

# L'aménagement hydro-électrique de la Gougra: le barrage de Tourtemagne

Autor(en): **Panchaud, F.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **80 (1962)**

Heft 23

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-66170>

## **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.

Par F. Panchaud, professeur à l'École polytechnique de Lausanne, Collaborateur au Bureau d'Ingénieurs A. Stucky, Lausanne

### 1. Généralités et description du barrage

Le bassin de compensation de Tourtemagne fait partie de l'aménagement hydroélectrique du Val d'Anniviers; les eaux qui sortent du glacier sont dérivées dans la vallée voisine de Zinal. La retenue de 850 000 m<sup>3</sup> de capacité utile est créée par un barrage de 30 m de hauteur, qui ferme une gorge étroite traversant un verrou rocheux situé à 1 km environ à l'aval du pied du glacier de Tourtemagne (fig. 1).

Le barrage est constitué par une voûte cylindrique mince verticale de 1,20 m d'épaisseur et de 28,50 m de hauteur maximum, reposant sur un socle en béton encastré dans le fond de la gorge. Au niveau du couronnement, la longueur de l'ouvrage est de 115 m environ; sur la rive droite, la voûte se prolonge par un mur rectiligne de faible hauteur formant un barrage-poids de 30 m de longueur environ, de sorte que la longueur développée proprement dite de la voûte du barrage est de 85 m (fig. 2 et 3). La directrice de cette voûte est formée par une succession d'arcs de cercle dont les rayons croissent, de la clé vers les naissances, de 20 à 50 m. Sur le pourtour de l'encastrement, l'épaisseur de la voûte passe de 1,20 m à 3 m dans la partie supérieure du barrage et atteint 5,25 m à la base de l'ouvrage au niveau du socle. Une galerie de 1,20 m de largeur court sur le rocher de fondation le long du périmètre de l'encastrement. Un joint horizontal est prévu à travers le pied droit amont de la galerie dans la zone médiane du barrage. En outre, le pied aval de la même zone est fendu par trois joints verticaux, badigeonnés par un produit bitumineux, s'étendant sur la demi épaisseur de l'encastrement (fig. 2).

Le climat auquel est soumis le barrage est rigoureux: en hiver, le lac peut être entièrement vide, de sorte que la partie du barrage de 1,20 m d'épaisseur seulement subit un refroidissement intense; la température moyenne du béton peut descendre à  $-15^{\circ}\text{C}$ , provoquant dans la voûte des contraintes de traction capables de la fissurer. En été, la retenue peut se vider plusieurs fois au cours de la saison, imposant au barrage des alternances de refroidissement et d'échauffement.

La voûte étant verticale, lorsque le lac est vide, les arcs ne sont soumis à aucune compression et ne sont alors sollicités que par les seuls effets thermiques; en particulier lors des refroidissements, les arcs sont soumis à des tractions. Pour parer à ces inconvénients, on serait tenté de prévoir du béton armé. A l'examen, l'application d'une armature passive n'apporterait qu'une amélioration discutable. On sait en effet que l'armature n'empêche pas la formation des fissures dans le béton, mais elle s'oppose seulement à leur ouverture. Par ailleurs, en présence d'une armature passive, le retrait du béton engendre un état de traction interne supplémentaire pouvant atteindre 3 à 6 kg/cm<sup>2</sup> suivant que la densité d'armature varie de 0,5 % à 1 %. On a donc recherché une autre solution plus efficace qui consiste à précontraindre le béton dans les parties minces de l'ouvrage. Il peut paraître paradoxal de précontraindre une voûte normalement comprimée; dans notre cas particulier, la précontrainte n'est pas destinée à améliorer la résistance de l'ouvrage à la poussée de l'eau — largement assurée sans cela — mais à créer sur toutes les sections du barrage un effort normal de compression permanent, quel que soit le niveau de remplissage du lac; de ce fait, la précontrainte modérée doit être suffisante pour que les sections, toujours comprimées, ne risquent plus de se fissurer sur toute l'épaisseur du barrage. Du même coup, on limite les tractions résiduelles dues aux effets thermiques à des valeurs très modérées.

### 2. Disposition de la précontrainte

La voûte est soumise à une précontrainte biaxiale (fig. 4) grâce à un double système de câbles verticaux et horizontaux formés de 12 fils de 7 mm en acier à haute

résistance (résistance à la rupture: 155 kg/mm<sup>2</sup>, limite apparente d'élasticité supérieure: 135 kg/mm<sup>2</sup>).

Le réseau des câbles verticaux partant du couronnement et aboutissant dans la galerie de pied comprime les sections horizontales de la voûte et permet de lutter contre les flexions résultant des effets de l'encastrement dans la fondation. Le tracé des câbles dans chaque section verticale a été choisi pour que dans ces sections aucune traction n'apparaisse quel que soit le remplissage du lac (fig. 13). Les câbles sont écartés de 1 m dans la zone médiane du barrage et de 1,50 m dans le voisinage des appuis. Pour ne pas traverser le bétonnage, les câbles verticaux sont mis en place, à partir du couronnement, dans des tubes posés dans le béton au fur et à mesure du bétonnage (fig. 4 et 8).

La précontrainte horizontale est obtenue au moyen de câbles horizontaux incurvés suivant la forme des arcs et aboutissant dans les galeries de pied de chaque rive; munis de gaine, les câbles sont posés sur les arrêts de bétonnage horizontaux espacés de 1 m (fig. 7 et 8). Tandis que les précontraintes verticales ne provoquent que des déformations pratiquement compatibles avec les liaisons, la voûte n'étant pas encore clavée, la précontrainte horizontale exercée par les seuls câbles horizontaux courbes, sans précautions spéciales, en tirant sur leurs extrémités à partir des galeries de rive, donne des tractions indésirables sur les massifs d'encastrement. En outre, en raccourcissant les arcs, cette précontrainte risquerait de produire un déplacement général de la voûte du barrage vers l'aval, engendrant des flexions parasites importantes à la base de l'ouvrage, flexions qui s'ajouteraient aux flexions d'encastrement provenant de la poussée de l'eau. Pour supprimer ces inconvénients qui neutraliseraient une grande partie des effets favorables de la précontrainte, on a prévu 4 joints actifs verticaux provisoires partant de la fondation et découpant la voûte du barrage en 5 vousoirs de 15 et 17 m de longueur. En outre, dans le voisinage du couronnement, on a laissé ouvertes deux brèches

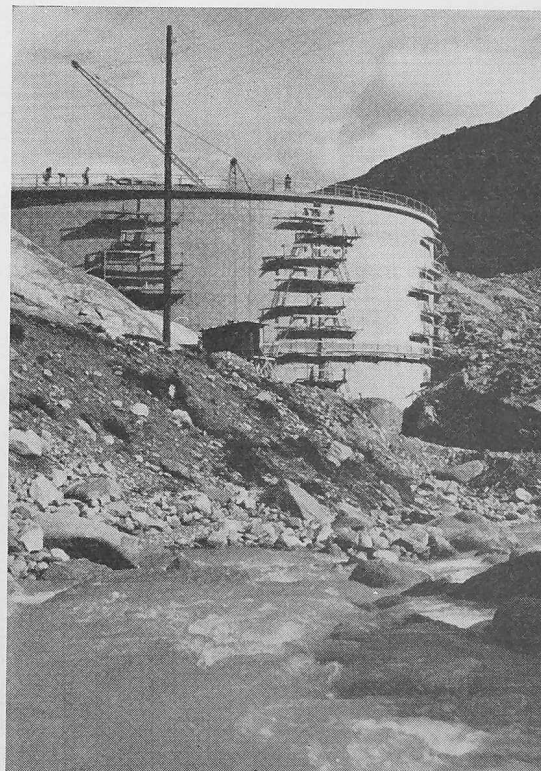


Fig. 1. Vue amont du barrage. On distingue les joints actifs verticaux encore ouverts

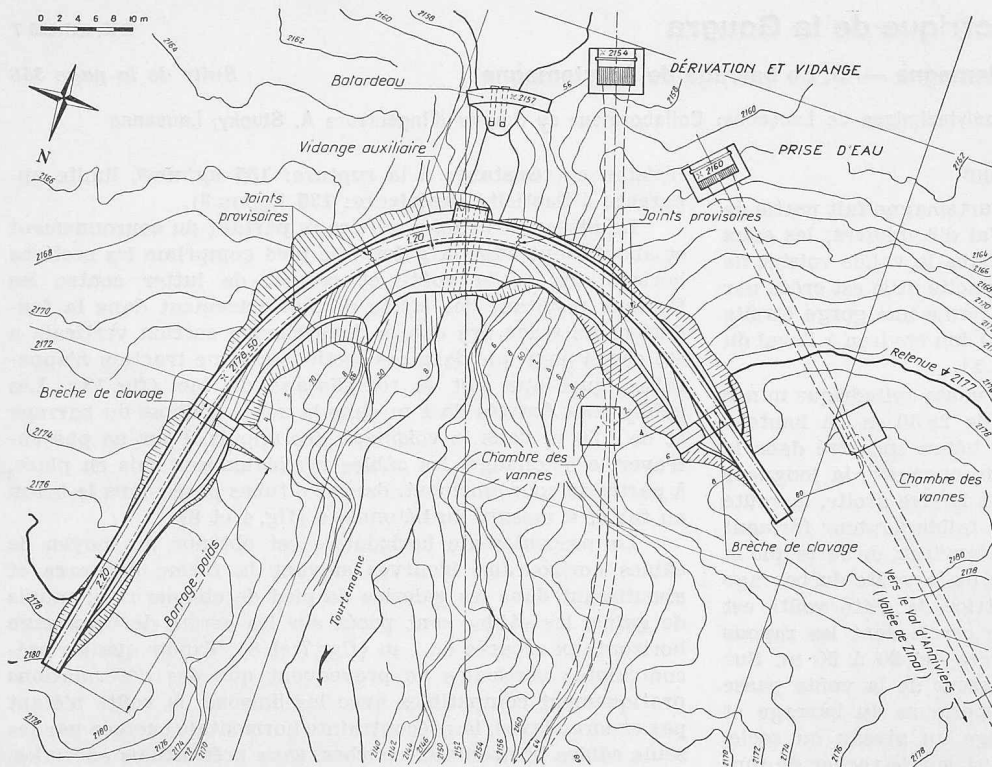


Fig. 2. Vue en plan du barrage. Echelle env. 1:800

de clavage qui n'ont été fermées qu'après la mise en précontrainte et en saison froide.

Les joints actifs sont munis de vérins plats *Freyssinet* de 42 cm de diamètre ce qui permet de compenser le raccourcissement des voussoirs dû à la précontrainte en ouvrant les joints actifs au fur et à mesure que l'on exerce la précontrainte horizontale (fig. 6). L'effort exercé par les vérins à chaque niveau a été choisi légèrement supérieur à celui produit dans la même section par les câbles horizontaux, de manière que sur les naissances une compression permanente s'oppose à tout effort d'arrachement des fondations. Cet effort supplémentaire doit cependant être limité, sinon on s'expose à un renversement des voussoirs du barrage vers l'amont.

On a procédé d'abord à la mise en tension des câbles verticaux du couronnement (fig. 9) et par tiers sur la longueur totale de l'ouvrage. La précontrainte verticale étant entièrement appliquée, on a passé à la mise en compression horizontale. L'opération s'est effectuée sans inci-

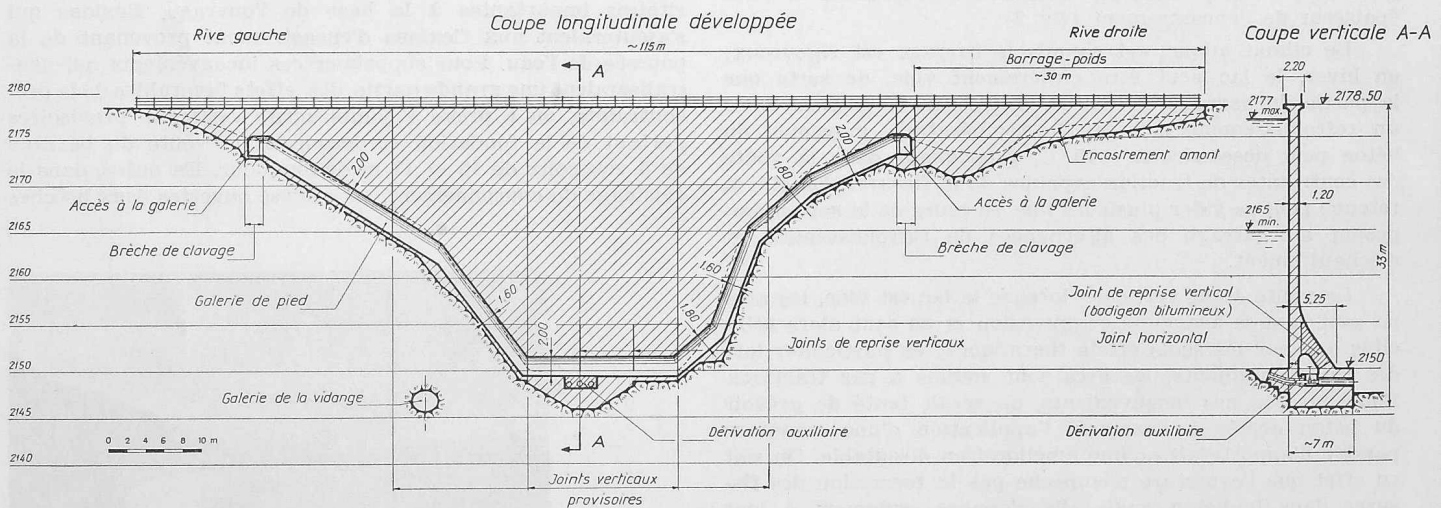


Fig. 3. Coupe longitudinale développée. Echelle env. 1:800

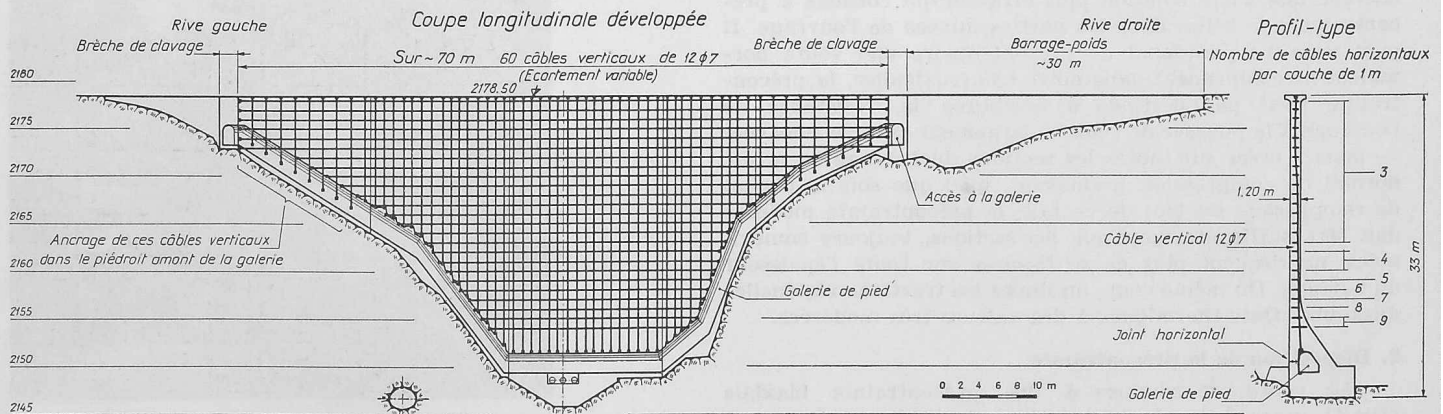


Fig. 4. Câblage. Coupe longitudinale développée. Echelle env. 1:800



dent en coordonnant méthodiquement les efforts exercés par les vérins plats et les efforts provenant des câbles horizontaux. Les opérations ont été conduites par tranches de barrage de 3 m de hauteur à partir de la base de l'ouvrage jusqu'au sommet et par tiers de l'effort total.

La mise en compression terminée, on a maintenu les joints actifs ouverts pendant un certain temps pour que la température du barrage s'abaisse et atteigne la température de clavage prescrite, soit  $+5^{\circ}\text{C}$ . Pendant ce temps, les joints sont restés actifs et la pression dans l'ensemble des vérins plats de tout le barrage a été maintenue constante entre des limites très étroites, grâce à un dispositif automatique compensant les effets de toute variation d'ouverture des joints. Chaque fois qu'un abaissement de la température produisait un raccourcissement du béton, soit une ouverture supplémentaire du joint et par conséquent une chute de pression des vérins plats, automatiquement le groupe d'alimentation du système rétablissait la pression prescrite.

Lorsque la température de clavage a été atteinte, on a procédé à la fermeture des joints actifs en bourrant avec du béton à haute résistance initiale les logements trapézoïdaux (fig. 6 et fig. 10) situés à l'amont et à l'aval encadrant la zone des vérins plats. On a procédé ensuite à l'injection des vérins plats avec du lait de ciment, ainsi qu'à l'injection du béton des clavettes.

### 3. Sollicitations du barrage

Les calculs des contraintes dans l'ouvrage ont été effectués en cumulant dans les combinaisons les plus défavorables les quatre cas de charge suivants:

- le poids propre sur les sections horizontales,
- la poussée de l'eau, le niveau moyen de la retenue atteignant le couronnement de l'ouvrage,
- les efforts dus à la précontrainte dans les arcs et dans les murs,
- les variations de température correspondant aux états thermiques en fonction de la température de clavage fixée à  $+5^{\circ}\text{C}$ ; en hiver en particulier, lorsque le lac est vide, les températures peuvent descendre à  $-15^{\circ}\text{C}$  sur les deux parements et lorsque le lac est plein à  $+1^{\circ}\text{C}$  sur le parement amont et  $-15^{\circ}\text{C}$  sur le parement aval.

Les effets de la précontrainte horizontale peuvent être assimilés à un effort normal centré puisque les arcs sont articulés au droit des joints actifs.

On a tenu compte des pertes de tension initiale dues au frottement des câbles dans les gaines en admettant un coefficient de frottement de 0,20. Les allongements des câbles observés lors des mises en tension, ont concordé avec les valeurs fixées à l'avance en partant de ce coefficient de frottement. Compte tenu des pertes de tension par retrait et fluage du béton et relaxation des aciers, la tension initiale dans

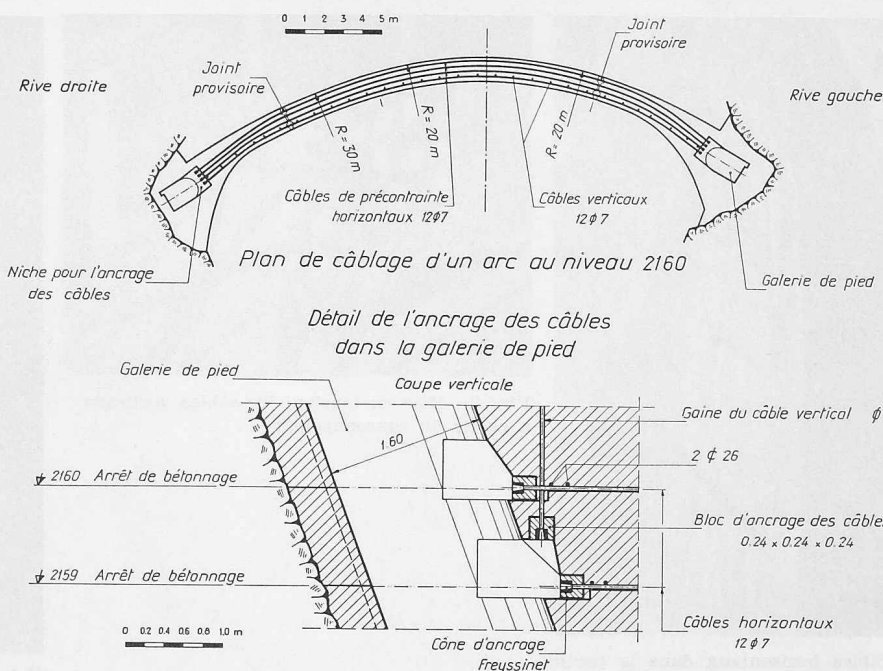


Fig. 5. Câblage horizontal. Détail de l'ancrage des câbles. Echelle 1:400, détail 1:80

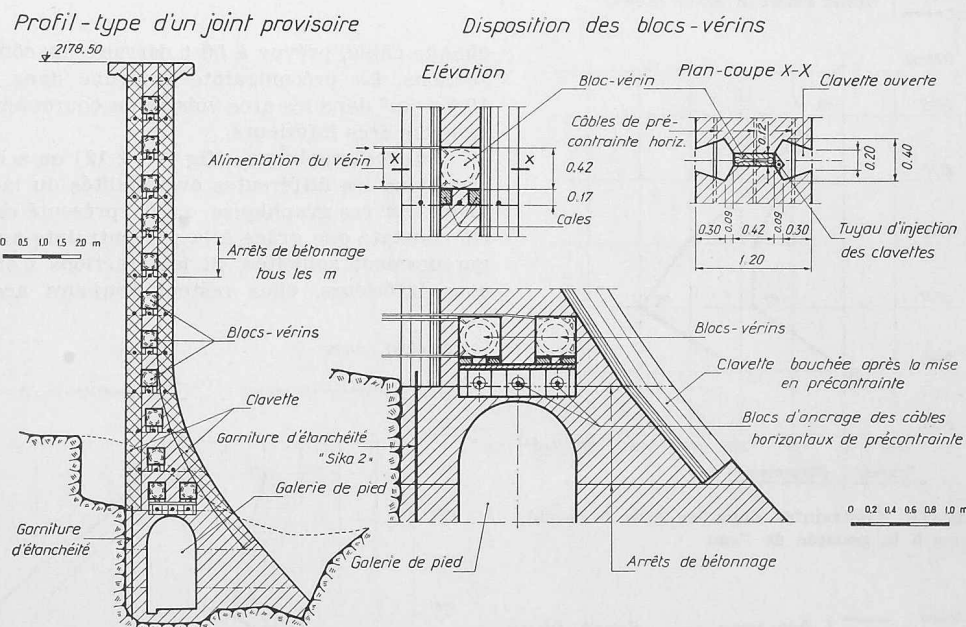


Fig. 6. Détails 1:200 et 1:80 des joints actifs provisoires

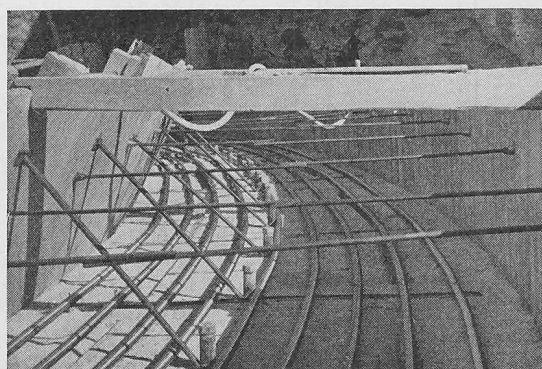


Fig. 7. Câbles horizontaux avant le bétonnage, dans la zone du pied du barrage

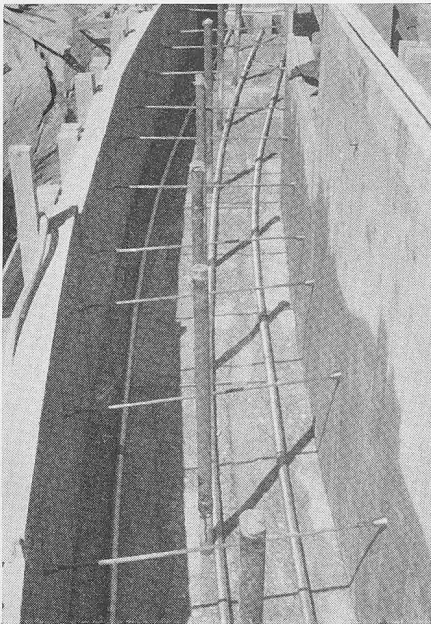


Fig. 8. Câbles horizontaux dans la partie mince du barrage. On distingue les tubes de passage des câbles verticaux

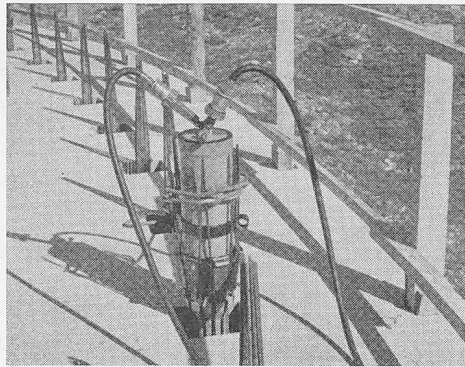


Fig. 9. Mise en tension des câbles verticaux à partir du couronnement

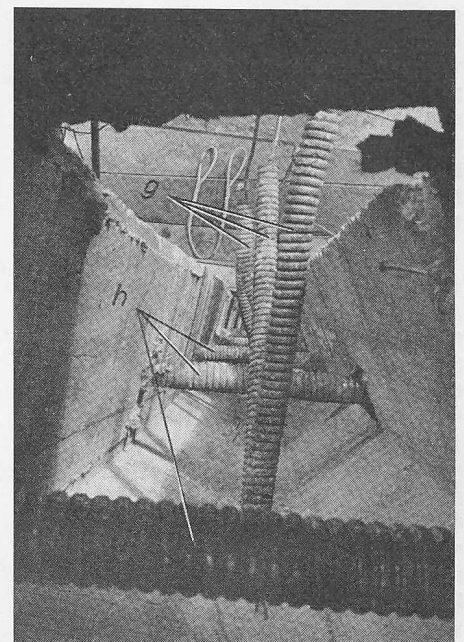


Fig. 10. Vue plongeante du logement de la clavette amont d'un joint actif. On distingue les câbles horizontaux (h) traversant la clavette et les gaines de protection des tubes d'alimentation des vérins plats (g)

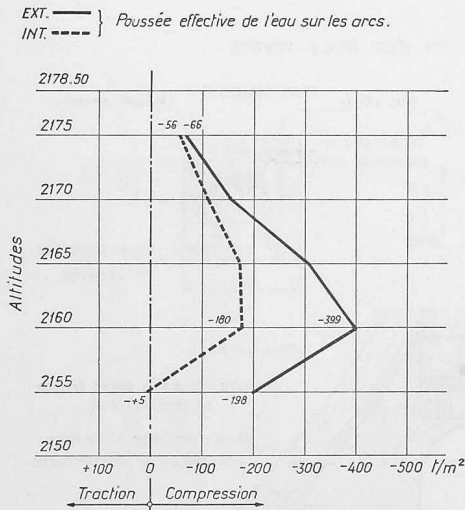


Fig. 11. Contraintes dans les arcs à la clé dues à la poussée de l'eau

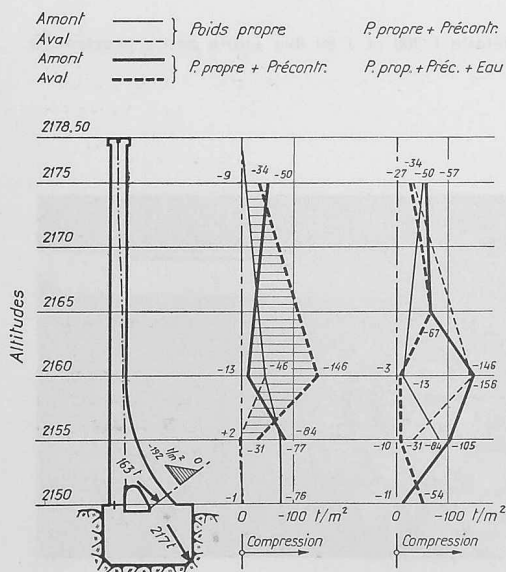
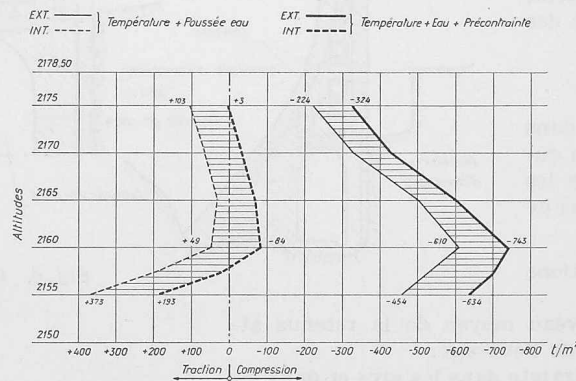


Fig. 13. Contraintes dans le mur médian

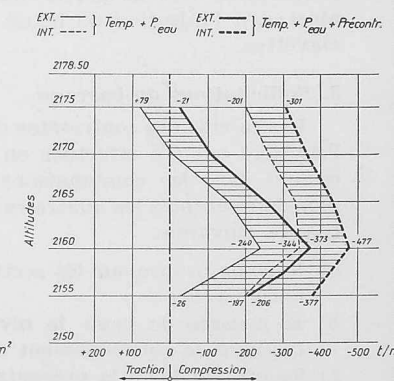
chaque câble, prévue à 50 t derrière les cônes, tombe à 40 t dans les différentes sections. La précontrainte moyenne dans les arcs reste modérée, elle est de 10 kg/cm<sup>2</sup> dans les arcs voisins du couronnement et elle monte de 13 à 15 kg/cm<sup>2</sup> dans les arcs inférieurs.

Sur les graphiques (fig. 11 et 12) on a représenté les contraintes à la clé des arcs dans les différentes éventualités du lac plein und du lac vide en été et en hiver. Sur ces graphiques, on a représenté en hachures l'effet de la précontrainte. On constate que grâce à la précontrainte aucune des sections des arcs n'est dangereusement sollicitée. Si les tractions n'ont pas entièrement disparu pour les arcs inférieurs, elles restent toujours accompagnées d'une compression im-

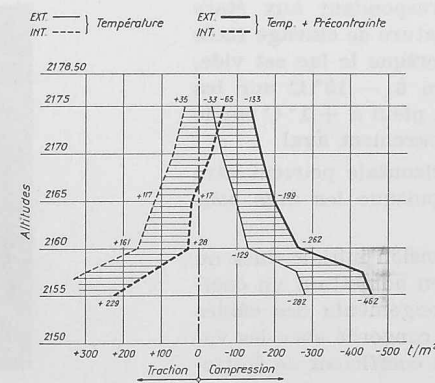
a) Lac plein - Hiver



b) Lac plein - Eté



c) Lac vide - Hiver



d) Lac vide - Eté

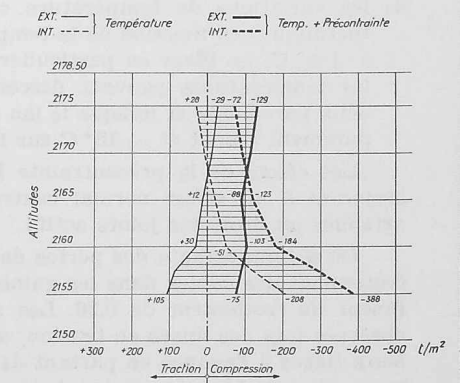


Fig. 12. Contraintes dans les arcs à la clé. Zone hachurée = effet de la précontrainte



portante simultanée sur l'autre arête, de sorte qu'une fissuration du barrage de part en part n'est plus possible.

Sur le graphique de la fig. 13, on a représenté les contraintes dans le mur médian, pour les deux cas du lac plein et du lac vide. Aucune traction ne se produit dans les sections horizontales.

#### 4. Matériaux

Les contraintes dans l'ouvrage sont modérées. On a utilisé des bétons dosés à 250 kg CP/m<sup>3</sup> pour les gros bétons du socle de fondation à la base de l'ouvrage et à 300 kg CP/m<sup>3</sup> pour la voûte. Les agrégats, extraits d'une moraine voisine, ont été subdivisés en 4 composantes, le diamètre maximum étant de 70 mm.

Les résistances moyennes obtenues à 90 jours sur cubes de 20 cm atteignent 401 kg/cm<sup>2</sup>, avec une dispersion de 12,5 %.

#### 5. Durée de la construction

Les travaux du barrage ont commencé au printemps 1957. Les bétonnages ont débuté en septembre de la même année, interrompus par le gel le 30 octobre 1957. Ils ont repris le 3 juin 1958 pour être achevés au début de septembre 1958. La mise en précontrainte de l'ouvrage s'est effectuée pendant le mois d'octobre 1958; elle s'est terminée par le clavage des joints actifs au début de novembre 1958, au moment où la température moyenne du béton des arcs était de + 5° C.

Comme la mise en eau n'a eu lieu qu'en juin de l'année suivante, le barrage a subi à lac vide les rigueurs de l'hiver 1958/1959. Son comportement a été satisfaisant; aucune fissure n'a été observée. Lors de la mise en eau, ces premières constatations ont été confirmées et actuellement le barrage a un comportement tout à fait satisfaisant.

#### 6. Conclusions

La construction du barrage de Tourtemagne est une première application de la précontrainte aux barrages-voûtes minces.

Pour lutter contre les tractions dues aux effets thermiques intenses, la solution adoptée est techniquement plus satisfaisante que celle qui consiste à prévoir un renforcement des sections par des armatures passives.

Cette solution a un caractère général. En effet, pour éviter une fissuration due à des tractions accidentelles modérées dans une section de béton qui à l'état normal est comprimé, il est préférable le plus souvent d'y appliquer une précontrainte, plutôt que d'utiliser une armature passive, pour autant que la sécurité à la rupture ne l'exige pas.

La présence d'une armature passive, par suite des effets du retrait et du fluage du béton, crée dans le massif de béton des tractions additionnelles latentes, ce qui conduit à un résultat contraire à celui recherché. Par surcroît, on court le risque qu'une fissure éventuelle soit accompagnée d'un glissement de l'armature, ce qui empêcherait cette fissure de se refermer lorsque disparaîtra la cause fortuite qui l'a produite. Avec la précontrainte, de tels risques n'existent pas.

Adresse de l'auteur: F. Panchaud, Prof., Ing., Bureau d'Ingénieurs A. Stucky, Lausanne, 6 chemin de Roseneck.

## Kolbenpumpen für feste oder variable Fördermenge

DK 621.65

Die englische Firma Sutcliffe Hydraulics Ltd., Whitwood, Castleford, hat eine Baureihe von Hochdruckpumpen nach Bild 1 entwickelt, die entweder für eine feste oder für stufenlos veränderliche Förderung verwendbar ist. Die Pumpen sind mit 2, 3, 5 oder 6 Zylindern lieferbar. Sie fördern 0,0126 bis 72 l/s gegen Drücke von 850 at (bei der kleinsten Fördermenge) bis 140 at (bei der grössten). Wird die dreizylindrige Pumpe mit einem Motor von 18 PS ausgerüstet,

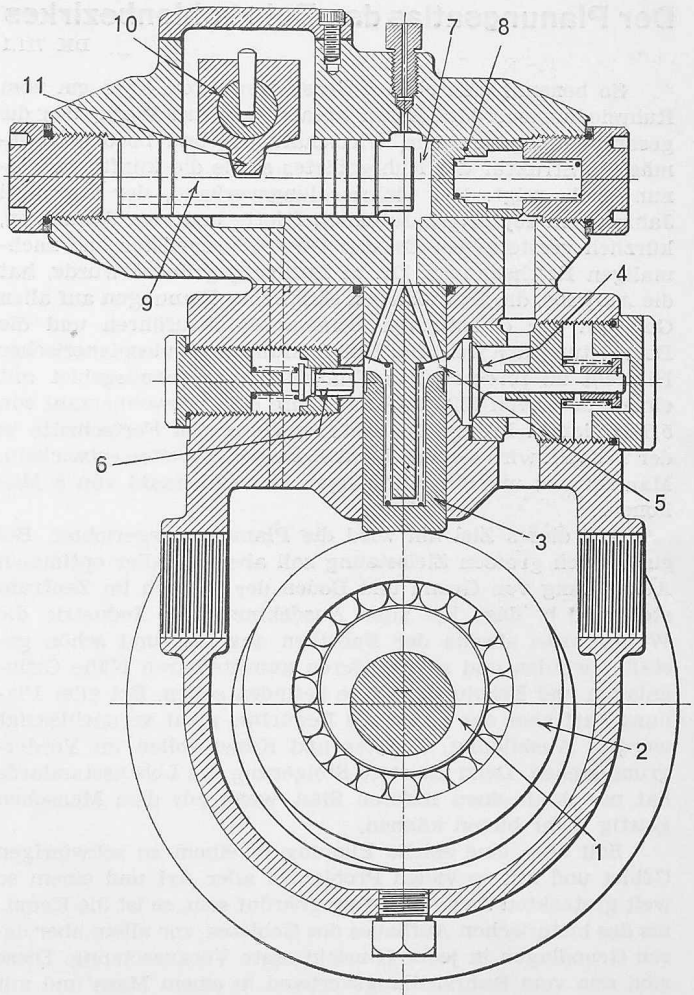


Bild 1. Zylinderkopf für variable Fördermenge der Kolbenpumpe der Sutcliffe Hydraulics Ltd. Zahlenerklärung im Text

so liefert sie 5,7 l/s bei 210 at oder 3,0 l/s bei 350 at. Bei der sechszylindrigen Maschine liegen je drei Zylinder einander gegenüber. Sie kann mit einem Motor von 185 PS ausgerüstet werden und fördert alsdann 60 l/s bei 210 at oder 72 l/s bei 180 at. Die Pumpe mit drei Zylindern wiegt rd. 90 kg, die sechszylindrige Grossausführung rd. 1600 kg. Das einzelne Aggregat besteht aus einem Getriebekasten, an den auf der einen Seite der Motor, auf der andern die Pumpe angeflanscht sind. Die beidseitig gelagerte Pumpenwelle trägt ein Exzenter 1, das über ein Rollenlager einen Stahlring 2 bewegt, auf den sich der durch eine Feder belastete Pumpenkolben 3 abstützt. Beim Abwärtsgang des Kolbens 3 wird Flüssigkeit durch das Saugventil 4 in den Arbeitsraum 5 angesogen; beim Aufwärtsgang von 3 strömt die Flüssigkeit durch das Druckventil 6 in die Druckleitung. Diese Arbeitsweise entspricht der Ausführung für unveränderliche Fördermenge, bei der die Zylinder durch einen ebenen Deckel abgeschlossen sind. Bild 1 zeigt den Zylinderkopf für variable Fördermenge. Bei ihm ist der Arbeitsraum 5 durch Bohrungen mit der Kammer 7 verbunden, die auf der einen Seite durch einen federbelasteten Kolben 8 und auf der andern durch einen verschiebbaren Kolben 9 abgeschlossen wird. Bei voller Förderung befindet sich 9 ganz rechts und drückt 8 gegen seinen Anschlag an der Verschlussmutter. Bei verringerter Förderung wird 9 durch den Nocken 11 an der Regelwelle 10 in einer Zwischenstellung festgehalten und lässt so dem Kolben 8 ein gewisses Spiel frei. Um das diesem Spiel entsprechende Volumen verringert sich das Förder Volumen je Hub des Arbeitskolbens 3. Die Pumpen werden hauptsächlich zur Uebertragung von Leistungen, so z. B. im Tunnelbau zum Verschieben von Schildern verwendet. Eine Beschreibung findet sich in «The Engineer» vom 6. April 1962, S. 627.