

La construction métalliques de l'usine hydro-électrique de Wettingen

Autor(en): **Sturzenegger, P.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **2 (1936)**

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-2994>

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.

VIIb 5

Les constructions métalliques de l'usine hydro-électrique
de Wettingen.

Die Stahlkonstruktionen des Limmatwerkes
Wettingen.

The Steel Structures of the Hydro-Electric Plant at Wettingen.

P. Sturzenegger,

Direktor der Eisenbaugesellschaft, Zürich.

1) Disposition d'ensemble.

L'usine de la Limmat à Wettingen, située 20 km en aval du lac de Zurich d'où sort cette rivière, sert à la production d'énergie électrique pour la ville de Zurich. C'est une des plus récentes constructions hydrauliques de Suisse, elle fut mise en service en 1933. L'utilisation de la chute de la Limmat est obtenue par l'élévation artificielle du niveau de la rivière par un barrage avec usine accolée. Comme nous le montrent les fig. 1 et 2, des pertuis sont construits à l'intérieur du barrage pour permettre d'évacuer les eaux surabondantes. Le barrage est évidé et se compose de 5 ouvertures séparées par des piliers de 5 m d'épaisseur dans lesquelles sont disposées des vannes de chasse à double fermeture. Ces fermetures, construites pour une perte d'eau admissible de 50 litres à la seconde, se composent pour chaque pertuis d'une vane à glissière de 2,8 m de hauteur libre en amont, et d'une vannesegment de 2,5 en aval. La pression hydrostatique maxima au radier est de 19,50 m. La régularisation du niveau de la retenue s'effectue au moyen de 4 déversoirs automatiques de 2,5 m de hauteur placés sur la couronne du barrage. Pendant le service normal de l'usine, les crues moyennes peuvent être évacuées par les turbines et par le déversoir, de sorte que les vannes de chasse n'ont à intervenir qu'en de rares occasions. L'étanchéité est obtenue par les vannes d'amont, tandis que les vannes-segment ne servant qu'au réglage des chasses. Par conséquent, les vannes à glissière restent pendant la marche de l'usine, ou bien complètement fermées ou bien complètement ouvertes. Dans ce dernier cas, les vannes doivent être élevées au moins 1,0 m au-dessus de l'arrête supérieure du pertuis afin d'éviter les effets hydrodynamiques.

Les treuils des deux vannes sont construits séparément. Pour les vannes à glissière elles se trouvent dans des chambres de manoeuvre sur la couronne du barrage et pour les vannes-segment elles sont situées dans le corps du barrage lui-même. Les treuils des vannes-segment sont construites pour pouvoir fonctionner sous une pression d'eau équivalente à la chute totale de 19,50 m tandis

que les treuils des vannes à glissière n'ont qu'à résister à une pression équivalente à une colonne d'eau de 5 m. La réduction de la pression hydrostatique de 19,50 m, agissant sur les vannes à glissière abaissées, à une pression d'eau de 5 m, nécessaire à leur fonctionnement, est obtenue au moyen d'une conduite

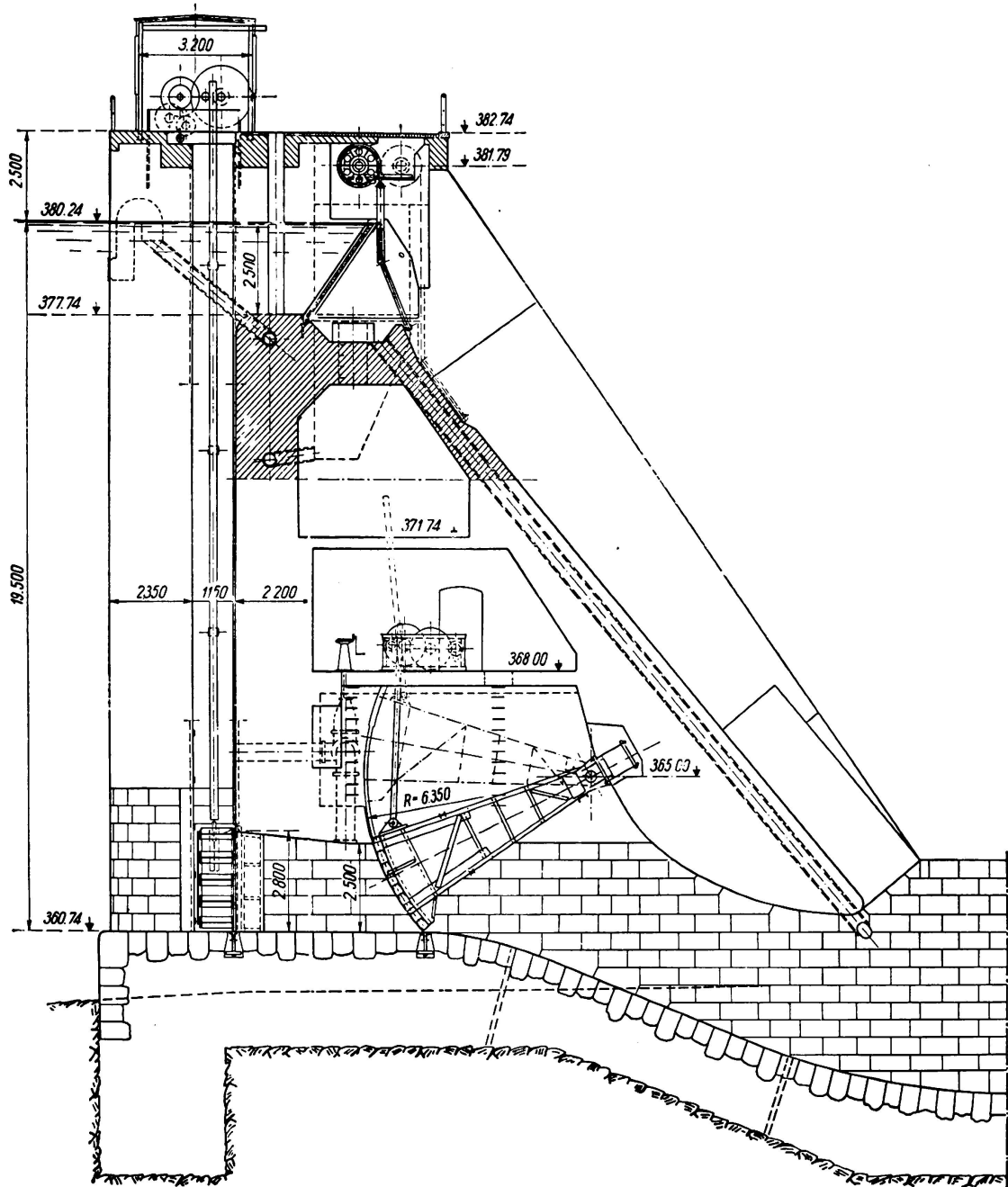


Fig. 1.

Coupe à travers le barrage.

de décharge en communication avec le bief amont et aboutissant dans l'espace compris entre les deux vannes. Les robinet-vannes de cette conduite se trouvent dans la même chambre que les treuils des vannes-segment. La pression d'eau entre les deux vannes est contrôlée par le personnel pendant la marche des

treuils au moyen d'un piézomètre. On évita un équilibre complet des pressions d'eau afin que les vannes à glissière ne se détachent pas de leur étanchement et que des corps flottants ne s'introduisent pas entre la vanne et les fers plats de glissement. Le dimensionnement des treuils pour une pression de 5 m donne une construction assez forte. La levée des vannes à glissière par moteur électrique est de 0,20 m à la minute, la manoeuvre à main par treuil (4 hommes par vanne) donne une levée de 0,55 m à l'heure. Les vannes-segment qui ont ensuite à supporter la pression hydraulique totale de 19,50 m sont actionnées par de très forts treuils mécaniques avec une levée qui comporte: 0,50 m à la minute pour la marche électrique et 0,70 m à l'heure pour la manoeuvre à main (2 hommes par vanne). On peut accéder à tout instant aux vannes-segment de même qu'à la paroi aval des vannes à glissière fermées par un trou d'homme dans le plancher intermédiaire du barrage, en sorte qu'il est permis de surveiller le bon fonctionnement des appareils et en particulier des étanchements.

Avec le déversoir automatique construit sur la couronne du barrage, il est permis de régler le niveau de la retenue avec une précision de ± 2 cm et $- 0$ cm.

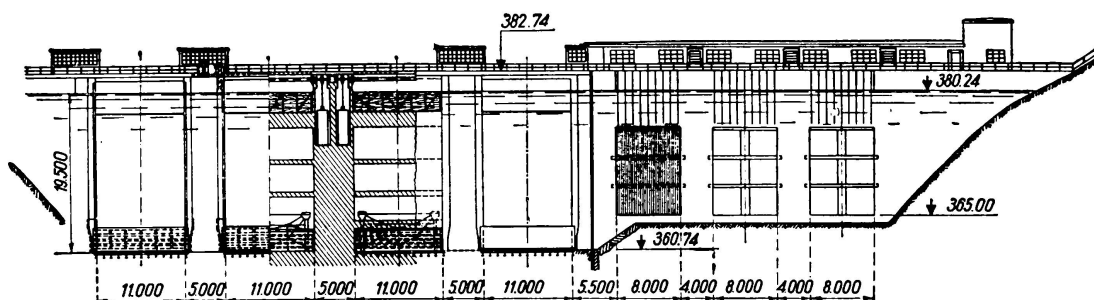


Fig. 2.

Vue et coupe longitudinale du barrage.

Dans les chapitres suivants nous voulons décrire les organes de fermeture de cet ouvrage remarquable, parmi lesquels se trouvent quelques nouvelles constructions intéressantes, en particulier les organes d'étanchéité.

2) Vannes d'étanchéité des pertuis de chasse.

La fig. 3 nous montre une section à travers la vanne à glissières ainsi que la suspension et l'appui de celle-ci. Latéralement, la vanne à glissières pénètre dans une rainure verticale dans laquelle sont disposés les éléments d'appui et d'étanchéité. Les vannes ont une portée de 11,4 m, se composent de 5 profilés Differdanges sur l'aile desquels est fixée du côté amont une tôle de 12,1 mm, d'épaisseur, et qui sont verticalement reliés par des entretoises à âme pleine adaptés aux profils des Differdanges. L'extrémité dans la rainure est également terminée par une entretoise pleine de sorte que le tout forme une construction rigide. L'aile de la poutre inférieure se trouve 12 cm au-dessus du seuil du barrage; cette hauteur est suffisante pour empêcher que par suite d'un engorgement de cette fente il ne se forme une sous-pression qui gêne la marche des vannes. Les poutres supérieures et inférieures qui ont à supporter directement

la pression verticale de l'eau sur l'âme sont renforcées par des nervures soudées entre les entretoises. Les deux entretoises de bord transmettent la poussée de l'eau sur le guidage latéral des rainures par l'intermédiaire de plats en bronze interchangeable, glissant sur des plats d'acier polis, également interchangeable. On obtient l'étanchéité de l'appui horizontal supérieur de la vanne de la même façon. L'étanchéité sur le seuil est obtenu par un plat d'acier poli de 25 mm de surface d'appui qui vient reposer sur une traverse d'acier (fig. 4). Cette traverse est percée de trous par lesquels on injecte du ciment pour obtenir des assises compactes. Ces trous sont ensuite bouchés avec des vis, de même les ouvertures pour boulons d'ancrage sont coulés avec du plomb, en sorte qu'on obtient une surface de contact bien polie. L'aile du Differdange supérieur est renforcée de

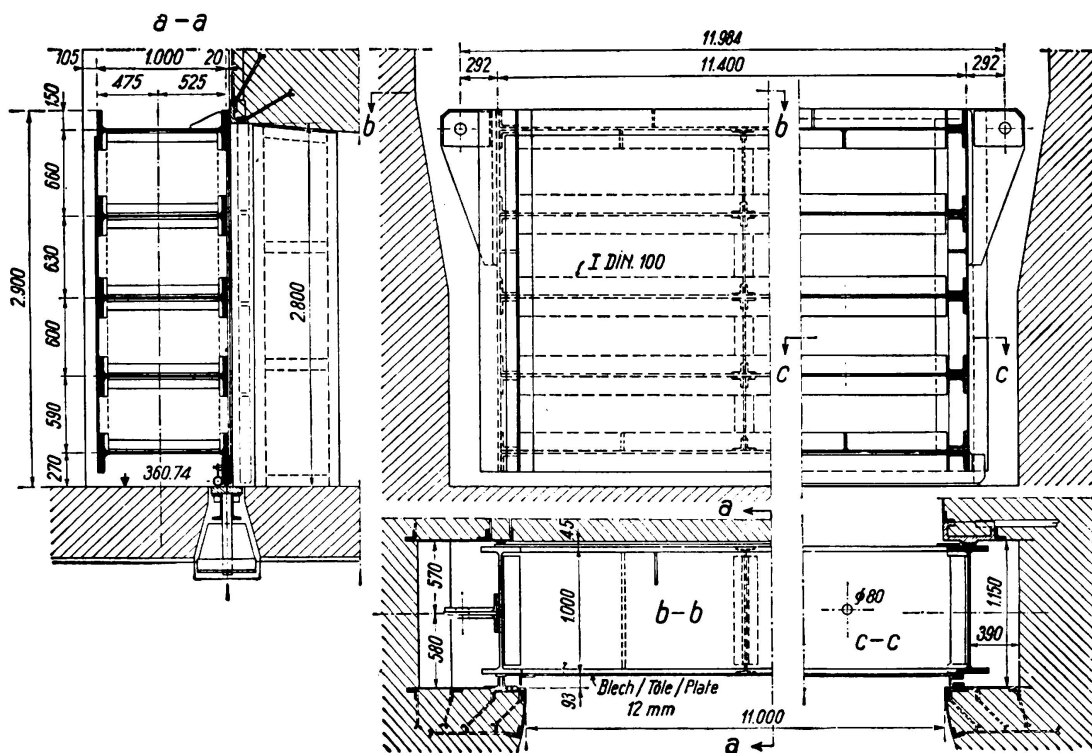


Fig. 3.

Vanne à glissement.

telle façon qu'elle s'applique exactement sur son appui étanche sans déformation sensible. Par contre, les poutres inférieures se déforment progressivement sous la pression importante de l'eau, en sorte qu'il est nécessaire de prévoir un étanchement complémentaire sous forme de tuyau s'appuyant sur le seuil (fig. 4). Celui s'applique par suite de sa capacité de déformation exactement entre le couteau de la vanne et la traverse de seuil; l'étanchéité obtenue ainsi est confirmée par les constatations qu'on a pu faire depuis la mise en service.

La suspension des vannes s'effectue dans le plan de gravité de celles-ci au moyen de deux consoles placées entièrement dans les rainures et fixées à des barres dentées qui sont ainsi en dehors du courant du pertuis. Ces barres se décomposent en éléments susceptibles d'être démontés pour révision après une levée complète de la vanne jusqu'à la salle des machines supérieure. L'armature

des rainures se compose: dans les régions où la vanne fermée doit transmettre la pression totale de l'eau, de rails en acier coulé tandis que dans les régions supérieures jusqu'à la couronne du barrage elle est construite plus légèrement et se compose de fers en [avec plats d'acier polis, le mouvement de la vanne s'effectuant sous une pression à peu près égale de chaque côté. D'une façon analogue on a construit le guidage dans la paroi amont de la rainure, un fer plat vertical, en face une cornière fixée à la vanne. Cette cornière a aussi pour fonction de protéger la rainure contre l'introduction de corps flottants. Les parois amont et aval de la rainure sont blindées de tôles de 12 mm d'épaisseur tandis que le fond de la rainure est revêtu de granit.

Les vannes à glissières sont dimensionnées, pour une poussée hydrostatique de 20,0 m d'eau, d'après les normes fédérales pour constructions métalliques.

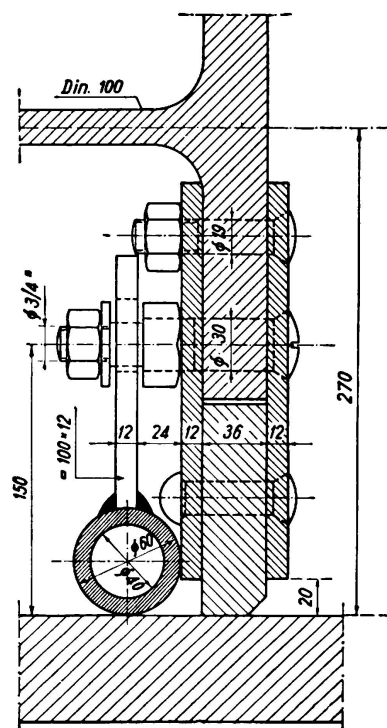


Fig. 4,
Etanchement au sol de
la vanne à glissement

Le matériau utilisé fut de l'acier St 37 avec une limite d'étirement de 0,6 au moins de la rupture à la traction; pour les guidages et les étanchements du bronze, de l'acier coulé et d'une fonte spéciale. Les forces d'ascension ont été calculées pour le poids des vannes moins la poussée correspondante de l'eau, le poids des barres dentées, pour la charge d'eau sur le plat de l'étanchement horizontal supérieur de 2 cm d'épaisseur pour une surpression de 5 m, pour une surcharge d'eau de 19,5 m sur l'étanchement de fond de 2,5 cm de largeur, enfin pour un frottement calculé sur la base d'un coefficient de 0,35, au total une force de 100 tonnes. La force de fermeture des vannes se déduit de la résistance au frottement, comme nous venons de la calculer, diminuée du poids propre des vannes et des barres dentées moins la poussée. Il en résulte une force de fermeture de 30 tonnes, pour laquelle force les barres dentées doivent être dimensionnées au flambage.

3) Vannes de réglage des pertuis de chasse.

Les vannes de réglage pour pertuis de chasse sont construites en forme de segment. L'étanchéité d'amont est obtenue à la même hauteur et de la même façon que pour les vannes à glissières. Leur arc de rotation se trouve à la cote 365,0. Comme on le voit sur la fig. 5, d'après la disposition constructive, les vannes à segment sont formées de 2 poutres à deux rotules avec tirant qui s'appuient sur les pivots. Les deux parois-leviers, comme parties intégrantes des poutres à deux rotules, ainsi que les goussets d'assemblage intérieur de ces derniers,

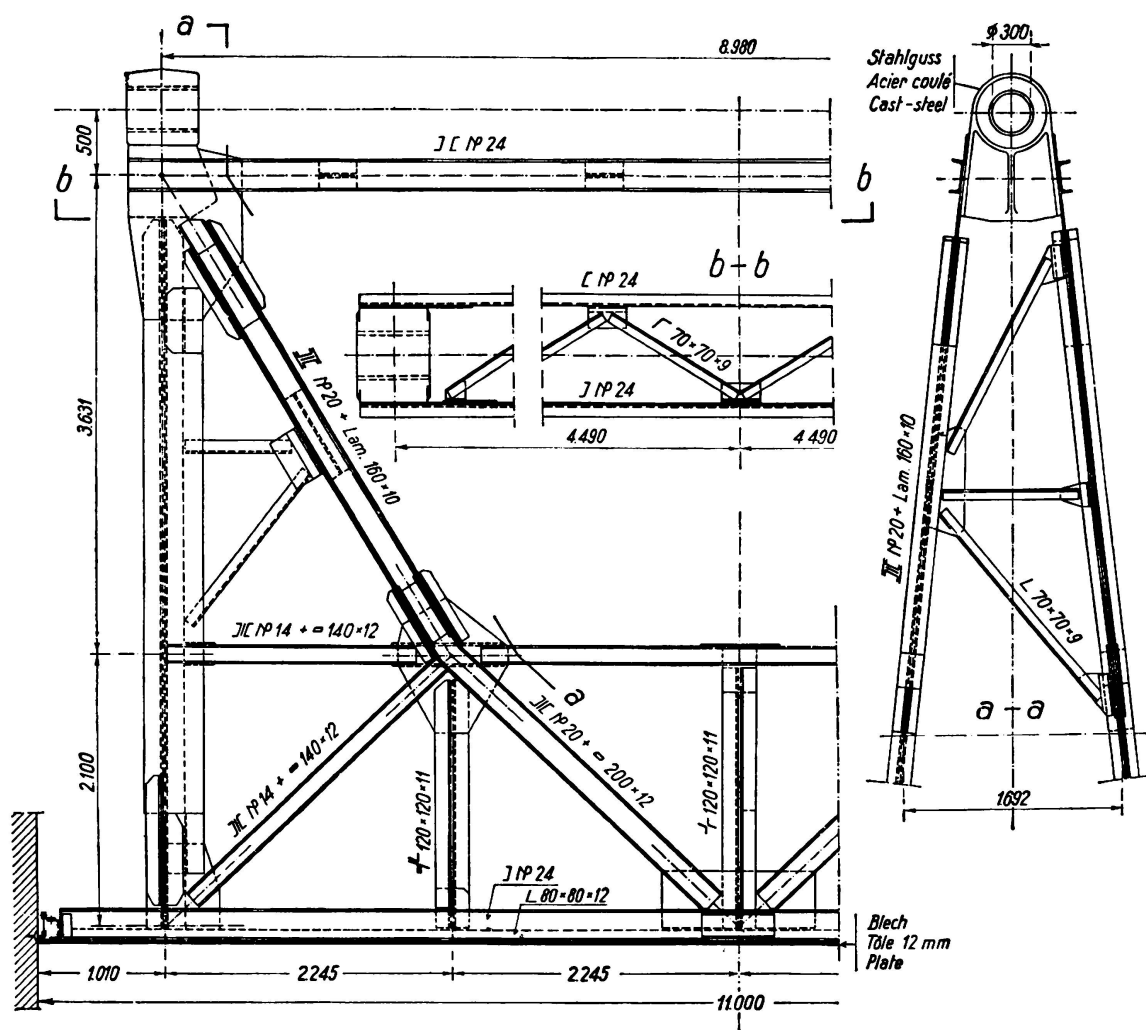


Fig. 5.

Construction métallique des vannes à segment.

supportent des entretoises à âme pleine sur lesquelles est posé un grillage de poutrelles supportant la tôle en forme d'arc de cercle. Le tirant décharge le palier du pivot de la poussée horizontale. Les vannes et leur étanchement peuvent être révisés en éloignant les parois-leviers de 1 m chacune du pertuis. Par suite du passage de l'eau sous une pression de 19,50 m, les vannes-segment sont calculées pour des efforts hydrodynamiques. Tous les boulons et les écrous devant être changés sont en bronze. La suspension des vannes a lieu au moyen

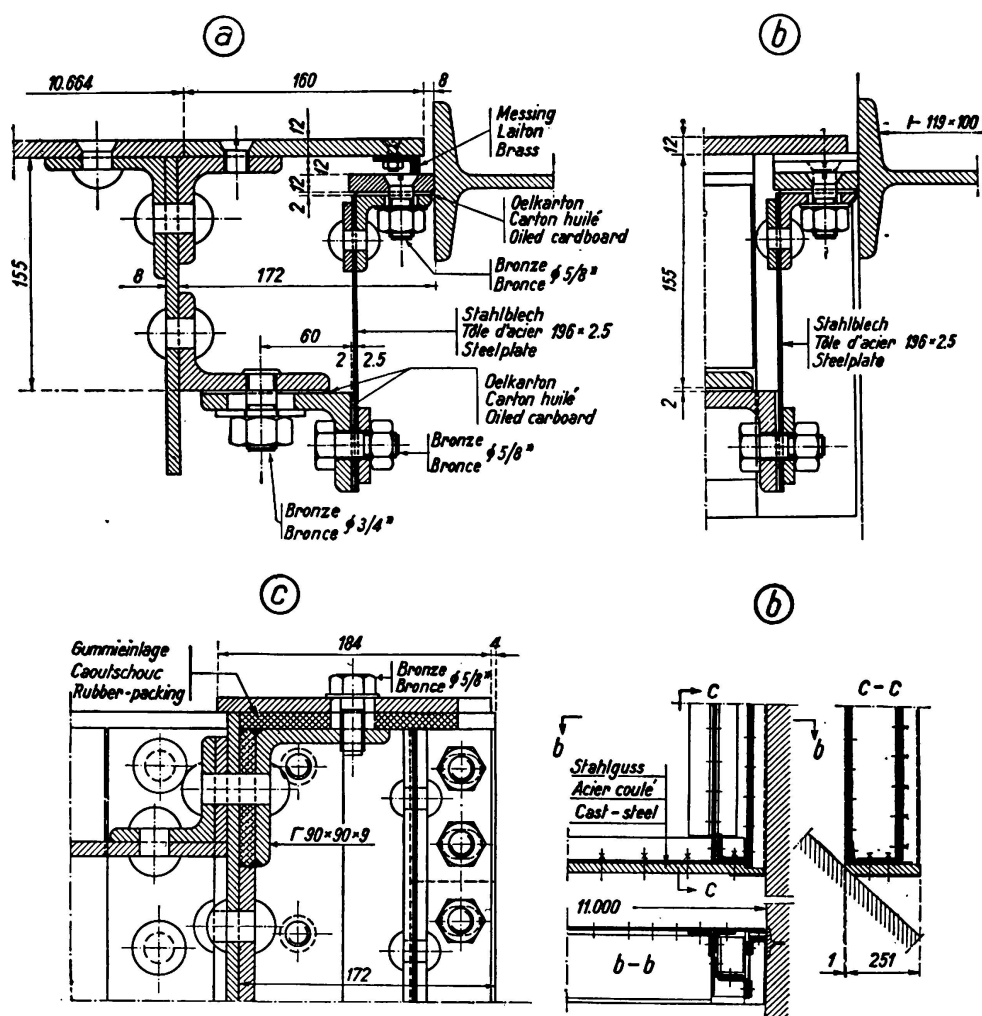


Fig. 6.

Détails d'étanchement des vannes à segment.

- a) Etanchement latéral normal.
- b) Raccord de l'étanchement latéral à l'étanchement du radier.
- c) Raccord de l'étanchement latéral à l'étanchement supérieur.

d'une console formée par le prolongement des entretoises dans le plan des parois-leviers, comme le montre la fig. 1.

L'étanchéité de fond s'effectue sur la plaque du seuil du barrage, par des plats d'acier coulé polis, fixés sur la vanne. Les surfaces de contact ne dépassent pas 40 mm afin d'éviter une sous-pression éventuelle sous la vanne, empêchant la fermeture. D'après le calcul, cette sous-pression est égale à zéro car toute la pression sous le couteau dans la position qui précède la fermeture de la vanne est entièrement transformée en vitesse.

Les étanchements latéraux (fig. 6) se composent de tôles d'acier à ressort, d'une haute résistance et d'une épaisseur de 3 mm, déplaçables sur la cornière de contact de la vanne. A l'extrémité libre, la cornière est renforcée pour supporter le fer plat. Ces plats sont découpés en pièces de 60 cm et proprement polis afin qu'ils s'adaptent exactement aux guidages ancrés dans le béton des piles. Ils se posent sur des guidages de la paroi des piles correspondantes. Ces

guidages fixes montent sur les parois latérales jusqu'à la hauteur demandée par la pression hydraulique. Pour une pression des eaux d'amont, les étanchements latéraux sont pressés contre les guidages et l'eau pénètre alors dans la partie inférieure de l'étanchement latéral sur une longueur de 10 cm environ dans l'espace compris entre la tôle à ressort et l'entretoise de bord. Afin que l'eau ne puisse s'échapper librement par le haut, on ferme cet espace avec une plaque de caoutchouc compressible surmontée d'une plaque d'acier (fig. 6). Pour empêcher l'eau se trouvant dans l'espace compris entre l'entretoise de bord et la tôle d'étanchement de s'échapper sur le côté, on se sert de plats de laiton en forme d'équerres placés entre la couverture de tôle de la vanne et la feuille d'étanchement fixe. L'étanchement frontal d'après la fig. 7 est formé par un tuyau pressé par la pression de l'eau dans la fente frontale. La pièce en acier

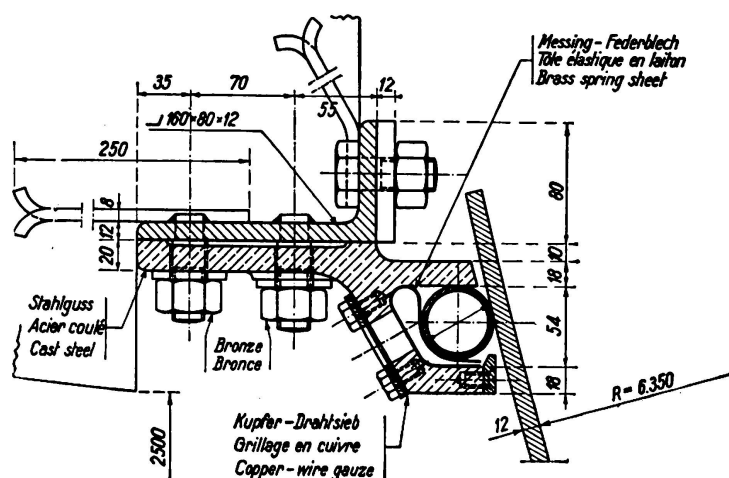


Fig. 7.
Etanchement
supérieur des
vannes à segment.

coulé qui guide le tuyau est fixée à une cornière d'ancrage au sommet du pertuis. L'étanchement frontal se trouve suffisamment haut pour qu'il ne soit pas atteint par la puissance du courant d'eau. L'entrée de l'eau est assurée par une ouverture située sur le côté amont de cette pièce et protégée d'un grillage en cuivre. Au surplus, le tuyau est maintenu dans sa position par des ressorts en laiton. Par cette disposition on obtient que le tuyau soit attiré sûrement dans la fente à étancher dans la direction de la chute du potentiel. Lors de l'essai des vannes à segment on obtint par la suite avec cette disposition soigneusement exécutée une perte d'eau inférieure à la perte admissible. La pression de l'eau sur la vanne-segment est transmise par l'intermédiaire des poutres à deux rotules et de leurs parois-leviers à deux pivots distancés de 9 m pouvant supporter chacun 300 t (fig. 5). Ces corps en acier coulé sont munis d'un goujon en acier S.M. et d'un cran d'arrêt contre la rotation, ils sont posés dans des boîtes en bronze dont les parois ont 20 mm d'épaisseur et sont équipés de graissage à compression pour graisse Tecaletit. La compression spécifique dans les appuis a été admise, à la suite d'une longue expérience pour les mouvements lents considérés ici, au maximum 165 kg/cm².

Les vannes-segment furent montées et boulonnées sur un échafaudage, on y fixa ensuite les appuis dans leur position définitive, après quoi on plaça les rivets de la vanne et on entreprit le montage des treuils afin de pouvoir ensuite actionner les vannes. La vanne, une fois posée, mobile autour de son axe, on

procéda à l'étanchéité de celle-ci dans l'ordre suivant: Etanchement de fond, latéral et frontal. Pour obtenir une adaptation exacte des étanchements latéraux on boulonna ceux-ci tout d'abord aux vannes et, après vérification de leur position on coula le béton dans lequel ils sont ensuite ancrés. Le même procédé fut employé pour la fixation de l'étanchement frontal, lequel fut également fixé provisoirement à la vanne avant d'être coulé dans les corps du barrage.

On calcula les constructions métalliques sur la base des normes fédérales. La détermination des forces ascensionnelles se déduit des moments rotatifs par

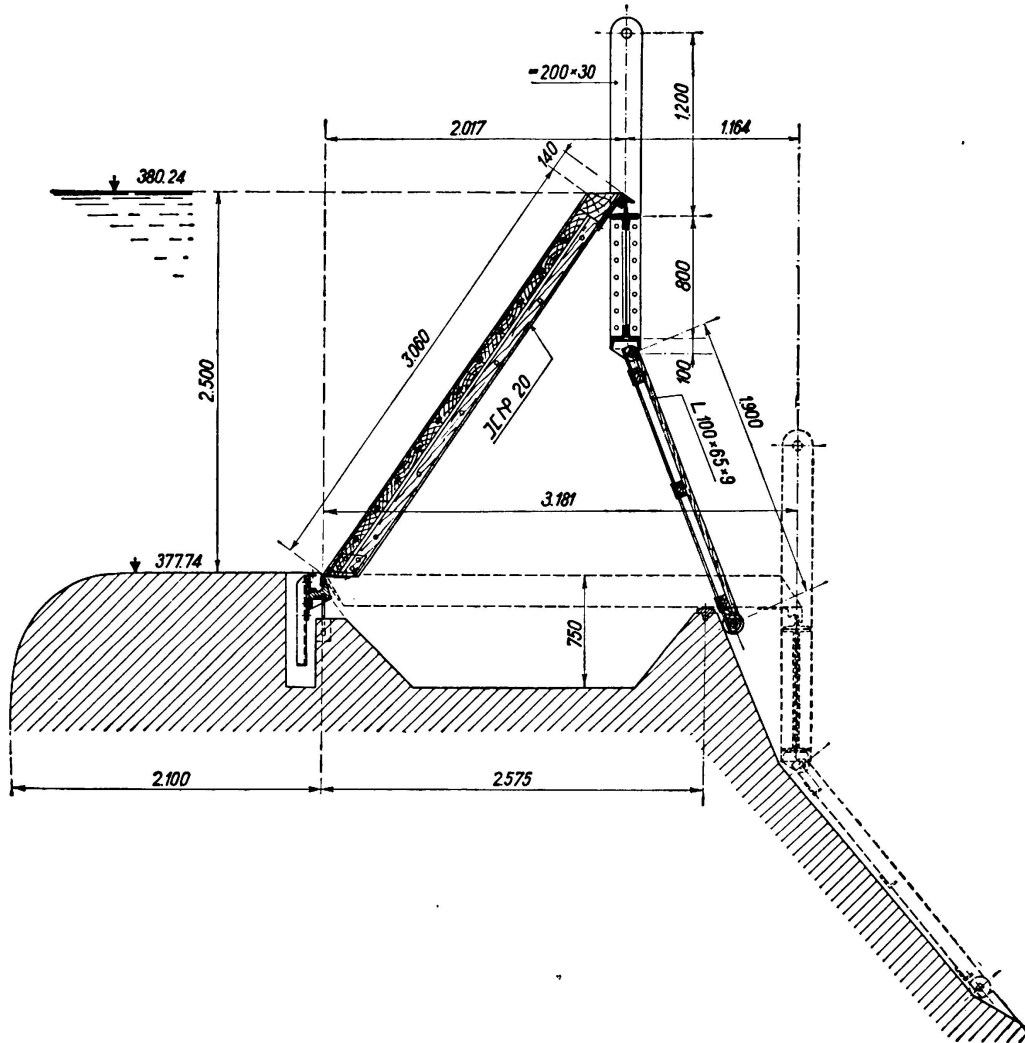


Fig. 8.

Coupe à travers le clapet déversoir.

suite du poids propre, du frottement dans les goussets, dans l'étanchement frontal et latéral. Ces moments sont égaux à la force d'élévation multipliée par le bras de levier des barres dentées. Pour les résistances accidentelles on augmenta la force de levée de 25%, ce qui donna par pertuis une force de 30 tonnes. Pour la force de fermeture de la vanne on déduit du moment de rotation du poids propre, le moment provenant du frottement sur les appuis, du frottement sur les étanchements frontaux et latéraux, de même que 20% de la pression de l'eau de bas en haut sur la plaque d'étanchéité de fond. Posant ce moment

égal au produit de la force de fermeture multiplié par le bras de levier des barres dentées il résulta une force de 4 tonnes dirigée de haut en bas. Quoique par conséquent les barres soient encore sollicitées à la traction, elles furent construites de façon à résister au flambage. L'étanchement frontal est calculé pour une pression d'eau de 17,0 m tandis que les tôles à ressort pour l'étanchement latéral d'une largeur de 16 cm sont calculées pour une colonne d'eau moyenne de 18,5 m. Comme coefficient de frottement on a admis, pour l'étanchement frontal 0,40, pour les étanchements polis latéraux 0,30, en négligeant le graissage pour le frottement du gousset.

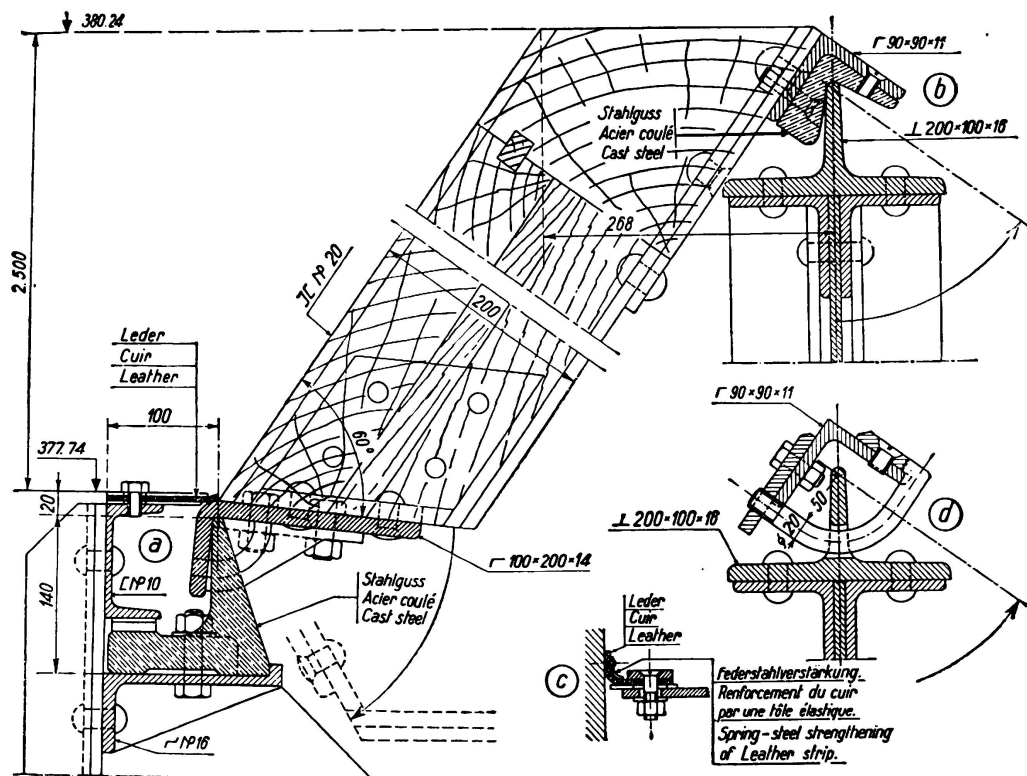


Fig. 9.

Détails de l'étanchement du clapet déversoir.

- a) Support à couteau inférieur.
- b) Support à couteau supérieur,
- c) Étanchement latéral contre les piles.
- d) Dispositif de sécurité contre un élevage.

4) Déversoirs automatiques de réglage.

Les déversoirs automatiques construits par la firme Huber et Lutz à Zurich, sont réglés automatiquement par la pression hydrostatique sur le clapet. Celui-ci repose d'un côté sur la couronne du barrage, de l'autre sur une poutre dont les extrémités sont reliées par un bizant à une chaîne s'enroulant sur un tambour qui pivote et roule sur les piliers latéraux. Des contrepoids sont logés dans des puits à l'intérieur du barrage. Lorsque les clapets se meuvent, les rouleaux avancent sur des rails fixés au barrage. On pare au glissement au moyen d'un guidage à crémaillère. La résistance des rouleaux à la torsion assure un mouvement régulier au clapet, même dans le cas où la surcharge n'est pas

uniformément répartie. La fig. 8 nous montre le système de construction, d'après lequel la partie amont du clapet est formée d'un volet se composant d'un tablier en bois continuellement sous l'eau de telle sorte qu'il peut ni se dessécher ni se fendiller. A la partie inférieure de la poutre à âme pleine, une cloison en madriers sur charpente métallique est suspendue par une articulation tandis que son extrémité inférieure reposant sur des rouleaux roule sur la paroi aval du barrage. Par cette disposition on crée sous chaque clapet un espace fermé protégé contre les variations de température extérieure de telle sorte que le danger de formation de glaces est écarté. Il est possible du reste d'y introduire de l'air chaud provenant de la salle des machines si cela est nécessaire.

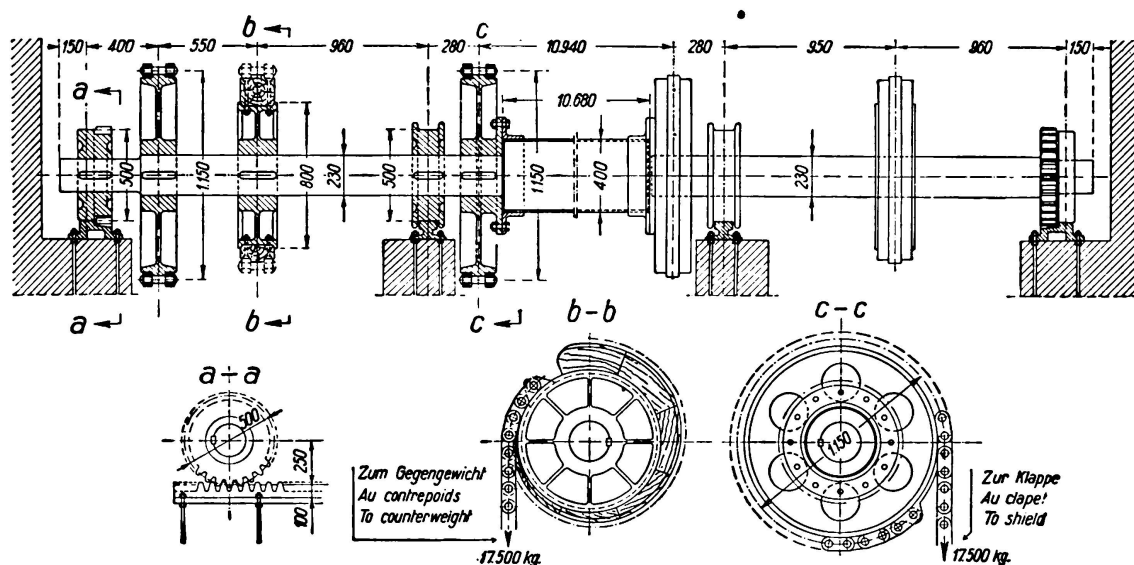


Fig. 10.

Appui supérieur du clapet déversoir et de ses contrepois.

Les appuis à couteau du volet sur la couronne du barrage et sur la poutre (fig. 9) produisent un minimum de frottement. L'étanchéité du clapet le long de son axe de rotation et sur les parois latérales est obtenue d'une façon à peu près absolue par des lamelles de cuir renforcées par des plats d'acier. Les eaux d'infiltration sont recueillies sous le clapet dans une rigole et conduites dans un tuyau de descente, de sorte que le côté aval de la couronne est toujours sec lorsque le clapet est fermé. Les parois des puits, derrière lesquelles sont placés les puits pour contrepois sont formées de tôles démontables. Elles peuvent être chauffées électriquement pendant les basses températures de même que les puits des contrepois et ainsi le danger de gel des parties étanches et des contrepois est exclu.

La suspension du clapet s'effectue par rouleaux latéraux fixés à un cylindre d'acier les reliant entre eux et circulant sur des rails horizontaux comme on le voit sur les fig. 1 et 10. Les tambours supportant les contrepois sont également fixés sur cet arbre, ils sont calculés de telle sorte que les contrepois tiennent en équilibre la pression de l'eau et le poids propre du clapet dans toutes les positions aussi longtemps que la retenue ne dépasse pas la cote 380,24.

Si le niveau de la retenue monte, la pression de l'eau sur le volet augmente et celui-ci s'abaisse; si le niveau de la retenue s'abaisse au-dessous de la cote normale, le contrepoids élève le volet. Les contrepoids sont construits un peu plus lourd que ne l'indique le calcul par contre on introduit une réaction hydraulique en les immergeant en partie dans les puits qui sont en communication les uns avec les autres. Il est ainsi possible de communiquer une poussée bien déterminée aux contrepoids en introduisant ou en évacuant l'eau dans les puits. C'est ainsi que lorsque le niveau de la retenue monte de l'eau s'introduit par un déversoir spécial dans les puits et imprime aux contrepoids la poussée nécessaire à faire baisser le clapet. En soulevant les contrepoids le mouvement se ralentit, à condition que le niveau de la retenue ne continue pas à monter et à déverser de l'eau dans les puits. Au contraire, le clapet ne peut pas se lever plus que l'eau des puits n'en peut s'échapper par les échappements prévus dans ce but. Le mouvement du clapet a donc lieu sans secousse.

Les contrepoids sont construits de telle sorte que pour une immersion de 50 cm les clapets soient couchés. L'eau déversée alors dans les puits correspond à une élévation du niveau de la retenue de 2 cm. Les clapets peuvent également être couchés en introduisant artificiellement de l'eau dans les puits au moyen d'un robinet placé en-dessous du seuil du clapet. Ces déversoirs automatiques servent également à évacuer les masses d'eau provenant d'un arrêt subit d'une turbine et d'éviter ainsi une interruption du courant dans le canal de fuite. Comme dans ce cas le fonctionnement automatique est trop lent, surtout lorsque le niveau de retenue est bas, on a construit dans les puits des poids des déversoirs mobiles verticaux de façon à ce qu'au bout de 2 minutes les clapets soient complètement couchés et livrent passage à un débit de 40 m³ à la seconde.

R é s u m é.

Nous avons décrit ci-dessus un barrage moderne dans lequel sont construites 4 vannes de chasse composée chacune de deux organes dont l'un, celui d'amont a pour but l'étanchéité et l'autre, celui d'aval le réglage des chasses. Le réglage de précision du barrage s'effectue par des déversoirs automatiques sur la couronne du barrage qui règlent le niveau à 2 cm près et qui servent également à évacuer les masses d'eau bloquées par l'arrêt subit d'une turbine. Les appuis des fermetures de vannes et en particulier leur étanchement de même que les appareils de manoeuvre hydrauliques et électriques ont été étudiés en se basant sur les résultats d'une longue expérience et les perfectionnements apportés ont permis d'obtenir pour le barrage une perte d'eau de 50 litres à la seconde au maximum.