

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

Band: 2 (1936)

Rubrik: VIIb. Application de l'acier dans la construction hydraulique

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: 01.12.2025

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

VII b

Application de l'acier dans la construction hydraulique.

Anwendung des Stahles im Wasserbau.

Application of steel in hydraulic construction.

Leere Seite
Blank page
Page vide

VIIb 1

Application de l'acier en construction hydraulique,
installations fixes.

Anwendung des Stahles im Wasserbau,
feste Anlagen.

Use of Steel in Hydraulic Structures, Fixed Plants.

Dr. Ing. A. Agatz,

Professor an der Technischen Hochschule Berlin.

Il peut paraître étrange, à première vue, de traiter la question «L'acier dans les constructions hydrauliques» dans un congrès international pour les ponts et charpentes, mais si l'on considère que l'acier joue un rôle important dans les fondations des ponts et charpentes, il est compréhensible que le congrès doive aussi s'occuper de cette question. Le sujet principal de mon exposé sera de traiter des installations fixes qui ont un rapprochement immédiat avec les ponts et les charpentes, et tout spécialement des palplanches comme moyen moderne pour l'exécution des fondations des piliers ou autres ouvrages, j'étudierai ensuite les pieux en acier et les autres éléments des fondations. Les expériences faites avec des ouvrages d'appui sont beaucoup plus nombreuses et plus intéressantes que les constatations faites pour les piliers. Dans ce qui suit il sera souvent question de ces ouvrages d'appui. Toutefois nous pouvons affirmer que les observations et les expériences faites sur ces ouvrages d'épaulement sont facilement applicables aux piliers ou autres corps de fondations en acier.

1. *Résistance de l'acier aux agents physiques et chimiques.*

Le bois et le béton armé ne présentant pas dans leurs applications aux constructions hydrauliques dans tous les cas la résistance désirable aux actions physiques et chimiques, on essaya en Allemagne, il y a 30 ans environ, d'utiliser l'acier d'abord avec hésitation puis dès 1920, dans des proportions toujours plus grandes. On crut, en introduisant ce matériau, avoir éliminé en grande partie les causes de destruction observées et avoir trouvé, pour les constructions hydrauliques, le seul matériau adéquat. On ne se rendait alors pas compte avec quelle facilité l'acier est sujet aux attaques des actions physiques et chimiques, dans l'air, dans l'eau en mouvement, sous l'eau ou dans le sol.

Ayant recueilli des observations depuis de nombreuses années, il est temps de comparer les déductions théoriques et les expériences de laboratoire avec les observations faites sur des constructions existantes, et d'en tirer des conclusions pour l'utilisation ultérieure et l'amélioration de ce matériau. Pour les qualités

requis de l'acier, la difficulté réside dans le fait que d'une part le matériau doit, dans la plupart des cas, traverser des zones différentes, ayant chacune ses caractéristiques physiques et chimiques de détérioration, et que, d'autre part, les diverses sortes d'acier se comportent chacune différemment suivant la composition du sol ou de l'eau. Il faut tendre à ce que l'acier présente, autant que possible, une même résistance dans les différents groupes (air, eau en mouvement, eau, terrain). Les observations montrent toutefois que le but n'a pas été atteint; jusqu'à présent on n'a pas encore trouvé un seul et même matériau remplissant les différentes conditions requises dans ces 4 zones.

Dans l'air, les agents principaux de la destruction sont l'oxygène, les gaz industriels, les influences atmosphériques. L'attaque du matériau se présente principalement sous forme de corrosion.

Dans l'eau en mouvement l'effet de corrosion est plus accentué par le fait que l'humidité joue un rôle très important et que l'eau libre contient des matières corrosives. L'oxygène, par l'eau en mouvement et par le choc des vagues, est amené au matériau en plus grande quantité et ainsi la réaction se trouve considérablement renforcée. A cela viennent encore s'ajouter les sollicitations mécaniques résultant du trafic des bateaux, de la glace, etc.

Il faut remarquer qu'il y a une différence entre l'eau en mouvement de la mer et l'eau en mouvement des lacs, rivières et fleuves.

L'eau en mouvement de la mer produit des dégâts beaucoup plus étendus car ce mouvement est continu, répété dans de courts intervalles de temps, le choc des vagues est plus intense et les sels marins réagissent défavorablement. Dans les contrées très chaudes l'échauffement de l'eau et du matériau joue encore un rôle important.

La destruction du matériau toujours immergé semblerait devoir être moins active. Mais ce n'est généralement le cas qu'à partir d'une certaine profondeur, en dessous de la zone de l'eau en mouvement. Sur 1 à 2 mètres en dessous de cette zone, on constate des dégâts encore bien plus grands que dans la zone au-dessus et ceci plus encore dans les pays chauds que dans les pays tempérés.

Dans le sol, la résistance du matériau dépend de la capacité d'attaque chimique du terrain et de l'eau de fond. Il y a des sortes de terrain où le matériau n'est pour ainsi dire pas attaqué. Comme l'on trouve aussi des sortes de terrains qui produisent des dégâts dont l'importance ne peut pas être reconnue, car on n'a que très rarement l'occasion de sortir des palplanches ayant longtemps séjourné en terre.

2. Les phénomènes de destruction de l'acier et les moyens de les atténuer.

Il y aura toujours une détérioration mécanique des corps en acier enfoncés dans le sol, tels que palplanches et pieux, quand le profil choisi n'est pas en rapport exact avec la compacité du sol et la profondeur de battage désirée. Dans ces cas les dégâts ont lieu à la tête et au pied des profils et ils peuvent même provoquer la dislocation de la paroi. Tandis que les dégâts causés aux parties des pieux et palplanches enterrés ne sont pas visibles, on peut éliminer les dégâts apparents en effectuant un découpage des têtes. Ce moyen ne peut être employé que dans une certaine limite sinon la profondeur de battage ne peut pas être

atteinte. Ainsi, quand les principes cités ci-dessous ne sont pas respectés, le battage peut avoir une plus grande part dans la destruction de l'acier dans les fondations et les constructions d'ouvrages hydrauliques que la détérioration qui se fait pendant la durée d'exploitation.

Parmi les destructions mécaniques on compte l'usure par l'eau en mouvement. Les constructions métalliques en eau calme ont une durée plus grande que celles en eau courante où le courant transporte des corps en suspension, immergés ou flottants. Les dégâts causés par le sable quartzeux apparaissent de bonne heure. Nous connaissons des cas où, en l'espace de 7 ans, des palplanches furent percées au niveau du sol, endroit le plus attaqué. L'attaque par l'effet du moulage du sable est bien la plus forte des actions mécaniques à côté de laquelle l'action de la glace ou des chocs de l'eau est négligeable.

L'usure par suite de chocs dus à la batellerie, par l'abordage et le départ de convois, dépend principalement de l'état de fléchissement de l'ouvrage en service et des moyens de protection par défenses appropriées (parechocs). On ne connaît pas de cas où cette usure ait atteint une valeur telle qu'elle ait nécessité le remplacement total ou partiel de la construction. Toutefois il faut se faire une idée claire des sollicitations et disposer l'ouvrage de façon que des matériaux tendres, comme du bois, des fascines, soient placés comme défense pour absorber les gros effets destructeurs.

La destruction par suite des intempéries (précipitations et fortes variations de température) a peu d'importance dans nos contrées.

La conservation des ouvrages en acier est mise d'avantage en danger par la destruction due aux agents chimiques, particulièrement par la corrosion dans les différentes zones. Les expériences pratiques faites jusqu'à maintenant en Allemagne diffèrent tellement les unes des autres qu'il n'a pas encore été possible de les mesurer à une même base de comparaison quoique justement la corrosion ait été étudiée très à fond dans des congrès, des publications et que l'on ait une littérature très abondante sur ce sujet. Je ne veux donc pas plus m'étendre là-dessus et je ferai seulement remarquer qu'à cause de la corrosion il n'est pas encore possible de fixer la durée d'existence des constructions en acier car les renseignements publiés sur la résistance à l'effet de la rouille ne sont donnés qu'occasionnellement par quelques usines et présentent de très grosses différences. Ceci n'est du reste pas étonnant car les constructions ont été observées dans des conditions les plus diverses et que la corrosion dépend très fortement de la composition de l'eau, de l'air, du sol, ainsi que de la température. Il y a des contrées, en Allemagne, qui de ce fait favorisent une plus rapide destruction de l'acier, tandis que d'autres contrées, sans montrer des différences visibles ou chimiques bien marquées dans la composition de l'eau, donnent une durée d'existence à l'acier plusieurs fois plus grande que les premières.

Je dois cependant donner comme résultat d'expérience que des parois continues en acier sont moins sujettes à la rouille que des pieux isolés fichés dans l'eau, par exemple à un endroit de la côte de la Mer du Nord, la destruction de pieux isolés s'est faite dans l'espace de 20 années, tandis qu'une paroi située non loin de là, composée d'éléments de même section montre, pour la même durée, une dégradation légèrement supérieure à la normale, sans toutefois que la construction soit signalée comme étant dans un état dangereux.

Sans aucun doute, la composition de l'acier joue un rôle important qui n'est pas encore entièrement déterminé.

Sur la base des recherches de diverses autorités pour la limite de durée la plus courte des pieux et palplanches en acier et pour une corrosion dans des conditions normales, on peut admettre une période d'existence d'au moins 60 années, durée qui peut être considérée dans chaque cas comme suffisante par rapport à la durée d'exploitation rationnelle de telles constructions. Je dois toutefois dire que la limite estimée ci-dessus peut s'étendre à plusieurs centaines d'années, durée qui n'est naturellement pas contrôlable scientifiquement.

Des vérifications, faites sur une installation de trafic par eau à l'embouchure de la Weser ont montré que la rouille avait produit à une paroi de palplanches une usure de 0,2 mm pendant l'espace de 8 années d'exploitation.

Une sorte de destruction qu'il ne faut pas mésestimer, c'est l'électrolyse. La condition pour créer l'apparition de l'électrolyse dans une construction en acier sous l'effet de l'humidité c'est l'emploi de matériaux de différentes compositions (même l'emploi de différentes sortes d'acier sans même l'emploi de différents métaux). Ce phénomène dorénavant devra encore être très étudié afin de permettre de prendre des précautions et des protections contre cette cause de détérioration.

Comme il a été dit au début, on ne peut avoir que peu d'indications sur le nombre et la répartition des points attaqués. Cependant le siège des dégâts est généralement à rechercher ou dans la zone de l'eau en mouvement ou quelques mètres en dessous. Ces dégâts les plus communs et les plus importants sont provoqués par la corrosion et par un battage mal exécuté.

Ces causes de grandes destructions peuvent facilement être déduites de ce que nous avons dit plus haut. Les conditions de ces causes, jusqu'à maintenant, n'ont pas pu être influencées suffisamment par les mesures prises par l'homme. Il faut, à priori, les admettre et l'art de l'ingénieur tendra à diminuer ces effets de destructions par tous les moyens possibles et appropriés.

En premier lieu la présence ou l'enlèvement de la pellicule de laminage revêt de l'importance. Cette pellicule est un inconvénient inévitable du laminage, car elle ne possède pas une liaison sûre avec la masse même du métal. Elle a donc tendance à s'écailler aussitôt qu'un corps s'introduit entre elle et l'acier. On a la possibilité de l'enlever par jet de sable sous pression. Toutefois dans la majorité des cas, pour les constructions hydrauliques, on laisse cette pellicule.

Les mesures à prendre pour se préserver des destructions énumérées résident dans une composition adéquate de l'acier, dans une protection extérieure par de la peinture, dans une application d'une pellicule métallique protectrice, en noyant l'acier dans le béton, ainsi que dans la forme extérieure de l'ouvrage. De tous ces moyens préconisés jusqu'à ce jour, celui qui a donné les meilleurs résultats, c'est l'amélioration de la composition intérieure de l'acier. Ainsi l'addition du cuivre, qui au début, sur la base d'expériences de laboratoire suscita de grands espoirs qui ne furent pas toujours confirmés dans la pratique, augmente pourtant la résistance de l'acier quand cette addition est faite dans des proportions judicieuses; son influence est pour le moins appréciée lors du battage. Les expériences que l'on a faites en exploitation avec des aciers de haute qualité ne montrent pas, d'une façon générale, l'opportunité absolue de ces

alliages à l'acier. Les observations faites en Allemagne, aussi bien qu'en Angleterre, sont très discordantes entre elles. Dans un endroit, en Angleterre, on a constaté que l'acier ordinaire se rouillait très fortement lorsqu'il était complètement plongé dans de l'eau très salée et moins fortement lorsqu'il était dans une eau saumâtre et que l'acier chromé rouillait plus facilement au-dessus de l'eau que sous l'eau. Il s'est cependant en tout montré supérieur. Au contraire, dans un autre endroit, on constata de très fortes attaques sur certaines parties de l'acier chrome-nickel, et on doit faire cette constatation qu'avec une adjonction de cuivre aucune amélioration ne fut obtenue.

La conclusion que l'on peut déduire des observations faites en Angleterre est que l'acier au carbone paraît être le meilleur matériau dans l'air tandis que l'acier forgé «wrought iron» a présenté la plus grande résistance dans de l'eau en mouvement. L'adjonction de cuivre donne d'une manière remarquable une plus grande résistance à la corrosion dans l'air et dans l'eau douce mais non dans de l'eau en mouvement ou dans de l'eau de mer. On peut faire les mêmes remarques pour l'acier chromé et pour l'acier au nickel.

Dans l'eau de mer les effets de l'électrolyse sont intéressants sur l'assemblage de différentes sortes d'acier. Les effets de l'électrolyse protègent l'acier 37 au détriment de l'acier forgé et l'acier au chrome ou au nickel au détriment de l'acier au carbone. Ainsi chaque fois le matériau de qualité supérieure est protégé au détriment du matériau de qualité inférieure.

L'emploi d'une couche de peinture protectrice pour les constructions en acier (voir les rapports de M. le Conseiller Ministériel *Burkowitz*) ne peut s'appliquer qu'aux parties exposées à l'air. Pour les parties chassées dans le sol il faut renoncer à la peinture qui est certainement en grande partie détruite lors de l'enfoncement par battage. Il faut aussi se rappeler que la peinture a un besoin d'entretien constant. Le coût y relatif est à mettre en rapport avec la durée de l'exploitation de l'ouvrage. Aucune sorte de peinture actuellement sur le marché ne donne une protection parfaite sans un entretien continu. L'assurance donnée par les fabricants qu'il est possible de foncer même à travers du sable à arêtes vives sans endommager la peinture ne doit être acceptée que comme une affirmation toute théorique.

Par contre les revêtements métalliques (zinc ou plomb) ont une très grande valeur et ne donnent pas prise à l'attaque par corrosion. Comme ces revêtements sont très coûteux ils n'entrent en ligne de compte que pour des constructions spéciales telles que échelles, croix et anneaux d'amarrage, fers d'angle de protection, etc. et non pas pour des pilotis ou palplanches.

Un léger revêtement en béton des pilotis et des palplanches ne donne pas non plus une protection durable car il est connu que le béton n'adhère que difficilement sur de grandes surfaces métalliques.

La forme extérieure donnée à l'ouvrage peut participer fortement à atténuer les dégâts causés par le choc des vagues, par les courants et par l'action du sable. A cet effet, on a établi des profils qui possèdent une surface aussi plane que possible afin de diminuer l'action des tourbillons et par suite les frottements qui en résultent.

On peut se poser alors la question suivante: Jusqu'où les précautions énumérées concourent-elles à la diminution des dégâts, et dans les constructions

hydrauliques, peut-on se contenter des sections d'acier déterminées par le calcul. On ne peut pas donner de règle générale. On sera parfois obligé de compter avec la diminution de section provenant de la rouille, spécialement quand on sait par expérience que dans les lieux en question l'acier sera particulièrement attaqué. Heureusement, en Allemagne, il n'y a que quelques endroits, spécialement sur les côtes qui rentrent dans cette catégorie. Partout ailleurs, à mon avis, il n'y a pas lieu d'augmenter le coefficient de sécurité pour augmenter la durée de l'acier; je considérerais ce fait comme un emploi inutile de matériau.

3° *Le développement de l'emploi de l'acier dans les constructions hydrauliques.*

On se souvient qu'il y a 30 ans l'acier n'était utilisé en Allemagne, dans les constructions hydrauliques fixes que pour les agrès d'équipement comme échelle, croix et anneau d'amarrage, fers d'angle de protection, etc., tandis qu'actuellement on l'utilise pour les palplanches et que pour de telles constructions on emploie plus d'acier que de bois ou de béton armé. On estime que la production de l'acier en Allemagne est montée à plus de 200 000 t par an. Les chiffres de transactions ci-après, d'une grande usine allemande donnent une indication sur l'utilisation toujours plus grande de l'acier dans les constructions hydrauliques (rapportés à la valeur en *RM*).

1910: 100	1925: 196	1928: 1183	1932: 373
1915: 130	1927: 855	1930: 790	1934: 1150.

Les pieux en acier commencent à être employés depuis les 5 dernières années, et à mon avis leur emploi ira encore en se développant, restreignant ainsi l'utilisation du bois et du béton armé, pour autant que le béton armé ne trouve pas de nouvelles possibilités pour l'application aux constructions hydrauliques.

4° *Les possibilités d'emploi.*

La part principale de l'emploi de l'acier dans les fondations et constructions hydrauliques se rapporte, dans l'état actuel des choses, à la construction de parois en palplanches dont le développement s'accroît toujours, car en plus des constructions finies elles s'utilisent aussi pour l'érection d'autres ouvrages, par exemple comme soutènement des terres dans les fouilles de fondations. Elles n'entrent pas seulement en concurrence pour la construction sur pilotis, mais aussi pour les fondations de constructions massives (fondations à air comprimé et en puits).

Leur avantage réside dans une érection économique, pratique et rapide de la construction. Le battage apporte une économie de fouilles et d'épuisement. D'autre part on impose aux palplanches des conditions spéciales que l'on peut rapidement énumérer ci-après: limite très élevée d'étirage, d'allongement, tenacité aux entailles, résilience, grande résistance à la corrosion et à l'usure. Les qualités varient suivant les différentes sortes d'acier du commerce, mais elles peuvent toutefois être développées pour une sorte d'acier déterminée.

Les différentes aciéries spécialisées en fournitures de palplanches livrent des aciers spéciaux qui possèdent toutes ces qualités requises.

On emploiera toutefois cet acier spécial de haute valeur que seulement dans des cas particuliers et rationnellement, et en général on se contentera de l'acier

normal. Comme par l'emploi de l'acier ordinaire les profils sont plus forts qu'ils le seraient par l'emploi d'acier spécial ayant des contraintes admissibles plus grandes, il en résulte que le coffrage en palplanches offre ainsi une plus grande rigidité. De plus, dans bien des cas, la tendance plus marquée à la corrosion de l'acier ordinaire verra son effet partiellement diminué parce que, dans la grande masse de l'acier, la rouille attaquant sur 1 à 2 mm l'épaisseur du profil, l'affaiblira proportionnellement moins qu'elle ne le ferait sur un profil mince avec un acier spécial. En outre, le moment d'inertie plus grand du profil ordinaire est avantageux pour le battage de longues pièces, car les tensions et spécialement les effets du flambage et des vibrations sont diminués. On ne pourra pas toujours éviter l'emploi des aciers spéciaux, surtout si le matériau doit offrir une très grande résistance aux entailles lors du battage et doit être exposé à une très grande usure.

De ce qui a été exposé au paragraphe 2 il ressort que le dernier mot n'a pas encore été dit sur la composition d'un acier de haute qualité, répondant aux conditions demandées. En outre, au point de vue économique, on ne peut pas se prononcer d'une façon générale et absolue sur la préférence à donner à l'acier ordinaire ou à un acier de haute qualité.

Les conditions requises pour les profils de palplanches sont les suivantes :

Un grand moment de résistance pour un faible poids, c'est-à-dire un grand coefficient de qualité. Un faible fléchissement, résultant d'un profil élevé, l'étanchéité de la paroi, obtenue principalement par la forme et la position du joint. Pendant le battage il faut prendre soin que l'emboitage des joints soit bien exécuté et que la paroi reste plane, sans angle vif ou arrondi.

Si on considère le grand développement pris par les différents profils, on voit que ceux à joint et paroi unique dominent le marché. Les profils à joint unique et à double paroi (profils creux, en caisson) et les profils à double joint et à double paroi (profil *Peiner*) n'entrent en ligne de compte que pour les plus grands ouvrages, lesquels cependant se multiplient ces dernières années pour répondre aux exigences toujours croissantes du trafic.

L'avantage des profils ondulés sur ceux à double paroi réside dans l'emboitage des éléments et le battage qui sont plus faciles, vu que le refoulement du sol est moindre et que, jusqu'à un certain degré, les obstacles peuvent être évités. Pour des ouvrages comme des digues de retenue qui exigent de grands efforts intérieurs et une très grande rigidité, on cherchera à utiliser des profils ondulés si on ne veut pas exécuter la digue comme une paroi simple, solution plus claire au point de vue statique mais pour laquelle on aurait alors avantage à utiliser les profils en caissons, à double joints et double parois. Ces dernières années on a fait aussi des essais avec des profils soudés de formes les plus diverses, lesquels se sont révélés en tous points égaux aux profils laminés, vu le haut degré de perfection atteint par la soudure en Allemagne. Leur développement sera fonction de leur valeur économique. C'est aux aciéries de leur frayer le chemin.

Après avoir vu les conditions requises pour l'acier et les profils, il reste à examiner celles requises pour les parois battues (finies-posées).

L'exécution d'un ouvrage hydraulique par l'emploi des palplanches requiert la condition d'avoir uniquement des parois planes, mais il faut admettre toutefois

des déviations inévitables dans les aplombs des faces. D'après ce mode de construction on peut seulement prévoir des parois auxquelles de petites inexactitudes ne jouent pas un grand rôle.

En outre la paroi sera continue et compacte du haut en bas et presque sans possibilité d'y pratiquer par la suite des ouvertures; l'ouvrage présentera toujours le caractère d'un bloc brut et sans vide. Dans beaucoup de cas on trouvera le moyen de faire l'ouverture nécessaire en la découpant dans la paroi au-dessus du niveau des hautes eaux, et en la garnissant d'un cadre en béton armé dont la forme sera bien étudiée.

Cependant les ouvrages exécutés en palplanches qui exigent des parements extérieurs soignés seront sans vides.

Comme nous l'avons déjà dit, le puissant développement des palplanches en Allemagne provient de ce qu'elles trouvent leur emploi dans les constructions les plus diverses. Il est inutile de les détailler ici.

Il est à remarquer que par suite des expériences acquises et en prenant les précautions voulues il n'y a plus aujourd'hui de difficultés à battre des parois de 30 à 35 m en profondeur.

Dans les palplanches Peiner on a un choix de profils qui permet d'assurer des différences de niveau de n'importe quelle hauteur si l'on ne veut pas passer à la construction peu liée de palplanches à joints simples, pour des digues de retenue en acier.

On a fait aussi de bonnes expériences de battage avec des profils de longueur réduite, plus faciles à transporter sur le chantier où ils étaient soudés bout à bout.

A noter aussi le renforcement des profils simples que j'ai employé le premier, renforcement consistant à souder des fers plats aux endroits où le plus grand moment de résistance est nécessaire.

Jusqu'à présent ils n'ont pas montré de défaut après un service de huit ans.

La nécessité de faire supporter des charges verticales à ces étais a conduit la technique des palplanches à l'emploi de l'acier pour les pilotis, après qu'on eut reconnu à la suite d'essais de charge que les palplanches à simple ou double paroi convenaient très bien à cet emploi. Les conditions requises pour l'acier des pieux sont les mêmes que celles demandées à l'acier des palplanches. Les profils des pieux doivent répondre aux conditions suivantes:

Sous les pieux non battus mais pénétrant dans le sol par rotation le profil doit être établi de telle façon que le sol puisse donner la réaction nécessaire et, par cela, conditionner la charge du pieu, de plus, en le vissant il ne doit pas être détérioré par les pierres et autres obstacles du sous-sol. Donc il faut certaines conditions pour la largeur et le pas de la vis. Cette sorte de pieux n'a guère trouvé d'emploi en Allemagne, où, par suite de nos conditions du sol, elle n'aurait qu'un succès douteux. Par contre, ces pieux se rencontrent plus souvent dans les contrées isolées, comme dans les tropiques, vu que là-bas l'acquisition d'un outillage moderne est difficile.

A l'encontre des pieux à vis, les pieux battus se sont introduits en Allemagne ces dernières années. Nous sommes au début du développement, car le nombre des pieux battus jusqu'à présent est encore faible. Il faut exiger des profils des pieux battus un grand frottement entre pieu et sol sans toutefois que la résistance

au battage soit de ce fait insurmontable. En outre il faudra une section de pieu assez grande pour que la résistance à la charge ne soit pas limitée par le travail admissible du métal.

Les moments d'inertie suivant les divers axes doivent être sensiblement égaux et assez grands pour que le pieu possède une sécurité au flambage suffisante aussi bien lors du battage qu'en exploitation. Pour que le pieu parvienne au moins, d'une façon approximative, à sa position prévue dans le sous-sol, il faut que le profil ait une résistance suffisante à la flexion.

Pour l'exécution des pieux on a suivi deux procédés différents. Dans l'un on a cherché à faire porter la charge moins par le frottement de la surface totale contre le sol que par une grande résistance de la pointe, mais de cette manière, à cause de la grande section du tuyau ou du caisson on déplace, lors du battage, une masse de terre importante si on ne ramollit pas le sol avec de l'eau en acceptant les désavantages qui en résultent.

Dans une autre exécution des pieux on obtient la résistance à la charge, en premier lieu, en créant dans le sol, autour des pieux une enveloppe de frottement sol contre sol par le fait que, lors du battage, le terrain est pressé artificiellement et si fortement entre les ailes des pieux que cette pression sur l'enveloppe est supérieure au frottement du sol contre l'acier. Ces pieux ont l'avantage d'être relativement minces à leur partie inférieure et de refouler assez peu le sol.

La 1^{ère} sorte de pieu a la forme de tuyau ou de caisson creux, dont la base peut être obturée ou non ou encore munie d'une pointe. Dans un pieu creux non obturé, au bout d'un certain temps, le sol fait une carotte et la résistance au battage est sensiblement la même que le pieu soit muni d'une pointe en béton ou non. On considère donc cette adjonction comme une précaution superflue et non économique.

Par la suite, exclusivement dans les eaux fortement attaquantes, on a aspiré la carotte du tuyau et on l'a remplacée par du béton. On obtient ainsi plus tard, lorsque l'acier sera totalement rouillé, un pieu en béton, ou si cela était nécessaire en béton armé.

Les profils ouverts consistent en profilés en I sans bourrelets qui ont un moment de résistance relativement petit. Pour cette raison on a muni le profil en I d'un bourrelet qui, placé à l'endroit favorable, et ayant la longueur voulue, augmente considérablement le moment de résistance à la compression et à la traction.

L'emploi de profils à larges ailes avec et sans bourrelet est plus avantageux que les pieux à double T. Par l'emploi de profils Peiner on peut constituer des pieux en groupant ces profils sur un périmètre en les battant ensemble; des bourrelets disposés sur le périmètre sont avantageux car le sol est très rapidement pressé entre les ailes des profils. On obtient ainsi une construction intermédiaire entre les profils fermés et ouverts.

D'autres profils ouverts sont ceux en U et Z que l'on peut battre séparément ou assembler. Jusqu'à présent on a renoncé à les munir d'un bourrelet car on emploie ces profils que lorsque la charge verticale n'est pas l'effort principal et que les forces profondérantes sont horizontales.

Les assemblages soudés n'ont pas encore été employés comme pilotis. Il semble

pourtant qu'ils ont un grand champ d'emploi parce qu'ils se prêtent bien mieux que les profils laminés aux conditions spéciales des pieux battus.

La charge supportée lors d'expériences avec différentes sortes de pieux en acier, comparée à celle supportée par des pieux en bois, est bien plus grande; elle est à peu près égale à celle supportée par des pieux en béton armé. Il n'y a pas de grande différence à ce sujet entre les profils ouverts et fermés. Les résultats d'expériences faites sur des pilotis avec bourrelets oscillent pour du terrain sablonneux entre 80 et 120 tonnes; pour un enfoncement de 2 à 8 mm au maximum. La charge supportée par des profils en caissons «Peiner» faisant partie d'une paroi atteint 300 à 350 ts, pour un enfoncement de 15 à 20 mm. Des essais faits sur des pieux sollicités à la traction sont rares, de sorte que l'on ne peut pas donner aucun avis sur la résistance à la traction des pieux en acier. A Brême on a constaté que pour surélever un pieu de 3 à 4 mm il faut une traction de 70 à 80 ts, le pieu restant dans sa nouvelle position.

L'emploi des pieux sollicités à la traction s'est développé en grand à Hambourg et à Brême pour le renforcement des quais.

L'expérience a montré que pour les bassins ouverts on ne doit pas uniquement employer des pieux en acier parce qu'ils offrent de grandes surfaces d'attaques. Il faut les enfermer dans un coffrage en palplanche rempli de terre. Depuis longtemps on emploie des coffrages en acier pour des pieux en béton armé; lorsque le pieu en béton doit traverser des couches de terrain instable, et lorsqu'il s'agit de constructions spéciales comme des pieux tubulaires ou pleins et où le coffrage est retiré. Dans ce cas là, il n'y a pas de conditions spéciales pour l'acier. Il n'y a pas non plus de grandes nouveautés à signaler dans ce domaine.

Lorsqu'il s'agit de protéger un puits à travers ou contre des couches de terre ou d'eau courante (aggressive) en place de béton armé et de maçonnerie, on emploie aussi l'acier; l'exécution de puits en acier est toutefois extraordinairement rare par rapport à l'exécution en béton.

De même l'emploi des caissons en acier est plus rare que celui des caissons en béton armé, car les caissons en acier remplis de béton sont rarement assez avantageux pour ce genre de construction. On les emploiera, quand par suite d'un sol de fondation défavorable, non connu d'avance, on aura de grandes sollicitations dans le matériau. En exploitation les caissons en acier n'offrent pas d'inconvénients, comme l'ont démontré les grands travaux faits par des entreprises allemandes, dans le pays et à l'étranger.

Pour terminer rappelons quelques éléments d'équipement pour les ouvrages ayant trait à la navigation, que j'ai déjà rapidement signalés. Il s'agit principalement d'échelles, de croix et d'anneaux d'amarrages, de fers d'angles de protection, etc.

Les conditions requises pour l'acier sont, en premier lieu, une grande résistance à l'usure. Comme il s'agit ici de petites quantités d'acier, on peut employer un acier de meilleure qualité, que lorsqu'il s'agit de grandes masses comme pour les autres constructions hydrauliques.

Pour le revêtement d'angles il faut avoir soin de faire un ancrage absolument sûr, dans la maçonnerie ou le béton, car par suite du retrait du béton et de la forte dilatation de l'acier il se produirait une fissure entre ces deux matériaux.

5^e Possibilités de développement.

Comme le montre le tableau donné au paragraphe 3, l'emploi de l'acier pour les fondations et les travaux hydrauliques a pris un puissant développement durant ces 15 dernières années. Il est incontestable qu'il le doit aux aciéries qui ont tout fait pour améliorer les matériaux, pour développer la série des profils, afin qu'ils puissent répondre aux diverses sollicitations.

Nous devons nous rendre compte que dans l'acier nous n'avons pas encore le matériau qui supprime tous les inconvénients du bois et du béton armé. Il est particulièrement sujet à la corrosion qui restreint encore son emploi.

Il sera plus facile d'augmenter les moments de résistance des palplanches et des pieux que d'améliorer la qualité du matériau, d'autant plus que la technique du laminage a fait de très grands progrès dans la fabrication des gros profils, et que la technique de la soudure nous a donné les possibilités de pouvoir établir les profils qui s'adaptent à tous les cas.

Le but final est d'obtenir l'acier qui répond le mieux aux conditions imposées; ce n'est pas le cas aujourd'hui.

Ce but ne peut être atteint que par le travail fait en commun et en parfaite confiance entre les physiciens, chimistes, maîtres de forges, maîtres lamineurs, statitiens, constructeurs et les entrepreneurs. Dans ces travaux, les expériences faites sur des ouvrages finis joueront un rôle prépondérant et indispensable pour l'avenir.

Résumé.

Dans ce travail l'auteur résume les expériences que l'on a faites avec l'acier dans les constructions hydrauliques. Le comportement physique et chimique du matériau acier est séparé pour les différentes zones de sollicitation: dans l'air, alternativement dans l'air et dans l'eau, dans l'eau et dans le sol. L'auteur décrit les différentes forces agissantes et les moyens d'en réduire autant que possible l'influence préjudiciable. La durée d'existence des ouvrages métalliques est ensuite disentée. Comme mesures contre les détériorations exposées on peut citer: la composition du matériau acier, la peinture extérieure, les pellicules métalliques, l'enrobement de béton et la disposition extérieure des éléments métalliques. Après quelques considérations sur le développement de la production de l'acier pour les travaux hydrauliques, l'auteur esquisse les différentes possibilités d'application parmi lesquelles viennent au tout premier plan les ouvrages en palplanches. Les qualités des aciers et des profilés de palplanches sont ensuite exposées. D'autres possibilités d'application sont les pieux métalliques, les puits, les caissons et les accessoires pour la construction hydraulique, tels que les bornes d'amarrage, les échelles, etc.

Leere Seite
Blank page
Page vide

VII b 2

Le tuyau d'acier et l'usine hydro-électrique de „La Bissorte“.

Stahldruckrohr des Kraftwerkes „La Bissorte“.

Steel Pressure Pipe for the Hydro-electric Plant „La Bissorte“.

J. Bouchayer,

Administrateur-Délégué des Etablissements Bouchayer et Viallet, Grenoble.

Le tuyau d'acier vient de jouer un rôle de premier plan dans l'aménagement de l'Usine Hydro-Electrique de «La Bissorte», dont la canalisation d'amenée aux turbines, entièrement en acier depuis son origine dans la prise d'eau, compte parmi les plus remarquables conduites forcées modernes tant par la hauteur de chute sous laquelle elle fonctionne et qui dépasse 1000 mètres, que par la puissance qu'elle développe et qui est de l'ordre de 100 000 CV.

Il paraît donc opportun de fournir ici des détails substantiels sur l'installation de cette conduite forcée, également remarquable par l'originalité et l'audace de sa conception.

Description de la conduite forcée.

Entièrement métallique, de 3037 mètres de longueur, elle ne comporte pas moins de 3800 Tonnes d'acier. Elle part du Barrage à la cote 2028 et se termine à la cote 936. Le niveau de la retenue étant à 2082, si l'on tient compte des coups de bélier produits par les turbines, c'est la pression considérable de 132 kg par centimètre carré que les tuyaux de la partie inférieure ont à supporter (fig. 1).

Les diamètres ont été calculés pour réaliser le débit de 7,500 m³ à la seconde.

Elle est formée de deux parties principales:

Une partie à faible pente sur une longueur de 1080 mètres avec un diamètre de 1,800 m, complètement installée à l'intérieur d'une galerie taillée dans le rocher; elle est constituée par des tuyaux soudés à l'arc électrique et munie à son origine de robinetteries et appareils de sécurité.

Une partie à forte pente sur 1957 mètres de longueur qui comporte des tuyaux soudés au gaz à l'eau de 1,400 m de diamètre, puis des tuyaux auto-frettés, diamètres 1,400 m et 1,300 m.

Elle est également munie à son origine de robinetteries et appareils de sécurité.

Ces deux parties principales se réunissent sur une cheminée d'équilibre de 2,500 m de diamètre, 70 mètres de hauteur, placée à l'intérieur d'un puits vertical creusé dans le roc.

L'extrémité aval de la conduite forcée qui traverse, avant son arrivée à l'Usine, la ligne de chemin de fer France-Italie par le Mont Cenis, se termine par un collecteur muni de trois branchements alimentant chacun une turbine de 34 700 HP.

Les travaux de montage ont été délicats et difficiles du fait des très fortes pentes du profil et des poids unitaires des tuyaux. Certains atteignent, en effet, le poids de 15 Tonnes.

La puissance d'une conduite est définie par le produit HD^2 (H hauteur de chute, D diamètre caractéristique moyen).

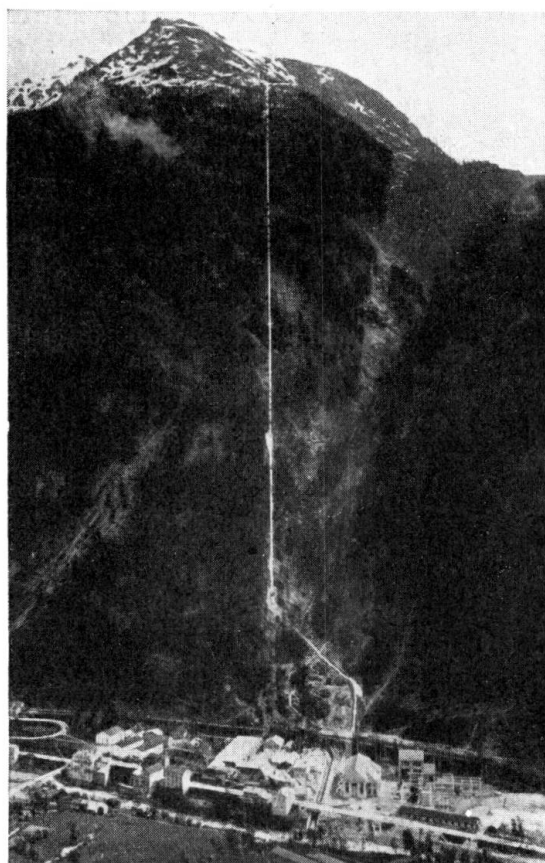


Fig. 1.

La conduite forcée
de «La Bissorte»
Vue d'ensemble.

La conduite de «La Bissorte» est remarquable à ce point de vue et constitue un record avec $HD^2 = 2360$.

Elle a été calculée pour résister au vide atmosphérique et à la pression statique correspondant au niveau maximum de l'eau dans le réservoir augmentée soit d'une surpression linéaire de 15 % due aux coups de bélier de fermeture des turbines, soit d'une surpression due à un coup de bélier d'onde qui produirait une surcharge uniforme de 55 m et en admettant, en chaque point, la valeur maximum des deux surpressions considérées.

Sous l'effet des pressions maximums ainsi définies, les fatigues sont les suivantes :

- 8 kg/mm² pour les tôles,
- 24 kg/mm² pour les frettes,
- 2 kg/cm² pour la pression sur le sol des maçonneries servant d'ancrage.

Les tôles ayant servi à la construction des tuyaux sont en acier extra-doux *Siemens-Martin* donnant respectivement comme valeurs maximums de la résistance à la traction et de l'allongement 35 kg/mm² et 30 %. Les frettes constituant les tuyaux auto-frettés sont en acier spécial *Siemens-Martin* traité, donnant les chiffres minimums de 90 kg/mm², 60 kg/mm² et 8 % pour la résistance à la traction, la limite élastique et l'allongement.

Partie à faible pente.

Cette partie comprend:

Un départ d'ancrage et d'étanchéité $\varnothing$ int. 1,800 m, longueur 80 m de la galerie d'amenée (alt. 2028,86) à la chambre des vannes (alt. 2028,78) avec pente de 0,001 m par mètre exécuté en tuyaux soudés à l'arc électrique épaisseur 12 mm, longueur unitaire 9 mètres assemblés sur place par emboîtement et soudure bout à bout à l'arc électrique.

Les tuyaux sont complètement bétonnés dans la galerie pour constituer un bouchon d'ancrage et d'étanchéité. Après bétonnage, des injections sous pression ont été effectuées à travers la paroi de tôle sur toute la longueur du bouchon de béton.

Une conduite $\varnothing$ int. 1,800 m, longueur 1000 mètres, de la chambre des vannes (alt 2028,78) au robinet sphérique situé au départ de la forte pente (alt. 2015,36) avec pente de 0,0134 m par mètre entièrement établie à l'intérieur d'une galerie de section suffisante pour permettre la visite et l'entretien faciles ainsi que l'accès en tout temps à la chambre des papillons.

Elle est exécutée en tuyaux soudés à l'arc électrique, épaisseurs 8 et 9 mm, en longueur unitaire de 9 m, assemblés sur place par emboîtement et rivetage.

Pour résister aux effets accidentels de la pression atmosphérique, des cercles de renfort sont fixés tous les 3 mètres.

Deux massifs d'ancrage intermédiaires, fixant les coudes en plan, assurent sa bonne stabilité qui se trouve complétée par des piliers-soutiens en maçonnerie avec berceaux métalliques répartis tous les 9 mètres.

La conduite ne comporte aucun joint de dilatation malgré que les coudes soient ancrés, car les variations de température sont très faibles à l'intérieur de la galerie.

Cheminée d'équilibre.

D'un diamètre de 2,500 m, elle est branchée sur la partie à faible pente et installée immédiatement en amont de sa jonction avec la partie à forte pente.

La cheminée d'équilibre est constituée d'une partie horizontale installée à l'intérieur d'une galerie de 62 mètres de long, et d'une partie de 65 mètres de haut dans un puits vertical.

Elle est exécutée en tuyaux soudés à l'arc épaisseur 8 à 15 mm, en longueur unitaire de 6 m, assemblés sur place par rivetage dans la partie horizontale et par soudure dans la partie verticale. Chaque tuyau de la partie horizontale repose sur un pilier en maçonnerie avec berceau métallique. Les tuyaux de la partie verticale sont entièrement bétonnés entre tôle et rocher.

Partie à forte pente.

Cette partie comprend :

Un tronçon de tuyaux soudés au gaz à l'eau, $\varnothing$ int. 1,400 m, longueur 522 mètres jusqu'à l'altitude 1704 mètres passant successivement en galerie horizontale, en galerie en pente de 0,849 m par mètre sur une longueur de 229 mètres puis à air libre.

Ce tronçon, qui ne comporte pas de joints de dilatation, est exécuté en tuyaux soudés au gaz à l'eau en tôles de 11 à 39 mm d'épaisseur, assemblés sur place par emboîtement et rivetage.

Les coudes sont assemblés avec les tuyaux droits par brides mobiles et boulons.

Des massifs d'ancrage sont répartis le long du profil et fixés dans les parties droites de façon à laisser aux coudes toute leur liberté en leur permettant d'intervenir pour atténuer les efforts longitudinaux résultant des variations de température.

Entre ces ancrages, la conduite repose tous les 12 mètres sur des piliers-supports en maçonnerie avec berceaux métalliques.

Un tronçon de tuyaux auto-frettés, $\varnothing$ intérieur 1,400 m, longueur 152 mètres jusqu'à l'altitude 1632 mètres.

Ce tronçon est établi à air libre.

Il est exécuté avec des tôles de 12 mm d'épaisseur et des frettes de 60×22 à 60×26 ; les tuyaux sont assemblés sur place par manchons rivés et par joints glissants spéciaux tous les trois tuyaux.

Tous les coudes sont ancrés dans des massifs d'ancrage et assemblés aux tuyaux droits par joints glissants.

Les parties droites sont également ancrées dans des massifs intermédiaires tous les 19 mètres; dans l'intervalle, la conduite repose tous les 6,40 m sur des piliers-supports avec berceaux métalliques. Entre chaque ancrage, c'est-à-dire tous les 19 mètres, la libre dilatation de la conduite est assurée par les joints glissants qui forment joints de dilatation à faible course.

Un tronçon de tuyaux auto-frettés, $\varnothing$ intérieur 1,300 m, à manchons rivés, longueur 827 mètres jusqu'à l'altitude 1120. Ce tronçon passe successivement en galeries et à air libre.

Il est exécuté avec des tôles de 12 à 20 mm d'épaisseur et des frettes de 60×24 à 80×48 . Les longueurs des tuyaux, leur mode d'assemblage et les dispositifs d'installation d'ancrage ou d'assise sont identiques à ceux du tronçon précédent.

Un tronçon de tuyaux auto-frettés, $\varnothing$ intérieur 1,300 m, à joints glissants, longueur 451 mètres, jusqu'au collecteur (altitude 936,70 m) installé successivement :

- à air libre,
- sur passerelle métallique (traversée du torrent de « Bissorte »),
- et à l'intérieur d'un blindage métallique sous la ligne de chemin de fer.

Il est exécuté avec des tôles de 22 et 24 mm d'épaisseur et des frettes de 90×48 à 100×54 . Les tuyaux sont assemblés entre eux par joints glissants.

Comme pour les deux tronçons précédents, celui-ci est ancré aux coudes et

dans les parties droites tous les 19 mètres, la libre dilatation entre les ancrages étant assurée par les joints glissants. Il repose, d'autre part, tous les 6,40 m sur des piliers-supports avec berceaux métalliques.

Un collecteur $\varnothing$ int. 1,300 m — 1,100 m — 0,800 m horizontal, longueur 38 mètres comprenant 3 branchements pour raccordement aux turbines.

Entièrement noyé (à l'exception des pièces de bifurcation) dans un massif en maçonnerie faisant corps avec les fondations de l'Usine, il est constitué de tuyaux auto-frettés avec des tôles de 35 mm d'épaisseur assemblés par joints à brides tournantes, et de pièces de branchement en acier coulé.

Mode de construction.

La construction proprement dite comportait principalement l'exécution de tuyaux de longueurs déterminées et de trois types différents:

Tuyaux soudés à l'arc électrique,
Tuyaux soudés au gaz à l'eau, et
Tuyaux auto-frettés.

Les matières premières étaient, tout d'abord, réceptionnées dans les Aciéries par un service de contrôle spécial dépendant directement du Maître de l'oeuvre. A leur arrivée aux Ateliers du Constructeur, elles étaient repérées d'après leur numéro de coulée et leur numéro d'ordre dans chaque coulée, puis classées par catégories dépendant de leur nature et de leurs dimensions.

Des fiches de fabrication étaient ensuite établies sur lesquelles figuraient les dimensions des éléments avec leurs repères respectifs. Toutes les opérations de la fabrication étaient mentionnées sur ces fiches si bien que chaque tuyau possédait une fiche d'identité permettant de le suivre et d'en assurer un contrôle rigoureux pendant tout le cours de sa fabrication.

Tuyaux soudés à l'arc électrique.

La fabrication de ce type s'effectue selon le cycle habituel, rabotage, chanfreinage, cintrage, soudure, épreuve hydraulique, opérations de finition et peinture.

Etant donné l'épaisseur relativement faible des tôles, le cintrage se fit à froid, sur une presse hydraulique verticale. Les opérations de soudure à l'arc électrique furent effectuées avec des électrodes enrobées, fondues dans un chanfrein en «V» avec reprise à la base du «V».

Les soudures longitudinales étaient faites à la machine automatique et les soudures transversales à la main.

Tuyaux soudés au gaz à l'eau.

Pour ce type de tuyau, les opérations de rabotage, chanfreinage et cintrage s'effectuent comme pour le précédent. Les soudures se font au gaz à l'eau, (gaz obtenu en admettant de la vapeur d'eau sur du coke incandescent). Ce gaz, riche en H. et CO, a le pouvoir d'être réducteur et de créer en brûlant un milieu désoxydant. La soudure en elle-même est une soudure par recouvrement des extrémités des tôles métal contre métal sans interposition de métal d'apport. Les extrémités des tôles qui se recouvrent sont amenées au blanc soudant par la

flamme réductrice de chalumeaux fonctionnant au gaz à l'eau et à l'air et martelées.

Ces soudures déforment le tuyau, introduisent des tensions internes importantes et surchauffent le métal. Dans le but de faire disparaître ces tensions et de régénérer le métal dans la zone de soudure, on effectue sur le tuyau constitué un recuit de normalisation à 950° (température contrôlée au pyromètre).

On profite de l'opération de recuit pour transporter dans une machine spéciale le tuyau porté au rouge et l'arrondir. L'opération d'arrondissage se fait très rapidement car il est essentiel qu'elle soit complètement terminée avant que la température du tuyau se soit abaissée en-dessous de 500°. Après les opérations

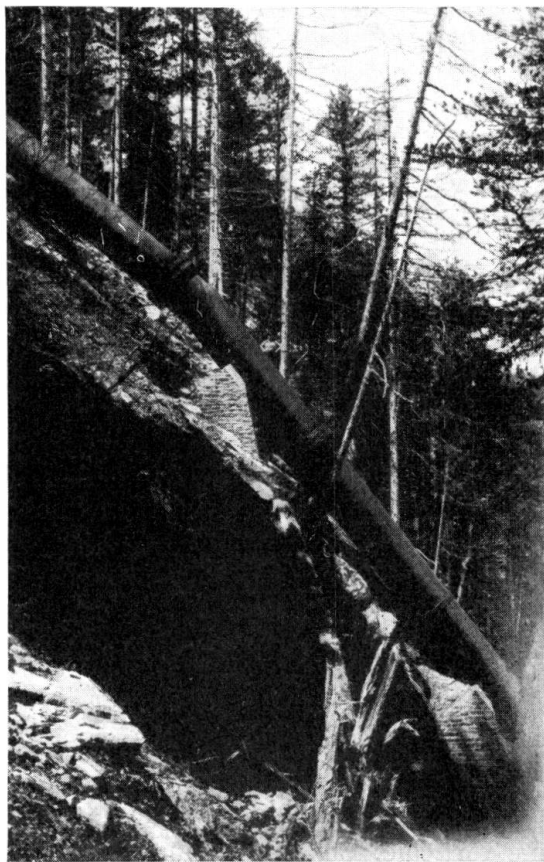


Fig. 2.

Partie de conduite soudée au gaz à l'eau vers la cote 1810.

de recuit et d'arrondissage, on exécute à chaud dans une « machine à border » les renflements aux extrémités des tuyaux permettant leur jonction entre eux.

On fait, ensuite, au tour le dressage des extrémités des tuyaux, puis les épreuves hydrauliques, les opérations de finition et la peinture.

Pour la conduite qui nous intéresse, les soudures longitudinales se firent sur une machine automatique spéciale avec laquelle il est possible de souder des tuyaux de 3,000 m de diamètre et de 6,50 m de longueur, et où le martelage se fait par pilon à air comprimé. Les soudures transversales furent exécutées par martelage à la main avec une équipe comprenant parfois 3 frappeurs pour les tôles épaisses.

Les recuits furent effectués dans un grand four alimenté par un gazogène dont les dimensions sont telles qu'il est possible d'y traiter des tuyaux de 3 m

de diamètre et de 6,50 m de longueur. Un contrôle permanent des températures était assuré par un pyromètre enregistreur placé dans le bureau du chef d'atelier.

Pour les opérations d'arrondissage, on utilisa des machines à cintrer à 4 cylindres disposés de façon à permettre un laminage de la soudure au début de l'opération.

Tuyaux auto-frettés.

Etant donné la nouveauté de ce système dont la première application remonte à 1925, il nous paraît opportun de parler de l'auto-frettage, procédé appliqué couramment en matière d'artillerie pour la fabrication des canons, et de fournir quelques précisions sur les tuyaux auto-frettés.

Le mode opératoire peut se schématiser comme il suit:

Prenons un tube d'une nuance d'acier appropriée et nettement connue, dont les épaisseurs locales ont été calculées de manière à fournir finalement (après auto-frettage) un canon d'un seul bloc (sans adjonction de frettes extérieures).

Tel qu'il est initialement, ce tube ne saurait supporter les conditions de service prévues pour la bouche à feu projetée.

Cette résistance professionnelle, qu'il n'a pas encore atteinte, va lui être garantie par l'auto-frettage, avec une majoration exactement définie et contrôlée par l'opération elle-même.

Mettons un puissant appareillage de compression hydraulique en communication avec l'intérieur du tube, puis obturons chacune des deux extrémités par un joint rigoureusement étanche.

Introduisons dans celui-ci le liquide comprimé, dont nous augmenterons progressivement la pression jusqu'à une valeur déterminée, telle qu'elle surpasse légèrement celle qui correspond à la limite élastique du tube, tout en restant notablement en-dessous de la limite de rupture.

Après avoir maintenu pendant le temps nécessaire et suffisant cette pression, laissons la descendre progressivement jusqu'au taux atmosphérique.

Le tube, dilaté au-delà de sa limite élastique, conserve une déformation permanente; le métal constitutif a subi un certain écrouissage.

Cette sorte de mandrinage hydraulique a pour effet de mettre les couches externes du tube en état de tension, et les couches internes en état de compression.

C'est ce phénomène complexe qui reçoit le nom d'auto-frettage car on est tenté de dire que tout se passe comme si le tube s'était fretté lui-même.

Ne séjournons pas davantage dans ce domaine technique de l'artillerie, en exposant les diverses applications qui y sont faites de ce nouveau procédé.

Retenons seulement deux données essentielles:

1° — Le fait, pour le tube considéré, d'avoir reçu sans rupture une déformation permanente sous une pression connue, supérieure à sa limite élastique primitive, lui confère l'aptitude à supporter désormais le renouvellement de cette même pression, sans qu'il en résulte d'autre déformation permanente. Il vient d'acquiescer une limite élastique plus élevée que celle du début.

On se trouve donc en présence d'une modification des caractéristiques mécaniques.

On vérifie, par exemple, qu'un auto-frettage, conduit dans des conditions déterminées, a, pour un tube ainsi écroui, augmenté la limite élastique d'un tiers et la résistance à la traction de 8 %.

A dire vrai, l'auto-frettage offre la possibilité de réaliser un tube d'acier, de dimensions définitives calculables, constitué par un nouveau métal, dont on est en droit de fixer à l'avance les caractéristiques précises, en fonction des exigences prévues d'un service connu.

2° — L'application de ce procédé offre une particularité hautement intéressante : la pression productrice de l'écrouissage recherché représente en même temps l'épreuve de résistance la plus rigoureuse et la plus précise puisqu'elle correspond à la pression de service affectée d'un multiplicateur, non plus empirique, mais exactement défini.

Du même coup, l'on fabrique et l'on contrôle et le produit final comporte des

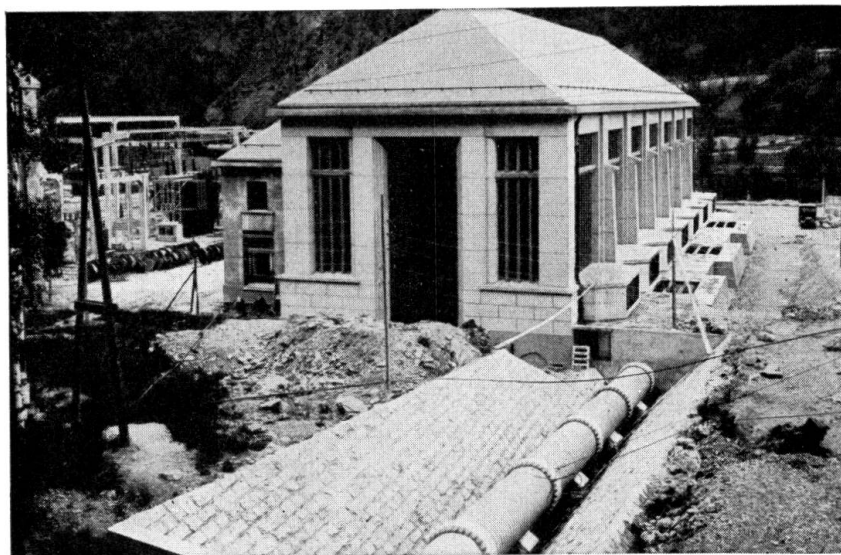


Fig. 3.

Conduite forcée à son arrivée à l'usine génératrice.

garanties réellement scientifiques de résistance et de légèreté, en même temps le procédé s'avère singulièrement économique.

Les conditions de service auxquelles doivent satisfaire les tuyaux des conduites forcées ne sont évidemment pas identiques à celles prévues pour les tubes de canons.

Mais ce qui fut dit précédemment, à l'égard de l'auto-frettage de ces derniers, permettra de saisir plus aisément l'application aux premiers d'un procédé du même ordre.

Le desideratum reste le même : assurer la combinaison optimum, adéquate aux circonstances, de la résistance et de la légèreté avec des garanties scientifiques contrôlées.

Un tuyau auto-fretté pour conduite forcée se compose :

— d'un tuyau généralement en tôle d'acier soudée formant paroi interne, dont l'épaisseur est une fraction de celle qu'aurait un tuyau ordinaire de résistance équivalente à celle du tuyau auto-fretté, et

— d'anneaux de renfort (frettes) régulièrement espacés sur la surface extérieure de la paroi.

Les frettes sont de section rectangulaire, laminées, sans soudure, en acier traité à haute résistance dont la limite élastique est notablement plus élevée que celle de la tôle du tuyau, condition essentielle du frettage par ce procédé.

Voyons maintenant comment le processus de fabrication va permettre à cet ensemble (tuyau-paroi et frettes) une combinaison d'efforts fournissant la solution du problème (résistance et légèreté).

Le diamètre extérieur du tube-paroi est légèrement inférieur au diamètre intérieur des frettes; celles-ci peuvent donc être placées à froid à l'écartement convenable.

L'intérieur du tuyau est mis en communication avec une forte presse hydraulique et les deux extrémités sont obturées de façon étanche.

On donne la pression qui est augmentée progressivement jusqu'à atteindre au moins le double de la pression de marche (pression statique + surpression) prévue pour le service ultérieur.

Cette pression maximum est dite: «pression de frettage».

La pression de frettage, une fois atteinte, on la maintient pendant une minute; on laisse ensuite tomber la pression jusqu'à la pression de marche. On procède alors au martelage du tube et des frettes, aux vérifications et mesures nécessaires, examinant en particulier si la paroi s'est bien comportée pendant sa déformation. On renforce alors la pression jusqu'au taux de la pression de frettage, que l'on maintient pendant cinq minutes au minimum.

Dès lors sont terminées à la fois l'opération du frettage et les épreuves de pression.

A cet exposé sommaire, il convient de joindre quelques remarques soulignant l'intérêt de ce procédé de fabrication:

1° — Sous l'action progressive croissante, le tube-paroi se dilate et commence par adhérer aux frettes.

La pression continuant à monter, le tube tend à épanouir les frettes, dont le métal se trouve mis en état de tension.

Après chute définitive de la pression: d'une part, le tube-paroi, dont la limite élastique originelle a été dépassée, garde une déformation permanente; il a acquis une nouvelle limite élastique, supérieure à la précédente, et bénéficie du supplément de résistance imputable à l'auto-frettage. D'autre part, les frettes qui, du fait de la haute résistance de leur métal constitutif, n'ont subi qu'une déformation élastique, déterminent sur la paroi externe du tuyau un serrage analogue à celui que produirait la contraction de frettes posées à chaud.

2° — L'expérience prouve que, à égalité de résistance de service un tuyau auto-fretté de la sorte présente un poids moitié moindre que celui d'un tuyau ordinaire soudé.

3° — Un avantage notoire du procédé consiste dans le fait que, aux diverses étapes de la fabrication, il est possible de suivre, à l'aide d'appareils appropriés, le travail du métal, d'en surveiller l'évolution, et d'agir éventuellement, en temps utile, sur la pression de frettage calculée, pour réaliser exactement les conditions théoriques.

4° — Enfin, la fabrication fournit par elle-même toutes les épreuves de contrôle nécessaires et suffisantes.

L'opération une fois terminée, le tuyau auto-fretté emporte avec lui la garantie d'une résistance au moins égale à deux fois la pression de marche prévue, puisque c'est cette pression de garantie qui a réalisé sa production.

Les épreuves de pression après montage n'interviendront plus que pour vérification de l'étanchéité des assemblages de tuyaux entre eux.

5° — En fait, les tuyaux auto-frettés sont comparables aux tuyaux sans soudure, c'est-à-dire, très résistants.

Par conséquent, leur utilisation dans les conduites forcées se montre fort intéressante lorsque les calibres surpassent ceux que peuvent atteindre les tuyaux sans soudure, ainsi que dans les cas où les tuyaux ordinaires soudés sont insuffisamment résistants ou réclament des épaisseurs entraînant des poids exagérés ou des impossibilités de fabrication.

L'opération principale de la fabrication des tuyaux auto-frettés est donc celle du frettage qui constitue en même temps l'épreuve hydraulique à une pression au moins égale au double de la pression maximum de marche (pression statique + surpression).

Il en résulte que la machine la plus importante pour la construction des tuyaux auto-frettés est la presse hydraulique d'épreuves qui prend de grandes proportions quand il s'agit de fabriquer une conduite comme celle de la « Bissorte ».

Un point très important, sur lequel il y a lieu d'insister, concerne le contrôle des efforts dans la matière que le mode de fabrication des tuyaux auto-frettés rend possible.

Avant de commencer la mise en pression, on place sur les frettes un certain nombre de tensomètres que l'on répartit uniformément sur la longueur du tuyau à fretter.

Pendant le cours de l'opération de frettage, on enregistre d'abord la pression de mise en contact de la paroi avec les frettes, puis la tension des frettes sous les pressions croissantes jusqu'à la pression de frettage, ensuite sous les pressions décroissantes jusqu'à la pression de marche, de nouveau sous la pression de frettage et sous la pression de marche; enfin, sous la pression nulle pour vérifier le degré de serrage des frettes sur la paroi.

Au cours de ces opérations, il est possible de corriger, en temps utile, la pression de frettage calculée pour réaliser les tensions théoriques.

Les vérifications faites en cours de fabrication ou à l'occasion d'essais systématiques ont mis en évidence la concordance très satisfaisante des sollicitations réelles et théoriques, et ont permis de vérifier la marge importante qui existe entre la limite élastique des frettes et leur tension maximum sous l'effet de la pression de frettage.

Le tuyau-paroi des tuyaux auto-frettés est généralement constitué soit d'acier extra-doux donnant:

Résistance à la traction	$\geq 34 \text{ kg/mm}^2$
Limite élastique	$\geq 19 \text{ kg/mm}^2$
Allongement	$\geq 30 \%$
Résilience Mesnager	$\geq 7 \text{ kgm/cm}^2$
Taux de fatigue admis	8 kg/mm^2

soit d'acier spécial à haute limite élastique donnant:

Résistance à la traction	$\geq 54 \text{ kg/mm}^2$
Limite élastique	$\geq 36 \text{ kg/mm}^2$
Allongement	$\geq 20 \%$
Résilience Mesnager	$\geq 7 \text{ kgm/cm}^2$
Taux de fatigue admis	12 kg/mm^2

Dans le premier cas, les frettes sont en acier au carbone traité dont les caractéristiques mécaniques sont:

Résistance à la traction	$\geq 90 \text{ kg/mm}^2$
Limite élastique	$\geq 60 \text{ kg/mm}^2$
Allongement	$\geq 8 \%$
Résilience Mesnager	$\geq 4 \text{ kgm/cm}^2$
Taux de fatigue admis	24 kg/mm^2

et dans le second, elles sont en acier spécial traité avec:

Résistance à la traction	$\geq 115 \text{ kg/mm}^2$
Limite élastique	$\geq 95 \text{ kg/mm}^2$
Allongement	$\geq 6 \%$
Résilience Mesnager	$\geq 5 \text{ kgm/cm}^2$
Taux de fatigue admis	36 kg/mm^2

La fatigue moyenne d'un tuyau auto-fretté comptée par rapport à la section totale paroi et frette est de 16 kg/mm^2 dans le premier cas, et de 24 kg/mm^2 dans le second, ce qui veut dire qu'un tuyau ainsi constitué est d'un poids moitié moindre que celui d'un tuyau ordinaire dont les taux de fatigue seraient respectivement de 8 et 12 kg/mm^2 .

L'intérêt d'utilisation des tuyaux auto-frettés n'est pas seulement limité aux conduites forcées de très haute chute car l'expérience a montré qu'il était avantageux, au point de vue économique, de les employer à partir du moment où la pression maximum de marche atteint 320 mètres, mais leur limite d'utilisation est beaucoup plus étendue dans certains cas particuliers et lorsque la question sécurité revêt une importance toute particulière.

En dehors des économies sur les frais de premier établissement que l'emploi des tuyaux auto-frettés permettent de réaliser, et de la grande sécurité qu'ils fournissent, les tuyaux auto-frettés présentent pour les exploitants d'Usines Hydro-Electriques un autre intérêt.

Ce dispositif comporte, en effet, l'avantage de réduire notablement les coups de bélier du fait de la grande dilatation diamétrale des tuyaux sous l'effet de la pression intérieure conséquence du taux de fatigue élevé qu'il est possible d'admettre dans le métal qui les constitue.

En effet, le coup de bélier est fonction de la célérité ou vitesse de propagation des ondes et diminue avec la valeur de celle-ci.

La célérité pour le cas de tuyaux d'acier a pour valeur:

$$a = \frac{9.900}{\sqrt{48,3 + 0,5 \frac{D}{e}}} \quad \text{or:} \quad \frac{D}{e} = \frac{2R}{p} \quad \text{donc:} \quad a = \frac{9.900}{\sqrt{48,3 + \frac{R}{p}}}$$

en prenant, par exemple :

- pression intérieure . . . $p = 1000$ m d'eau soit 1 kg/mm^2
- taux de fatigue . . . $R = 8 \text{ kg/mm}^2$ pour tuyau ordinaire.
 $R = 16 \text{ kg par mm}^2$ pour tuyau auto-fretté.

Dans le premier cas : $a = 1320$ mètres et,

dans le second : $a = 1230$ mètres,

ce qui met en évidence ce qui vient d'être indiqué.

Les tuyaux auto-frettés qui constituent la plus grande partie de la conduite forcée de la «Bissorte» ont été construits avec des tuyaux soudés au gaz à l'eau. Dans le but d'obtenir une grande homogénéité au moment de l'auto-frettage, on prenait la précaution de constituer chaque tuyau avec des tôles provenant de la même coulée.

Au cours des opérations d'auto-frettage, on effectuait un martelage énergique des frettes et des soudures.

D'autre part, sur un certain nombre de tuyaux, des mesures sur paroi et frettes étaient effectuées à partir de la pression 0 jusqu'à la pression de frettage et inversement à l'aide de tensomètres *Huggenberger*. Elles ont permis de vérifier la concordance des fatigues réelles et des fatigues théoriques.

Les tuyaux de diamètre 1,300 m soumis à la plus forte charge ont été éprouvés à la pression de 264 kg par cm^2 .

Au moment du frettage des tuyaux de fortes brides de calibrage étaient placées aux extrémités, ce qui permit d'obtenir des éléments parfaitement calibrés et de faire en série l'usinage sans retouche ultérieure des brides ou manchons fixés aux extrémités des tuyaux.

Les brides d'extrémité existant sur un certain nombre de tuyaux ont été soudées sur ceux-ci à l'arc électrique et des essais complémentaires de pression ont été réalisés pour s'assurer de l'étanchéité et de la résistance de ces soudures.

Peinture en atelier.

Avant leur expédition tous les tuyaux étaient brossés, décalaminés et goudronnés à chaud intérieurement et extérieurement.

Pour effectuer l'opération de goudronnage, les tuyaux étaient chauffés avec de grands chalumeaux à gaz à la température de 80° environ puis immergés dans un immense bac à goudron, préalablement chauffé à la même température. Une fois sortis du bac et égouttés, ils se trouvaient imprégnés d'une pellicule protectrice de goudron extrêmement adhérente.

Contrôle.

Le contrôle de la fabrication était assuré d'une part par le service de Contrôle permanent du Constructeur, chargé spécialement d'effectuer en cours de fabrication les prélèvements d'éprouvettes, les essais de vérification des soudures, les essais hydrauliques et les vérifications de dimensions, d'autre part par un contrôle intermittent effectué par un service dépendant du Maître de l'oeuvre.

Chaque tuyau faisait l'objet d'un poinçonnage et d'un procès-verbal de contrôle notamment en ce qui concerne les essais à la pression hydraulique.

Epreuve hydraulique.

L'épreuve hydraulique qui, pour les tuyaux auto-frettés, est l'opération principale de leur fabrication, constitue pour les conduites forcées en général la plus importante des opérations de contrôle puisqu'elle définit un coefficient minimum de sécurité pratique.

Tous les tuyaux de la conduite de la «Bissorte» ont été éprouvés au double de la pression maximum (pression statique + surpression) qu'ils ont à supporter en service.

On utilisait pour cela une «presse hydraulique d'épreuve» de 3500 t,¹ capable d'éprouver des tuyaux jusqu'à 3 m de diamètre et 13 mètres de longueur.



Fig. 4.

Partie de conduite auto-frettée à son entrée dans une galerie inclinée vers la cote 1220.

Pour les tuyaux auto-frettés, nous avons déjà indiqué comment s'effectuait l'épreuve hydraulique en même temps que l'opération d'auto-frettage.

Pour les tuyaux soudés à l'arc électrique ou au gaz à l'eau, la pression était d'abord montée au double de la pression maximum de marche pendant une minute, puis descendue à la pression de marche sous laquelle on effectuait un martelage énergique des soudures et ensuite remontée à la pression d'épreuve tenue pendant 5 minutes au moins.

La fabrication terminée, les tuyaux étaient acheminés sur le chantier par camion automobile au fur et à mesure des besoins du montage.

¹ L'effort de 3500 t est celui qui correspondait à la poussée hydraulique sur les plateaux au cours de l'essai des tuyaux de la partie inférieure à 264 kgs par cm².

Travaux de montage.

Le premier et le plus important des problèmes à résoudre pour mener à bien le travail de montage fut celui du transport des tuyaux à leur emplacement définitif; le poids de ces éléments, les dénivellations à franchir, et la pente très prononcée du profil constituaient des difficultés auxquelles il convient d'ajouter la présence des coudes en plan et celle des galeries inclinées.

La solution choisie fut la suivante:

Transport par *câble aérien* de tous les éléments compris entre la cote 1030 et la cote 2015 avec, en outre, pour chacune des galeries comprises dans cette zone une installation spéciale destinée à la descente des tuyaux.

Transport par *plan incliné* des éléments compris entre la cote 945 et la cote 1030.

Le montage du tronçon situé à l'aval du précédent ne présentait aucune difficulté particulière, étant donné sa faible pente et la facilité d'accès.

Le programme suivi a été conditionné par:

la capacité de transport du câble aérien,

la nécessité de mener de pair la pose de la conduite et les travaux de génie civil, et,

l'impossibilité de multiplier les équipes par crainte d'accidents.

Il dut obligatoirement être réparti sur deux campagnes.

Durant la première, on posa toute la partie comprise entre la cote 1030 et la cote 1650, ainsi que le tronçon allant de la Centrale (collecteur compris) au troisième massif d'ancrage.

La deuxième campagne bien moins chargée, vit l'achèvement du travail avec le raccordement à la conduite à faible pente et le raccordement aux trois turbines.

Quatre «départs de montage» furent utilisés, mais on ne travailla simultanément que sur deux au maximum le montage sur l'un d'eux servant de volant de travail en cas de ralentissement ou d'arrêt sur l'autre. Cette méthode s'imposait notamment chaque fois que l'on entrait dans une galerie où monteurs et maçons devaient, à tour de rôle, se céder la place.

Dès le début du montage, un premier essai eut d'abord lieu à la pression hydraulique sur un des premiers tronçons mis en place de façon à s'assurer de l'étanchéité des premières rivures exécutées sur le chantier, qui supportent en service normal des pressions de l'ordre de 100 kg/cm².

Un deuxième essai, beaucoup plus important celui-là fut effectué après achèvement complet du montage de tous les tuyaux auto-frettés (collecteur compris), c'est-à-dire, toute la partie de conduite depuis l'Usine génératrice (cote 936,70) jusqu'à la cote 1715.

Ces essais avaient d'abord pour but de vérifier l'étanchéité des joints; ensuite de contrôler la stabilité de la conduite et des massifs d'ancrage sous l'effet des pressions maximums que la conduite serait amenée ultérieurement à supporter.

Le remplissage de la conduite ayant été effectué au préalable avec les eaux de ruissellement captées le long du profil, la mise en pression fût obtenue à l'aide d'une électropompe installée à l'intérieur de l'Usine génératrice et refoulant directement sur le collecteur. Des manomètres étaient placés aux deux extrémités du tronçon à éprouver.

Pendant la première journée, la pression fut d'abord montée à 115 kg/cm² au collecteur, puis la deuxième journée à 124 kg et la troisième journée à 132 kg. A ce moment, la pression enregistrée par le manomètre placé à la partie supérieure était de 54 kg/cm².

Par rapport à la pression statique les surpressions introduites au cours de cet essai dans le tronçon éprouvé ont été de 15 % au collecteur et 50 % à la partie supérieure.

Cette épreuve très dure, notamment pour les parties supérieures du tronçon éprouvé, n'ont donné lieu à aucune observation. Ils ont permis de constater la parfaite étanchéité des joints et des rivures, et la parfaite stabilité des massifs d'ancrage sollicités par des efforts considérables.

Dès l'achèvement complet du montage, la conduite fut recouverte après nettoyage d'une peinture bitumineuse.

A l'intérieur, on rétablit les parties de peintures passées en Usine et détériorées en cours de montage, à l'extérieur on passa une couche dans les parties à l'air libre et deux couches dans les parties en galerie.

La partie inférieure voisine de l'Usine génératrice fut, en outre, enduite extérieurement d'une couche supplémentaire de peinture à l'aluminium.

L'installation en ordre de marche de la conduite forcée a été terminée en Octobre 1934 et la mise en service de l'Usine Hydro-Electrique a eu lieu en Mai 1935, date depuis laquelle elle fait ressentir les effets bienfaisants de sa puissance régularisée.

Résumé.

L'Usine Hydro-électrique de *Bissorte*, qui comporte 3 turbines de 34,700 CV (73,5 m sous 1,150 m de chute) est alimentée par une seule conduite forcée d'un diam. variant de 1,800 m (partie haute) à 1,300 m (partie basse), d'une longueur de 3,037 m et d'un poids de 3,800 Tonnes.

C'est grâce aux tuyaux autofrettés, système *G. Ferrand*, que cette conduite unique a pu être réalisée. Elle travaille dans sa partie inférieure en service normal à la pression maximum de 132 kg/cm².

Les tuyaux autofrettés sont composés d'un tube cylindrique et de frettes dont le diam. intérieur est légèrement supérieur au grand diamètre du tube en question. Le serrage des frettes sur ce tube est obtenu non point à chaud, ce qui éliminerait la possibilité d'employer pour les frettes de l'acier traité à haute résistance, mais à froid par extension de la paroi, obtenue par l'application à l'intérieur du tube, d'une pression déterminée, dite pression de frettage. Cette déformation permanente n'enlève rien au tube de ses qualités, elle lui en donne au contraire de nouvelles; la pression d'autofrettage constitue en même temps une sévère épreuve de résistance, pression qui est au moins double de la pression maximum de service.

Le contrôle de la fatigue du métal s'effectue aisément et les coups de béliet sont sensiblement réduits avec ce type de tuyaux qui, grâce à l'emploi d'acier à haute résistance, permet des prix de revient réduits.

Leere Seite
Blank page
Page vide

VII b 3

Application de l'acier en construction hydraulique,
installations mobiles.

Anwendung des Stahles im Wasserbau,
bewegliche Anlagen.

Use of Steel in Hydraulic Structures, Movable Plants.

Ministerialrat K. Burkowitz VDI,
Reichs- und Preußisches Verkehrsministerium, Berlin.

Le matériau «Acier»

Si je puis, à ce sujet, me reporter d'une manière générale à la contribution de Mr. le Professeur Dr. Ing. *Agatz*, je voudrais néanmoins faire quelques remarques en ce qui concerne la question spéciale des «installations mobiles».

Les installations mobiles sont en effet exposées, plus que les ouvrages fixes, à l'attaque de toutes influences extérieures. L'eau qui les lèche avec une force vive et une vitesse souvent considérables, l'alternance de l'état humide et de l'état sec, de la chaleur et du froid, les modalités défavorables suivant lesquelles s'exercent les efforts extérieurs, font travailler la matière souvent et même dans la plupart des cas dans des conditions notablement plus défavorables que sur les installations fixes. Les calculs effectués d'après des considérations d'ordre purement statique sont dans de nombreux cas insuffisants à faire entrer en ligne de compte les influences dynamiques et mainte expérience fâcheuse se charge de nous apprendre dans quel sens doit se faire l'évolution des méthodes de calcul.

En ce qui concerne les caractéristiques de résistance mécanique, nous disposons de sortes d'aciers nombreuses et intéressantes, depuis l'acier ordinaire de construction St. 37 et l'acier St. 48 jusqu'aux aciers St. Si et St. 52, qui répondent bien aux différents besoins. Ce n'est toutefois pas toujours l'acier le plus résistant qui convient le mieux pour les conditions que nous avons à envisager ici, alors que doivent également entrer en ligne de compte les caractéristiques de résistance aux attaques par corrosion, aux phénomènes vibratoires, les possibilités d'usinage, etc. Le matériau «Acier» est un élément de choix pour les installations hydrauliques mobiles, mais sa haute élasticité et les aptitudes aux déformations qui en découlent demandent que l'on tienne particulièrement compte de sa nature propre dans les opérations de façonnage et d'usinage. Les assemblages *rivés* des pièces en acier n'ont été en somme qu'un expédient dans la construction des ouvrages mobiles, jusqu'à ce que l'on ait pu disposer d'un procédé meilleur. La technique de la soudure est ici aussi au premier plan; elle permet de ne faire des apports de métal que là où ce métal est nécessaire; elle

permet d'éviter l'affaiblissement des sections par des trous de rivets; elle permet d'éviter l'accumulation de la matière en des endroits défavorables; elle répond beaucoup mieux aux exigences de l'étanchéité. Il serait seulement à désirer que la technique du laminage puisse à son tour s'adapter rapidement aux exigences de la soudure afin que l'on n'ait pas à travailler avec la soudure sur des profilés qui ont été étudiés en vue du rivetage. Des progrès intéressants ont déjà été enregistrés dans cette voie.

Parmi les nombreux ennemis de l'acier, il importe de citer, non seulement la rouille, mais également la végétation sous-marine. On lutte contre l'attaque de la rouille par l'emploi de la peinture (voir Contribution *Agatz*); par contre, on n'a pas encore abouti à des formules certaines et d'une validité générale pour les peintures sous-marines elles-même; on suit actuellement des directives qui malheureusement laissent encore un champ très vaste aux recherches et aux expériences. Cette question a été traitée d'une manière très large par le Conseiller d'Etat *Wedler*.¹

Les dépôts marins s'incrustent à travers la couche de peinture et permettent à l'eau de mer de venir attaquer le métal ainsi mis à nu. L'emploi de peintures toxiques n'a pas permis de triompher de ces adhérences d'éléments vivants; il semble toutefois que la mise au point récente d'une peinture spéciale, sorte de lait de ciment (*Dunker & Co., Hambourg*), constitue un moyen efficace pour lutter contre ces agents d'attaque. Cette peinture a été essayée sur les vannes de l'écluse de Holtenau du Kaiser-Wilhelm-Kanal, où elle a été appliquée directement sur le métal, sur laquelle elle forme une pellicule vitreuse dure. La valeur effective des peintures anti-rouille à base de minium pour la protection des ouvrages métalliques situés dans l'eau est encore actuellement très discutée. Les peintures de nature bitumineuse appliquées à chaud en couches assez épaisses semblent donner les meilleurs résultats sur les ouvrages métalliques immergés.

Nature des installations mobiles.

Pour la majeure partie, les ouvrages métalliques mobiles servent à fermer ou à ouvrir aux eaux des passages déterminés. Elles se comportent comme les dispositifs d'arrêt ou les soupapes que l'on emploie en construction mécanique, sous une forme souvent analogue, mais réduite.

Les *vannes d'étranglement* ou vannes-papillon sont destinées à arrêter les courants d'eau; on les utilise fréquemment dans les conduites d'eau à titre de dispositifs de secours; elles ne peuvent toutefois être utilisées que dans leurs positions extrêmes d'ouverture et de fermeture, car les positions intermédiaires impliqueraient pour l'écoulement des eaux des conditions trop défavorables. D'ailleurs, même dans leur position de pleine ouverture, elles réduisent dans une certaine mesure la section de passage et sont ainsi si fortement exposées à l'action du courant que dans la plupart des cas, il est nécessaire de prévoir pour elles une protection spéciale.

Les *vannes à tiroir* proprement dites, du type des robinets-vannes ordinaires, sont construites jusqu'à des dimensions très importantes. A la position de pleine

¹ *Wedler*: „Unterwasseranstriche für Stahlbauteile im Wasserbau, besonders von Schleusen und Wehren“, Bautechnik n° 17, 1934, p. 232.

ouverture, elles libèrent entièrement le passage du courant d'eau; par contre, à pleine charge, elles sont assez difficiles à manoeuvrer. En position d'ouverture partielle, les conditions d'écoulement des filets liquides sur les arêtes de la vanne sont nettement défavorables; il se produit des phénomènes de cavitation dangereux.

Les vannes de forme cylindrique sont fréquemment et volontiers adoptées. Pour leur simplicité, on a pendant longtemps employé de simples cylindres ouverts à la partie supérieure, se déplaçant verticalement et assurant la fermeture complète par leur arête inférieure (principalement dans les écluses à sas); plus récemment, on a adopté la disposition mise au point par Krupp-Grusonwerk, dans laquelle la partie cylindrique mobile est ramenée à l'intérieur d'une sorte

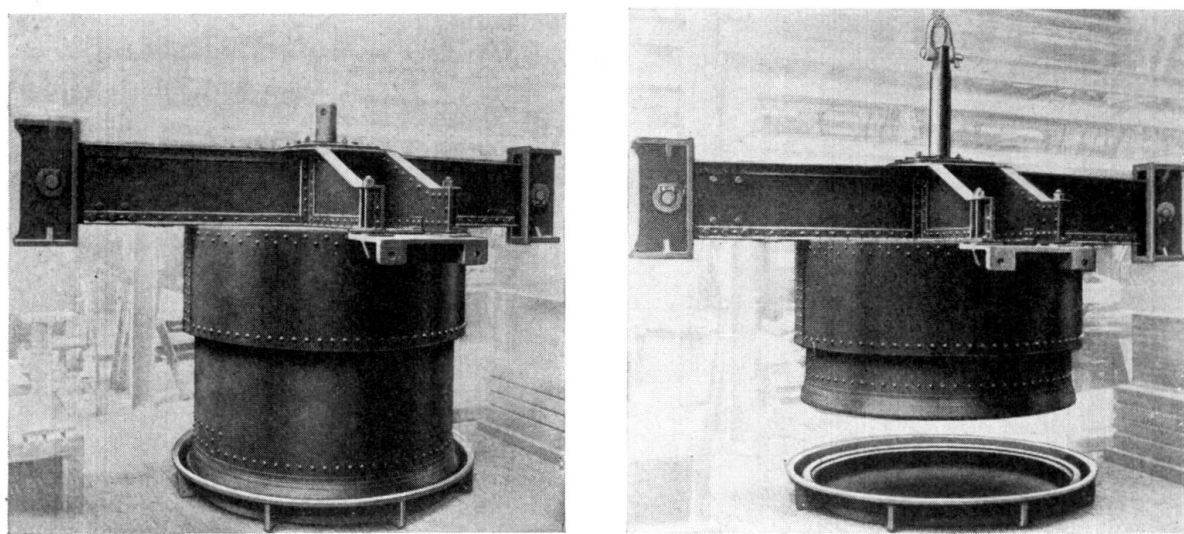


Fig. 1.

Soupape cylindrique en type de construction fermée de la maison Fried. Krupp Grusonwerk A.-G., Magdeburg-Buckau, (patenté).

de cloche fermée à sa partie supérieure et qui est elle-même suspendue à une traverse, à l'intérieur du puits (fig. 1). Cette disposition entièrement fermée permet d'éviter l'entraînement d'air, entraînement qui pourrait provoquer des perturbations ultérieures dans l'écoulement de l'eau (écluse de Fürstenberg).

Un type de vanne particulier et de dimensions d'ailleurs peu communes, à cylindre, en acier coulé a été adopté pour la fermeture des orifices de décharge du barrage de retenue d'Ottmachau (fig. 2 d'après le bulletin VDI n° 31, 1935, p. 858). Ces appareils ont été établis d'après les plans du Conseiller d'Etat Chop-Breslau, par les „Vereinigte Oberschlesische Hüttenwerke, Donnersmarckhütte, Hindenburg O.S.". Ces vannes, qui sont au nombre de six, doivent assurer un débit collectif de 500 m³/s sous une hauteur d'eau de 12,5 m. Le trajet particulier imposé aux filets d'eau est prévu pour amortir dans une large mesure l'énergie du courant d'eau, évitant ainsi tout risque de cavitation. Des essais très poussés sur modèles ont été effectués avant la construction; ils ont été confirmés par les résultats actuels de l'exploitation. Ces appareils peuvent également être utilisés avec succès, dans leurs positions intermédiaires entre la pleine ouverture et la fermeture complète, pour le réglage précis des conditions

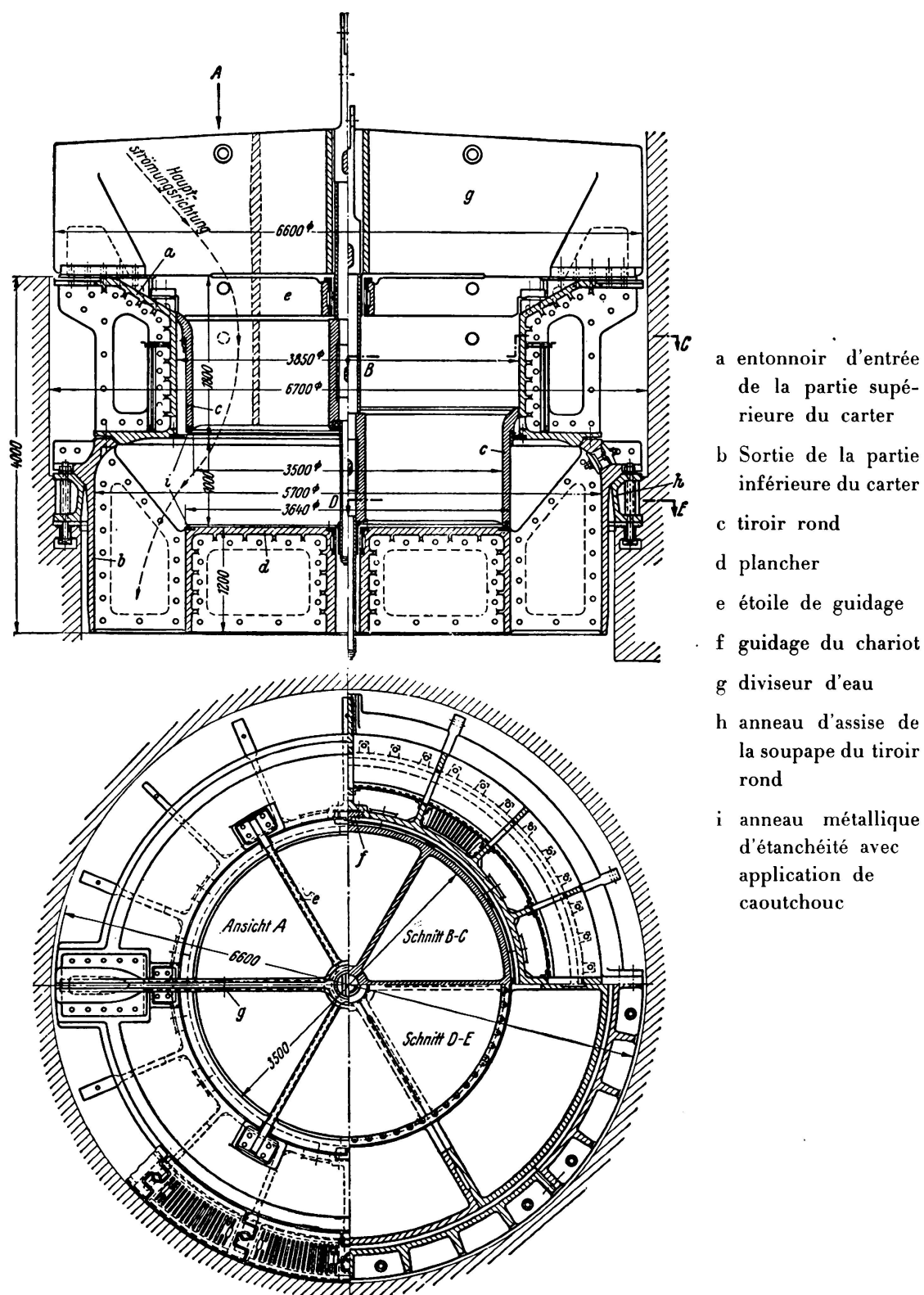


Fig. 2.

Soupape cylindrique de la décharge de fond du barrage d'Ottmachau (Hte Silésie).

(En plan la soupape est dessinée ouverte à gauche et fermée à droite.)

Constructeur: Vereinigte Oberschlesische Hüttenwerke, Werk Donnersmarckhütte à Hindenburg, O.-S.

de service. La figure 3 donne une idée de l'importance de ces vannes; leur construction n'a pas été sans poser des problèmes particulièrement délicats, tant pour la coulée que pour l'usinage.

Les vannes *Larner-Johnson* sont particulièrement indiquées lorsque l'obturation ne doit pas se faire verticalement, mais bien horizontalement. Ce sont des vannes annulaires, à axe horizontal; elles peuvent être réalisées de manière à exercer l'obturation soit dans une direction soit dans l'autre. Elles permettent d'utiliser dans une large mesure la pression de l'eau elle-même pour assurer une décharge des organes mobiles des vannes, de telle sorte que les efforts à mettre

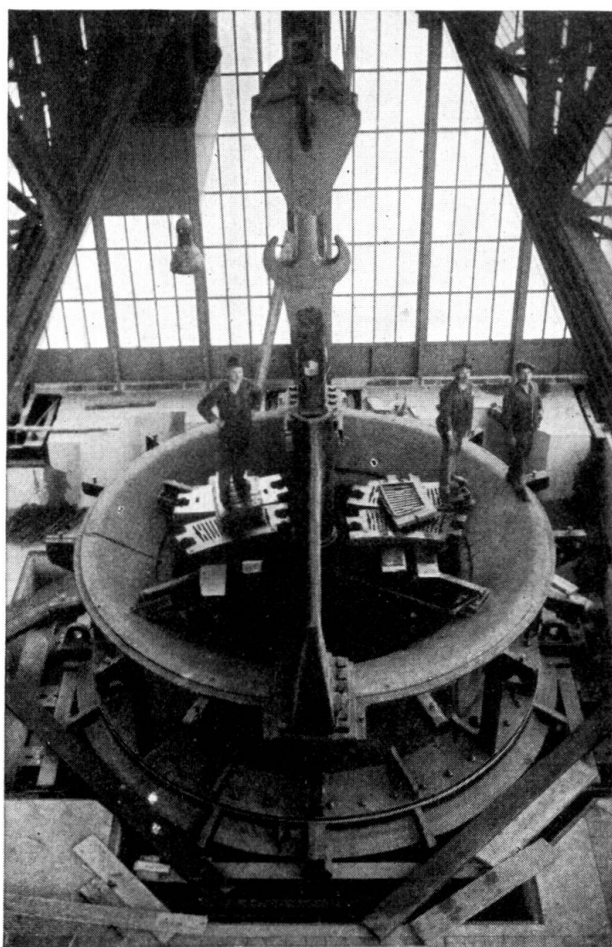


Fig. 3.

Une soupape cylindrique suivant la fig. 2 lors de la mise en place dans le puits de la soupape.

en jeu pour l'ouverture et la fermeture des vannes sont réduits. On peut même prévoir la fermeture automatique de la vanne sous l'effet de la pression de l'eau. La „Maschinenfabrik Gebr. Ardel-Eberswalde“ a construit des vannes annulaires fonctionnant dans les deux sens et qui sont utilisées comme vannes d'équilibrage entre les deux écluses de l'installation jumelée de Fürstenberg. Les Krupp-Grusonwerke de Magdebourg construisent des vannes de décharge suivant la disposition *Larner-Johnson*, dans lesquelles la hauteur d'eau elle-même est utilisée pour assurer l'ouverture et la fermeture de la vanne (fig. 4 d'après le Bulletin VDI n° 22, de 1934). Il suffit seulement d'actionner la petite soupape à aiguille *i*, ou valve-pilote, par l'intervention d'une commande de faible puissance, pour pouvoir faire intervenir en vue de la fermeture ou de l'ouverture,

la pression d'eau qui règne dans les chambres a, b, d. De telles vannes ont été montées par exemple sur les barrages de Sösetal et d'Odertal dans le Hartz, le débit maximum correspondant atteignant 30 m^3 à la seconde, sous une hauteur d'eau de 55 m, avec diamètre libre de passage de 1,27 m.

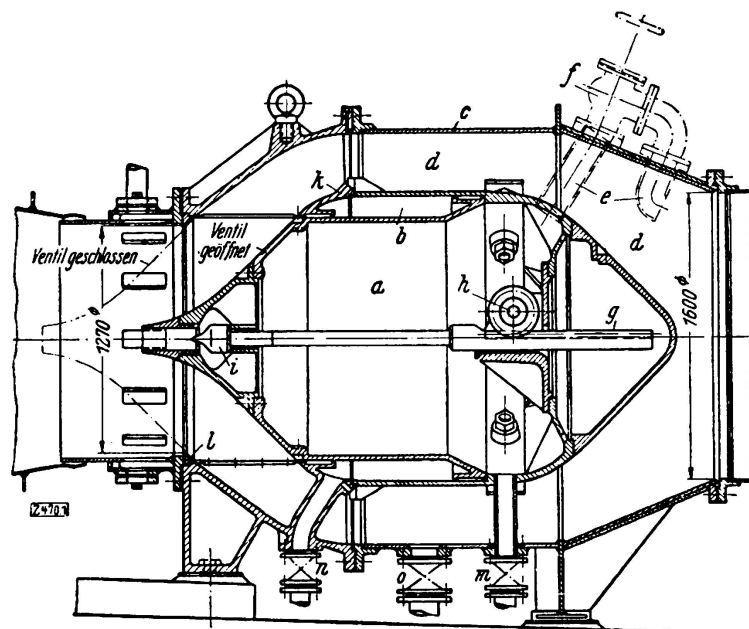


Fig. 4.

Soupape de la décharge de fond d'après Larner-Johnson dans le mode de construction de la maison Krupp-Grusonwerk-Magdeburg.

Les vannes à cylindres peuvent, de même que les vannes *Larner-Johnson*, être utilisées pour l'obturation sur conduites horizontales; leur mode de fonctionnement est représenté sur la figure 5. A la position d'ouverture, la vanne libère entièrement la section de passage et s'adapte parfaitement à la courbure de la paroi de la conduite; à la position de fermeture, elle joue en quelque sorte le rôle d'une porte busquée contre le passage de l'eau, mais elle peut cependant

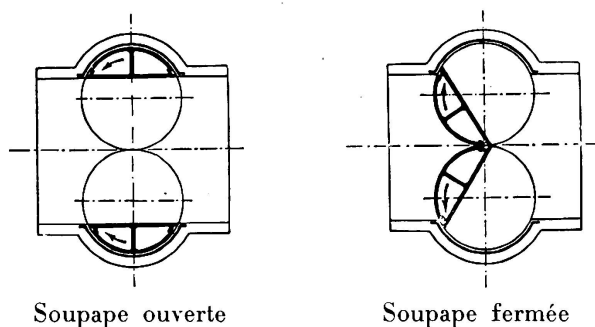


Fig. 5.

Soupape cylindrique, contour général

empêcher le passage de l'eau dans les deux directions. Les positions extrêmes sont parfaites; dans les positions intermédiaires, il se forme toutefois des cavités qui donnent naissance à des coups d'eau assez durs (écluse de Fürstenberg).

Il n'est donc pas à conseiller de laisser ces vannes pendant trop longtemps en position intermédiaire.

Les *vannes coulissantes* comptent parmi les plus anciens dispositifs de fermeture utilisés sur les écluses, les barrages, les digues, etc. Elles sont en général d'une conception simple et économique; leur étanchéité est suffisante; toutefois, lorsque leurs dimensions ou lorsque les pressions d'eau sont trop élevées, leur déplacement nécessite des efforts considérables.

Les *vannettes à rouleaux* occupent ici une position particulière; le guidage et l'étanchéité doivent être considérés séparément; le guidage est assuré par des rouleaux porteurs se déplaçant sur des voies de roulement; l'étanchéité est obtenue à l'aide de dispositifs spéciaux. Dans la plupart des cas, l'étanchéité est assurée à la partie inférieure — en cas de besoin également à la partie supérieure — par portage du panneau proprement dit de la vanne sur des nervures d'étanchéité qui peuvent être constituées soit par du bois, soit par de l'acier ou un autre métal convenablement façonné. Pour assurer l'étanchéité supérieure, on a généralement recours à un matériau plus ou moins élastique (par exemple caoutchouc ou bandes de feutre), car on ne peut pas obtenir une étanchéité quelque peu durable dans deux plans différents simultanés en utilisant

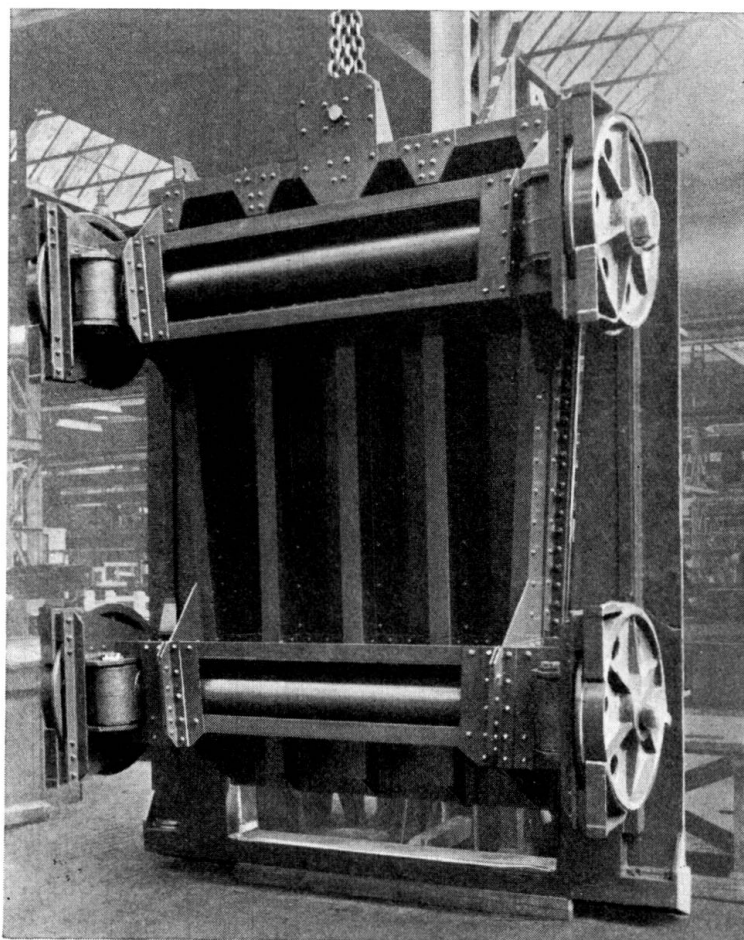


Fig. 6.

Ecluse de puits double Fürstenberg a. O., tête inférieure, écluse-cale roulante de la maison Krupp-Grusonwerk.

à cet effet des surfaces dures. L'étanchéité est obtenue latéralement à l'aide de garnitures à ressorts, faisant intervenir la pression de l'eau elle-même. Les garnitures d'étanchéité latérale sont fréquemment disposées en forme de coins, afin d'obtenir une étanchéité particulièrement bonne dans les positions extrêmes. On évite le blocage des garnitures d'étanchéité à coins en conférant aux éléments de ces garnitures une certaine souplesse élastique. Les vannettes à rouleaux à coins sont construites actuellement jusqu'à des dimensions très importantes; elles présentent le grand avantage d'une bonne accessibilité et d'une possibilité de démontage complet en cas de nécessité. La figure 6 représente une grande vanne à coin de la Krupp-Grusonwerk (écluse de Fürstenberg, écluse d'aval, section de passage 7,2 m², hauteur d'eau 15,8 m).

Ce sont les *écluses* qui offrent les plus fréquentes et les plus intéressantes occasions d'employer les fermetures et dispositifs d'obturation les plus divers. Initialement, on adoptait presque exclusivement le dispositif de la *porte busquée* pour assurer la fermeture des chambres; il est difficile de trouver en effet des

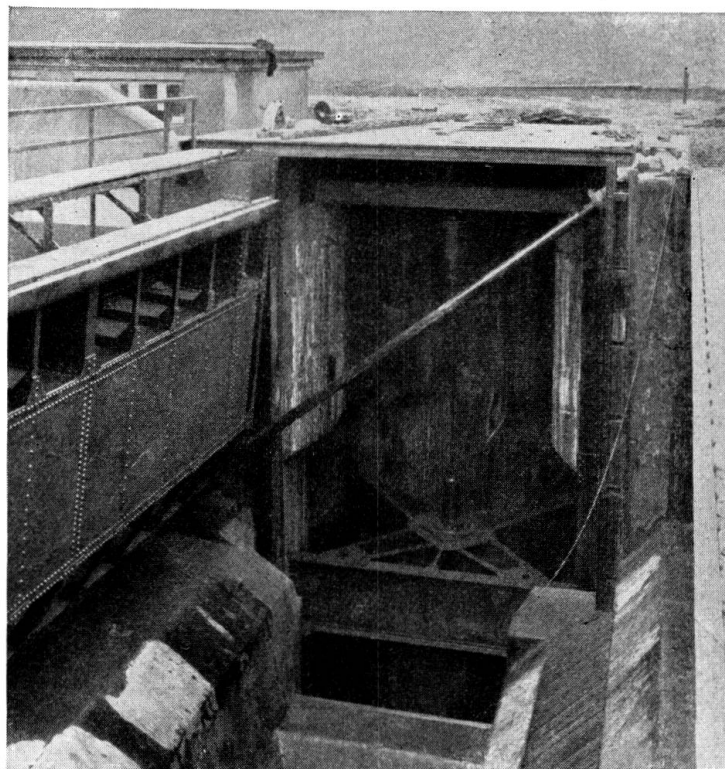


Fig. 7.

Ecluse de puits double Fürstenberg a. O., tête inférieure, porte à clapet et soupape en cloche cylindrique de la maison Krupp-Grusonwerk.

dispositions plus simples et assurant à l'exploitation une plus grande sécurité: c'est pourquoi on les adopte encore actuellement même pour de très grandes dimensions; elles constituent la disposition la plus généralement adoptée pour les écluses de navigation fluviale; leur sécurité n'est toutefois effective que lorsque les têtes elles-mêmes ne sont exposées à aucun mouvement; elles deviennent peu pratiques lorsque la pression est trop forte ou lorsque le rapport entre

les deux dimensions des vantaux des portes est trop défavorable. Dans les régions à fortes dénivellations, on est en général obligé d'éviter l'emploi des portes busquées (voir Portes levantes). Une certaine incommodité des portes busquées réside dans ce fait que chacun des deux vantaux nécessite une commande particulière et qu'il est par suite nécessaire de prévoir des organes de commande de chaque côté de la porte. Les *portes abattantes* permettent d'éviter cet inconvénient; elles peuvent en effet être commandées d'un seul côté, si elles sont suffisamment rigides et si les hauteurs d'eau sous lesquelles sont appelées à fonctionner ne sont pas trop élevées. Leur poids peut être compensé dans une large mesure par la poussée verticale de l'eau. Sur les têtes d'amont des écluses dont le busc est situé à un niveau assez élevé, les portes à abattant peuvent être utilisées dans des conditions très intéressantes (voir fig. 7, la porte abattante de l'écluse de Fürstenberg, tête supérieure; au fond, une vanne cylindrique; ces deux organes ont été construits par Krupp-Grusonwerk, Magdeburg). Sur cette figure, on remarquera également que l'appui inférieur de la porte, par ailleurs difficilement accessible, s'appuie lui-même sur une barre travaillant élastiquement à la compression, de telle sorte que l'appui inférieur peut être débarrassé des corps étrangers, par blocage dans une position intermédiaire; cet appui est également monté sur éléments de suspension verticaux de telle sorte qu'il est possible de dégager complètement la porte de l'eau pour vérifier l'état de l'appui inférieur.

Dans certaines régions dénivelées de l'Allemagne, on donne actuellement la préférence aux *portes levantes* sur les autres dispositions, car ces portes permettent de suivre même de forte décalages des têtes; c'est ainsi que les écluses du canal de Wesel—Datteln ont été équipées avec portes levantes. L'adoption de ces portes est également indiquée pour l'équipement des élévateurs pour bateaux (Henrichenburg, Niederfinow), des têtes aval des écluses à puits et d'une manière générale partout où l'on dispose d'une hauteur de levage suffisante et où les montants de levage ne sont pas susceptibles de gêner. Les portes levantes présentent le grand avantage d'une excellente accessibilité pour toutes les pièces normalement immergées, mais elles offrent par contre l'inconvénient d'être très coûteuses; ce sont les plus chères de toutes les fermetures d'écluses. La figure 8 représente l'une des plus récentes porte d'écluse à levage, installée à l'écluse Herbrum, sur le canal Dortmund—Ems, en 1934.

Les portes levantes ne sont d'ailleurs pas autre chose, dans une certaine mesure, que de grandes vannes à rouleaux. C'est pourquoi on a été amené à envisager l'emploi de la porte elle-même comme vanne, ceci supposant toutefois que l'on pouvait prévoir une certaine décharge de la hauteur d'eau sur la porte. La question se posait alors de savoir si l'on devait prévoir des dérivations ou non. L'augmentation des longueurs des chambres et des hauteurs d'eau avait forcément amené à cette conclusion qu'il ne fallait plus compter sur les petites vannes de décharge montées sur les portes d'écluses elles-mêmes; ces vannettes apportent en effet de trop fortes perturbations à l'assiette des bateaux à écluser lorsque l'on les utilise pour assurer le passage par la porte elle-même des quantités d'eau nécessaires à l'éclusage dans des conditions économiques. On adopta donc les dérivations, que l'on considéra comme constituant une disposition indispensable à l'aménagement des écluses de grande

longueur et de grande profondeur et en particulier des écluses de remorquage, quoique cette disposition, nécessitant des fermetures spéciales et imposant des solutions de continuité aux parois des ouvrages, fût loin d'être simple et très appréciée. L'affaiblissement des têtes et des parois des chambres était d'ailleurs particulièrement inopportun dans les régions accidentées. Des essais très poussés effectués sur modèles, montrèrent d'ailleurs que l'on pouvait fort bien se dispenser de prévoir des dérivations en prenant toutes dispositions pour assurer

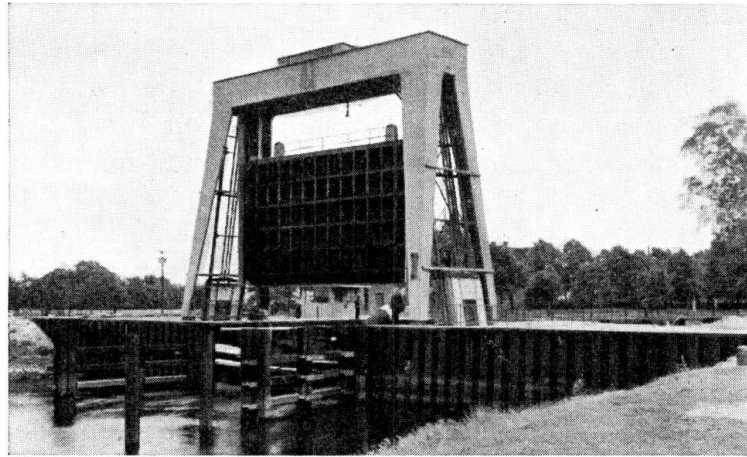


Fig. 8.

Ecluse Herbrum dans le canal Dortmund-Ems, porte levante avec traction par crémaillère articulée, exécution de M.A.N.

les mouvements d'eau dans de bonnes conditions, ainsi qu'en prévoyant un freinage approprié.

Il est certain que l'on ne peut pas soulever les lourdes portes levantes sous la pression de leur charge d'eau, pas plus que l'on ne peut manoeuvrer les portes busquées; on prévoit donc des vannes montées sur les portes elles-mêmes (revenant ainsi dans une certaine mesure aux conceptions des temps anciens) et on effectue les mouvements d'eau à travers les portes elles-mêmes, en veillant toutefois à ce que les courants d'eau ainsi mis en jeu ne viennent pas passer contre les bateaux; on s'arrange au contraire pour que l'énergie de l'eau soit absorbée par de multiples pertes de charge, de telle sorte qu'elle ne puisse exercer aucune influence défavorable sur les coques des bateaux; on prévoit en arrière de la porte une pente dont le point le plus élevé se trouve immédiatement derrière cette porte, de telle sorte que les péniches qui se trouvent à l'intérieur de la chambre ne soient soumises qu'à un courant d'importance réduite et s'écoulant toujours dans la même direction. Les orifices que l'on ménage dans les portes elles-mêmes sont constituées par des vannes à segments spécialement prévues pour pouvoir être manoeuvrées avec facilité et pour donner naissance à des courants d'eau d'action favorable. Sur l'écluse „Hirschhorn“ que représente la figure 9, on a ainsi prévu une disposition générale sans dérivation; la porte busquée comporte une vanne à segments (Krupp-Grusonwerk, Magdeburg). L'appareil de freinage est très fortement armé; il représente d'ailleurs lui aussi un exemple très intéressant de l'emploi de l'acier dans l'aménagement des installations hydrauliques. Il semble en définitive que le type d'écluse sans

dérivation soit appelé à devenir la règle générale dans l'avenir, les expériences qui ont été effectuées sur cette base étant jusqu'à maintenant favorables.

Dans le cas des écluses marines de très grandes dimensions et en particulier pour les écluses de marée, dans lesquelles les portes doivent pouvoir assurer une bonne étanchéité dans les deux sens, on n'emploie généralement plus les portes busquées, mais plutôt les *portes coulissantes* qui sont d'ailleurs également

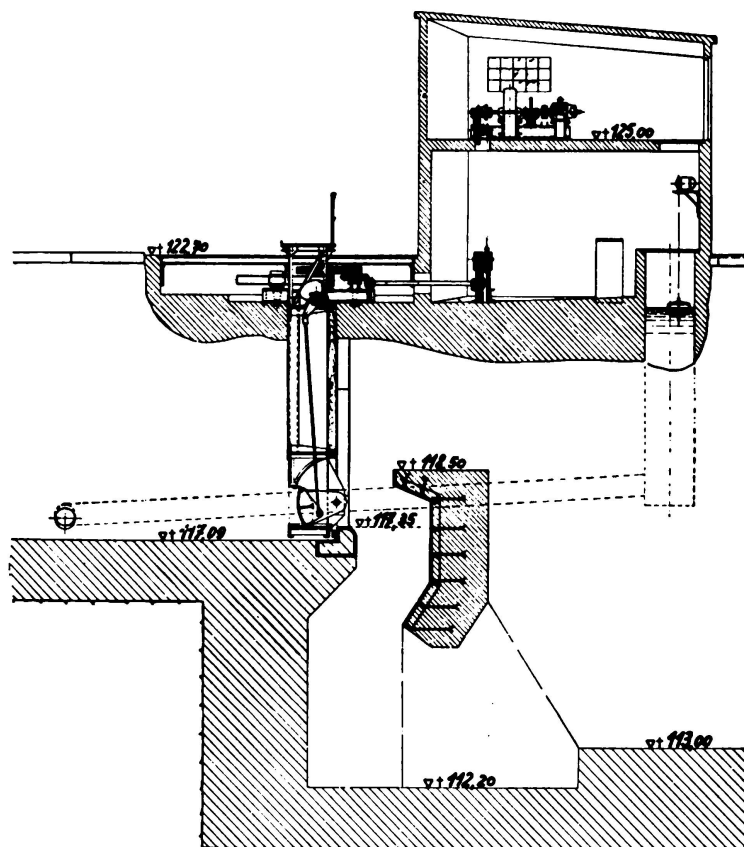


Fig. 9.

Ecluse Hirschhorn dans le Canal du Neckar, tête supérieure, porte busquée à segment, aucune dérivation, réduction de l'énergie de l'eau par une chambre de freinage.

très peu sensibles aux chocs des vagues. Dans les grandes écluses modernes, les portes coulissantes se déplacent sur chariots; l'extrémité antérieure sur un chariot inférieur dont elle peut être d'ailleurs dégagée par soulèvement et l'extrémité postérieure sur un chariot supérieur (voir fig. 10, porte coulissante du port de Brème construite par Klönne, avec chariots et commandes fournies par la M.A.N., chambre de 372 m de longueur et de 50 m de largeur). A côté des portes coulissantes, il faut mentionner également les portes *équilibrées à flotteurs* qui sont particulièrement employées pour l'équipement des formes de radoub. Ces portes sont équilibrées par des caissons flotteurs logés dans des niches latérales et susceptibles de descendre jusqu'au seuil lui-même. Ces dispositifs constituent en quelque sorte une transition entre la construction hydraulique et la construction navale.

Le remplissage d'une chambre d'écluse sans dérivation se fait actuellement aussi par déversement au-dessus d'une porte plongeante (porte amont de l'écluse

de Sersno, Haute-Silésie en cours de construction par les Oberschlesischen Hüttenwerke, Usines de Donnersmarckhütte, Hindenburg O.S.). La disposition qui convient le mieux à cet effet est la porte à segments qui se tourne contre les eaux d'amont, sous l'influence de la pression déjà exercée par l'eau au seuil. Pour éviter tout glissement inutile en charge, on sépare ici le mouvement de montée et de descente du mouvement d'appui d'étanchéité et on ne s'occupe de réaliser l'étanchéité que lorsque la porte a atteint sa position de repos. Les conditions dans lesquelles s'effectue le déversement ont fait l'objet d'études expérimentales suffisamment poussées; l'expérience pratique montrera quels résultats peut donner ce dispositif.

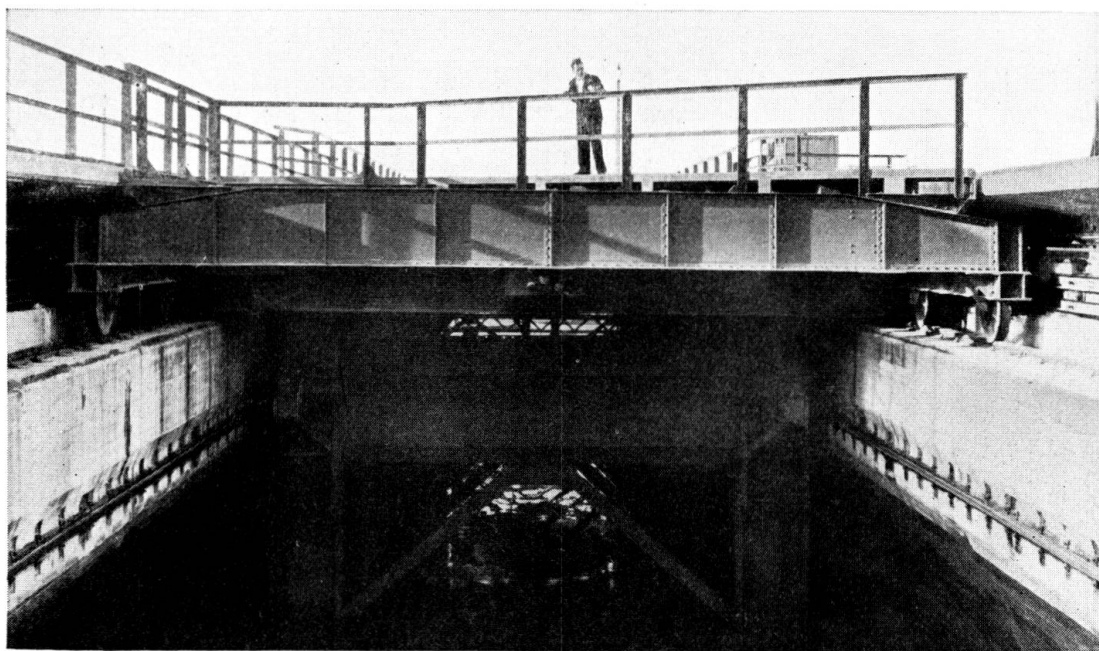


Fig. 10.

Bremerhaven, grosse porte à glissière, chariot supérieur, exécuté par M.A.N.

Les portes de sécurité sont, à grande échelle, ce que les portes ordinaires d'écluse sont elles-mêmes à petite échelle. Ces portes sont destinées à empêcher les sections de canal situées à un niveau supérieur de se vider en cas de rupture d'une digue ou autre accident du même ordre; elles se rapprochent d'ailleurs des dispositifs de retenue des ascenseurs pour bateaux. On y utilise généralement des portes levantes de grande largeur susceptibles ainsi d'opérer la retenue ou de libérer l'eau sur toute la largeur du canal en même temps; ces portes doivent pouvoir être manoeuvrées à la descente, à tout moment, dans un temps assez court; elles sont souvent même commandées à distance à partir d'un poste d'observation; la manoeuvre de levage peut par contre être effectuée dans un temps plus long. La porte levante de sécurité construite par la M.A.N. à Duisburg—Meiderich constitue l'une des plus récentes réalisations dans ce domaine; elle est prévue pour une hauteur de levage de 11,5 m, sous une force de 100 tonnes (fig. 11).

Dans la mesure où ils sont mobiles, les *barrages* sont destinés non seulement à maintenir le niveau de l'eau à une hauteur déterminée, mais même à le régler

suivant les besoins. L'ancien type du barrage à aiguille, qui est d'ailleurs encore employé actuellement, ne satisfait qu'assez mal à cette exigence et son exploitation n'est pas sans comporter un risque non négligeable. Les traverses d'appui des aiguilles et les piles des barrages constituent une application déjà intéressante de l'acier en construction hydraulique, dans les temps passés. Les barrages modernes sont presque exclusivement des ouvrages de construction métallique, à l'exception naturellement de la partie qui relève essentiellement de la maçonnerie ou du béton.

Les barrages à vannes pour lesquels au début on utilisait largement le bois tout en le montant évidemment sur charpente métallique, tendent de plus

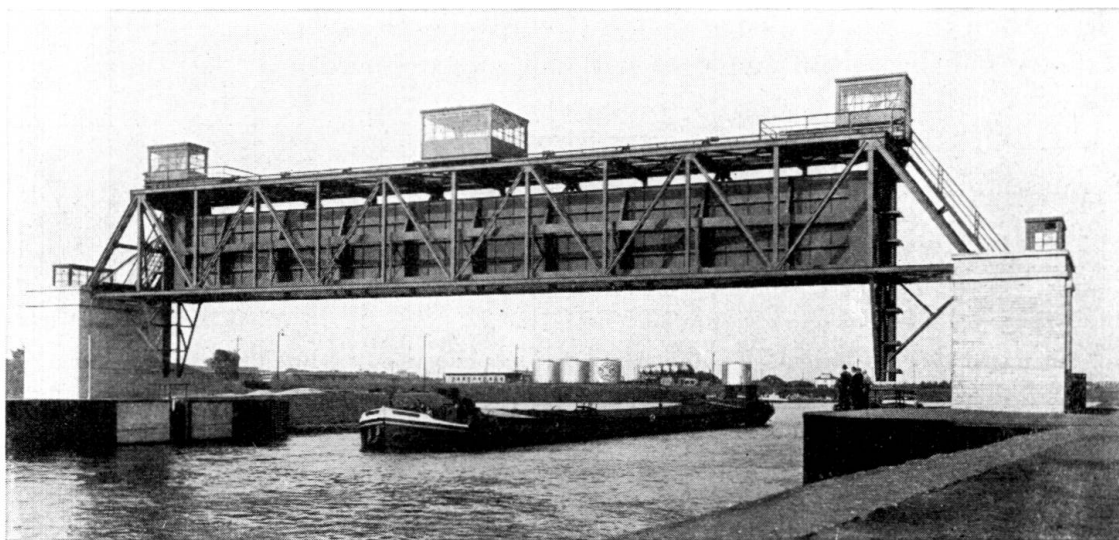


Fig. 11.

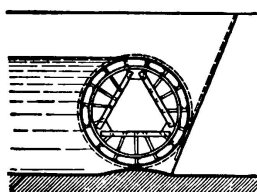
Duisburg-Meiderich, porte levante de sécurité, construite en 1935 par M.A.N.

en plus à rentrer dans le cadre de la construction métallique. Les portées possibles croissent parallèlement; on atteint actuellement jusqu'à 40 mètres, avec des hauteurs de retenue allant jusqu'à 12,50 mètres. Les réglages se faisaient dans la plupart des cas, auparavant, par levage de l'arête inférieure des vannes, pour les petits barrages de faible hauteur de retenue; on a toutefois été rapidement amené à régler par abaissement de l'arête supérieure, procédé plus avantageux; les vannes sont alors divisées en deux panneaux pour le moins, le panneau supérieur de faible hauteur se déplaçant derrière (dans le sens de l'écoulement des eaux) le panneau inférieur en tôle renforcé à la partie supérieure. La M.A.N. a mis au point à ce sujet des dispositions qui ont été particulièrement bien accueillies et qui comportent une voie de roulement commune pour les panneaux supérieurs et inférieurs. En cas de besoin, le panneau supérieur peut être réglé à une hauteur telle qu'il permette ainsi le passage en déversoir de fortes quantités d'eau. En montant sur le panneau inférieur, à la place d'un panneau supérieur, un abattant mobile, on réalise des vannes à volets, dans lesquelles on peut prévoir une commande commune assurant tout d'abord le rabattement de l'abattant puis le levage de l'ensemble de la vanne.

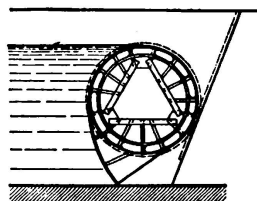
On a construit également des barrages fonctionnant sur le principe du clapet,

de même que les portes abattantes pour la fermeture des écluses, les volets étant orientés convenablement de manière à descendre avec la pression de l'eau et à remonter contre cette pression. Pour pouvoir prévoir une commande unique unilatérale, il fallait donner au dispositif mobile une rigidité convenable et le monter sur un axe également suffisamment rigide. On a été ainsi amené à adopter plus récemment la forme dite «en ventre de poisson» pour l'abattant lui-même; c'est la disposition adoptée par la M.A.N. pour les barrages de décharge des bassins d'égalisation du grand barrage de Bleiloch.

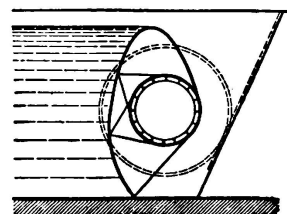
Dans cette disposition des barrages avec volets abattants, les volets sont montés à articulation sur le seuil et fonctionnent uniquement en déversoir. Si l'on veut pouvoir enlever les matières qui s'amassent devant le barrage, il faut le lever entièrement. La disposition ci-dessus telle qu'elle est présentée, ne peut donc être judicieusement employée que dans des cas nettement déterminés.



Rouleau purement cylindrique pour une hauteur d'accumulation relativement faible par rapport à la portée.



Rouleau avec bec pour une hauteur d'accumulation relativement grande par rapport à la portée.



Rouleau avec bouclier pour une hauteur d'accumulation très grande par rapport à la portée.

Fig. 12. Trois formes fondamentales de rouleaux de la M.A.N. pour des barrages à rouleaux.

Le barrage à cylindre ou à rouleau présente des possibilités d'emploi multiples et beaucoup plus larges. Il présente une très grande résistance, une grande sécurité; il peut couvrir de grandes portées et, grâce à sa rigidité, être manoeuvré par commande unilatérale, tandis que les barrages à vannes doivent toujours être équipés et manoeuvrés des deux côtés. Les glaçons et les galets ne peuvent exercer sur le barrage à cylindre aucune action défavorable; le fonctionnement en déversoir est déjà bon sans aucun dispositif accessoire. La M.A.N. a contribué depuis plus de trente années à la mise au point de ce système de barrages. Lorsque les conditions locales s'y prêtent, on choisit pour diamètre du cylindre la hauteur de retenue elle-même et l'eau passe en déversoir au-dessus du cylindre. Dans le cas des petites portées mais des grandes hauteurs de retenue, le diamètre ainsi obtenu pour le cylindre serait trop fort; on place donc devant le cylindre de diamètre optimum un bouclier spécial ou bien on prolonge le cylindre à la partie inférieure par un bec (fig. 12, extraite d'une brochure publiée par la M.A.N.). Le bec ou le bouclier doit être monté, en vue de l'étanchéité inférieure du barrage, de telle sorte que lorsque l'on descend le cylindre, il vienne se placer devant lui, sans frottement, mais sans laisser aucun dépôt. Les cylindres eux-mêmes sont manoeuvrés sur chemins de roulement fortement inclinés vers l'avant, généralement à l'aide de chaînes articulées; des crémaillères montées sur les voies de roulement sont prévues pour assurer un déplacement uniforme des cylindres de chaque côté. Il est particulièrement

à remarquer que parmi tous les types de barrages, ce sont les barrages à cylindre qui se montrent les plus insensibles à l'action du gel. En Allemagne, on n'a pas eu besoin jusqu'à maintenant de chauffer les barrages à cylindres pour les protéger contre le gel; cette disposition n'est nécessaire que dans les pays du Nord.

On peut également équiper les barrages à cylindres, comme les barrages à vannes, avec volets abattants (en ventre de poisson) lorsque des cas particuliers tels que l'enlèvement des glaçons au-dessus des cylindres rendent cette disposition nécessaire. Ces volets sont dans la plupart des cas commandés par le treuil principal destiné à la manoeuvre du cylindre. Dans les grandes installations, on prévoit généralement une ouverture avec cylindre muni de volet abattant entre deux ouvertures avec cylindres ordinaires (on adopte également parfois une disposition avec cylindre plongeant).

L'acier est également utilisé pour la construction de nombreux autres appareils employés pour l'exploitation des installations hydrauliques mobiles, citons en particulier les dragues, les remorqueurs, les pontons, etc. Nous ne pourrions toutefois pas nous étendre plus longuement sur ces installations sans sortir du cadre de cet exposé. Nous ne pouvons pas non plus aborder ici l'étude des *canalisations* utilisées dans les installations de refoulement, de nettoyage, dans les centrales hydrauliques, car des canalisations ne peuvent pas être considérées comme constituant des ouvrages mobiles.

Par contre, nous dirons encore quelques mots au sujet des organes de commande des ouvrages hydrauliques mobiles. Tout ouvrage mobile doit en effet comporter une commande susceptible d'assurer l'exécution des mouvements nécessaires quelles que soient les résistances extérieures. Dans la plupart des cas, la force humaine n'est plus maintenant suffisante pour exécuter les opérations de levage ou de déplacement des organes mobiles. Dans la grande majorité, on peut et on doit même faire intervenir le courant électrique, dont on peut d'ailleurs maintenant disposer en tout endroit. Pour les applications que l'on envisage ici, il ne semble pas qu'il y ait à marquer une préférence très nette entre le courant continu et le courant alternatif; toutefois, pour les grosses installations, comportant de fortes masses à manoeuvrer, il y a lieu d'adopter de préférence le courant continu avec couplage Léonard. Les grandes firmes de constructions électriques ont également mis au point des dispositifs qui permettent de réaliser électriquement un fonctionnement régulier des commandes à des endroits divers lorsque des difficultés particulières pouvaient empêcher d'obtenir ce résultat à l'aide de transmissions mécaniques.

Les organes constituant les commandes sont presque exclusivement métalliques, c'est-à-dire en acier laminé, en acier coulé et en fonte. Toutes les pièces portantes principales, telles que profilés, câbles, chaînes, etc., sont en acier. Il est donc bien exact de parler ici aussi d'un emploi de l'acier en construction hydraulique. Les crémaillères articulées mises au point par la M. A. N. représentent une nouveauté extrêmement intéressante en matière d'organes de commande, car elles réunissent les avantages des chaînes *Galle* à ceux des crémaillères rigides; elles peuvent supporter aussi bien des efforts de traction que des efforts de compression et présentent de plus l'avantage de réaliser une déviation sans frottement sur les pignons de commande. Elles peuvent être employées avec succès

mêmes sur les commandes les plus importantes et les plus fortement chargées, telles que les commandes des portes coulissantes de l'écluse du port de Brême.

Phénomènes particuliers.

Par suite de la haute résistance mécanique de l'acier, qui s'allie à une remarquable élasticité, les ouvrages en construction métallique sont susceptibles d'oscillations et, comme tels, possèdent une fréquence propre. Si ces ouvrages sont soumis à des chocs se produisant régulièrement et à une cadence déterminée, ils peuvent entrer eux aussi en oscillation; il peut y avoir là un phénomène très dangereux lorsque les chocs qui provoquent la mise en oscillation coïncident avec les oscillations propres de l'ouvrage (résonance); le balancement peut en effet atteindre une amplitude telle qu'au bout d'un certain temps, il se produise une rupture par fatigue; si la partie d'ouvrage qui oscille ainsi est en fait composée de pièces assez différentes pour accuser chacune un mouvement d'oscillation propre, il peut se manifester dans les assemblages de ces pièces des efforts considérables, souvent bien supérieurs à ceux que mettent en jeu des charges non oscillantes (boulons, rivets, couvre-joints). Sont particulièrement exposés les éléments d'assemblage qui doivent supporter, au cours des déformations qui résultent de ces oscillations, des allongements relativement importants et pour lesquels ils ne sont pas prévus. On peut citer des cas, dans lesquels des boulons longs et de faibles diamètres ont pu tenir, tandis que des boulons courts et de forts diamètres se sont rompus au bout de peu de temps.

Les vannes de grande portée des barrages sont exposées par exemple à ces phénomènes d'oscillation. Elles sont en effet soumises d'une part à la charge que représente la pression de l'eau et d'autre part aux oscillations que provoque le mouvement de passage de l'eau, dans des conditions à peu près analogues à celles dans lesquelles se trouve la table du violon sous l'action de l'archet qui se déplace transversalement au-dessus d'elle. C'est ainsi que l'on a pu observer des oscillations menaçantes sur les barrages d'Oldau et de Marklendorf; les barrages étant submergés, les volets abattants étaient soumis à des oscillations importantes qui par contre portaient sur tout l'ensemble des ouvrages en cas de passage inférieur; les oscillations atteignaient des amplitudes maxima pour certaines hauteurs d'eau au-dessus des arêtes et pour certaines largeurs d'ouverture de passage inférieur. Ces barrages étaient équipés avec vannes de 15 m de largeur et de 3,70 m de hauteur; ils entraient en oscillation pour des largeurs d'ouverture de passage inférieur comprises entre 10 et 25 cm avec amplitude maximum d'oscillation pour 15 cm d'ouverture; les oscillations cessaient au-dessus de 25 cm de largeur d'ouverture. Les rivets étaient cisaillés et les poutres principales accusaient des fissurations. Des mesures précises ont montré que l'arête de retenue se comportait d'ailleurs différemment de la partie en treillis immergés, ce qui donnait lieu à des efforts tranchants importants. On a réussi à supprimer progressivement les oscillations et les risques qu'elles impliquaient en étudiant particulièrement la forme de la poutre inférieure d'étanchéité (modification du profil mètre par mètre); on a pu ainsi provoquer la dislocation des filets d'eau jusque là réguliers et homogènes qui passaient dans la fente inférieure; ils se sont ainsi trouvés dans l'impossibilité de provoquer une mise en oscillation nette de l'ouvrage. Des essais ont été entrepris sur modèles pour élucider cette question

des oscillations des barrages. Ici s'ouvre aux investigations un champ nouveau, d'une importance extrême et dans lequel il est absolument nécessaire d'aboutir.

Les vannes elles-mêmes, les canalisations, etc. sont également susceptibles, dans certains cas défavorables, d'entrer en oscillation sous l'action des courants d'eau et ces oscillations peuvent avoir une influence considérable sur les matériaux constituant ces organes. Il serait donc extrêmement désirable que tous les pays échangent à ce sujet, les résultats expérimentaux qu'ils possèdent déjà.

De nombreux organes des ouvrages hydrauliques mobiles craignent le froid; les barrages à vannes peuvent geler, les portes levantes peuvent être bloquées sans que le trafic puisse être arrêté. On peut alors faire appel à un moyen coûteux, tant en ce qui concerne l'installation que l'exploitation, mais efficace et qui consiste à chauffer électriquement les parties fragiles (1 kWh ne fournit en effet théoriquement que 860 calories); c'est la solution qui a été adoptée sur le barrage de la Weser à Dörverden et sur l'élévateur pour bateaux de Niederfinow.

Observations particulières.

Parmi les ouvrages mobiles de la construction hydraulique, on peut ranger également les élévateurs pour bateaux dont l'Allemagne a déjà en service les installations de Henrichenburg et de Niederfinow; ce sont là les plus gros ouvrages métalliques d'Allemagne en matière de construction hydraulique; nous

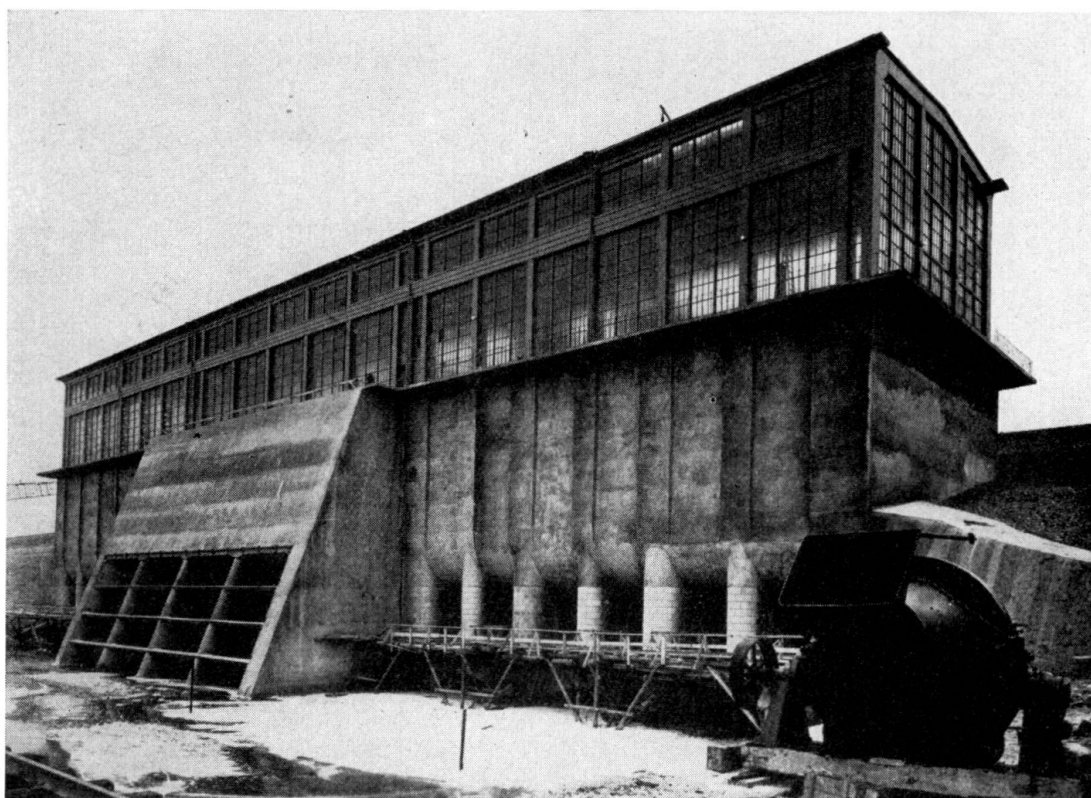


Fig. 13.

La grande halle métallique située au-dessus de la décharge de fond et de l'usine hydro-électrique du barrage de Ottmachau.

n'en aborderons toutefois pas l'étude ici, car l'élévateur de Niederfinow doit en particulier faire l'objet d'un rapport spécial.

Nous signalerons tout particulièrement le hall de service érigé au-dessus de la décharge de fond et de la centrale hydro-électrique du bassin de retenue d'Ottmachau; il s'agit d'un ouvrage à ossature métallique avec larges surfaces vitrées sur toutes les faces, construit par les « Vereinigte Oberschlesische Hüttenwerke A.G. » (fig. 13).

Les installations de pompage et les centrales font également un large emploi de l'acier; nous ne pouvons ici que mentionner le fait sommairement, car ces ouvrages ne peuvent pas rentrer dans le cadre des installations mobiles de la construction hydraulique.

Résumé.

L'auteur s'efforce de montrer dans un aperçu d'ensemble aussi condensé que possible, quel large emploi il est fait de l'acier dans les installations hydrauliques mobiles, en faisant appel aux plus récents exemples de réalisations effectuées en Allemagne.

VII b 4

Barrages et portes d'écluses soudés en Belgique.

Geschweißte Wehre und Schleusentore in Belgien.

Welded Weirs and Sluice Gates in Belgium.

A. Spoliansky,

Ingénieur des Constructions Civiles et Electricien A.I.Lg.

Avant-propos.

La construction du Canal Albert et d'autre part les vastes travaux d'amélioration des cours d'eau ont nécessité l'érection de multiples barrages et écluses en Belgique au cours de ces 5 dernières années.

La presque totalité des constructions métalliques intervenant dans ces ouvrages a été exécutée en soudé.

Dans une série d'articles dont certains ont été publiés ici-même, nous avons montré l'essor remarquable qu'a pris la construction soudée à la suite de l'érection du premier pont soudé belge, le *Pont de Lanaye*, sur le Canal Albert en 1931.

Non seulement la soudure avait gagné définitivement droit de cité, mais l'attention générale y a été fixée.

Dans la construction des charpentes fixes la soudure s'était révélée comme moyen particulièrement économique et commode, elle devait l'être à fortiori dans tous les domaines de constructions mobiles, telles que ponts roulants, ponts mobiles, wagons, etc. . . . par l'allègement que l'on pouvait obtenir et dans le domaine des constructions hydrauliques par la sûreté de l'étanchéité que l'on pouvait réaliser.

Si même dans l'état actuel de la construction soudée et au point de vue du seul critère, le prix global de revient, on pouvait encore concevoir une concurrence possible entre la rivure et la soudure dans certains travaux — il est hors de doute que pour beaucoup de constructions et indépendamment du prix, la soudure peut s'imposer par ses propriétés intrinsèques.

Ainsi pour les barrages et les portes d'écluses:

- 1° l'allègement de la charpente métallique permettra une diminution sensible des mécanismes et une économie dans les frais d'exploitation, tout en assurant une grande raideur à la construction;
- 2° une étanchéité parfaite peut être obtenue sans difficulté et économiquement;
- 3° la facilité d'entretien qui caractérise toute construction soudée en prolongera la vie.

Or, raideur, légèreté, étanchéité, facilité d'entretien, constituent les principales qualités auxquelles doivent répondre des portes d'écluses bien conçues.

Il ne faut donc pas s'étonner, si après les premières portes d'écluses ou barrages soudés construits par l'initiative d'un seul constructeur, l'Administration des Ponts et Chaussées commence à imposer la soudure.

Formes constitutives.

Une porte d'écluse n'est autre chose qu'un tablier de pont avec platelage en tôle et un poutrage de support.

Les épaisseurs des tôles ont des minima compatibles avec leur fonction; il est possible de ne pas dépasser ces minima grâce à la facilité de disposition des raidisseurs; rien n'empêche donc d'exécuter ces portes avec une tôle d'épaisseur unique.

En plus de cela le monolithisme de la construction permet de faire intervenir dans une certaine mesure la tôle de bordage comme élément intégrant des nervures secondaires et de les alléger, tout comme dans un hourdi nervuré en béton armé.

Ces nervures secondaires, les entretoises principales et les montants peuvent être constitués par des profilés ou par des poutres soudées. Les 2 principes ont été appliqués dans la construction des portes d'écluses belges suivant leur opportunité.

Le monolithisme de la construction soudée assure déjà par lui-même une indéformabilité suffisante; néanmoins, des contreventements en croix de Saint André ont été généralement prévus.

A part ces quelques particularités les principes directeurs d'une bonne conception restent les mêmes pour un ouvrage rivé ou soudé.

La principale, sinon la seule difficulté, de la construction d'une portée d'écluse soudée est les déformations thermiques accrues par la dissymétrie des éléments (une seule tôle de bardage p. e.).

Le programme d'exécution des soudures, doit être spécialement étudié et tous les moyens pour éviter les déformations doivent être mis en oeuvre afin d'éviter de graves mécomptes.

Nous décrivons ci-après succinctement quelques exécutions récentes belges.

La barrage écluse de Marcinelle.

Cet ouvrage considérable destiné à améliorer la Sambre à Chaleroi, à éviter les inondations calamiteuses, tout en facilitant la navigation, a été mis en adjudication en Juin 1931, suivant projet général de *Mr. Caulier*, Ingénieur Principal des Ponts et Chaussées. La partie métallique faisant l'objet d'un concours et ce fut le projet soudé de la Sté Métallurgique d'Enghien St. Eloi qui fut adopté.

Une étude complète de l'ouvrage sortirait du cadre de cet article.

Nous nous bornerons à décrire les parties métalliques proprement dites.

Portes d'écluse. — Les portes de l'écluse dont le sas a environ 130 m de longueur sont du type à un vantail; elles se déplacent dans un plan normal à l'axe du sas. Chacune d'elles (fig. 1) est suspendue par câbles métalliques à un chariot qui roule sur une passerelle supportée par des piliers en béton. La suspension des portes aux passerelles est conçue de telle manière que les vantaux puissent être aisément soulevés hors de l'eau à l'aide de palans (fig. 2).

L'ouverture de chacun des vantaux se fait par traction exercée sur la porte par le câble métallique au moyen d'un treuil à engrenages droits installés sur le bajoyer de rive pour la porte amont et sur le bajoyer en rivière pour la porte aval.

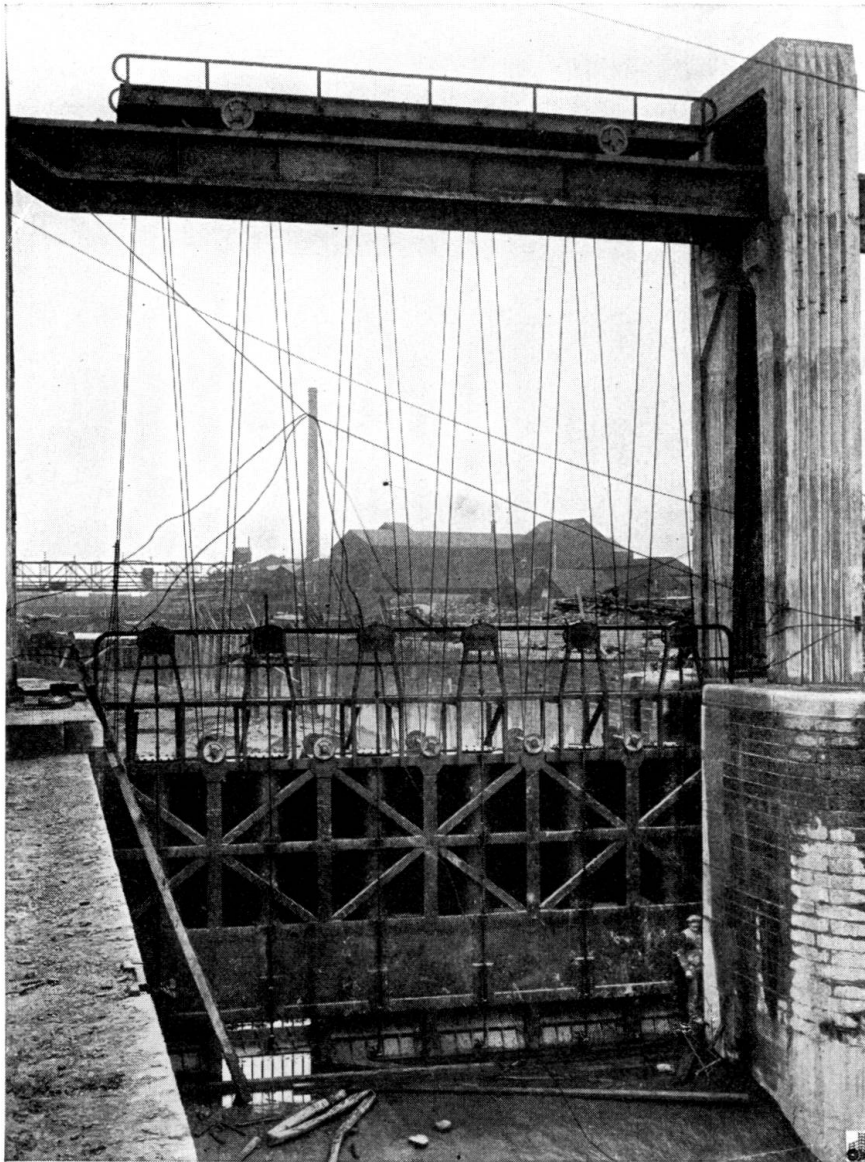


Fig. 1.

Une des portes d'écluse du barrage éclusé de Marcinelle.

La fermeture de la porte se fait également par traction exercée sur la porte par le câble métallique au moyen du même treuil. Les vantelles basculantes sont manoeuvrées par treuils du niveau de la passerelle des portes.

Porte aval. —

Largeur de la porte	12,900 m
Hauteur	7,100 m
Epaisseur	0,700 m

démontés, en 2 tronçons comprenant chacun 3 entretoises. Au chantier ces 2 tronçons ont été réunis en y soudant la tôle de bordage médiane, puis on a soudé les montants extrêmes et la passerelle.

Porte amont.

Largeur	9,400 m
Hauteur	4,550 m

Comme pour la porte aval et pour la même raison un double bordage a été prévu. La constitution est identiquement la même, mais comporte 5 entretoises. Le poids de la porte amont est 20.200 kg en rivé et 15.780 en soudé donc également un gain de 22 % environ.

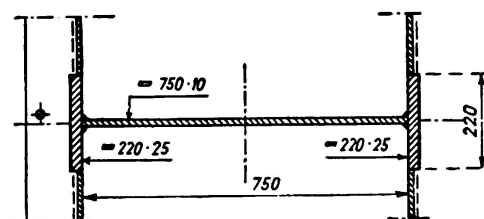


Fig. 3.

Barrage de Marcinelle.
Détail des entretoises et
fixation des tôles de bordage.

Barrage. — Le barrage proprement dit comporte un pertuis suffisamment important pour justifier l'emploi du système Stoney.

Le barrage (fig. 4) pose sur 2 maîtresses poutres horizontales en poutres Vierendeel. Ce système a été choisi, non pour un gain de poids, illusoire, pour une poutre à arcade à brides parallèles, mais afin d'avoir dans l'eau des ferrures importantes plutôt que des petits éléments. Du côté amont, les maîtresses poutres servent d'appuis à des aiguilles supportant le bordage (fig. 5), du côté aval elles sont entretoisées.

Ces 2 poutres principales sont assemblées à des poutres verticales extrêmes supportant les trains de galets.

Chaque vanne présente une échancrure de 10,39 m de largeur formant déversoir qui peut être obstrué par la manoeuvre d'une vannette mobile autour d'un axe horizontal.

Les galets Stoney prennent appui sur des chemins de roulement en acier, scellés dans les rainures aménagées dans les maçonneries.

L'étanchéité latérale est obtenue par des barres pendantes en acier revêtu de caoutchouc.

Ces barres s'appuient sur le bordage des vannes et sur une pièce en fonte fixée aux rainures.

L'étanchéité entre vannes et vannettes est réalisée par des joints en cuir chromé.

Le barrage est suspendu par câbles aux treuils de manoeuvre placés sur une passerelle de service en béton. Le barrage est équilibré par des contrepoids en fonte logés dans les piliers.

Les dimensions de la vanne n'ont pas permis son expédition complètement montée. Les 2 montants extrêmes formant encadrement de la vannette ont dû être envoyés sur le chantier démontés et soudés au montage. La grosse diffi-

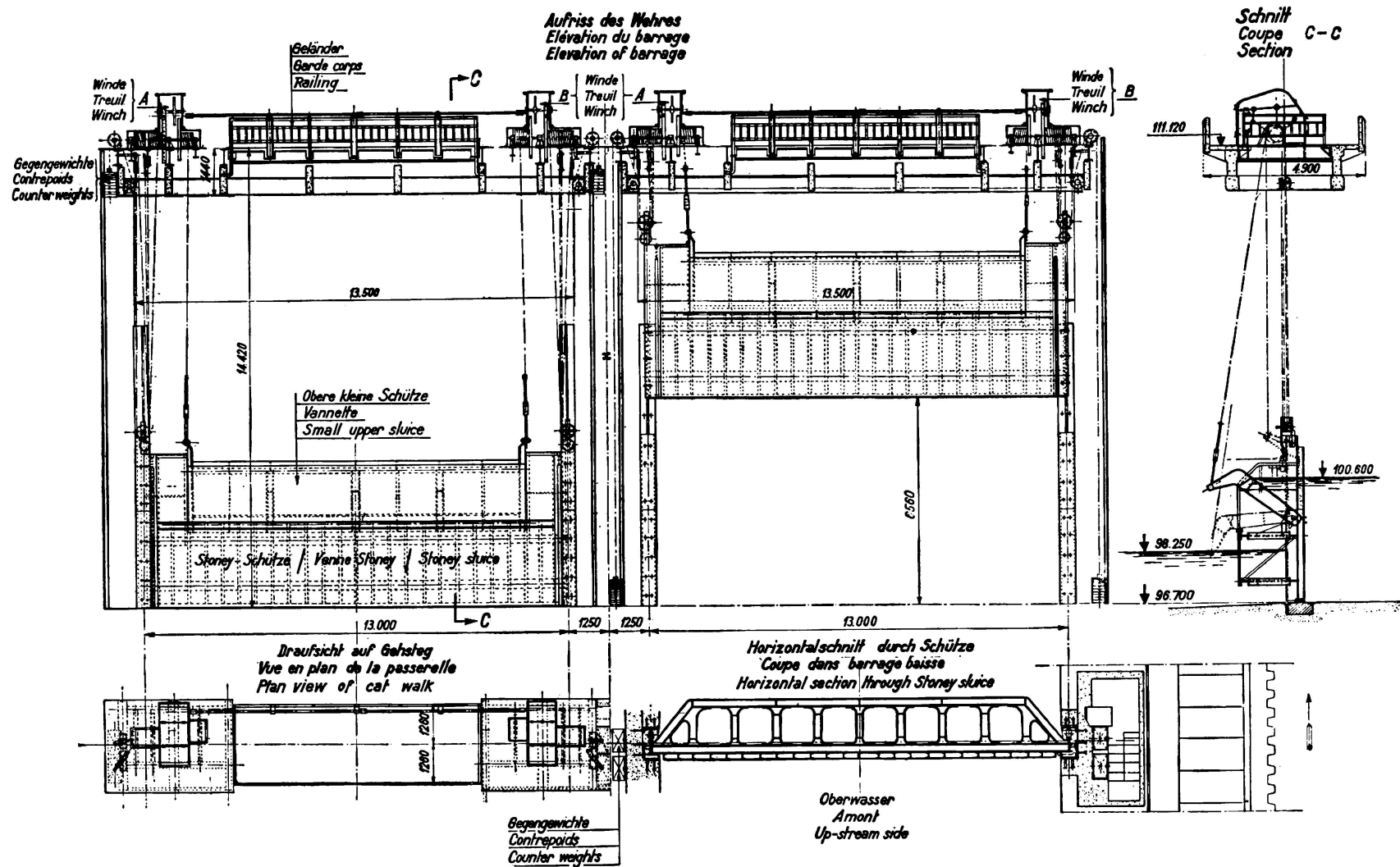


Fig. 4.
Marcinelle. Ensemble du Barrage.

culté de ce montage était que les jeux entre pièces devait être réduit au minimum compatible avec une bonne étanchéité et la manoeuvre de la vannette.

La largeur du pertuis est de 13 m.

La hauteur du barrage avec housse mobile rabattue est de 2,680 m.

La hauteur maximum avec housse non rabattue est de 4,600 m.

Le poids total en construction rivée aurait été de 43.000 kg en soudé on l'a réalisée avec 35.864 kg, soit 16,8 % de gain.

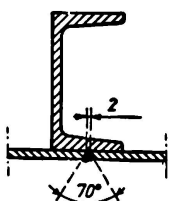


Fig. 5.
Vanne Stoney, joint de
tôle sur les aiguilles.

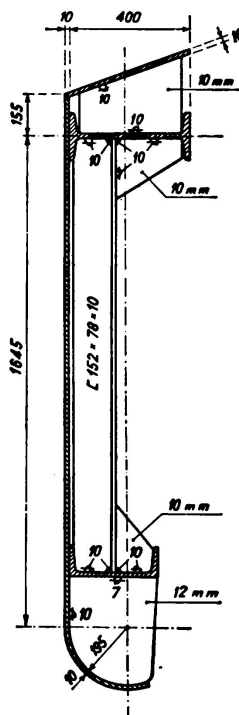


Fig. 6.
Barrage de Marcinelle
Vannette.

Vannette. — La vannette se compose également de 2 poutres principales horizontales sur lesquelles est soudé le bordage simple en tôle de 10 mm avec raidisseurs en plats et profilés normaux légers.

Ces poutres prennent appui sur 2 montants extrêmes assurant le levage de la pièce.

A cause de sa forme spéciale (fig. 6) et d'une disposition d'éléments complètement dyssymétriques, il a fallu prendre des précautions très sérieuses pour éviter tout gauchissement de façon à maintenir les axes de rotation dans un plan rectiligne et obtenir tant un bon fonctionnement qu'une étanchéité parfaite.

La vannette en soudé pèse 10 tonnes, en rivé elle aurait pesé 11 tonnes.

Quelques détails. — On pourrait citer beaucoup d'exemples intéressants, où la soudure a permis de grande simplification d'exécution ou économie de matières.

Le hasard a fait que la première exécution soudée d'un ouvrage de retenue fut le barrage de Marcinelle où la variété des formes et des éléments était très grande. Dans la crainte de trop allonger cet article, nous ne citerons qu'un exemple de remplacement d'une pièce en acier coulé par de la soudure — un dispositif de suspension (fig. 7).

Les mécanismes de manoeuvre sont tous placés en dessous du terre-plein de l'écluse et l'ensemble de cet ouvrage très important présente de ce fait un cachet tout particulier.

Les portes sont du type busque.

Porte aval — (fig. 8).

Largeur d'un vantail	8,839 m
Flèche du busc	3,000 m
Hauteur totale	9,950 m

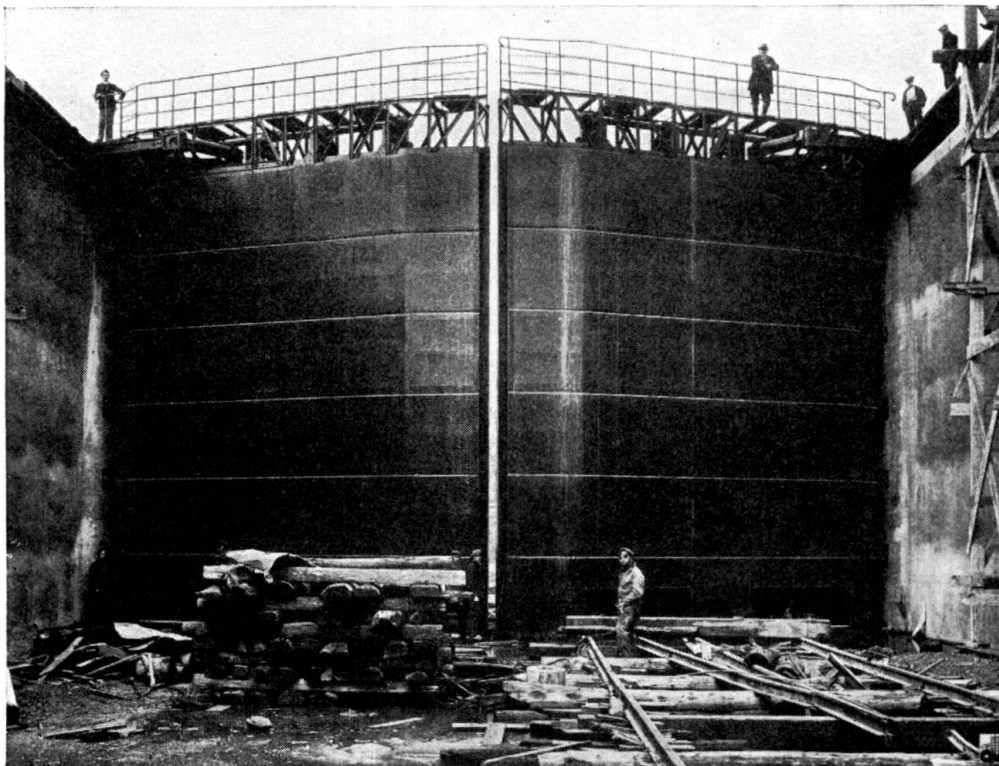


Fig. 8.

Porte aval de l'écluse de Wyneghem, vue de l'amont.

La porte est constituée par 7 traverses équidistantes posées sur les 2 montants extrêmes. Pour éviter la flexion du montant, les traverses ont des appuis distincts en acier coulé contre le chardonnet. Ces traverses sont composées d'une âme de 890/10 et de semelles soudées de largeur et épaisseur variable. Le bordage simple en tôle de 10 et 11 mm est assemblé sur les ailes des entretoises par 2 cordons de soudure, assurant ainsi une bonne étanchéité (fig. 9). Des montants sont prévus constitués par une âme de 940×8 et 2 ailes dont l'une est un plan de 120×8 et l'autre est formée par la tôle de bordage. Les montants extrêmes ont une âme de 568/10 et des semelles de 280/10.

Le bordage est en outre raidi horizontalement par des profilés légers.

Le poids d'un vantail soudé est de 23,5 Tonnes, en rivé il aurait été de 27 T. on a donc obtenu un gain d'environ 13 %.

Malgré la grande raideur de l'ensemble, il a été prévu un contreventement en croix de St. André.

La porte amont (fig. 10 et 11) d'une hauteur théorique de 5,750 m est d'une constitution semblable à celle de la porte aval.

Il y a 4 entretoises ayant une âme de 868/10, les montants extrêmes ont une âme de 568/10 avec semelles d'importance variable, les montants intermédiaires ont une âme de 840/8, le bordage est simple en tôle de 10 mm d'épaisseur, les raidisseurs sont en plats.

Le poids d'un vantail soudé est de 11,100 kg, en rivé il était prévu 14,423 kg on a donc obtenu un allègement de 23 %.

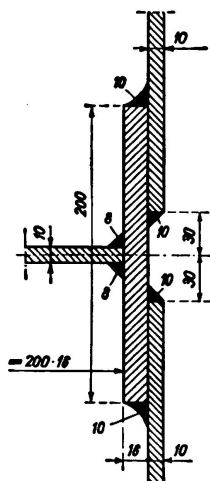


Fig. 9.

Ecluse de Wyneghem.
Détail de la soudure
de la tôle de bordage.

L'écluse d'Hérenthals.

Est établie sur le Canal de jonction du grand bassin de virage d'Hérenthals au canal Albert. Ce canal de jonction est construit pour des péniches de 600 T.

L'écluse d'une chute de 7,30 m a un sas de 55 m de longueur sur 7,500 m de largeur.

Les bajoyers contiennent inférieurement un large aqueduc longitudinal avec 3 centres d'injection vers le sas. Dans sa partie supérieure, le bajoyer contient un petit aqueduc indépendant, servant à l'alimentation du bief aval. Le remplissage est assuré par des vannes cylindriques toutes à l'amont et par des vannes-wagons à l'aval.

Les vannes cylindriques ont un grand effet utile, mais leurs dimensions deviennent excessives pour des vannes d'aval d'une écluse à grande chute.

L'écluse est l'oeuvre de M. A. Bijls, Ingénieur en Chef, Directeur des Ponts et Chaussées.

Les portes busquées sont du système à aiguille centrale.

Porte aval — (fig. 12).

Largeur d'un vantail	4,120 m
Flèche du busc	1,650 m
Hauteur totale	10,975 m
Bordage unique en tôle de 10 mm.	

La porte est constituée par 3 montants, sur lesquels prennent appui les 4 files de traverses.

Les traverses et les montants sont au profil de 65 DIN. Les raidisseurs sont en profils normaux légers et les contreventements en croix de St. André sont en U 200 PN.



Fig. 10.

Vantail amont de l'écluse de Wyneghem.

La porte d'une construction particulièrement robuste et économique pèse 18.412 kg.

La porte amont — a une hauteur de 3,525 m et un bordage unique en tôle de 10 mm.

Les montants, traverses sont au profil DIE 45.

La constitution est identique à celle de la porte aval.

Son poids est de 3980 kg.

Comme disposition générale cette écluse est du type de Wyneghem, soit avec vannes segments en acier coulé dans les portes. Les portes sont busquées du type à aiguille centrale, comme celles d'Hérenthals.

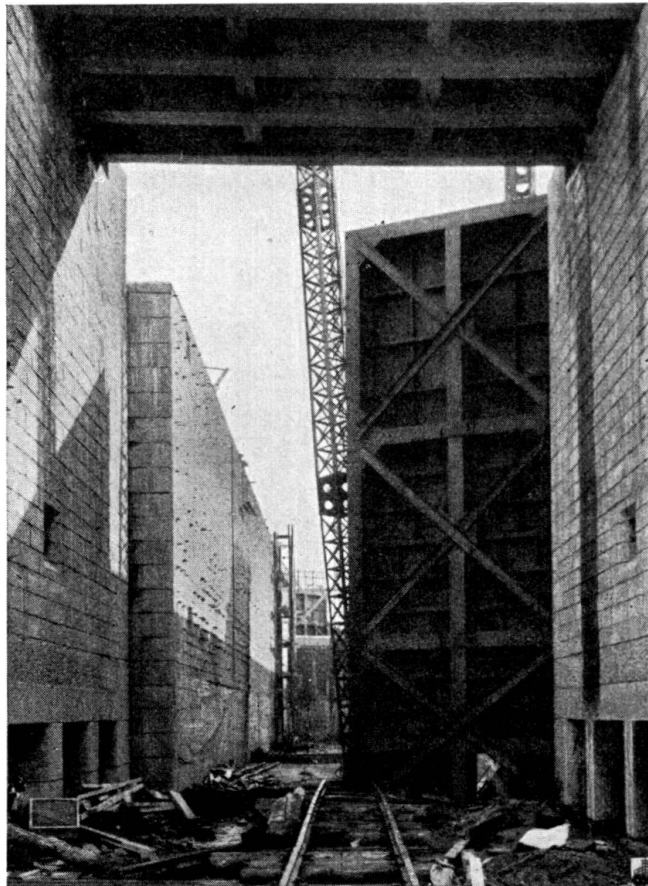


Fig. 12.

Montage de la porte aval de l'écluse d'Hérenthals.

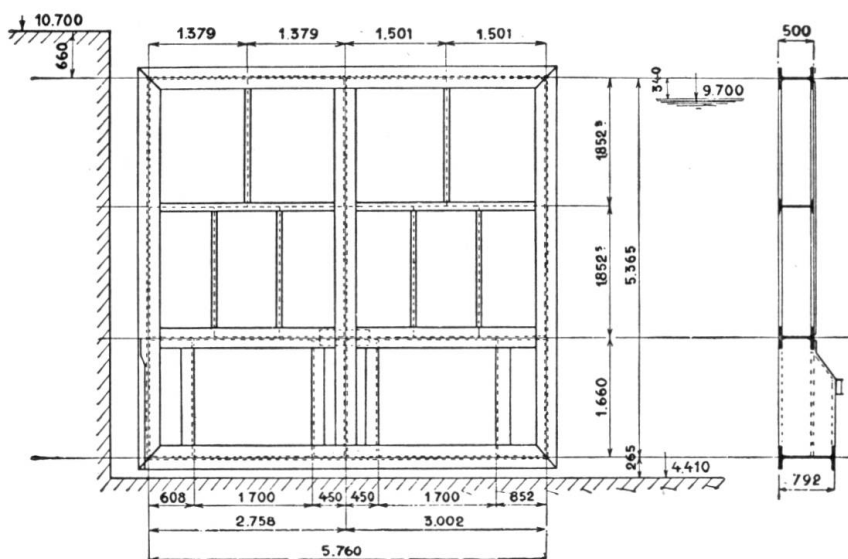


Fig. 13.

Ecluse de la Nèthe.

Cependant, leur forme n'est pas aussi simple, l'encombrement des vannes ayant nécessité une épaisseur plus importante à la partie inférieure des portes (fig. 13).

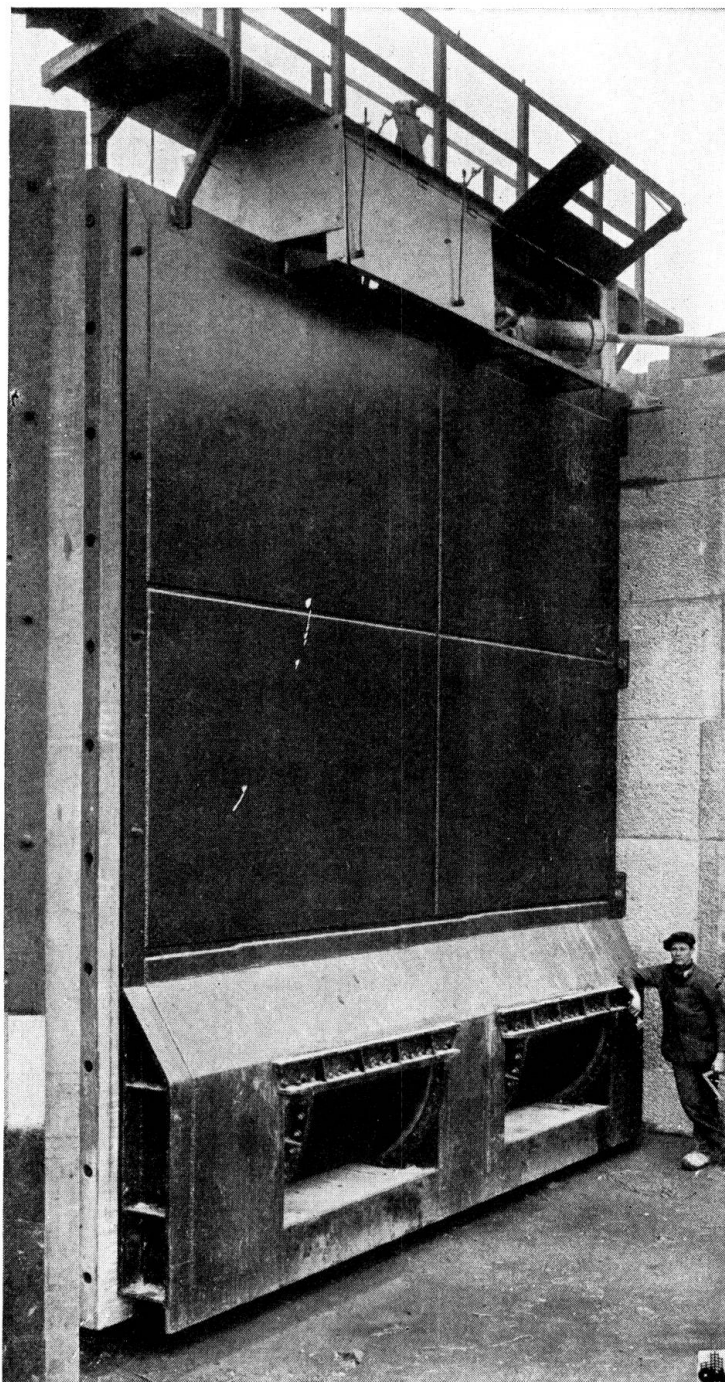


Fig. 14.

Vantail de la
porte amont de
l'écluse de la
Nèthe.

Les principales caractéristiques des portes sont les suivantes :

Porte aval. —

Largeur d'un vantail	5,760 m
Flèche du busc	1,900 m
Hauteur théorique	9,490 m

Le bordage est simple en tôle de 10 et 10,5 mm.

L'encadrement et le montant ~~central~~ sont en I DIL 50.

Les traverses, sauf l'inférieure, sont en PN 500, les raidisseurs en PN 120,200 et 280. Le contreventement en croix de St. André est en U de 240 PN.

Le poids d'un vantail est de 19.524 kg.

La porte amont (fig. 14) même constitution que la porte aval d'une hauteur de 5,365 m et pèse 12 tonnes.

Le système d'étanchéité des vannes, adopté à Wyneghem, a été complètement modifié à Hérenthals.

Les lamelles en acier inoxydable avec secteurs en bronze ont été supprimées et remplacées sur les parois latérales et supérieures par un joint en caoutchouc d'une seule pièce. Pour la partie inférieure la lamelle en bronze a été maintenue.

Le joint en caoutchouc pose sur des guides en acier coulé fixés sur la porte par l'intermédiaire d'un rondin creux pouvant s'aplatir sous l'action de la pression d'eau, ce qui assure une étanchéité parfaite.

Les mécanismes de manoeuvre des portes sont du type dit «*Panama*». Les vannes segments sont actionnées de la passerelle des portes par l'intermédiaire d'une tringle et d'un palonnier. Les 2 vannes de chaque vantail sont actionnées simultanément. Les mécanismes sont actuellement manoeuvrés à la main, mais sont prévus pour l'électrification éventuelle.

Résumé.

Au cours des 5 dernières années de nombreuses portes d'écluses et barrages furent construits en Belgique, soit sur le Nouveau Canal Albert, soit pour la réalisation de vastes travaux d'amélioration des cours d'eau.

La plupart de ces ouvrages furent exécutés par soudure, ce qui a permis:

- 1° un allègement considérable;
- 2° une étanchéité parfaite;
- 3° une facilité d'entretien.

Comme exemples de ces constructions sont décrits:

- 1° Le barrage éclusé de Marcinelle sur la Sambre à Charleroi.
Le barrage est du type Stoney.
Les portes d'écluses sont à un vantail-levantes.
- 2° L'écluse de Wyneghem à portes busquées.
- 3° L'écluse d'Hérenthals à portes busquées.
- 4° L'écluse de la Nèthe à portes busquées.

L'industrie belge a parfaitement réussi le problème de la soudure des portes d'écluses.

Leere Seite
Blank page
Page vide

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 équivalent 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

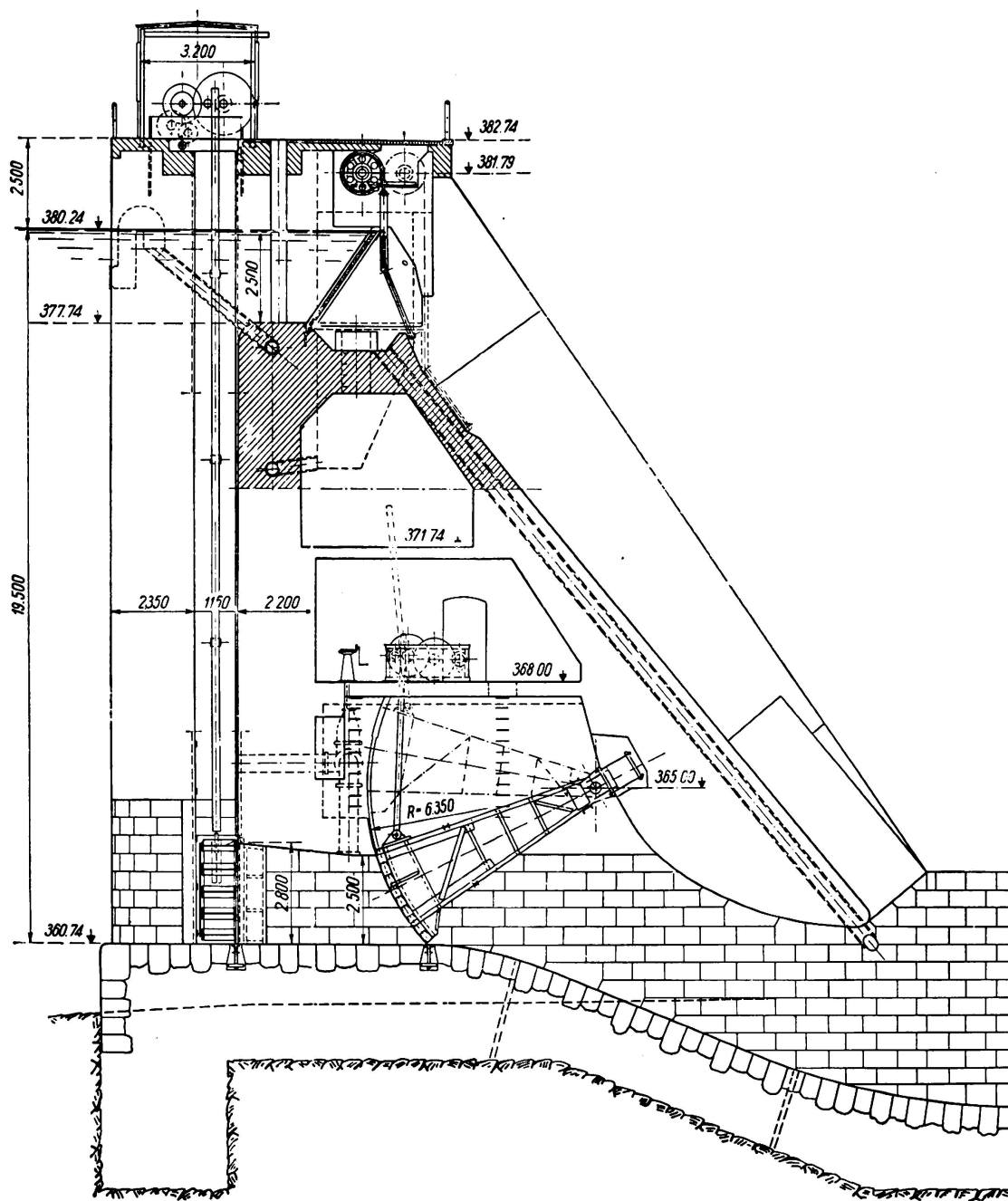


Fig. 1.

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.

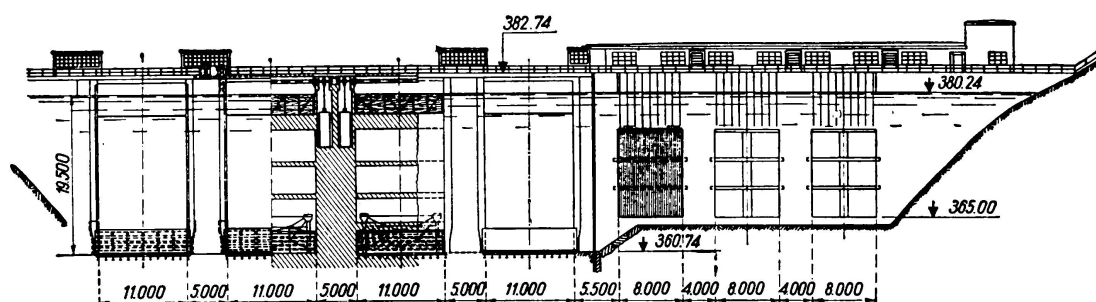


Fig. 2.

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

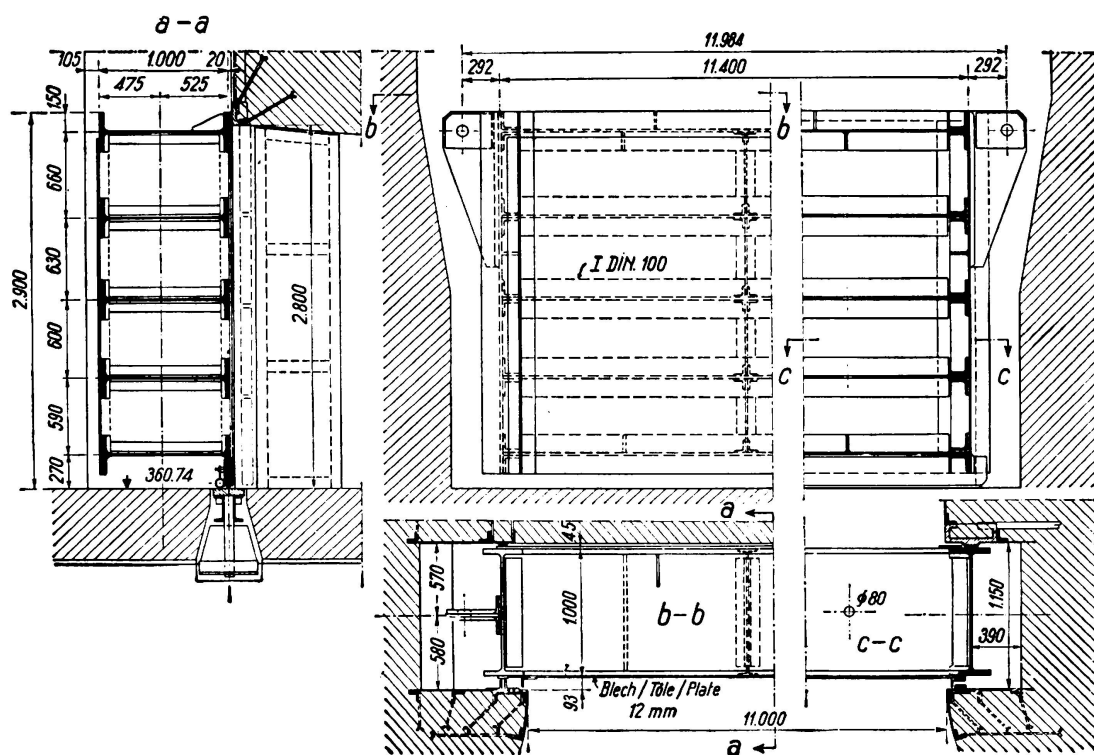


Fig. 3.

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.

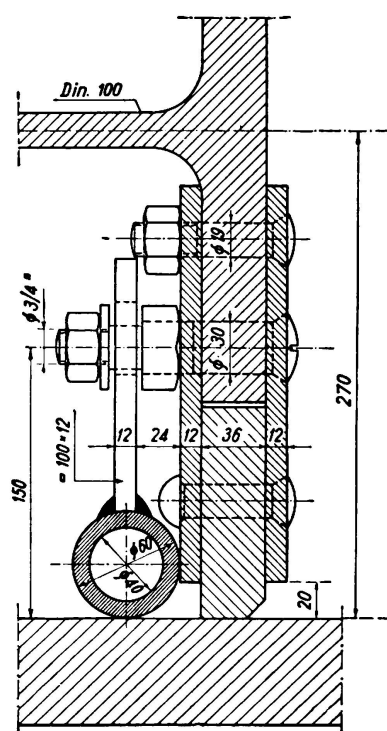


Fig. 4,
Etanchement au sol de
la vanne à glissement

Le matériau utilisé fut de l'acier St 37 avec une limite d'éirement 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,

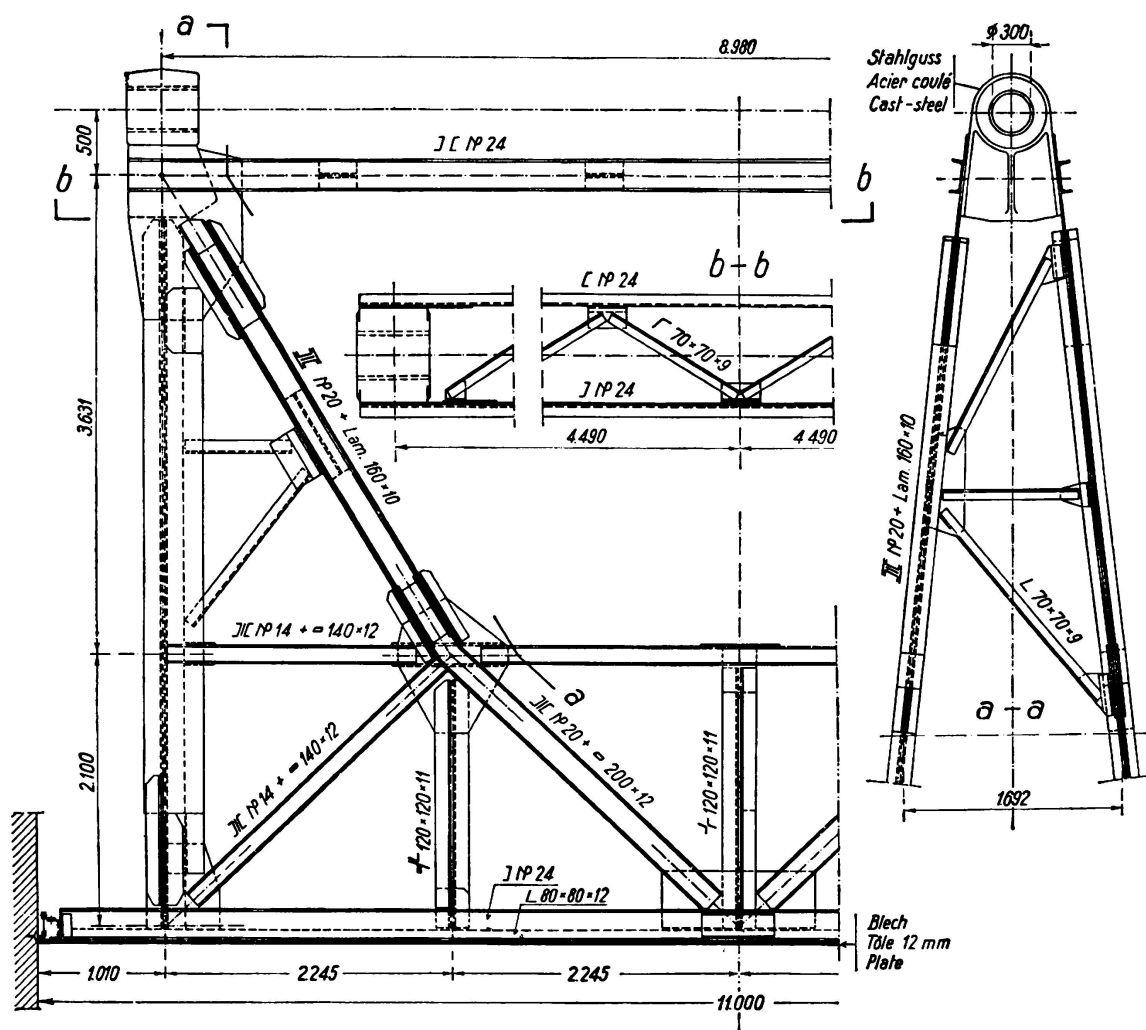


Fig. 5.

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 étanchéement 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

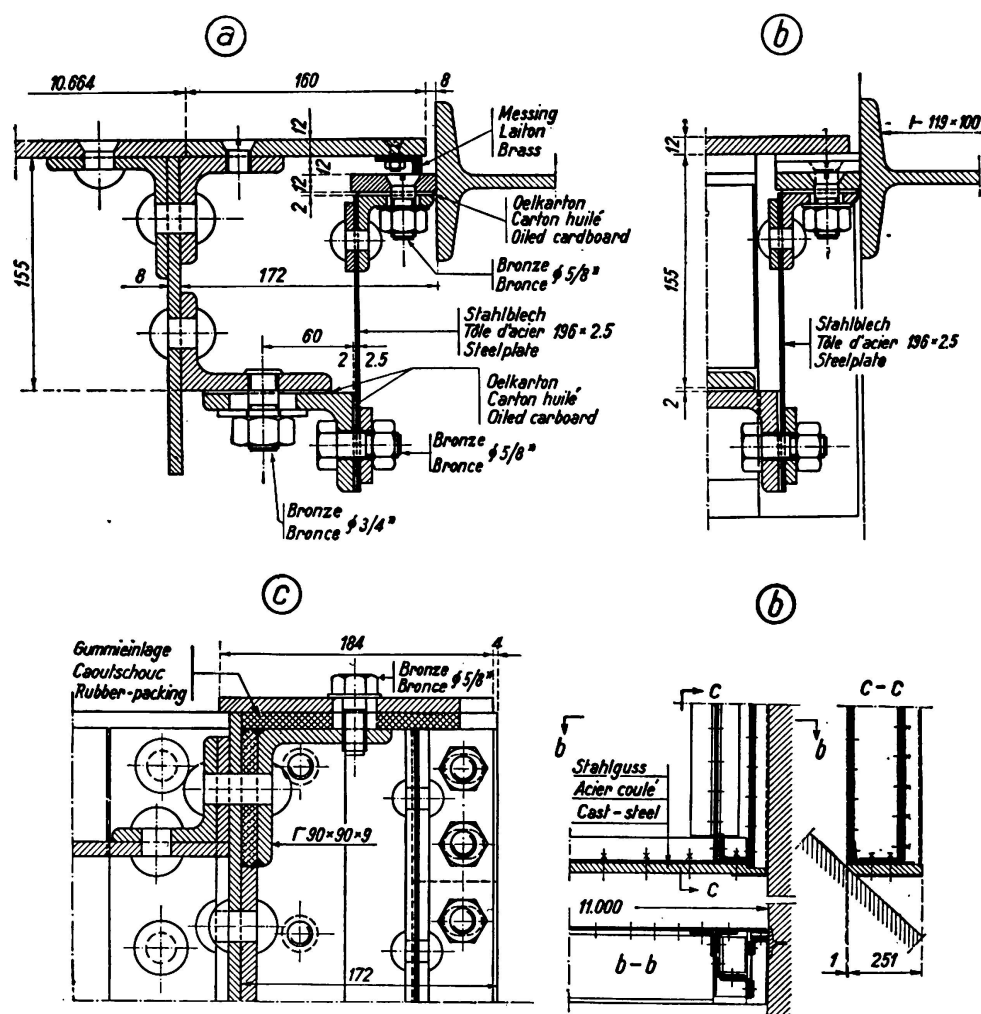


Fig. 6.

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

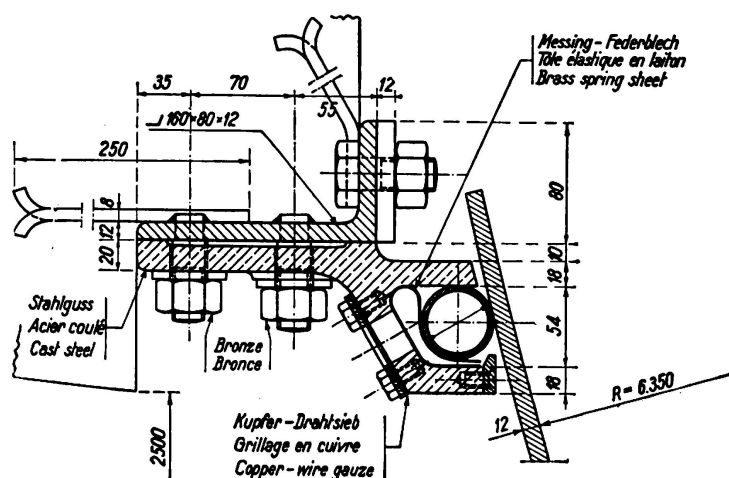


Fig. 7.
Etanchement
supérieur des
vannes à segment.

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 Tecalet. 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

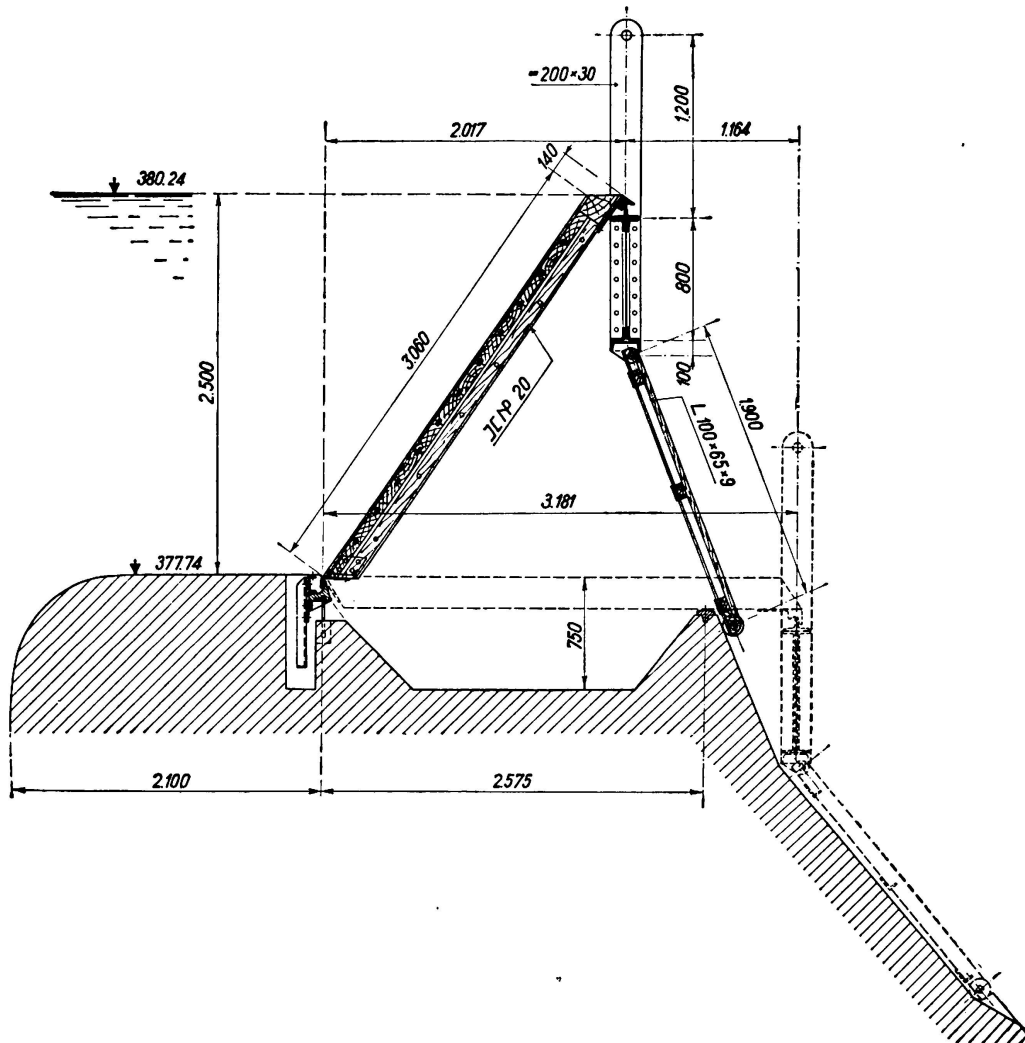


Fig. 8.

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

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.

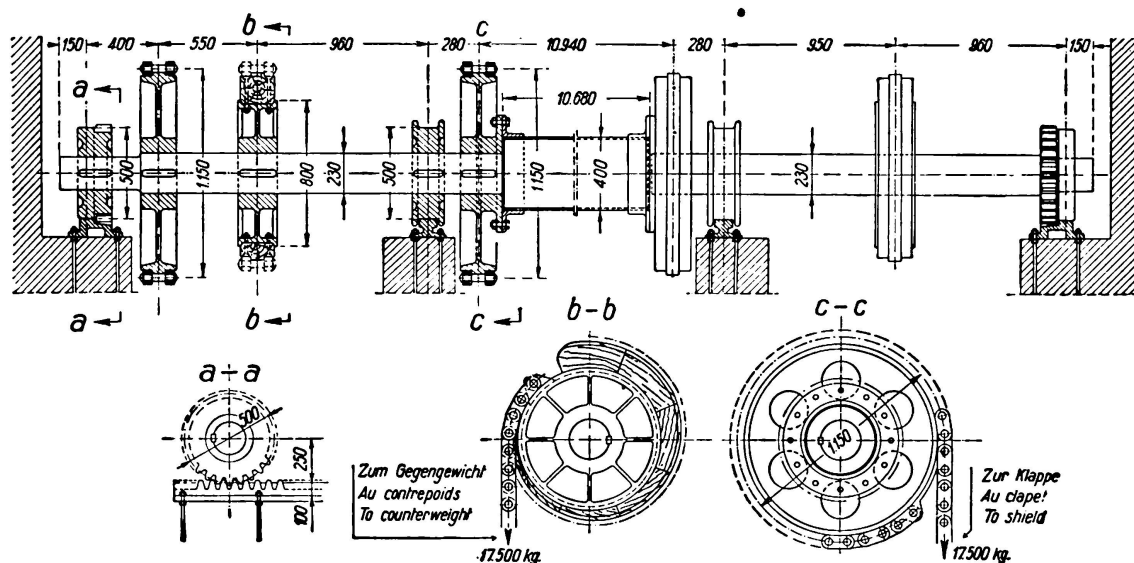


Fig. 10.

Appui supérieur du clapet déversoir et de ses contrepoids.

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 contrepoids sont formées de tôles démontables. Elles peuvent être chauffées électriquement pendant les basses températures de même que les puits des contrepoids et ainsi le danger de gel des parties étanches et des contrepoids 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 contrepoids sont également fixés sur cet arbre, ils sont calculés de telle sorte que les contrepoids 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.

Résumé.

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.