

# Usine hydro-électrique de Fully (Valais, Suisse): la plus haute chute du monde (1650 mètres)

Autor(en): **Chenaud, H. / Bois, L. du**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **48 (1922)**

Heft 23

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-37430>

## **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<sup>r</sup> H. DEMIERRE, ing.

Paraissant tous les 15 jours

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

SOMMAIRE : *Usine hydro-électrique de Fully (Valais, Suisse), la plus haute chute du monde (1650 mètres)*, par H. CHENAUD et L. DU BOIS, ingénieurs (suite). — *De la construction de galeries sous pression intérieure*, par R. MAILLART, ingénieur (suite). — *Un nouveau type de turbine hydraulique*. — *Société suisse des Ingénieurs et des Architectes*.

### Usine hydro-électrique de Fully.

(Valais, Suisse.)

La plus haute chute du monde (1650 mètres),

par H. CHENAUD et L. DU BOIS, ingénieurs.

(Suite).<sup>1</sup>

#### Chambre des vannes à la sortie du tunnel de prise.

L'extrémité amont de la conduite est raccordée directement au clapet de la prise d'eau qui vient d'être décrit ; le premier tuyau est noyé dans un fort bouchon de béton qui obstrue l'origine de la galerie. La longueur de cette galerie, de la prise d'eau à la chambre des vannes, est d'environ 380 mètres, et sa section est de 1,60 m. sur 2 m.

Comme dans toutes les installations analogues, il était nécessaire d'avoir au départ de la conduite une vanne automatique se fermant en cas de rupture de la conduite. Cette vanne, ainsi qu'une vanne d'arrêt ordinaire, ont été placées dans un endroit facilement accessible à la sortie de la galerie, au point *C* (voir profil en long, fig. 15). Elle n'est donc pas à l'origine de la conduite, mais à 380 mètres environ en aval, ce qui fait que s'il survenait une rupture sur ce tronçon, c'est-à-dire en amont de *C*, elle ne serait d'aucune utilité. Mais nous avons vu que dans ce cas on avait toujours la ressource du clapet de prise ; en outre la quantité d'eau qui pourrait s'écouler hors du lac à partir du moment de la rupture, jusqu'au moment où l'on pourrait fermer le clapet, serait arrêtée et emmagasinée dans le petit lac de Sorniot. Une rupture est du reste bien improbable, la conduite se trouvant dans une galerie en rocher bien fermée et à l'abri de tout choc, du gel, et de la malveillance.

La chambre des vannes à la sortie de la galerie est représentée par la figure 16. Il y a un robinet-vanne ordinaire *K* avec by-pass, et une vanne-clapet automatique *L*. Le détail de cette dernière vanne est donné par la fig. 17. On s'est attaché, comme pour les organes de la prise d'eau, à avoir un appareil aussi simple et aussi robuste que possible. L'organe obturateur est un clapet en acier coulé *C* monté sur une tige *D* dont les deux extrémités coulissent dans des presse-étoupes *E*<sup>1</sup> et *E*<sup>2</sup> munis de douilles en bronze. Les parties coulissantes de la tige *D* sont pourvues de chemises en bronze afin d'éviter la rouille.

<sup>1</sup> Voir *Bulletin technique* du 28 octobre 1922, page 253.

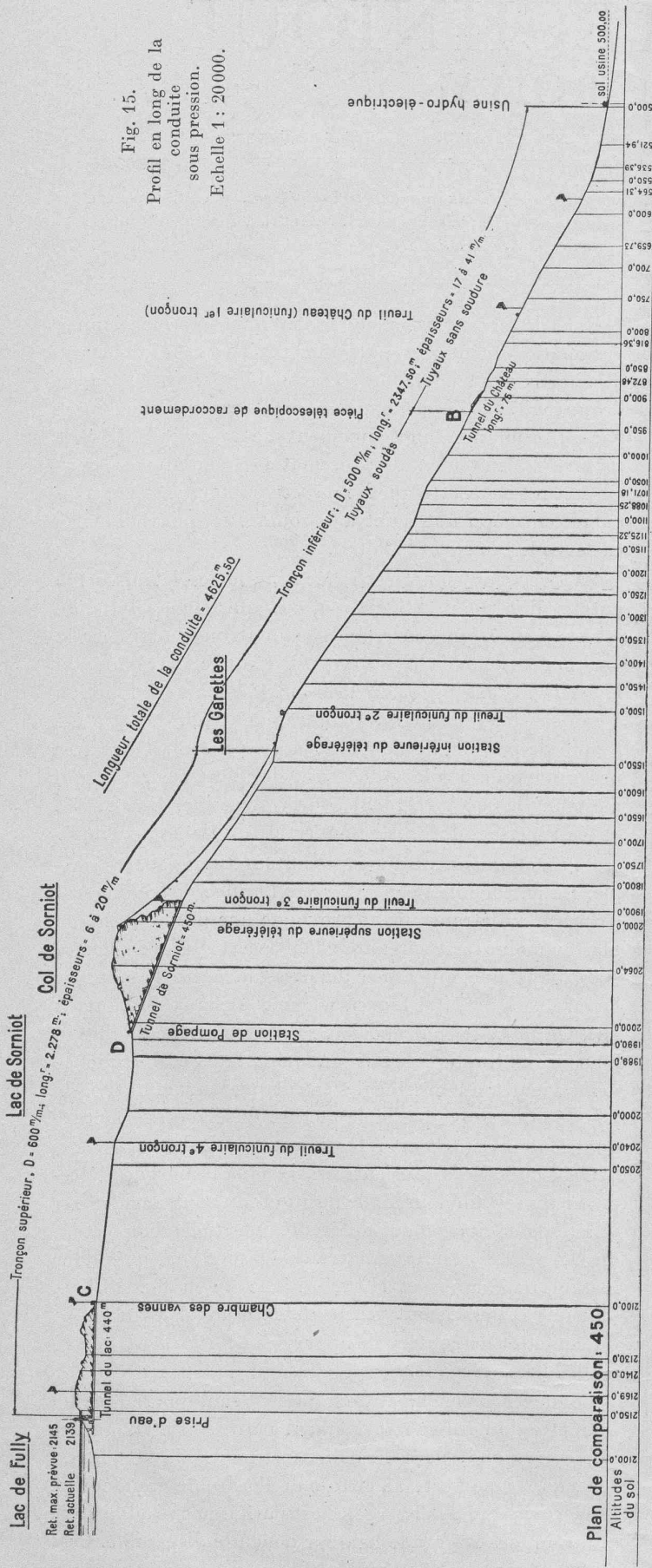
Dans de tels appareils, qui ne sont appelés à fonctionner automatiquement que très rarement, il est très important d'éviter la rouille dans les pièces mobiles en contact avec l'eau, rouille qui pourrait provoquer des grippements, et par suite un non-fonctionnement de l'appareil. Il faut réduire les frottements si l'on veut avoir un appareil sensible et faire en sorte que les parties frottantes soient exécutées en métal non sujet à la rouille, ce qui est bien le cas avec le bronze et le laiton.

La tige *D* du clapet est reliée à un levier *F* qui oscille autour d'un point-articulation *J* et qui porte à l'une de ses extrémités un contrepoids *G* dont on peut régler la position au moyen d'une vis *K*. L'autre extrémité du levier *F* porte la tige *L* du dash-pot *H* qui a pour fonction d'empêcher une fermeture trop rapide. Ce dash-pot a été rempli de pétrole, liquide dont la viscosité n'est que très peu influencée par les différences de température, ce qui n'est pas le cas avec l'huile ou la glycérine. Une vis de butée *V* permet de limiter l'ouverture du clapet à volonté.

Le fonctionnement du clapet automatique est très simple. Le passage de l'eau à travers l'orifice disponible qui constitue un étranglement provoque une perte de charge plus ou moins forte suivant le débit ; cette perte de charge occasionne une différence de pression entre l'amont et l'aval du clapet, qui tend à pousser le clapet de haut en bas. On place le contrepoids de manière qu'il équilibre la poussée hydraulique pour un débit fixé, et lorsque ce débit vient à augmenter il s'ensuit une augmentation de poussée qui provoque la fermeture du clapet, fermeture dont le mouvement est ralenti grâce au dash-pot.

On a procédé à plusieurs essais dans le but de déterminer un certain nombre de positions du contrepoids pour différents débits et pour différentes positions d'ouverture du clapet. Les résultats de ces essais sont consignés dans le tableau ci-après et le diagramme de la fig. 18. On voit que ces essais ont permis de déterminer les positions du clapet et du contrepoids pour des débits allant de 330 à 1014 litres-seconde.

Comme pour le clapet de la prise d'eau, on a admis un diamètre de l'orifice relativement petit, soit 400 mm., ce qui correspond, pour le débit maximum de 800 litres-seconde, à une perte de charge de l'ordre de grandeur de 3 mètres, perte de charge qui est parfaitement admissible étant donnée la grande hauteur de chute disponible. Cela ne représente en effet que le 0,18 % de la chute totale.



Réglage de la vanne pour différents débits.

Débit en litres/sec.	OUVERTURE DU CLAPET		Position du contrepois G Distance A
	h	B	
	mm.	mm.	mm.
330	50	350	420
400	50	350	570
440	50	350	660
420	66,7	386	478
470	66,7	386	510
580	66,7	386	545
600	66,7	386	580
630	66,7	386	612
662	66,7	386	660
740	83,3	421	545
775	83,3	421	580
802	83,3	421	612
842	83,3	421	660
888	100	457	545
966	100	457	612
1014	100	457	660

Les essais se faisaient de la manière suivante. On limitait la course du clapet à une ouverture déterminée au moyen de la vis de butée V; puis on faisait croître lentement le débit de la turbine à l'usine jusqu'à une valeur également connue et déterminée au moyen du déversoir se trouvant à la sortie du canal de fuite. Le contrepois ayant été au préalable placé dans sa position extrême (à l'extérieur), on le rapprochait lentement du point d'oscillation J et on l'arrêtait au moment où l'on constatait que le mouvement de descente du clapet commençait à se produire. A cet instant on arrêtait le débit de la conduite. Toutes ces manœuvres et observations simultanées dans la chambre des vannes et à l'usine pouvaient se faire aisément attendu que ces deux stations sont reliées par une ligne téléphonique.

Lorsque le clapet a été fermé, soit accidentellement, soit intentionnellement, et que la conduite a été vidée en aval, il est impossible de l'ouvrir sans autre car il est appliqué contre son siège par la pression supérieure de la colonne d'eau. Ceci encore est une mesure de sécurité analogue à celle que nous avons mentionnée au sujet du clapet de prise, car une ouverture rapide, la conduite étant vide, pourrait avoir de funestes conséquences.

On a donc installé en amont du clapet automatique un robinet-vanne d'arrêt de construction courante, robinet K, dessin d'ensemble de la chambre (fig. 16), de 500 mm. de diamètre intérieur. Ce robinet-vanne d'arrêt est pourvu d'un by-pass R.

Lorsqu'on veut procéder au remplissage de la conduite, le clapet automatique ayant été fermé, on commence par fermer le robinet K en laissant le by-pass R ouvert. Puis l'on ferme le by-pass et l'on ouvre le robinet à air placé en M (dessin fig. 17). A ce moment, le clapet de la vanne automatique ne se trouvant plus sous pression, on peut de nouveau l'ouvrir et après cela on peut procéder au remplissage lent de la conduite au moyen du by-pass R (dessin fig. 16).

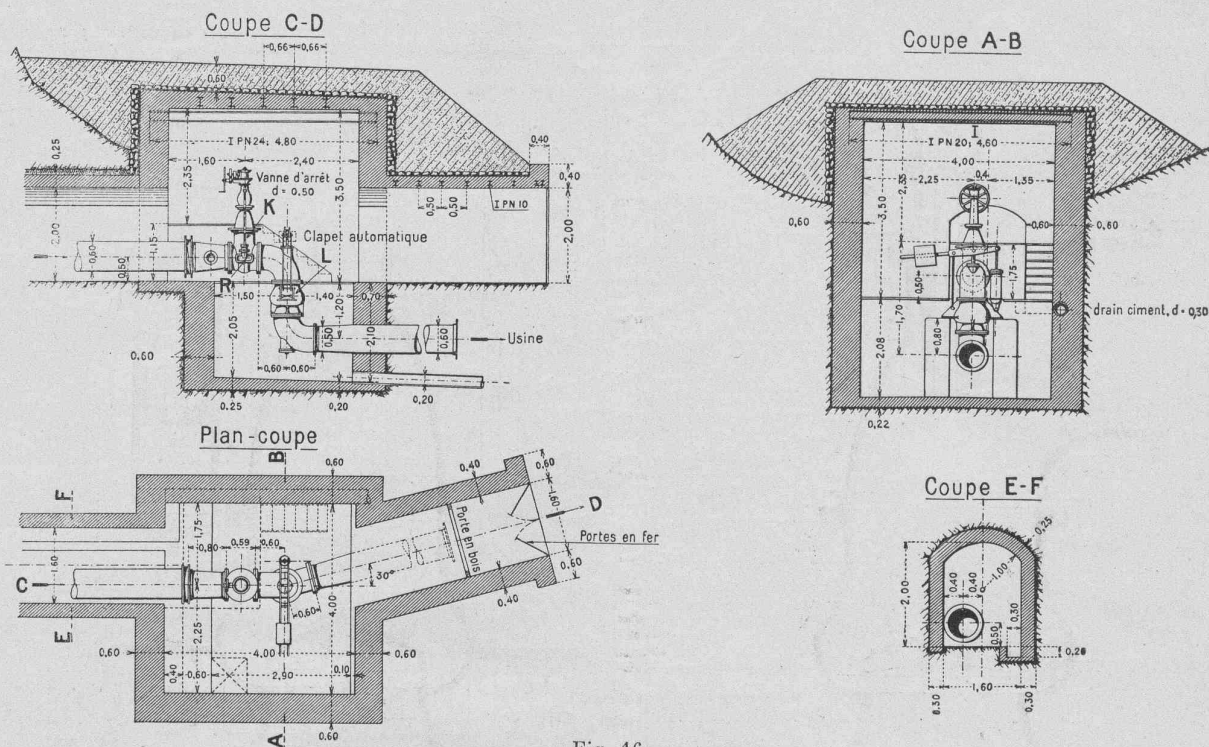


Fig. 16.

Chambre des vannes à la sortie du tunnel du lac. — Echelle 1 : 150.

Ce remplissage terminé, on peut alors ouvrir en grand le robinet *K* et la conduite se trouve de nouveau en état de marche.

Le bon fonctionnement d'une vanne automatique au moment d'un accident est subordonné à son bon état d'entretien. Aussi est-il nécessaire de vérifier et d'essayer de temps à autre ces appareils. C'est ce qui se fait à Fully.

La chambre des vannes est adossée au flanc de la montagne (voir fig. 19). Elle est entièrement recouverte d'une couche de terre et son couloir d'accès est fermé au moyen de deux portes doubles, l'une en bois, l'autre en fer. Toutes ces précautions ont été prises afin que la température dans la chambre et dans la galerie se maintienne à une valeur suffisamment élevée pour que le gel ne soit pas à craindre. Il est à noter en effet que l'usine de Fully étant une usine de réserve, elle peut être arrêtée pendant des périodes assez prolongées ; dans ces cas l'eau dans la conduite est tout à fait immobile et il faut éviter à tout prix les dangers de gel.

A partir de la chambre des vannes, la conduite est enterrée sur toute sa longueur et le gel n'est plus à craindre.

On a observé la température de l'eau du lac à la sortie des turbines après une marche de plusieurs jours alors que la température de l'air au lac de Fully était de 28 à 30° en dessous de zéro. Les températures mesurées variaient entre 4° et 4<sup>o</sup>5, ce qui correspond au maximum de densité de l'eau. Lorsqu'on marchait avec la pompe de Sorniot, qui introduit dans la conduite de l'eau de surface, la température baissait à environ 1°, et remontait à 4<sup>o</sup>5, après un certain temps d'arrêt de la pompe.

Le lac commence généralement à geler vers la fin de novembre. En été la température de l'eau à la surface est

habituellement supérieure à 10°. Dès que les froids arrivent, l'eau de surface se refroidit au contact de l'air, elle augmente de densité et elle descend. Il se forme un mouvement continu jusqu'à ce que la température de l'eau de surface soit un peu inférieure à 4°. A ce moment c'est la même couche d'eau qui reste en contact avec l'air froid et la congélation du lac a lieu très rapidement.

#### Station de pompage de Sorniot.

En suivant le tracé de la conduite à partir de la chambre des vannes à la sortie du tunnel du lac, nous trouvons en descendant, au point *D* du profil en long (fig. 15) la station de pompage de Sorniot. Cette station a été installée pour recueillir la plus grande partie possible de l'eau qui tombe sur le bassin versant du petit lac de Sorniot et pour la refouler dans le lac supérieur.

Le lac de Sorniot évacue ses eaux dans une crevasse visible en tout temps. Cet émissaire fut muni d'une vanne permettant d'augmenter la capacité du lac et d'accumuler les eaux pendant quelques heures ou pendant quelques jours suivant les saisons, pour faciliter le service de la pompe et utiliser la plus grande partie des eaux.

Le pompage se fait principalement au printemps, à la période de la fonte des neiges. Le plan d'installation de cette station de pompage est représenté par la fig. 20. La pompe est une pompe centrifuge multicellulaire à deux tuyaux d'aspiration symétriques dont les caractéristiques sont les suivantes :

Débit : 200 litres par seconde.

Hauteur d'aspiration : 3 à 4 mètres.

Hauteur de refoulement (manométrique) : 154 mètres.

Nombre de tours : 1450 par minute.

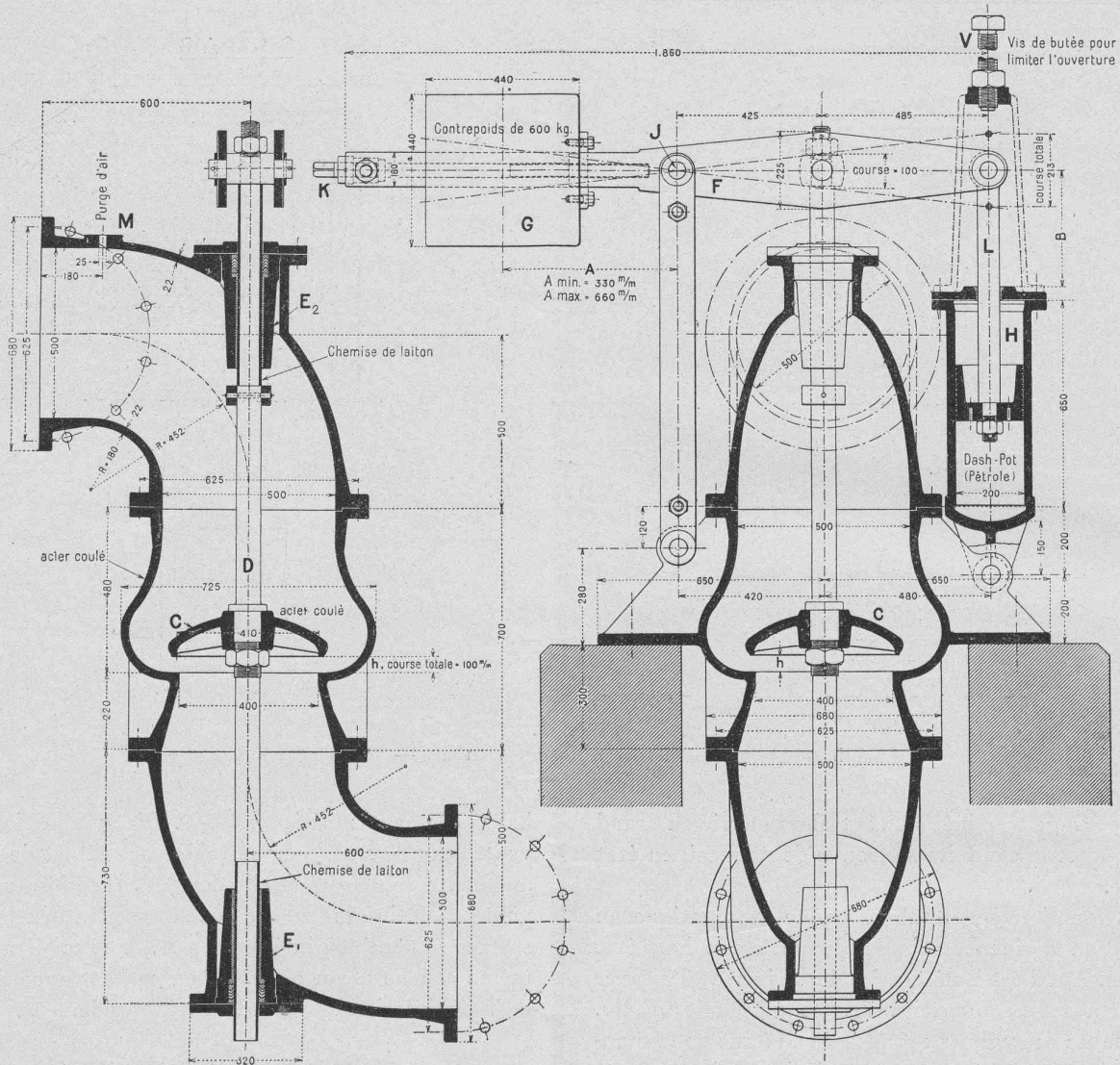


Fig. 17. — Vanne-clapet automatique de 400 mm. placée à la sortie de la galerie. — Echelle 1 : 20.

Puissance absorbée : 570 chevaux, ce qui correspond à un rendement de 74 %.

Cette pompe est accouplée directement à un moteur électrique triphasé de 600 chevaux, 750 volts et 50 périodes.

L'eau du lac de Sorniot arrive dans une chambre d'aspiration au-dessous de la pompe par un tuyau de 0,60 m. de diamètre. L'aspiration se fait par deux tubes verticaux de 0,36 m. de diamètre intérieur munis chacun à leur extrémité inférieure d'une crépine et d'un clapet de retenue. Le refoulement se fait directement dans la conduite sous pression. Entre la pompe et la conduite sous pression se trouvent un clapet de retenue et un robinet-vanne d'arrêt de 0,35 m. de diamètre intérieur. Si la pompe fonctionne lorsque l'usine hydro-électrique est arrêtée (la force motrice nécessaire étant fournie en été par l'usine de Martigny établie sur eau courante) les 200 litres-seconde de débit sont refoulés entièrement dans le lac supérieur. Si par contre l'usine hydro-électrique est en marche, et consomme un débit de plus de 200 litres-seconde, toute l'eau de la pompe se dirige vers le bas, le lac supérieur n'ayant

à fournir que l'appoint nécessaire. Si l'usine hydro-électrique emploie un débit situé entre 0 et 200 litres-seconde, alors le débit de la pompe se partage : la partie nécessaire à l'usine descend, et le reste monte au lac de Fully. On voit donc que dans la partie de la conduite d'amenée située entre la prise d'eau et la station de pompage, l'usine hydro-électrique étant en marche ainsi que la station de pompage, il peut arriver que la colonne d'eau soit en mouvement ascendant ou descendant, ou même soit immobile, et sans que cela produise quoi que ce soit d'anormal dans la marche des turbines.

La différence de hauteur moyenne qui existe entre le niveau des eaux du lac supérieur de Fully et celui des eaux du lac de Sorniot est de 140 mètres. Cela représente environ le  $\frac{1}{12}$  de la hauteur de chute totale.

Si les turbines, les machines électriques et les pompes rendaient 100 %, on pourrait en empruntant un litre au lac supérieur faire remonter à ce lac 12 litres du lac inférieur. En réalité il y a une première perte d'énergie dans la turbine, une deuxième dans le système électrique et une troisième dans la pompe. Néanmoins avec les rende-

ments de ces appareils on arrive à un rendement total voisin de 50 %.

Par conséquent chaque litre d'eau qu'on empruntera au lac supérieur pour produire à l'usine de Fully du courant servant à actionner la pompe installée au lac inférieur servira à prendre et à faire remonter six litres d'eau au lac supérieur.

On peut se demander quel sera le rendement d'une quantité d'eau pompée à Sorniot à la cote moyenne 1990, refoulée au lac de Fully à une cote qui pourra aller jusqu'à la hauteur de retenue maximum du lac, soit à 2145, puis envoyée aux turbines de l'usine dont l'axe est à la cote 501,10 ? Le calcul est facile à faire et, pour simplifier, nous négligerons les pertes de charge dans la conduite en faisant du reste observer que pour le débit maximum de la pompe, soit 200 litres-seconde, ces pertes de charge dans une conduite de 500 et 600 mm. de diamètre sont très faibles. Faisons le calcul en prenant comme base le débit maximum de la pompe, soit 200 litres-seconde.

Si l'on pouvait utiliser directement ces 200 litres-seconde à l'usine inférieure, au moyen d'une conduite spéciale par exemple, la chute disponible serait la suivante :

Niveau moyen au lac de Sorniot 1990,00 m.  
Cote de l'axe des turbines. . . . . 501,10 m.  
Chute disponible . . . . . 1488,90 m.

En admettant un rendement des turbines de 80 %, la puissance disponible serait alors de :

$$\frac{1.488,90 \times 200 \times 0,8}{75} = 3.180 \text{ H.P.}$$

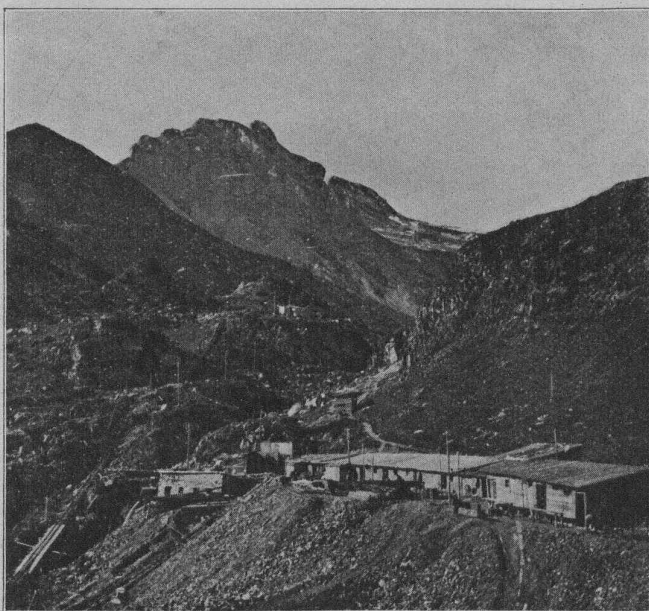


Fig. 19. — Chambre des vannes et chantiers du lac.

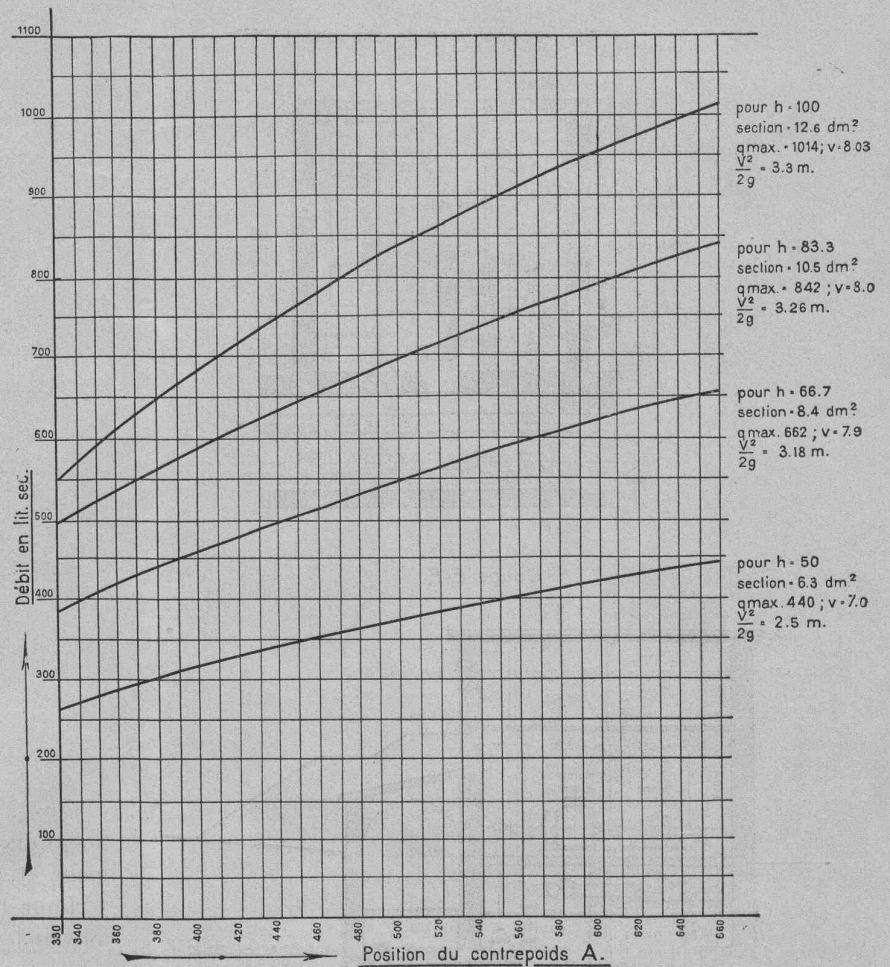


Fig. 18. — Débit de l'appareil en fonction de la position du contrepois.

Au lieu de cela on refoule les 200 litres-seconde dans le lac supérieur, et on les utilise sous la chute totale qui se détermine comme suit :

Niveau maximum de la retenue au lac. . . . . 2145,00 m.  
Axe des turbines. . . . . 501,10 m.  
Chute disponible . . . . . 1643,90 m.

La puissance disponible sur l'axe des turbines est alors de :

$$\frac{1.643,90 \times 200 \times 0,8}{75} = 3.510 \text{ H.P.}$$

Mais pour élever ces 200 litres-seconde au lac de Fully il faut actionner la pompe centrifuge, ce qui absorbe une certaine puissance. La hauteur d'élévation de la pompe est la suivante :

Niveau du lac, retenue maximum . . . . . 2145,00 m.  
Niveau de l'eau au lac de Sorniot. . . . . 1990,00 m.  
Hauteur d'élévation . . . . . 155,00 m.

Le rendement de la pompe étant de 74 %, la puissance absorbée sera de :

$$\frac{200 \times 155}{75 \times 0,74} = 560 \text{ H.P.}$$

La puissance effectivement disponible à l'usine hydroélectrique sera en définitive de 3510 — 560 = 2.950 che-

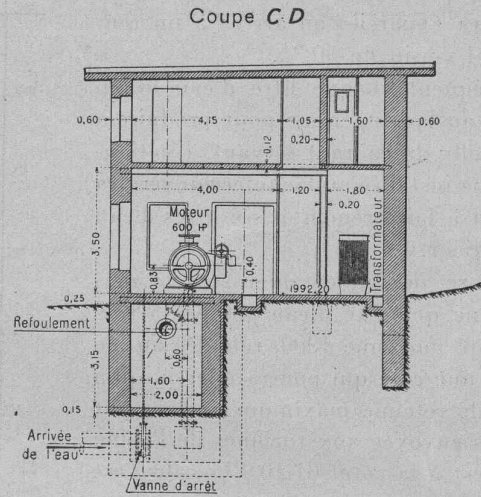
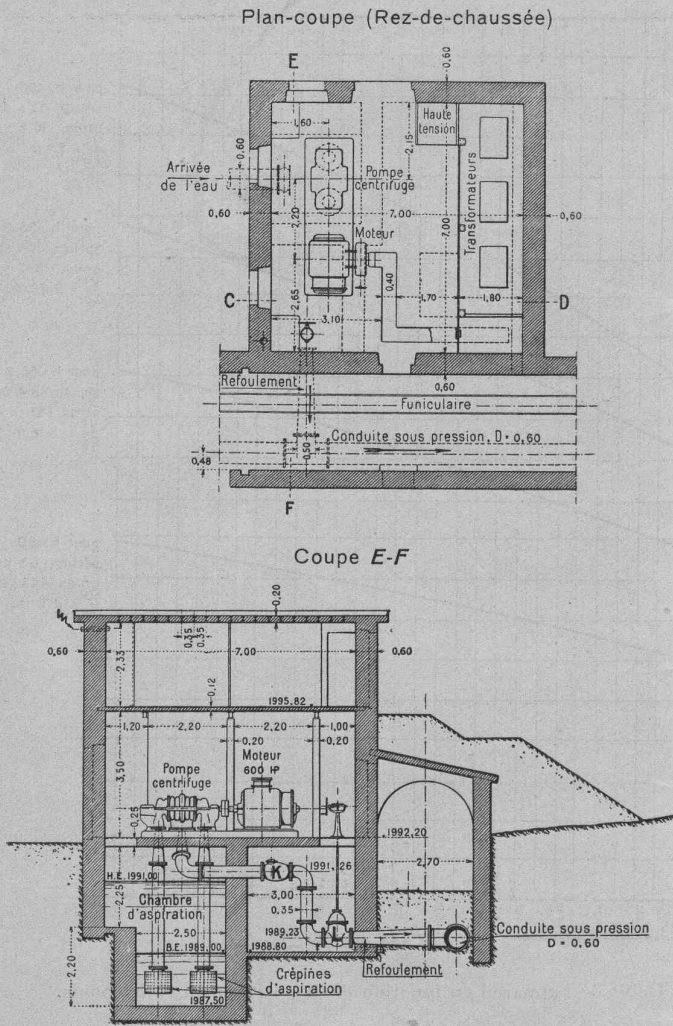


Fig. 20.  
Station de pompage de Sorniot.  
Echelle 1 : 200.

eaux, au lieu de 3180 chevaux que l'on aurait si l'on pouvait réaliser l'utilisation directe.

Le rendement hydraulique final est alors de :

$$\frac{75 \times 2.950}{200 \times 1.489} = 74 \%$$

au lieu des 80 % que nous avons admis comme rendement de la turbine pour l'utilisation directe.

En réalité le rendement final est un peu inférieur à 74 % si l'on tient compte des pertes de charge et de la perte dans la ligne de transport de force qui alimente le moteur actionnant la pompe, mais reste certainement situé au-dessus de 70 %.

On voit par là que l'installation relativement peu coûteuse de la station de pompage de Sorniot est parfaitement justifiée puisqu'elle permet d'emmagasiner une quantité d'eau importante et de l'utiliser avec un rendement qui est en somme assez peu différent du rendement maximum que l'on peut obtenir dans une usine hydro-électrique.

La seule solution possible, si l'on avait voulu utiliser les eaux de Sorniot avec un maximum de rendement, aurait été l'établissement d'une conduite spéciale et d'un groupe spécial dans l'usine hydro-électrique, solution probable-

ment dix fois plus coûteuse que celle de la station de pompage et, par conséquent, pas rentable.

Pour mettre la pompe en marche, on commence par ouvrir le robinet d'arrêt *L*, fig. 20, et l'on opère le remplissage de la pompe et des tuyaux d'aspiration au moyen d'une petite conduite d'alimentation branchée sur la conduite principale. Après quoi l'on peut mettre en route ; le clapet de retour *K* s'ouvre automatiquement dès que la pompe commence à débiter.

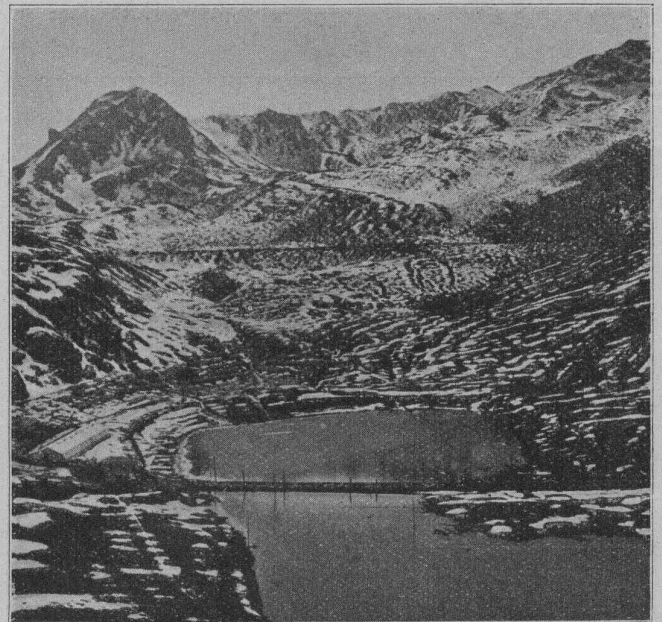


Fig. 21. — Lac de Sorniot avec la plateforme pour le funiculaire et la conduite sous pression.

Lorsqu'on arrête la pompe, ce clapet se referme de lui-même dès que l'eau de la conduite principale tend à refouler dans la pompe.

Au printemps, lors de la fonte des neiges, on envoie un homme à la station de pompage et l'on fait fonctionner la pompe tant que l'eau dans le lac de Sorniot ne descend pas au-dessous de la cote 1989 et tant que le lac de Fully n'est pas rempli. (A suivre.)

## De la construction de galeries sous pression intérieure

par R. MAILLART, ingénieur.

(Suite<sup>1</sup>.)

Pour déterminer, en connaissant la pression  $x$ , les dimensions du revêtement, le problème se présente très simplement si le profil est circulaire (fig. 4). La pression maxima s'exercera à l'intrados et aura la valeur

$$\sigma = x \cdot \frac{2R^2}{R^2 - r^2} \quad (5)$$

qui deviendra

$$\sigma = \frac{x \cdot R}{d} \quad (6)$$

si l'épaisseur du revêtement  $d = R - r$  est petite par rapport à  $R$ .

Par contre pour un profil quelconque, la ligne de pression déterminée par  $x$  et qui ne différera guère d'un cercle,

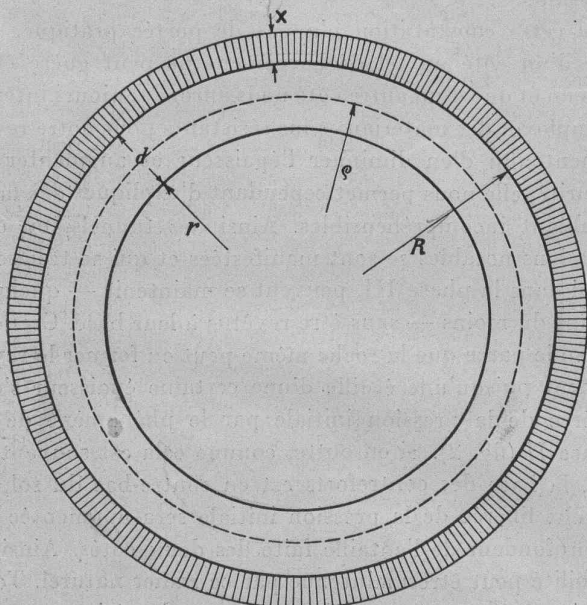


Fig. 4.

déviara du revêtement et semblera provoquer des efforts excentriques si considérables que le revêtement devrait se rompre sans autre. Mais la présence de la roche empêche ce fléchissement parce que sa résistance passive

<sup>1</sup> Voir *Bulletin technique* du 28 octobre 1922, page 256.

est un multiple de  $x$  dans les profondeurs ordinaires. Ainsi il se formera automatiquement une ligne de pression s'adaptant mieux au profil sans pourtant se confondre avec la ligne médiane du revêtement. Pour un profil peu

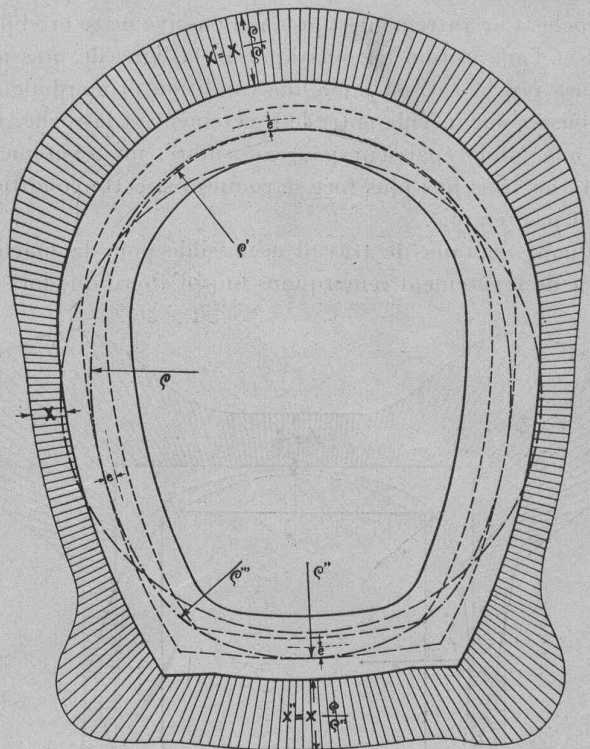


Fig. 5.

cintré et présentant des angles vifs, cette adaptation ne se fera que difficilement tandis qu'elle se réalisera plus facilement pour des profils arrondis. Afin de fixer les idées nous avons dessiné sur les fig. 5 et 6 deux formes en y faisant figurer des lignes de pressions adaptées et les pressions extérieures qui y correspondent. Pour un profil ordinaire fig. 5 on pourra admettre que la ligne des pressions ne sortira pas du noyau central tandis que cela ne sera plus guère le cas pour la fig. 6. La pression  $x$  s'exercera sur les parties de plus grand rayon  $\rho$  de ces courbes de pression, tandis que dans les autres il règnera une pression passive

$$x' = x \cdot \frac{\rho}{\rho'}$$

La force tangentielle sera partout

$$T = x \cdot \rho$$

et la pression tangentielle maxima dans le revêtement

$$\sigma = \frac{x \cdot \rho \cdot (d + 6e)}{d^2} \quad (7)$$

Nous voyons donc que la fatigue dans le revêtement dépend essentiellement du rayon maximum  $\rho$  et de l'excentricité  $e$  de la ligne des pressions et qu'ainsi les efforts seront d'autant plus grands que la courbure du profil sera plus irrégulière. La forme circulaire reste donc évidem-