

Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht

Band: 6 (1960)

Artikel: Application de la précontrainte aux barrages-voûtes minces: le barrage de Tourtemagne en Valais (Suisse)

Autor: Panchaud, F.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-7007>

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: 15.01.2026

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

VI 3

Application de la précontrainte aux barrages-vôûtes minces: Le barrage de Tourtemagne en Valais (Suisse)

Anwendung der Vorspannung bei dünnen Bogen-Staumauern: Die Staumauer von Turtmann im Wallis (Schweiz)

Application of Prestressing to Thin Arch Dams: the Turtmann Dam in Valais (Switzerland)

F. PANCHAUD

Prof., ingénieur, collaborateur au Bureau A. Stucky, Lausanne

1. Généralités et description du barrage

Le bassin de compensation de Tourtemagne en Valais fait partie de l'aménagement hydroélectrique du Val d'Anniviers¹⁾; les eaux qui sortent du glacier sont dérivées dans la vallée voisine de Zinal. La retenue de 850 000 m³ 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'enca斯特ement, l'épaisseur de la voûte passe de 1,20 m à 3 m dans la partie supérieure du

¹⁾ Une description de cet aménagement a été publiée dans le Bulletin technique de la Suisse romande du 5 février 1955.

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 sur le 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 muni de trois joints verticaux, badigeonnés par un produit bitumineux (fig. 2).

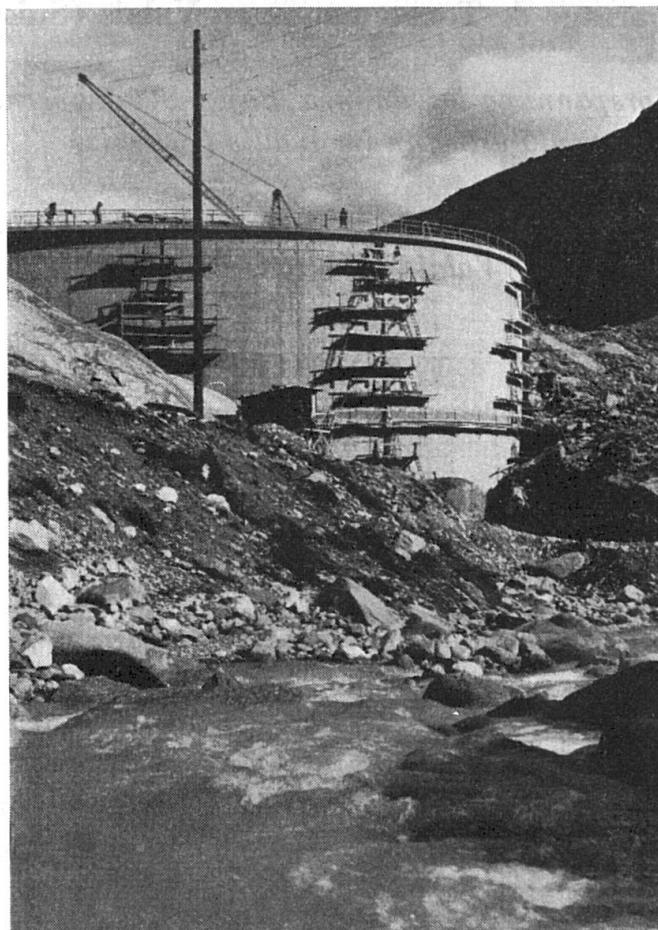


Fig. 1. Vue amont du barrage. On distingue les joints actifs verticaux encore ouverts.

Le climat auquel sera 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 subira un refroidissement intense; la température moyenne du béton pourra descendre à -15° , provoquant des contraintes de traction dans la voûte, 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/cm² 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

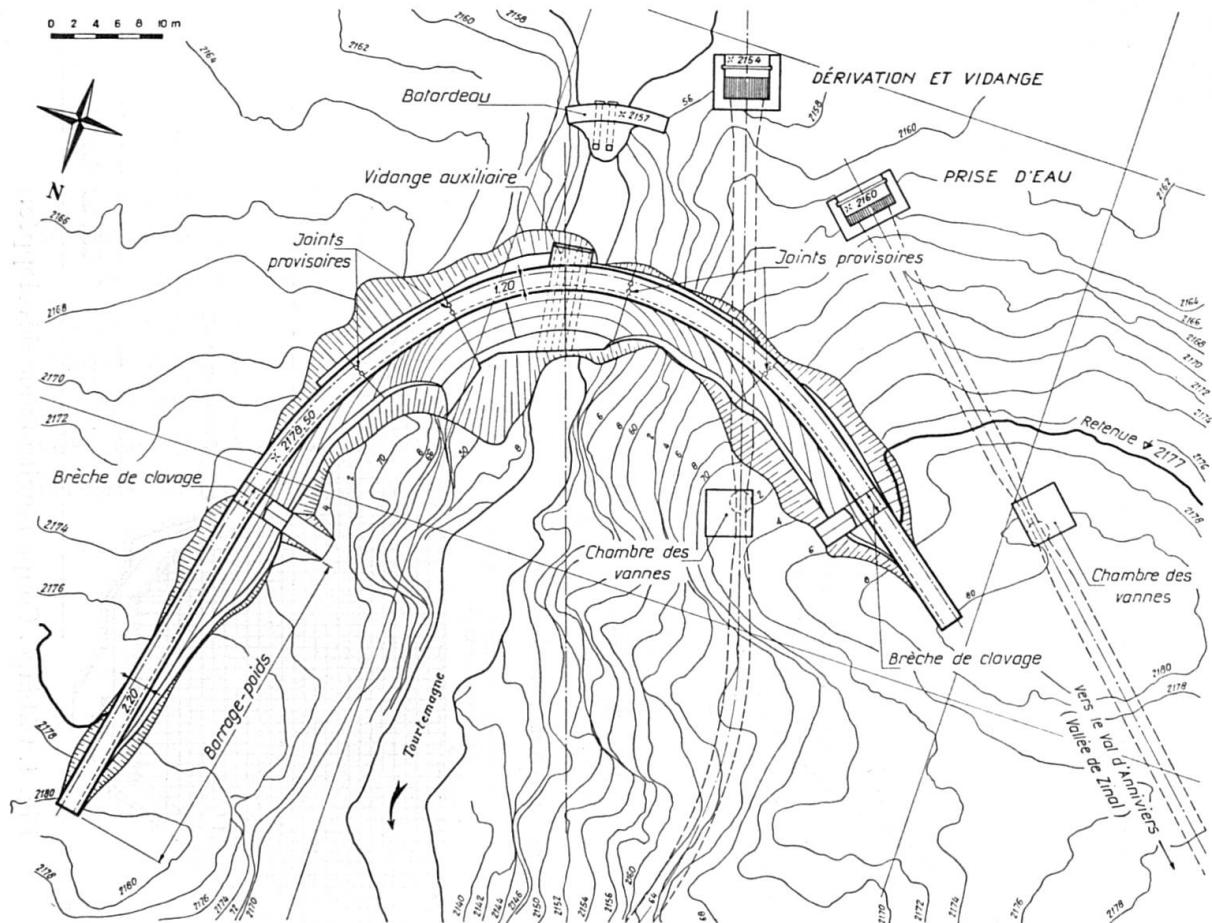


Fig. 2. Vue en plan du barrage.

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.

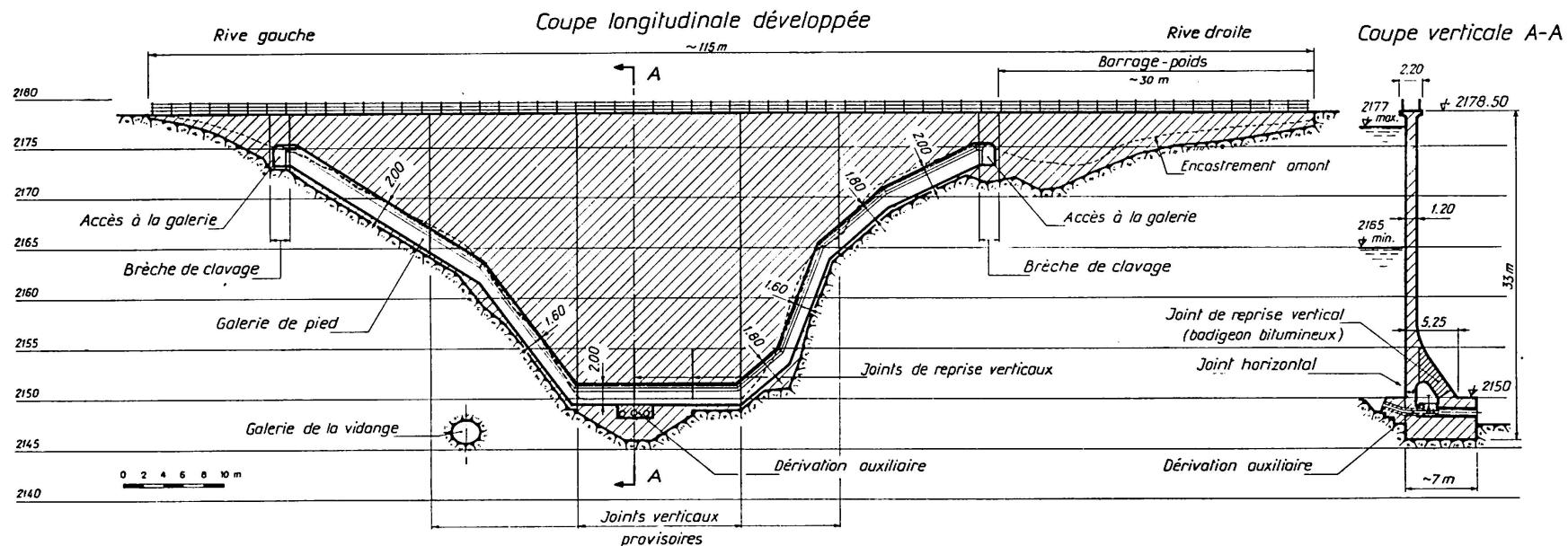


Fig. 3. Coupe longitudinale développée.

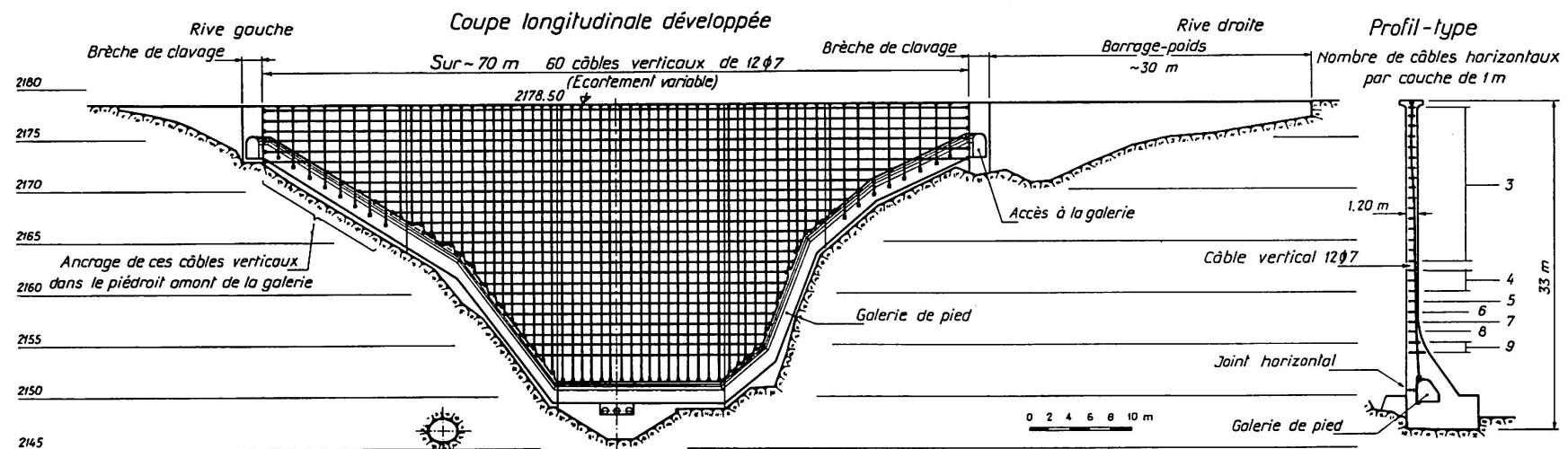


Fig. 4. Câblage. Coupe longitudinale développée.

2. Disposition de la précontrainte

La voûte est soumise à une précontrainte biaxiale 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/mm², limite apparente d'élasticité supérieure: 135 kg/mm²). (Fig. 4.)

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 entraver le bétonnage, les câbles verticaux sont passés dans des tubes posés dans le béton au moment 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 précontrainte horizontale exercée par les seuls câbles horizontaux

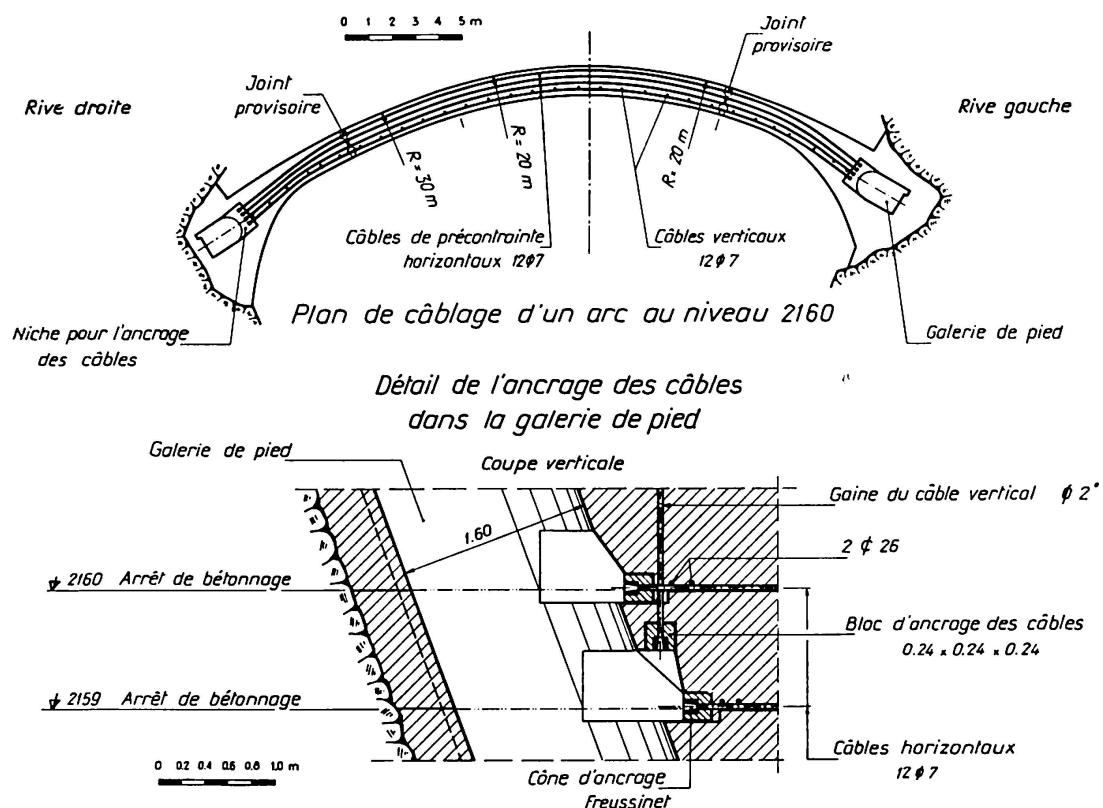


Fig. 5. Câblage horizontal. Détail de l'ancrage des câbles.

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 vers l'aval de la voûte du barrage 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 découplant la voûte du barrage en 5 vous-

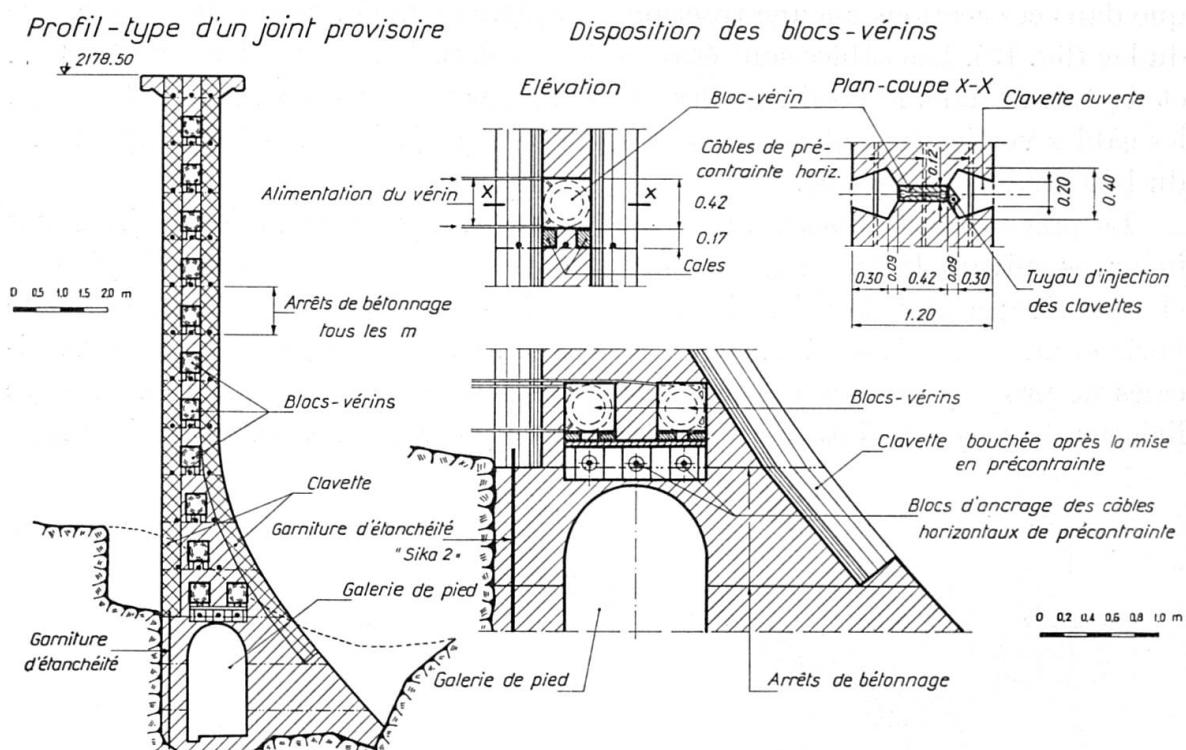


Fig. 6. Détail des joints actifs provisoires.

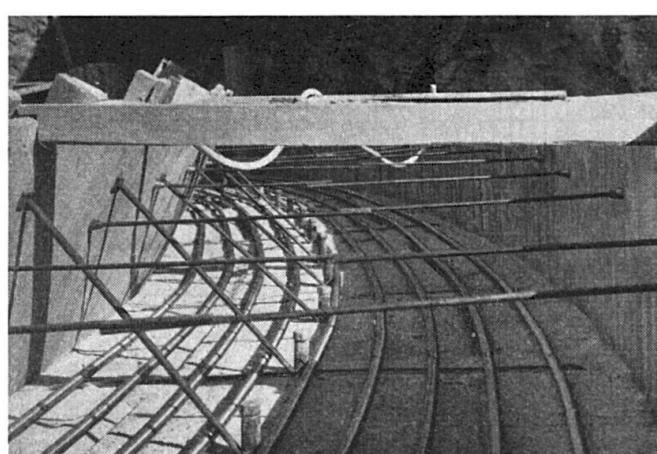


Fig. 7. Câbles horizontaux avant le bétonnage, dans la zone du pied du barrage.

soirs de 15 et 17 m de longueur. En outre, dans le voisinage du couronnement, on a laissé ouvertes deux brèches de clavage qui ne seront fermées qu'après la mise en précontrainte et en saison froide.

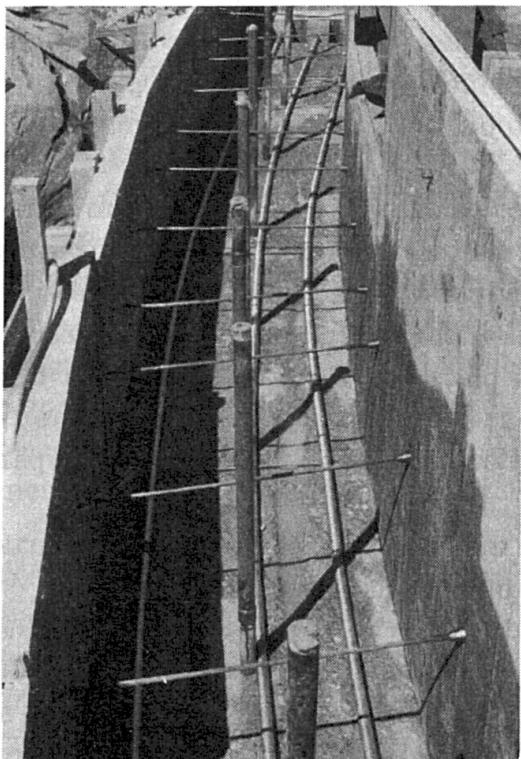


Fig. 8. Câbles horizontaux dans la partie mince du barrage. On distingue les tubes de passage des câbles verticaux.

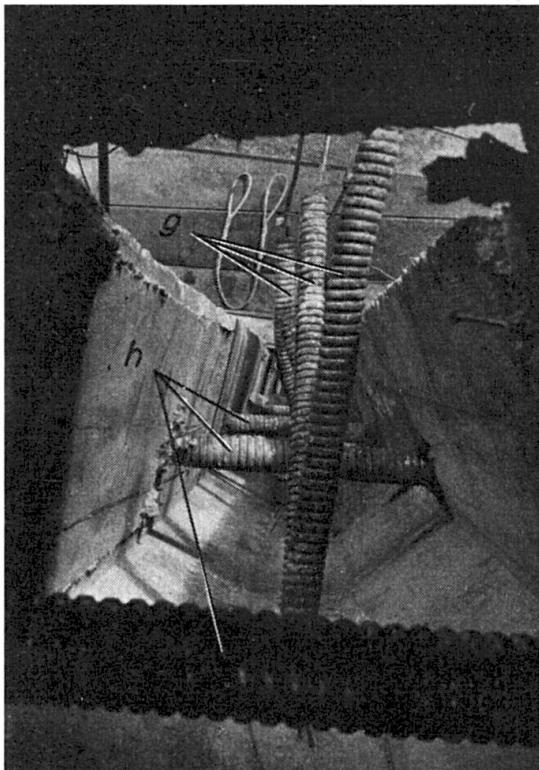


Fig. 10. Vue plongeante du logement de la clavette amont d'un joint actif. On distingue les câbles horizontaux (*h*) traversant la clavette et les gaines de protection des tubes d'alimentation des vérins plats (*g*).

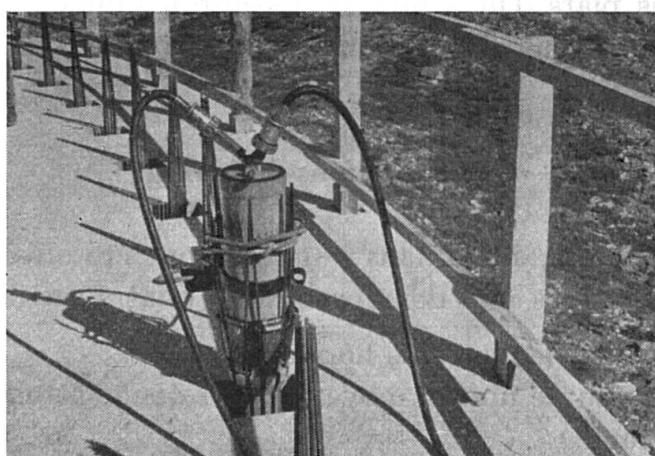


Fig. 9. Mise en tension des câbles verticaux à partir du couronnement.

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 incident 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 $+5^\circ$. 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,

- d) les variations de température correspondant aux états thermiques en fonction de la température de clavage fixée à $+5^\circ$; en hiver en particulier, lorsque le lac est vide les températures peuvent descendre à -15° sur les deux parements et lorsque le lac est plein $+1^\circ$ sur le parement amont et -15°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 chaque câble, prévue à 50 t derrière les cônes, tombent à 40 t dans les différentes sections. La précontrainte moyenne dans les arcs reste modérée, elle est de 10 kg/cm² dans les arcs voisins du couronnement et elle monte à 13 à 15 kg/cm² 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 et 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 importante 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

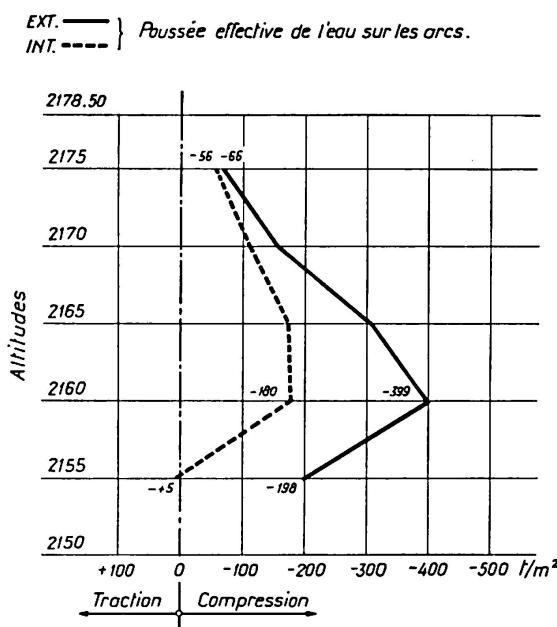
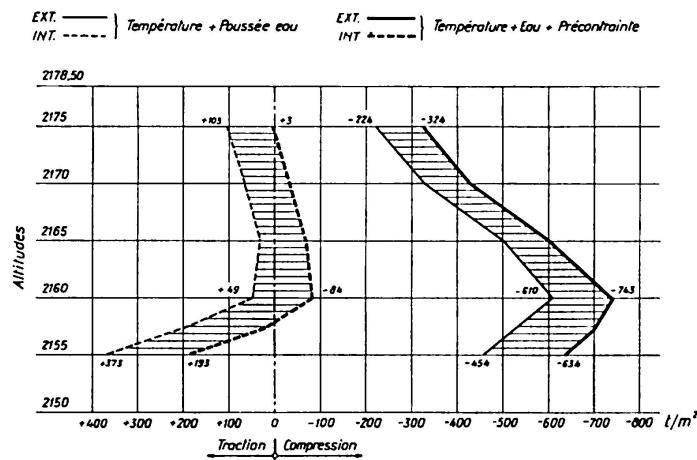


Fig. 11. Contraintes dans les arcs à la clé dues à la poussée de l'eau.

a) Lac plein - Hiver



c) Lac vide - Hiver

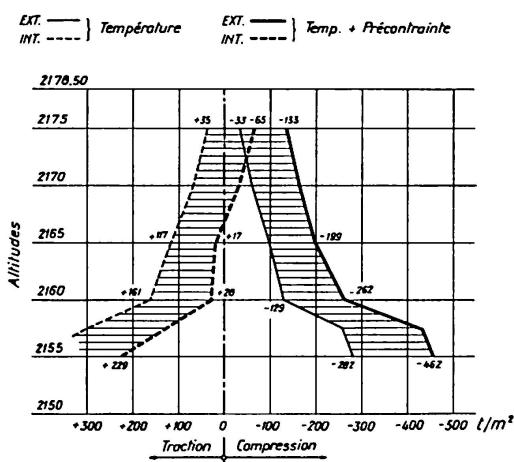
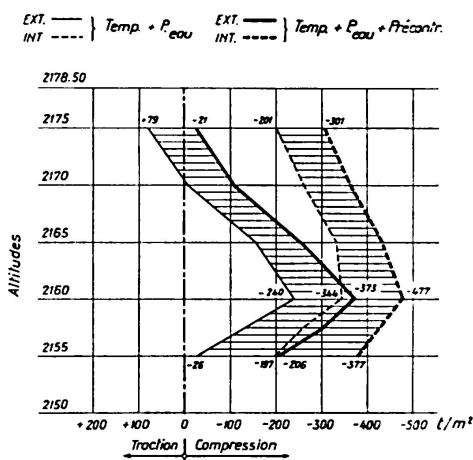
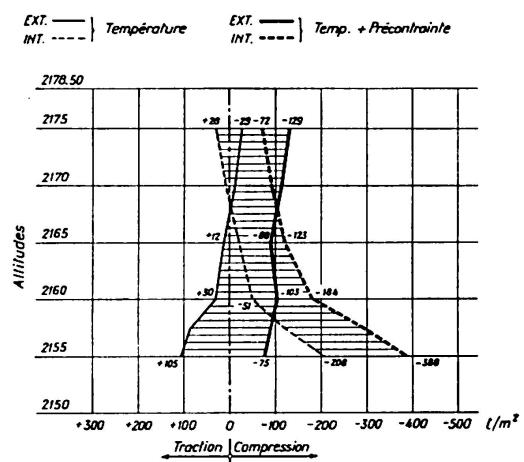


Fig. 12. Contraintes dans les arcs à la clé. Zone hachurée = effet de la précontrainte.

b) Lac plein - Eté



d) Lac vide - Eté



| | | | |
|--------------|----------|------------------------------|-------------------------------|
| <i>Amont</i> | <u>—</u> | <i>Poids propre</i> | <i>P. propre + Précontr.</i> |
| <i>Aval</i> | <u>—</u> | | |
| <i>Amont</i> | <u>—</u> | <i>P. propre + Précontr.</i> | <i>P. prop. + Préc. + Eau</i> |
| <i>Aval</i> | <u>—</u> | | |

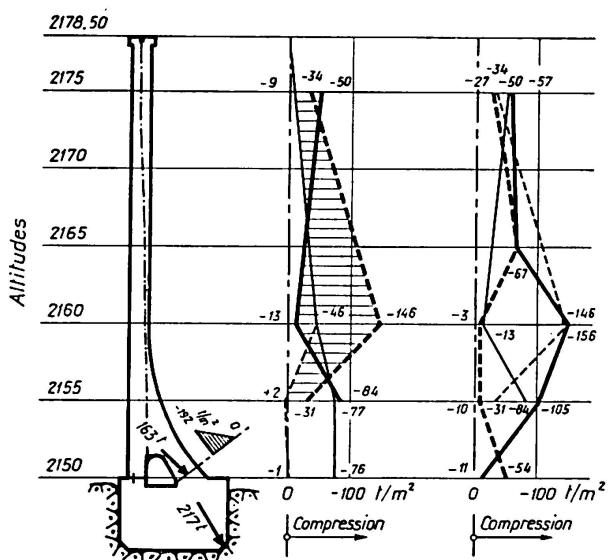


Fig. 13. Contraintes dans le mur médian.

médian, pour les deux cas du lac plein et du lac vide. Aucune traction ne se produit dans les sections horizontales.

4. 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. En effet, pour neutraliser des tractions toujours modérées de 10 à 15 kg/cm², la précontrainte est certainement plus efficace que tout autre système d'armature. Il s'agit de sollicitations en général modérées que l'on peut atténuer, sinon faire disparaître, au moyen d'un câblage de précontrainte relativement peu important.

Résumé

Le barrage de Tourtemagne, situé à l'altitude 2180, est une voûte cylindrique verticale de 28,5 m de hauteur et de 115 m environ de longueur au couronnement; son épaisseur est de 1,2 m. L'ouvrage est soumis à une précontrainte bidimensionnelle (horizontale et verticale) pour créer sur toutes les sections des compressions permanentes même lorsque le lac est vide. Les modalités de cette précontrainte ont été étudiées pour neutraliser la plus grande partie des efforts parasites consécutifs à l'hyperstaticité de l'ouvrage.

Dans les barrages-voûtes les compressions permanentes dans les arcs sont presque insignifiantes quand le lac est vide. Le refroidissement de l'ouvrage en hiver produit alors des contraintes de traction non compensées qui peuvent amener une fissuration des arcs. Lorsque le barrage a plusieurs mètres d'épaisseur cette influence est négligeable car les variations de température sont très faibles. Par contre, si le barrage est mince, comme c'est le cas pour le barrage de Tourtemagne, les abaissements de température en hiver lorsque le lac est vide peuvent entraîner des efforts de traction capables de fissurer la voûte de part en part, compromettant l'étanchéité de l'ouvrage. Pour prévenir la formation de ces fissures une armature de béton armé passive est inefficace. Par contre si l'on crée dans l'ouvrage des compressions permanentes par une précontrainte, on obtient le résultat cherché.

Zusammenfassung

Die Staumauer von Turtmann auf 2180 m ü. M. besteht aus einer senkrechten, zylindrischen Schale von 28,5 m Höhe und ungefähr 115 m Kronenlänge. Die Wandstärke beträgt 1,2 m. Das Bauwerk ist zweidimensional

(horizontal und vertikal) vorgespannt, um in allen Schnitten einen auch bei leerem See permanenten Druck zu erzeugen. Der Vorgang dieser Vorspannung wurde untersucht, um den größten Teil der Zusatzbeanspruchungen infolge der statisch unbestimmten Wirkung des Werkes zu neutralisieren.

In den Bogenmauern ist der permanente Druck bei leerem See praktisch unbedeutend. Die Abkühlung des Bauwerkes im Winter erzeugt eine Zugbeanspruchung, welche, unausgeglichen, eine Rissebildung im Bogen hervorrufen kann. Wenn die Wandstärke der Mauer mehrere Meter beträgt, ist diese Beeinflussung vernachlässigbar, denn die Temperaturunterschiede im Bauwerk sind sehr klein. Ist hingegen die Mauer sehr dünn, wie es bei der von Turtmann der Fall ist, können die Temperatursenkungen Zugbeanspruchungen hervorrufen, die imstande sind, im Bogen durchgehende Risse zu erzeugen und so die Undurchlässigkeit des Bauwerkes in Frage zu stellen. Eine schlaffe Bewehrung des Betons ist unwirksam, um die Rissebildung zu verhindern. Dagegen erreicht man das gesuchte Ergebnis, wenn man im Bauwerk mit Vorspannung einen permanenten Druck erzeugt.

Summary

The Tourtemagne Dam, situated at an altitude of 2180 m above sea level, consists of a vertical cylindrical shell, 28.5 m in height, 1.2 m thick, and with a length of about 115 m at the crest. The structure is provided with a two-dimensional prestress (horizontal and vertical) in order to obtain permanent compressive stresses in all sections, even when the impounding reservoir is empty. This prestress has been so devised as to neutralise for the most part the parasitic stresses due to the statically indeterminate character of the structure.

In arch dams the permanent compressive stresses in the arches are almost insignificant when the impounding reservoir is empty. Cooling of the structure in winter produces tensile stresses which are not compensated and which are liable to cause cracking of the arches. If the dam is several metres thick, this influence is negligible, because in that case the temperature variations within the structure are very small. On the other hand, if the dam is a thin one, as in the case of the Tourtemagne Dam, the falls in temperature that occur in winter, when the reservoir is empty, may produce tensile stresses capable of cracking the arch through and through, thus jeopardising the imperviousness of the structure. A non-tensioned reinforcement is ineffective in preventing the formation of these cracks. On the other hand, if permanent compressive stresses are produced in the structure by means of a prestress, the desired result will be achieved.