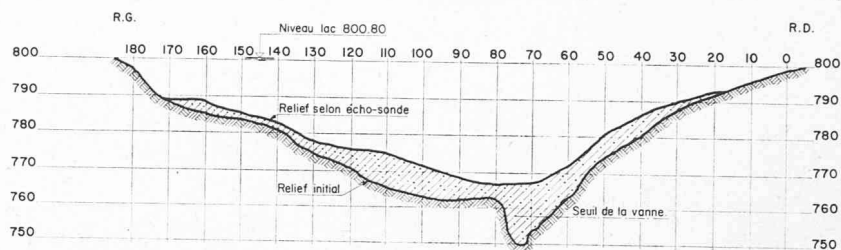


Fig. 6. — Profils établis par échosonde indiquant l'état d'envasement de la retenue.

entre elles par rivetage. La longueur de la partie circulaire est de 16,40 m et la longueur depuis l'ouvrage d'entrée en béton jusqu'à la sortie aval est de 19,40 m (fig. 3 et 5).

Par ailleurs, il importait aussi de connaître l'état d'envasement de la retenue en général et plus particulièrement à l'amont immédiat de la vanne. Pour le déterminer, les EEF ont eu recours à une société spécialisée qui a établi à l'échosonde une série de profils verticaux du lac, et à des hommes-grenouilles dont les observations confirmèrent le tracé de ces profils. On constata ainsi que la vase atteignait la cote approximative de 767 m, c'est-à-dire qu'elle recouvrait complètement la grille en bois dont le faite est à la cote 763,50 et, ipso facto, l'entrée du pertuis dont la cote supérieure est 760,20. Les profils à l'échosonde ont été faits jusqu'à une distance de 110 m à l'amont du barrage et les figures 6 et 7 donnent une idée du degré d'envasement de la retenue après quarante-six ans d'exploitation sans vidange.

### III. Étude de la remise en état des installations de vidange

#### A. Choix de la solution

Les caractéristiques de la vidange existante, le degré d'envasement du lac et les conditions spéciales de l'appui du barrage sur rive gauche commandaient de trouver une solution telle que le jet de la lame d'eau de la vidange, qui jaillit à une vitesse de 20 à 25 m/s, ne puisse en aucun cas provoquer une érosion de la base du rocher et risquer d'affaiblir les appuis de la voûte du barrage. Il fallait donc, au moyen d'un ouvrage adéquat, amener le jet suffisamment à l'aval pour que ce critère soit respecté. On pouvait choisir soit un canal à ciel ouvert, soit une conduite en charge. Pour des raisons économiques, la première solution a été retenue d'autant plus que son fonctionnement hydraulique est meilleur.

Profil situé à une centaine de mètres du barrage.

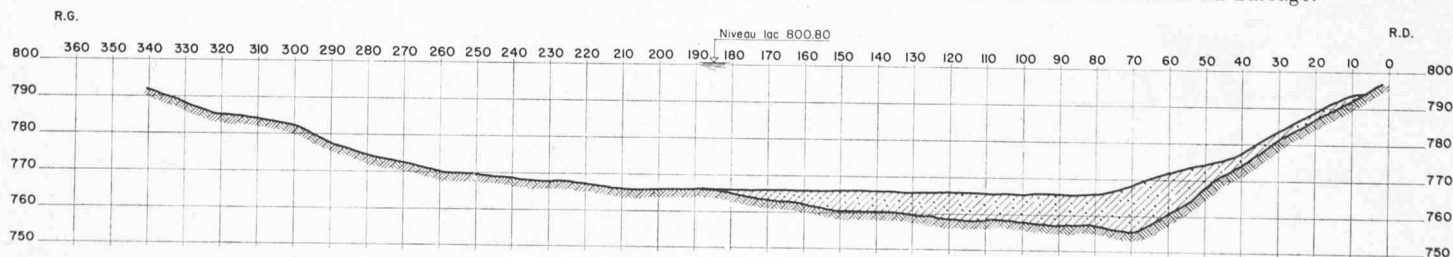


Fig. 7. — Profils établis par échosonde indiquant l'état d'envasement de la retenue.

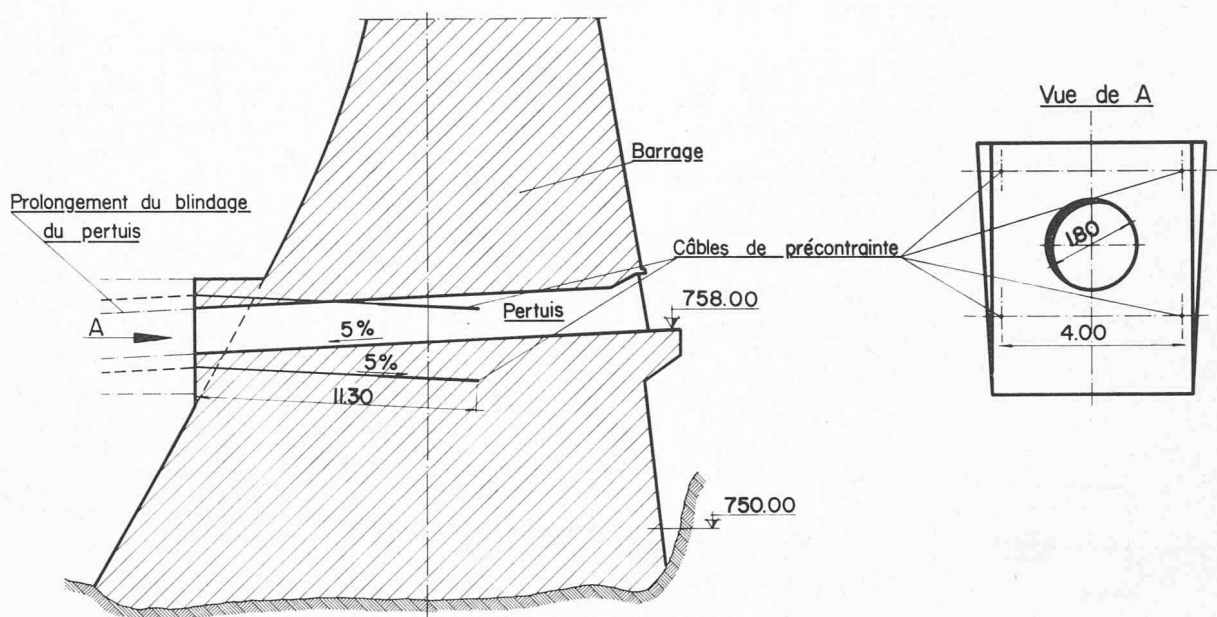


Fig. 8. — Ancrages précontraints du canal de vidange.

Restait la traversée du barrage, opération beaucoup plus délicate. En effet, vu que la vanne primitive avait été étanchée au moyen de scories et de ciment, pouvions-nous avoir la certitude de la dégager suffisamment en draguant la vase accumulée à l'amont et utiliser le pertuis existant ? Devions-nous, au contraire, prévoir le forage d'un nouveau pertuis au-dessus du pertuis existant, avec tous les aléas qu'une telle opération comporte, sans compter le coût prohibitif d'un travail à effectuer à l'abri d'un caisson accolé à la face amont du barrage ? Nous étions favorables à la première solution, mais avant de prendre une décision, nous avons fait faire, en accord avec les EEF, deux sondages à l'amont du barrage, de part et d'autre de la vanne de fond. Ceux-ci ont démontré que les matériaux déposés devant celle-ci étaient en général de consistance molle avec, bien sûr, la présence de quelques débris de bois provenant de la grille du pertuis. Forts de ces renseignements, la solution adoptée consistait à réutiliser le pertuis d'origine. Les travaux de réfection ont comporté également le renforcement du blindage existant par une série d'anneaux en acier soudés à l'intrados de celui-ci.

Une question nous préoccupait pour la jonction des nouveaux ouvrages aux anciens : c'était la qualité du béton du barrage. Or les EEF avaient fait effectuer une série de sondages verticaux à partir du couronnement du barrage pour vérifier le degré de sécurité que présentait l'ouvrage, après quarante-six ans d'existence. Les essais de compression sur des prélèvements de 150 mm ont donné des résultats variant entre 300 et 600 kg/cm<sup>2</sup>. Nous étions donc assurés que la jonction se ferait dans de bonnes conditions.

En conclusion, la solution choisie a été la suivante : réutilisation du pertuis existant de 1,80 m de diamètre avec renforcement du blindage, prolongement du pertuis vers l'aval par un blindage avec coude, de façon que le nouvel organe d'obturation, une vanne-secteur en l'occurrence, soit placé en tête d'un canal rectiligne

en béton armé. En ce qui concerne la vanne de garde de la vanne-secteur, nous avions le choix entre la vanne primitive remise en état ou une nouvelle vanne-vantail à glissières immédiatement à l'amont de la vanne-secteur. Vu notre ignorance de l'état de la vanne d'origine, nous avons préféré installer une nouvelle vanne de garde, ce qui permettait en outre de conserver éventuellement — selon son état — l'ancienne vanne comme batardeau pour la visite du pertuis situé entre l'ancienne et la nouvelle vanne.

A lac plein, c'est-à-dire avec une charge de 42,80 m, et compte tenu d'un coefficient de contraction de 0,8, la nouvelle vanne peut débiter environ 55 à 57 m<sup>3</sup>/s avec des vitesses voisines de 28 m/s.

#### B. Ouvrages de génie civil

Le prolongement du blindage du pertuis a un diamètre de 1,80 m, une longueur de 9,75 m et comporte un coude de 176 grades d'ouverture. L'ensemble blindage-vannes est enrobé dans un massif de béton armé fondé sur le rocher à la cote 750. Ce massif, d'un volume d'environ 320 m<sup>3</sup>, enrobe le socle primitif à la sortie du pertuis ; son poids propre, compte tenu du frottement sur les côtés et le fond du canyon, eût suffi pour résister à la poussée de l'eau sur la vanne, mais, par mesure de précaution, quatre câbles de précontrainte ont cependant été prévus pour relier le massif à la masse du barrage. Ces câbles, de 60 t chacun, ont leur tête d'ancrage à 10 m à l'intérieur du barrage et leur tête de serrage se trouve à l'aval du coude du blindage dans un joint de reprise de bétonnage (fig. 8 et 9).

La jonction entre les deux vannes et le complexe blindage-ancrage se fait en premier lieu par le blindage de raccordement, puis par les armatures du béton d'enrobage et, en fin de compte, par une liaison par câbles de précontrainte entre la poutrelle d'appui de la vanne-secteur et le blindage amont (fig. 13).

A l'aval de l'ensemble blindage-vannes, l'écoulement est à veine libre dans un canal en forme de U,

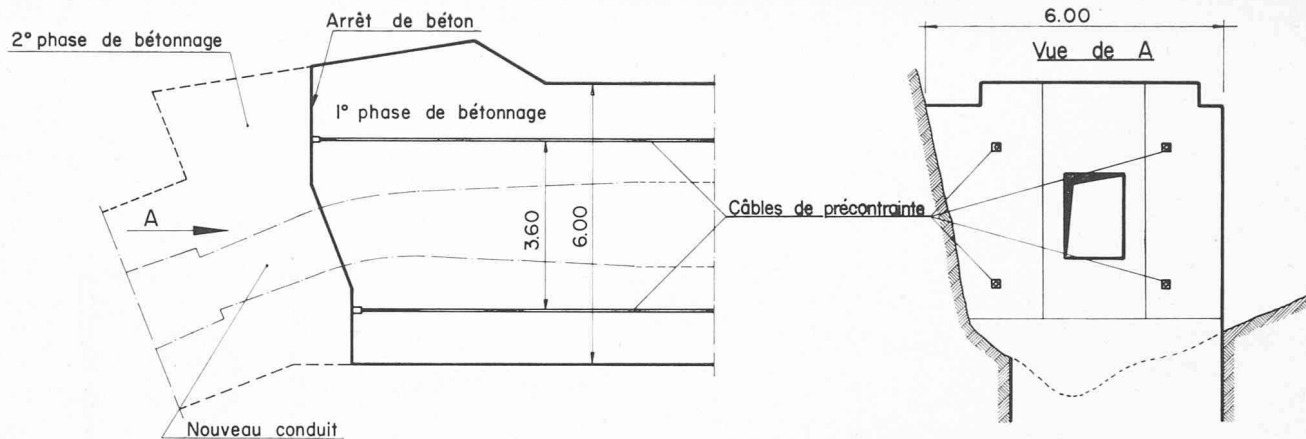


Fig. 10. — Profil en long du canal de vidange.

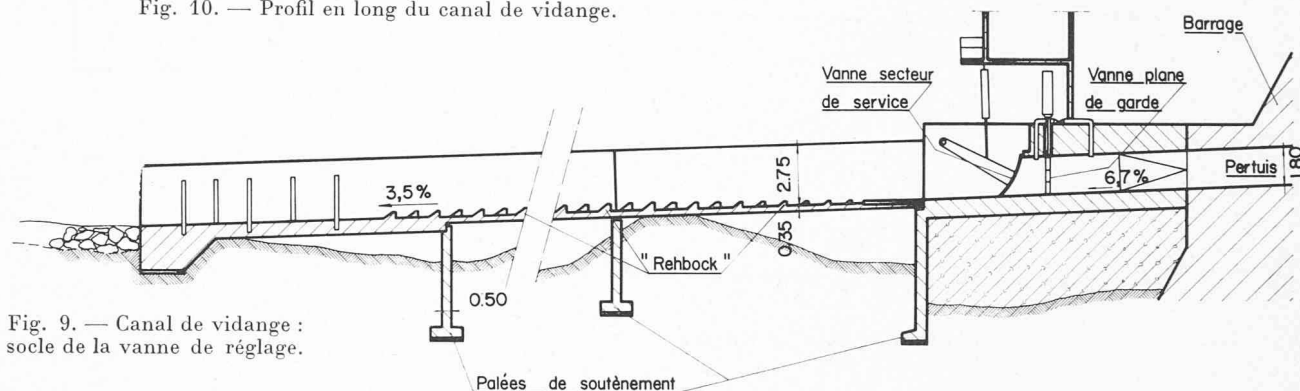


Fig. 9. — Canal de vidange : socle de la vanne de réglage.

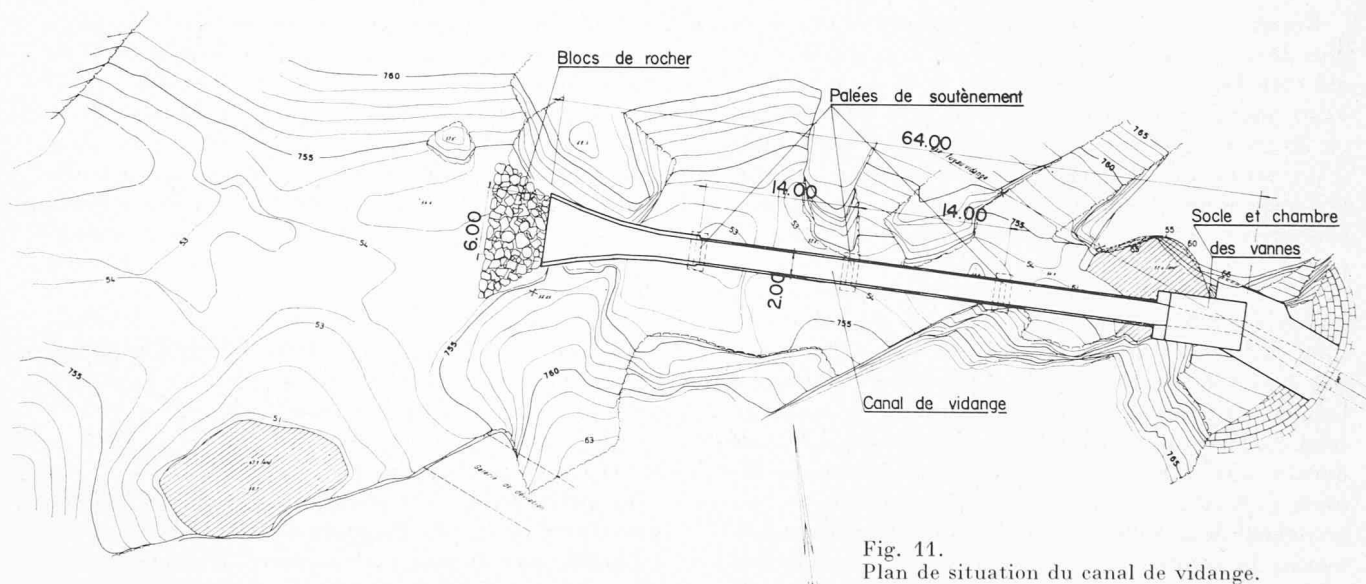


Fig. 11. Plan de situation du canal de vidange.

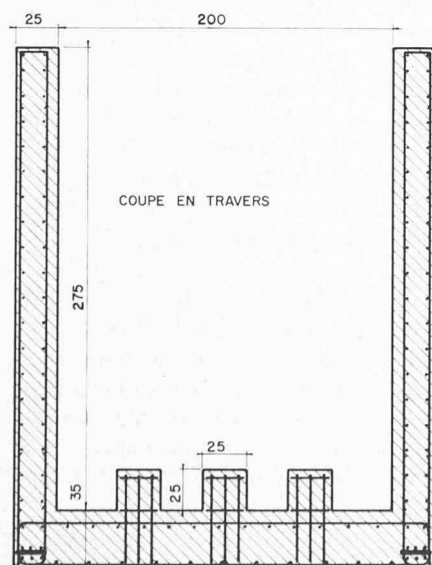
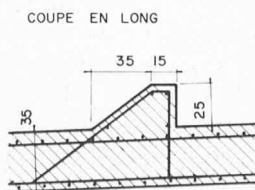


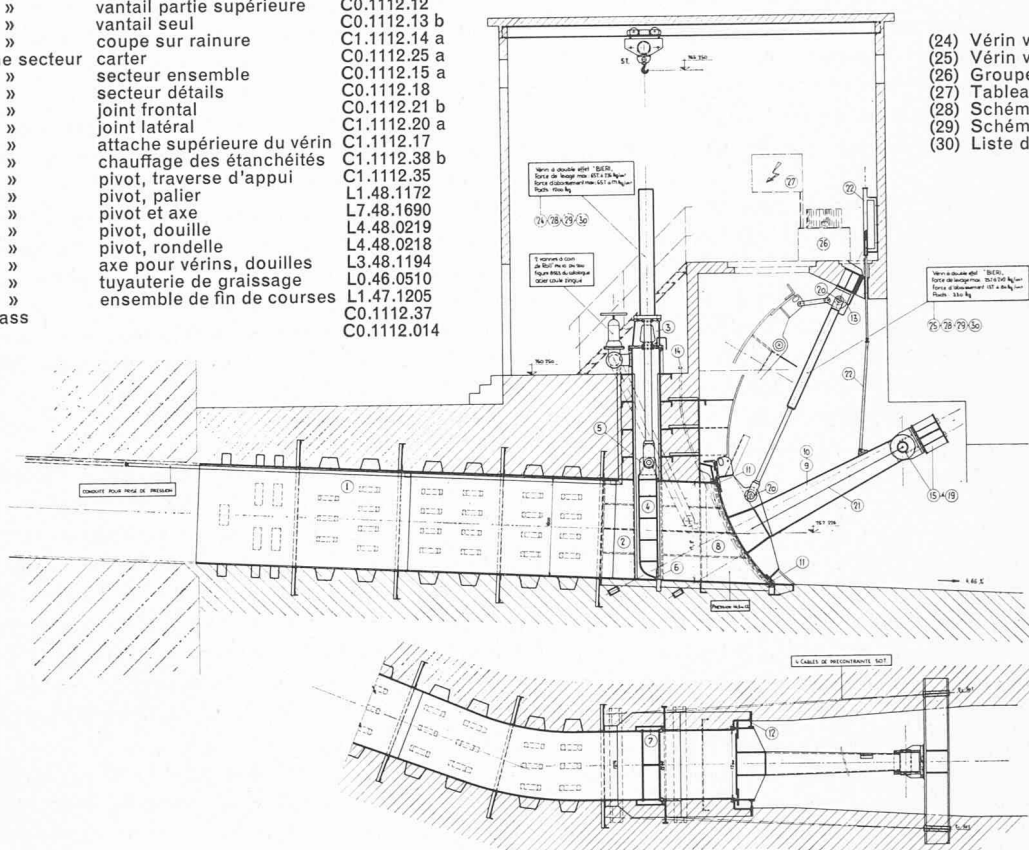
Fig. 12. Ouvrages de destruction d'énergie « rehbocks ».



d'une longueur de 56 m et de 3,5 % de pente. C'est en fait un aqueduc en béton armé de quatre travées de 14 m, reposant, par l'intermédiaire d'appuis en néoprène fretté, sur des palées en béton armé fondées sur le rocher (fig. 10 et 11).

De section rectangulaire, le canal a une hauteur constante de 2,75 m, une largeur de 2,00 m avec à son extrémité aval un élargissement progressif jusqu'à 6 m, dans le but d'étaler la lame d'eau lorsque celle-ci débouche dans le lit naturel de la Jagne. Pour freiner la vitesse de l'eau à la sortie de la vanne (26 à 28 m/s à lac plein); des ouvrages de destruction d'énergie, dits « rehbocks », ont été disposés dans le fond du canal, sur son tronçon rectiligne, et l'élargissement d'extrémité a été pourvu

- Légende :**
- |   |              |
|---|--------------|
| (1) Conduit du blindage existant aux carters des vannes | C9.1112.05   |
| (2) Vanne plane   | C0.1112.26 b |
| (3) »   | C0.1112.10 a |
| (4) »   | C0.1112.11 a |
| (5) »   | C0.1112.12   |
| (6) »   | C0.1112.13 b |
| (7) »   | C1.1112.14 a |
| (8) Vanne secteur                                       | C0.1112.25 a |
| (9) »   | C0.1112.15 a |
| (10) »  | C0.1112.18   |
| (11) »  | C0.1112.21 b |
| (12) »  | C1.1112.20 a |
| (13) »  | C1.1112.17   |
| (14) »  | C1.1112.38 b |
| (15) »  | C1.1112.35   |
| (16) »  | L1.48.1172   |
| (17) »  | L7.48.1690   |
| (18) »  | L4.48.0219   |
| (19) »  | L4.48.0218   |
| (20) »  | L3.48.1194   |
| (21) »  | L0.46.0510   |
| (22) »  | L1.47.1205   |
| (23) By-pass  | C0.1112.37   |
|   | C0.1112.014  |



- Légende :**
- |                          |                  |
|--------------------------|------------------|
| (24) Vérin vanne plane   | 11854 a) HPS 127 |
| (25) Vérin vanne secteur | 11853 a) HPS 127 |
| (26) Groupe de pompage   | 12099 a) HPS 127 |
| (27) Tableau commande    | 12100 HPS 127    |
| (28) Schéma hydraulique  | 11855 c) HS      |
| (29) Schéma électrique   | 12266 c) ES      |
| (30) Liste de matériel   | ML 12266 c)      |

pages 1, 2, 3

Fig. 13. — Nouvelles vannes de vidange.

de trous pour y placer en quinconce des rails en fer DIN (fig. 12). Le passage du canal en béton au lit naturel de la rivière a été aménagé par calage de gros blocs de rocher pris sur place et placés immédiatement à l'aval du parafouille de l'élargissement d'extrémité. Ce parafouille, largement dimensionné, est ancré dans la roche en place à plus de 2,50 m au-dessous du radier du canal.

### C. Equipement hydromécanique

Ainsi que nous l'avons expliqué ci-dessus, le rétablissement d'une vidange du lac de Montsalvens nous a amenés à remplacer la vanne existante (vanne plane d'origine) par des installations nouvelles à l'aval du barrage, dans le prolongement du conduit existant qui traverse celui-ci.

Notre choix s'est porté sur une vanne-secteur comme vanne de service, qui a l'avantage à pleine ouverture d'offrir une section d'écoulement entièrement libre et de permettre la disposition des sièges et des joints d'étanchéité hors du profil du canal. Par ailleurs, une vanne de garde plane à glissières rend possible l'entretien et le contrôle de la vanne-secteur de service (fig. 13 et 14). Ces vannes ont été conçues et exécutées par les Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey.

#### a) Vanne de service

Le secteur comprend une tôle de bordage de 30 mm d'épaisseur fortement nervurée horizontalement et ver-

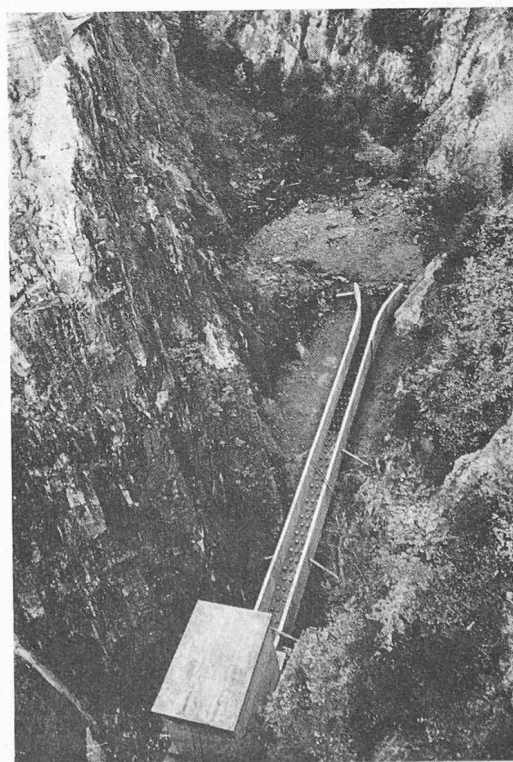


Fig. 14. — Vue générale du nouvel ouvrage de vidange, avant la première ouverture des vannes.



ticalement, un bras de commande et d'appui en forme de caisson muni d'une attache pour le vérin de commande et, à son extrémité aval, un palier dont l'axe est solidaire d'une poutre d'appui très robuste pour résister à la poussée hydraulique sur le secteur. Cette poussée est reportée sur le blindage du conduit par câbles de précontrainte logés dans des gaines complètement noyées dans le massif de béton qui entoure le blindage des vannes, blindage soudé au conduit existant dans le barrage.

L'étanchéité de la vanne-secteur est réalisée pour les côtés latéraux et supérieur par une garniture en caoutchouc du type caisson, tandis que l'étanchéité du seuil est assurée par un joint en caoutchouc plat avec plaque d'appui et bride. Le blindage de la vanne porte, au droit des joints d'étanchéité, des sièges en acier inoxydable. Le blindage est encore muni de chemins de guidage en acier inoxydable pour les guidages latéraux du clapet, guidages dont les surfaces d'appui sont recouvertes de bronze.

La commande du secteur est assurée par un vérin à pression d'huile articulé à l'une de ses extrémités sur le bras de commande à clapet, tandis que l'autre extrémité est articulée sur une poutre scellée dans le massif de béton qui entoure les vannes. Le couple hydraulique d'une vanne-secteur est très faible, les efforts à vaincre pour la manœuvre résultant surtout du frottement des joints, si bien qu'un vérin d'une force de levage de 25 t obtenue avec une pression d'huile de  $243 \text{ kg/cm}^2$  et d'une force d'abaissement de 13 t correspondant à une pression d'huile de  $84 \text{ kg/m}^2$  suffit.

La manœuvre normale de la vanne-secteur a lieu en eaux vives. Pour éviter la formation de glace sur les joints, les appuis d'étanchéité latéraux et supérieur ainsi que le seuil sont chauffés électriquement par des corps de chauffe logés dans des gaines remplies d'huile, gaines soudées sur la surface extérieure du blindage. En plus des vidanges, la vanne-secteur doit permettre d'évacuer les crues annuelles.

Bien qu'il s'agisse d'une vanne non asservie à son dispositif de commande, l'absence de couple hydraulique important permet, grâce à une bonne étanchéité du vérin et de sa commande, de maintenir le secteur ouvert partiellement. L'expérience montrera pendant combien de temps une telle ouverture partielle peut être maintenue. Il est admis par avance qu'au-delà de la tolérance définie ci-dessus une intervention manuelle sera nécessaire pour rétablir l'ouverture partielle considérée.

#### b) Vanne de garde

Il s'agit d'une vanne plate du type à glissières d'une hauteur libre de 1,80 m, d'une largeur libre de 1,25 m, construite pour résister au seuil à la pression d'une colonne d'eau de 44,50 m. Le cadre d'appui de la vanne, y compris le seuil, est blindé par des plaques d'acier inoxydables usinées, tandis que le vantail est pourvu d'une garniture de bronze également usinée.

La vanne est logée à l'intérieur d'un caisson étanche, fermé par un couvercle sur lequel est monté un vérin de commande à pression d'huile. A l'intérieur du cylindre du vérin se déplace un piston différentiel exerçant un effort de levage de 65 t avec une pression d'huile de

$236 \text{ kg/cm}^2$ . L'effort d'abaissement, de 65 t également, est obtenu avec une pression de  $171 \text{ kg/cm}^2$ . En position fermée, lorsque la pression d'huile a disparu, le piston est maintenu par un dispositif de blocage adéquat. Par ailleurs, et pour permettre le démontage éventuel du vérin, un dispositif approprié peut maintenir le vantail en position ouverte.

Normalement, la vanne de garde est manœuvrée lorsque l'espace compris entre ladite vanne de garde et la vanne de service est équilibré par un by-pass de  $\varnothing 200 \text{ mm}$  muni d'une vanne à glissières commandée à main. Cependant, en cas de nécessité, la vanne peut être manœuvrée en eaux vives sous la pression du lac à sa cote maximum.

Lors des premiers essais, la manœuvre en eaux vives a été effectuée avec un plan d'eau à la cote 790 enviro (cote du lac plein : 800).

#### c) Dispositif de commande

Le bloc de commande installé dans la chambre des vannes comprend un réservoir d'huile formant caisson. Dans ce caisson se trouvent, en plus de deux pompes à huile à haute pression, l'ensemble des soupapes de commande, y compris une pompe de secours à main. Un tableau mural placé au-dessus du caisson contient les lampes de signalisation et les boutons de commande des pompes et des vannes. Les deux vannes sont munies d'indicateurs mécaniques de position et d'interrupteurs de fin de course.

La vanne de garde peut être, soit complètement ouverte (position normale de service), soit complètement fermée ; les deux positions sont signalées à distance à l'usine de Broc.

Afin d'assurer une fermeture étanche, le caisson abrite en outre un accumulateur à membrane destiné à maintenir sous pression (en position de fermeture) le servo-moteur du vérin. Cet accumulateur est remis automatiquement sous pression par l'une ou l'autre des pompes à piston lorsque sa pression tombe au-dessous de  $26 \text{ kg/cm}^2$ .

### IV. Décollement de la vanne primitive et vidange du lac

#### A. Décollement de la vanne primitive

Avant d'entreprendre la délicate opération de lever la vanne de fond primitive par ses propres organes de manœuvre, des travaux de dragage furent effectués pour enlever si possible la vase accumulée devant ladite vanne. Pour permettre ces travaux, le lac fut abaissé à sa cote minimum (775 m) par turbinage à l'usine de Broc. Puis, à l'aide d'une benne preneuse montée sur ponton et d'une pompe de désagrégation, une bonne partie de la vase accumulée devant le pertuis put être évacuée, ainsi que le bois de sa grille de protection.

Les travaux de dragage étant accomplis et la vanne étant ainsi complètement dégagée, nous avons vérifié le fonctionnement du treuil à vis de commande. Cependant, il subsistait un doute sur l'effort nécessaire pour décoller la vanne de son siège, sur lequel elle s'appuyait depuis quarante-six ans. Pour mettre les chances de notre côté, nous avons décidé de la soumettre à une poussée de l'aval vers l'amont plus forte que la poussée amont-aval résultant de la retenue du barrage. A cet

effet, un réservoir d'eau d'environ  $4 \text{ m}^3$  a été installé sur le couronnement du barrage, relié au conduit existant entre les nouvelles vannes et l'ancienne. Ce conduit fut alors soumis à une pression supérieure à celle correspondant au niveau maximum du lac.

La surface de l'ancienne vanne étant d'environ  $2,6 \text{ m}^2$ , une différence de pression de 10 m entre le conduit et le lac correspondait à une poussée de 26 t de l'aval vers l'amont. En fait, il a suffi d'une surpression d'environ 5 m, donc d'une poussée d'environ 13 t, pour décoller la vanne de son siège. Simultanément, le treuil a été actionné et l'ancienne vanne a été levée de 2,15 m sans difficultés particulières, dégageant ainsi presque complètement la conduite de vidange du barrage.

#### B. Vidange du lac

Lorsque la vanne primitive eut été levée, on ouvrit progressivement à l'aval la nouvelle vanne-secteur ; une sorte de crème couleur chocolat s'écoula tout d'abord pendant quelques minutes, puis petit à petit un liquide noir et, enfin, de l'eau normale. Le niveau du lac, à ce moment-là, était à environ 12 m au-dessous de sa cote maximum.

Nous avons alors procédé aux essais des nouvelles vannes ; ils furent concluants. L'étanchéité de la vanne-secteur était totale, par contre celle de la vanne à glissières présentait dans les angles de petites fuites, admissibles cependant. Les essais se poursuivirent pendant plus de deux heures, ce qui permit d'examiner comment se comportait le canal de vidange. A vrai dire, à part quelques arêtes de « rehbocks » écornées par les pierres entraînées dans le courant, les installations paraissaient en état de supporter n'importe quel débit de la vidange de fond.

Aussi fut-ce sans crainte que l'on ouvrit largement la vanne-secteur pour vider la retenue. L'opération se déroula fort bien et après une trentaine d'heures, le lac était vide et le passage à travers le pertuis de vidange se faisait à écoulement libre (fig. 15). Les eaux sortant du pertuis étaient fort chargées de matériaux arrachés au fond du lac. Après quarante-huit heures de ce régime, la vanne fut fermée, afin de reconnaître l'état du canal et de ses « rehbocks ». Alors que nous n'escomptions que l'entraînement de limon et de vase sous l'effet de l'écoulement à veine libre, nous avons été surpris de constater que nombre de pierres jusqu'à 40 cm de diamètre, ainsi que du gravier de toutes dimensions, avaient été emportés. Inutile de dire que les « rehbocks », destinés à freiner l'eau et non pas les matériaux solides, avaient été sérieusement endommagés, leur géométrie transformée en pain de sucre, les fers d'armature mis à nu, le fond du canal érodé de plusieurs centimètres en divers endroits. Il en était de même de quelques tronçons des parois du canal, sur leur partie inférieure surtout.

Devant l'ampleur des dégradations, il fut convenu avec l'exploitant de laisser remonter le lac jusqu'à moins de 2 m du seuil de la prise d'eau (769 m), puis de maintenir ce niveau constant en ouvrant partiellement la vanne de réglage, afin d'éviter ainsi un entraînement massif de matériaux en écoulement libre. Après huit jours de ce régime, on constata que les dégâts avaient augmenté moins rapidement (fig. 16 et 17).

Au cours de cette expérience, l'importance des

apports de matériaux solides en écoulement libre nous a surpris. De plus, on s'est aperçu que les « rehbocks » accélèrent les dégradations par érosion et par cavitation du béton au fond du canal et sur les parois.

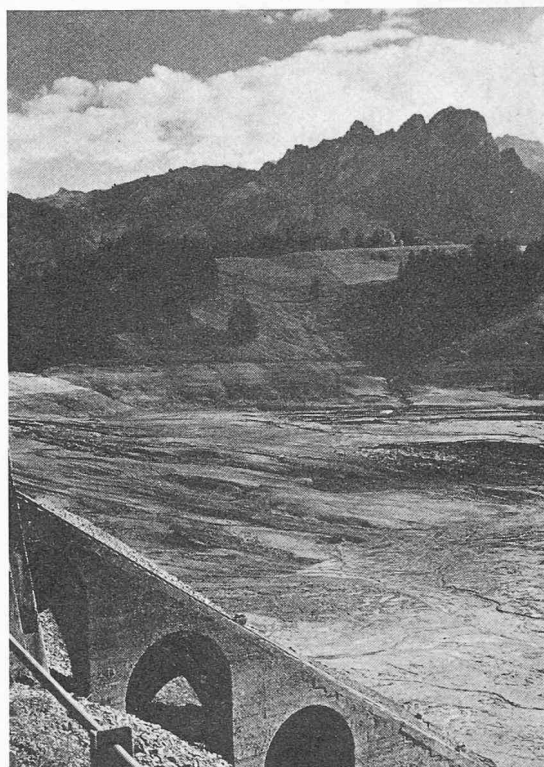


Fig. 15. — Etat de la retenue après la vidange.

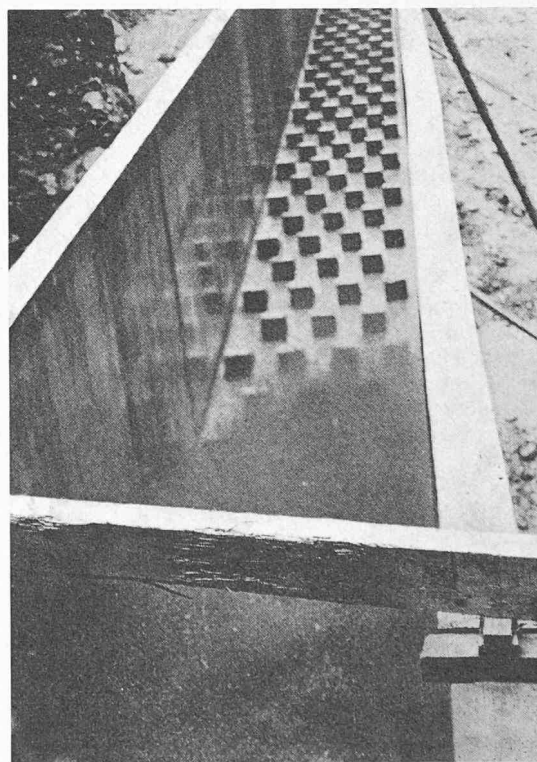


Fig. 16. — Première ouverture de vanne : arrivée de la lame d'eau sur les premiers « rehbocks » (7 octobre 1968).

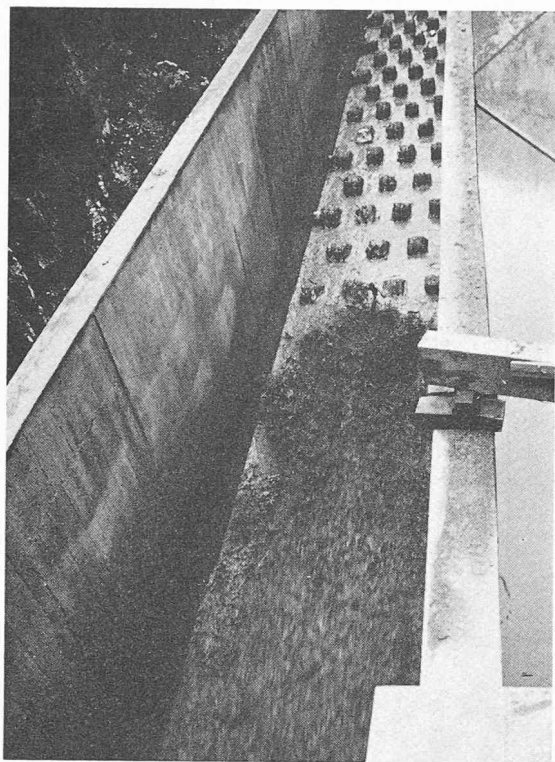


Fig. 17. — Vue du canal de vidange après la première semaine de fonctionnement (14 octobre 1968).

Nous sommes donc arrivés à la conclusion qu'il était préférable d'avoir un fond de canal lisse et de détruire l'énergie cinétique de l'eau, non pas dans le canal, mais au point d'impact de la lame d'eau dans le lit naturel de la Jagne, par la mise en place de gros blocs de rocher ou de béton. C'est donc dans ce sens que nous avons procédé aux réparations des dégradations du canal.

## V. Conclusion

A part la surprise des dégradations du fond du canal de vidange, on peut dire que cette modernisation de la vidange de fond a bien rempli l'office pour lequel elle a été entreprise, et l'exploitant a déjà pu procéder à toutes les vérifications et réfections des organes du circuit d'amenée d'eau à la centrale de Broc. Un dernier mot sur la réfection du canal de vidange qui est en cours : la solution pour la réparation du radier a été d'enlever les quelques « rehbocks » qui restaient à la suite de la première vidange et de revêtir le fond du canal de vieux rails de chemin de fer posés jointivement.

Adresse des auteurs :

Société Générale pour l'Industrie,  
71, avenue Louis-Casaï, 1216 Genève.

## BIBLIOGRAPHIE

**Résistance des matériaux appliquée — Tome I**, par M. Albigès et A. Coin, ingénieurs des Arts et Manufactures, professeurs à l'Ecole supérieure des travaux publics. Collection de l'Institut technique du bâtiment et des travaux publics. Paris, Editions Eyrolles, 1969. — Un volume 17×24 cm, xiii + 576 pages, 890 figures. Prix : relié, 168.40 F.

La *Résistance des matériaux appliquée* de MM. Albigès et Coin contient tout ce qu'il est indispensable de connaître à un ingénieur ayant pour fonction de dresser des projets de structures. Les auteurs de l'ouvrage contrôlent constamment de tels projets ; ils sont d'autre part enseignants. Leurs activités leur ont ainsi permis de constater la nécessité de grouper sous forme synthétique les résultats de la résistance des matériaux, de la théorie mathématique de l'élasticité et de celle de la plasticité les plus couramment utilisés, lesquels sont en nombre assez grand pour que la mémoire humaine moyenne ne puisse en retenir avec précision la totalité et les conditions exactes d'utilisation.

L'ouvrage est ainsi de nature à rendre de grands services aussi bien, dans certains cas, aux ingénieurs d'études ayant déjà une longue pratique de leur profession qu'à ceux qui débutent dans celle-ci et aux étudiants qui s'y préparent. Il est caractérisé par la clarté de la rédaction, la judicieuse ordonnance des différents paragraphes et les nombreux renvois des uns aux autres, lesquels permettent, en lisant chacun de ces paragraphes, de savoir où se trouvent exposés les principes qu'il invoque.

Enfin, l'ouvrage contient beaucoup d'exemples numériques complètement traités, avec références précises aux principes que chacun d'eux utilise. C'est là le moyen pour les lecteurs de se remémorer ou d'acquiescer rapidement et sûrement les connaissances qui leur sont nécessaires, car, selon l'adage des Latins : « In scientiis addiscendis magis prosunt exempla quam praecepta. »

### Sommaire :

I<sup>re</sup> PARTIE : *Théorie élémentaire*. — Rappels. Distribution des contraintes autour d'un point. Propriétés mécaniques des matériaux. Théorie de l'élasticité. Poutres. Généralités. Détermination des contraintes et des déformations élémentaires. Formules de Bresse. Théorie du potentiel interne. Statique graphique. Poutres droites isostatiques. Systèmes indéformables sur appuis élastiques. Poutres droites hyperstatiques à une travée. Poutres continues. Arcs. Calcul des ossatures. Systèmes réticulés. Instabilité élastique. Flambement. Voiles minces. Théorie des vibrations. Plasticité.

II<sup>e</sup> PARTIE : *Applications pratiques*.

**Mémento des pertes de charge. Coefficients de pertes de charges singulières et de pertes de charge par frottement**, par I. E. Idel'cik. Traduit du russe par Mme M. Meury. « Collection du CREC » (Centre de recherches et d'essais de Chatou), n° 13. Paris, Editions Eyrolles, 1969. — Un volume 21×30 cm, 496 pages, 155 figures, 286 diagrammes, 439 références. Prix : broché, 82 F.

Depuis sa parution en URSS, l'ouvrage de Idel'cik est devenu pratiquement introuvable. Et tous ceux qui ont eu le privilège de l'utiliser regrettaient qu'une traduction française n'ait pas été éditée. Ils avaient pu juger, en effet, du caractère irremplaçable de cette documentation, laquelle est maintenant à leur portée.

Dans ce manuel ont été rassemblées les données disponibles sur les coefficients de pertes de charge par frottement dans les conduites et les canaux droits, et sur les coefficients de pertes de charge singulières dans les diverses pièces façonnées, les dispositifs d'étranglement, les obstacles et autres éléments des réseaux hydrauliques ou de transport de gaz et d'air, ainsi que dans quelques appareils et dispositifs industriels (épuration des gaz, transfert de chaleur, ventilation, etc.).

Le premier chapitre contient les renseignements généraux sur l'hydraulique et la mécanique des liquides et des gaz. Chacun des douze autres chapitres réunit un groupe déterminé de pièces façonnées et autres, de