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: 13.12.2025

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

Rapport Général.

Generalreferat.

General Report.

Dr. Ing. K. Klöppel,
Leiter der technisch-wissenschaftlichen Abteilung des Deutschen Stahlbau-Verbandes, Berlin.

L'application de l'acier à la construction hydraulique a augmenté dans une telle proportion au cours de ces dernières décades qu'il est bon de jeter un coup d'oeil général sur ce qui a été fait et sur ce que l'on pourra réaliser dans ce domaine particulier. La construction métallique employée dans les travaux hydrauliques a beaucoup d'analogie avec la construction métallique en général et il est juste de l'insérer dans le cadre de ce congrès.

Pour compléter les rapports et les contributions à la discussion, qui ont montré, par des exemples, les possibilités de la construction métallique dans les travaux hydrauliques et les causes de ce développement, nous voulons exposer ici en résumé quelques questions d'ordre général ayant trait au matériau lui-même.[1] Il faut traiter avant tout le *problème de la corrosion*, d'une grande importance du point de vue économique, mais sans s'attarder sur les grands chiffres, souvent employés mais peu justifiés, concernant les dégats causés par la rouille.[2]

L'ingénieur qui emploie l'acier comme matériau de construction devra s'occuper à l'avenir des questions fondamentales de la corrosion. C'est une tâche très importante qu'il a à remplir par un travail de vaste collaboration.

Il ne faut certainement pas être trop optimiste si les rapports présentés ne citent que peu de cas de forte détérioration, — dans le domaine des palplanches en particulier, l'expérience est trop récente pour porter un jugement définitif sur la résistance de l'acier à la corrosion —, cependant, les faits observés jusqu'à ce jour sont suffisamment nombreux et satisfaisants pour infirmer

[1] Nous avons réduit cet exposé en renonçant à toutes les données qui se trouvent dans les rapports présentés.

[2] On lit souvent dans les journaux et les revues que la perte d'acier et de fer, due à la corrosion, se monte annuellement à 2 milliards de RM en Allemagne. L'ordre de grandeur de ce chiffre est tout-à-fait inadmissible du fait seulement que la production totale de l'acier n'a atteignit que 2 milliards de RM en Allemagne au cours de l'année 1929 qui fut pourtant excellente. *Schaper* arrive au chiffre de 120 millions de RM (Stahl und Eisen 1936, p. 1249) en se basant sur une estimation beaucoup plus justifiée et *Daeves* estime par contre que les dégâts causés annuellement par la rouille en Allemagne atteignent au maximum 18 000 t, c'est-à-dire 0,7 million de RM pour tous les profilés de laminage employés dans la construction des ponts, des charpentes, des bateaux, etc.

les préventions que l'on a souvent contre l'emploi de l'acier dans les travaux hydrauliques. L'expérience acquise sur les palplanches s'étend sur un intervalle de temps qui correspond à la durée pratique de la plupart de nos installations.

Les difficultés du problème de la corrosion sont caractérisées par le fait que nous ne connaissons pas de loi permettant de ranger suivant leur importance les nombreuses et diverses influences détériorantes. Tant que ce critère sur les détails du processus de corrosion fera défaut nous courrons le danger de négliger des influences qui, à elles seules, peuvent expliquer la différence de comportement de constructions métalliques placées soi-disant dans des conditions identiques. On peut avant tout en tirer la leçon qu'il faut observer le plus de détails possible pour connaître l'état réel de la question. Il faut tenir compte également, dans chaque cas étudié, des détails caractéristiques qui, d'après nos connaissances actuelles, n'ont en apparence rien à voir avec les processus de détérioration. C'est beaucoup plus à des observations accidentelles qu'à des études systématiques que nous devons certaines connaissances intéressantes dans la lutte contre la corrosion (par ex. le bronzage des aciers). Le progrès exige donc la collaboration de nombreux cercles techniques ayant la possibilité d'observer des phénomènes très divers de corrosion. Les progrès dans ce domaine dépendent beaucoup plus que dans tous les autres du rassemblement et de l'estimation des expériences et des observations car les essais de courte durée, indispensables par exemple sur un enduit ou une sorte d'acier, ne possèdent qu'une valeur très discutable. Pour diminuer la durée du processus de corrosion il faut renforcer le moyen d'attaque, relever la température et augmenter la vitesse de déplacement de l'éprouvette. C'est un fait connu que l'on obtient des tablaux totalement différents sur la résistance à la corrosion des différents métaux suivant les acides employés pour l'essai, preuve que les résultats d'essais de laboratoire ne se prêtent que dans une faible mesure à une généralisation pratique.

On luttera contre la corrosion dans le domaine qui nous touche en développant d'abord les enduits protecteurs et les aciers à faible oxydation. Il faut renoncer aux procédés de métallisation car ils ne présentent aucun intérêt dans les constructions hydrauliques en acier.

En ce qui concerne les enduits sous-marins, soumis aux agents mécaniques et chimiques et aux influences végétales et animales, on a fait de nombreuses propositions, en partie contradictoires. Il en résulte qu'aucun enduit ne s'applique également bien à tous les cas; il est d'autant plus nécessaire de déterminer par de nombreuses observations sur des ouvrages en service quels points de vue ont une importance prépondérante dans le choix des enduits. Aucun pays ne possède des bases satisfaisantes à ce sujet. Au cours de ces derniers temps on a entrepris des travaux de grand style pour combler cette lacune (réunions consacrées à la corrosion, grands essais du „Ausschuß für Anstrichtechnik im VDI.“); ces travaux font entrevoir des progrès importants.

Les constructions hydrauliques en acier conservent au mieux les enduits à base de bitume ou de goudron minéral.[3] Dans l'eau de mer on utilise les enduits chauds (bitumes sans dissolvant, appelés aussi «enduits coulés») et dans l'eau

[3] *Kindscher:* „Stahlbau“ 1935, fasc. 5 et 6, p. 161.

douce les enduits froids avec bitume dissous dans des hydrocarbures de benzol. Pour la couche de fond on utilise le minium, actuellement comme autrefois, malgré le danger de gonflement de l'huile de lin. En cas d'emploi d'enduits chauds, on considère souvent la couche de minium comme superflue. Le minium doit être bien durci (ce qui nécessite 2 à 5 semaines) pour ne plus être dissous par le benzol de l'enduit bitumineux que l'on applique ensuite. De grandes difficultés de montage et d'entretien en résultent, qui ont amené le développement d'un minium durcissant rapidement et résistant aux intempéries.[4] Il semble que l'on a réussi, par l'emploi d'une combinaison d'huile et de résine, à réaliser un minium spécial qui, après quelques heures, est suffisamment durci et qui résiste au bitume dissous dans du benzol.[5] Si l'on peut employer des hydrocarbures de benzine comme dissolvants des bitumes, le séchage du minium est également beaucoup plus court. De nouveaux essais avec enduits à *base de caoutchouc chloruré*, qui ne sont pas aussi sensibles à la lumière que les enduits bitumineux, promettent de bons résultats, spécialement quant à la résistance à l'usure qui est importante dans la construction hydraulique.[6]

Les aciers à faible oxydation sont principalement obtenus par *adjonction de cuivre*[7] (jusqu'à 0,3 %). Le relèvement de la résistance à la corrosion n'est effectif que pour les agents *atmosphériques* et non pas pour l'action permanente de l'eau. L'acier au cuivre rouille d'abord comme un acier ordinaire mais il se produit lentement à la surface un enrichissement en cuivre et en oxyde de cuivre qui, avec la rouille, forme une couche protectrice dense et adhérente entravant fortement la détérioration ultérieure. En cas d'humidité permanente, cette couche d'oxyde de fer devient spongieuse et perd ainsi son action protectrice. Ce fait explique bien des insuccès de l'emploi des aciers bronzés dans les travaux hydrauliques.

On a donc essayé d'autres alliages pour augmenter la résistance à la corrosion. On a constaté qu'un fort pourcentage en *phosphore* par exemple, comme en ont presque toutes les sortes de fer soudé, accompagné d'une certaine teneur en cuivre, accélère et augmente la formation de la couche protectrice.[8] Cette connaissance a permis d'améliorer les nouveaux aciers à faible oxydation. Ces alliages de cuivre et de phosphore et également d'aluminium, de chrome ou de nickel laissent entrevoir la production d'un acier économique avec bonne résistance à la corrosion dans l'eau. La composition des eaux agressives joue évidemment un rôle sur la résistance des différentes sortes d'acier, il en résulte que la teneur en cuivre relève la résistance de l'acier à la corrosion dans les acides sulfuriques dilués mais par contre ne joue aucun rôle dans l'eau pure. En cas de présence de nitrose, le cuivre s'est au contraire révélé désavantageux.[9]

Les essais d'immersion alternative dans de l'eau de mer artificielle, exécutés

---

[4] *E. Maier:* „Bautechnik" 1934, p. 577.

[5] *E. Maier:* „Industrie-Lackier-Betrieb" 1935, p. 1 à 6.

[6] *Kappler:* Z.V.D.I. 1936; N°. 7, p. 183; — *Ballé:* „Der Rhein" 1935, N°. 2, p. 39.

[7] *I. Carius* et *Schulz:* Mitteilungen aus dem Forschungsinstitut der Vereinigten Stahlwerke, Dortmund (1928—1936), p. 177.

[8] *K. Daeves:* „Naturwissenschaften" 23 (1935); 38 p. 653; idem „Mitteilungen der Kohle- und Eisenforschung G.m.b.H." (1935), p. 168.

[9] *Büttner:* Bücher der Anstrichtechnik 1936, 1er livre; Edition V.D.I. 1936, p. 28.

par *Eisenstecken* et *Kesting*,[10] ont démontré que la corrosion de l'acier dépendait fortement de la durée de l'essai et de l'immersion et ils ont contribué à l'explication des phénomènes suffisamment connus dans la pratique de détériorations dans les zones situées alternativement dans l'air et dans l'eau. La série d'essais représentée à la fig. 1 a duré 28 semaines. L'eau fut changée toutes les 4 semaines. On a utilisé de petites tôles en acier doux au carbone avec 0,08 % de cuivre. On a une courbe toutes les 4 semaines. Ce n'est que lorsque l'immersion dépasse 6 à 7 h et lorsque la durée de l'essai est grande que la détérioration de l'éprouvette est grande. Les pertes de poids diminuent fortement lorsque la durée d'immersion se rapproche de l'immersion permanante. L'influence de la durée de l'essai se fait sentir en ce sens qu'après 4, 8 et 12 semaines l'attaque la plus forte est pour une immersion journalière de 17 heures tandis qu'après 16 semaines elle est pour 15 heures et après 28 semaines pour 9 heures seulement. Ce déplacement, vers les brèves immersions, de la corrosion maxima peut s'expliquer par l'augmentation de la teneur en eau de la couche oxydée. Il en ressort également que l'estimation de la résistance à la corrosion des différentes sortes d'aciers et d'enduits protecteurs, sur la base des essais d'immersion exécutés en laboratoire, doit se faire avec la plus grande prudence. Les résultats acquis nous montrent également que la résistance d'un seul et même acier (par ex. des palplanches) peut être très différente, suivant les conditions existantes.

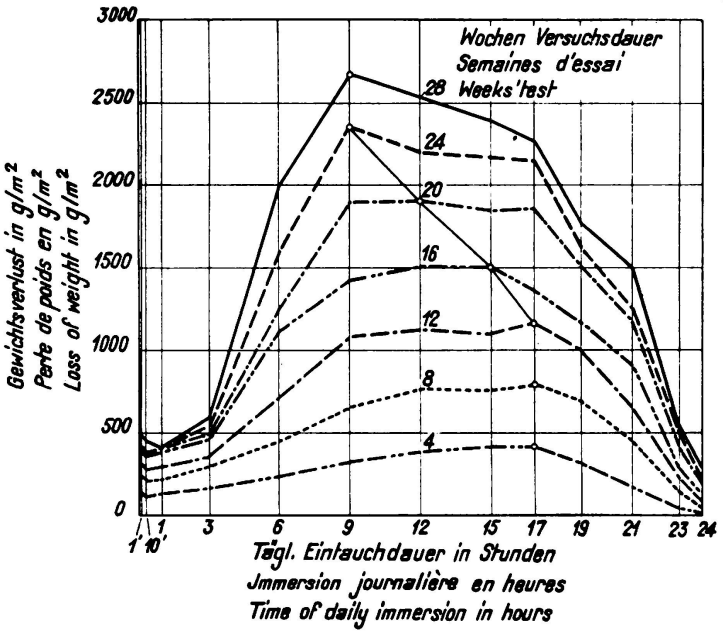

Fig. 1.
Usure par immersion répétée dans l'eau de mer d'un acier doux au carbone.
Changement d'eau toutes les 4 semaines.

Certaines mesures métallurgiques destinées à relever la résistance à la corrosion ont également une influence favorable sur les aciers peints. Les essais de *Daeves*[11] expliquent comme suit ce résultat réjouissant: l'oxydation des endroits où la peinture est défectueuse, ce qui est inévitable même lorsque l'exécution est parfaite, est entravée après peu de temps par la couche de cuivre qui se dégage de l'acier à l'endroit défectueux.

Le renouvellement et la réparation des enduits sont longs et coûteux dans les constructions hydrauliques en acier, on peut donc affirmer que ce ne serait pas une économie que de renoncer aux enduits très résistants à cause de leur

[10] Bericht über die Korrosionstagung 1935, Edition V.D.I., p. 48.
[11] *Daeves:* „Farbe und Lack" 1931, fasc. 21, p. 242.

prix élevé, car les enduits ne représentent que le cinquième du coût total.[12] Le renchérissement des enduits peut donc atteindre un multiple de l'augmentation de leur durée d'existence.

L'expérience nous a montré que la préparation de la surface sur laquelle sera étendu l'enduit a une influence prépondérante sur la durée de l'enduit. Il est évident que tous les défauts de la peau de laminage et spécialement les écailles et la rouille doivent être éliminés et qu'à ce point de vue il ne faut pas être trop économe. Il ne faut cependant pas oublier qu'une épaisse peau de laminage peut former une excellente protection naturelle contre la rouille. Dans le développement des aciers peu oxydables il faudra vouer toute son attention à l'obtention systématique d'une peau de laminage dense et satisfaisante et spécialement pour les aciers des palplanches employées sans enduits ou enduites seulement à de grands intervalles de temps. Le fer plus ou moins pur (par ex. le fer Armco) a une surface très régulière, parfaite pour l'application d'un enduit. A part ces influences métallurgiques, la température et le mode de laminage pourront peut-être jouer un rôle dans le développement d'une bonne peau de laminage. Les succès obtenus en passant au phosphore les pièces d'acier parlent en faveur de cette méthode. Bien des expériences nous enseignent que la peau de laminage peut être une protection efficace contre la rouille. Par exemple *Hoffmann*[13] parle de l'excellent état de la peinture du pont sur l'Elbe à Hambourg, démoli depuis. Durant plusieurs décades le minium a si fortement adhéré sur l'oxyde de fer bleuâtre qu'il était impossible de le détacher. On ne peut pas admettre que ces parties aient été attaquées. Il est toutefois difficile de distinguer entre la peau de laminage protectrice d'une part et les écailles et la rouille d'autre part. Pour cette raison, et par suite de l'introduction de l'appareil à jet de sable, on supprime en général complètement la peau de laminage. Malgré cela on ne devrait pas manquer d'attacher toute son attention au developpement de la peau de laminage comme protection naturelle contre la rouille. D'ailleurs, la zone de transition à la couche d'oxyde n'est en général pas supprimée dans les pièces d'acier soumises au jet de sable;[12] on n'a donc pas une surface d'acier pur, très sensible à la corrosion et exigeant l'application d'un enduit ou des mesures plus ou moins heureuses pour protéger le métal contre la rouille.

Le développement de nos aciers de construction dans le sens d'un relèvement des contraintes admissibles n'a qu'une importance tout-à-fait secondaire dans la construction des ouvrages hydrauliques mobiles où les portées sont faibles, contrairement à ce que l'on a dans la construction des ponts. Dans bien des cas il est même bon d'opposer de grandes masses d'acier à l'action dynamique de l'eau; c'est pourquoi *l'acier à haute résistance* n'est qu'exceptionnellement utilisé dans les travaux hydrauliques. Suivant le professeur *Agatz*, l'acier normal est même préférable pour les palplanches, car une oxydation de même épaisseur affaiblit moins un profilé en acier normal qu'un profilé en acier à haute résistance et parce qu'un plus grand moment d'inertie réduit le fléchissement de la palplanche et facilite, lors du battage le maintien de la bonne direction.

---

[12] *Klöppel:* „Unterhaltungskosten von Stahlbauwerken", Edition Noske, Leipzig.

[13] Dissertation présentée à l'Ecole polytechnique de Hannovre 1921.

Les palplanches doivent avoir une grande résistance pour vaincre la résistance à la pénétration surtout là où l'on peut s'attendre à une forte usure de leur surface.

Les *conditions de réception* sont en général les mêmes pour les palplanches que pour la construction métallique en général. Il est difficile de dire jusqu'où va cette concordance, car les sollicitations sont très différentes dans les deux cas. L'expérience a montré que les qualités que l'on n'exigeait jusqu'à présent n'était pas fausses, ce qui ne veut pas dire que d'autres essais ne caractériseraient pas mieux les aciers des palplanches. Il ne faudrait donc pas trop s'éloigner des conditions recquises actuellement si de nouvelles conditions devaient compliquer le développement des aciers de palplanches.

La *soudure* offre également de grands avantages dans les travaux hydrauliques, ainsi que le montrent les ouvrages mobiles du Canal Albert en Belgique. Le caractère monolithique des constructions soudées confère à ces dernières une plus grande rigidité qu'aux constructions rivées quoique ces dernières soient plus lourdes; cette rigidité est tout spécialement favorables aux constructions planes telles que les portes d'écluses. Les constructions soudées sont plus étanches et d'un entretien plus facile parce que lisses et sans joints; leur exécution est plus simple et elles résistent mieux à la torsion, ce qui joue un rôle très important dans les constructions hydrauliques.

La détermination des forces de pression et de succion de l'eau et le choix de mesures contre les effets d'oscillations engendrent de nouvelles difficultés pour l'ingénieur-constructeur. La résolution de ces problèmes, esquissée par *Burkowitz,* nécessite des connaissances sur la physique des courants qui peuvent être acquises dans l'étude théorique de la construction hydraulique. Dans l'intérêt de la construction hydraulique en acier et tout spécialement dans l'intérêt des jeunes ingénieurs, on aimerait voir dans les écoles d'ingénieurs une collaboration des chaires de construction métallique et de construction hydraulique.

VIIb 1

Constructions hydrauliques en acier et essais sur modèles.

Stahlwasserbau und Modellversuche.

Steel in Hydraulic Engineering, and Model Experiments.

Dr. Ing. e. h. Th. Becher,
Direktor der M.A.N., Werk Gustavsburg.

Le rapport de Monsieur le Conseiller ministériel *Burkowitz*, ainsi que toutes les contributions consacrées aux installations mobiles dans les constructions hydrauliques, parlent d'actions hydrodynamiques, de phénomènes d'oscillations, etc. Je voudrais donc développer ici la question de la conformation des ouvrages hydrauliques en acier, en me basant sur les essais sur modèles entrepris pour étudier les phénomènes hydrodynamiques.

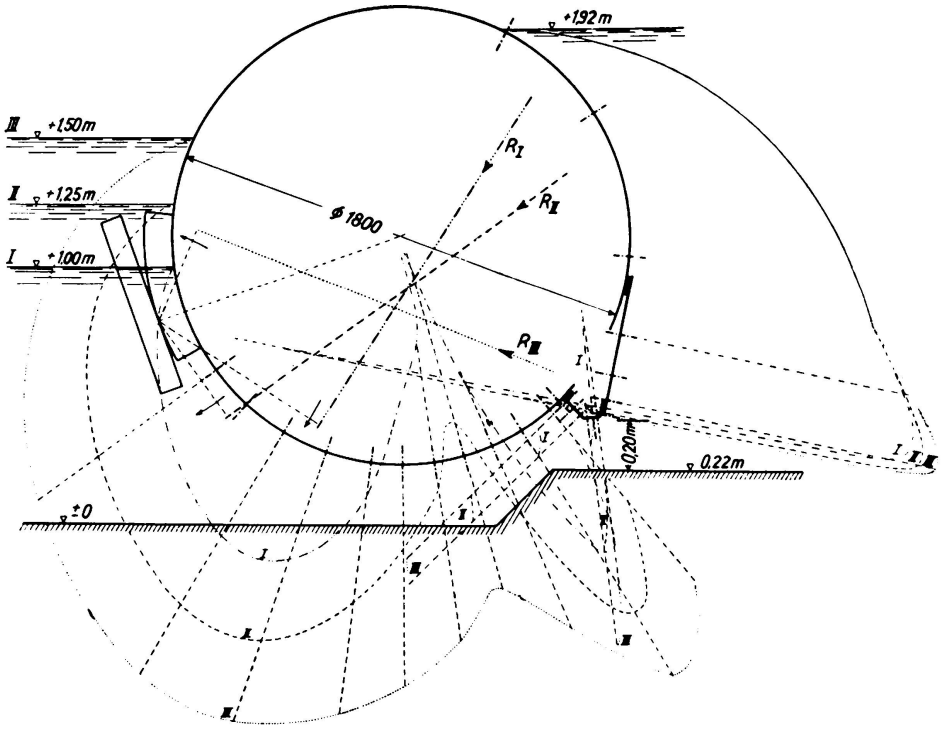

Fig. 1.

On a été amené à l'étude de ces phénomènes par l'apparition de quelques dérangements dont on a étudié les causes par des essais sur modèles. Le deuxième stade fut la détermination, par essais sur modèles, des forces qui conditionnent le dimensionnement des organes de fermeture et de levage des constructions

projetées suivant les principes normaux. Le stade suivant est apparu très rapidement; à l'aide des essais sur modèles on a cherché à développer des formes aussi favorables que possible du point de vue hydrodynamique. C'est ce que je voudrais vous montrer par quelques exemples:

Parmi les premiers barrages à cylindres, il s'en trouve quelques-uns qui ne sont constitués que du cylindre et d'un tout petit avant-bec pour la poutre d'étanchéité. Un jour, un de ces cylindres s'est mis à vibrer d'une façon tout-à-fait désordonnée, ce qui entraîna finalement la détérioration du local des treuils et la vanne sortit de ses glissières. Ce phénomène était inexplicable car on ne pouvait pas admettre une grave erreur de service et l'on a entrepris des essais sur modèle (fig. 1). Ces essais ont montré que la forme des vanne et du radier étaient cause d'effets alternatifs de pression et de succion sur la vanne. C'est pourquoi, depuis lors, on a muni toutes les vannes de plus grands becs (fig. 2). C'est également par des essais que l'on a déterminé le rapport le plus favorable entre le diamètre du cylindre et la hauteur du bec.

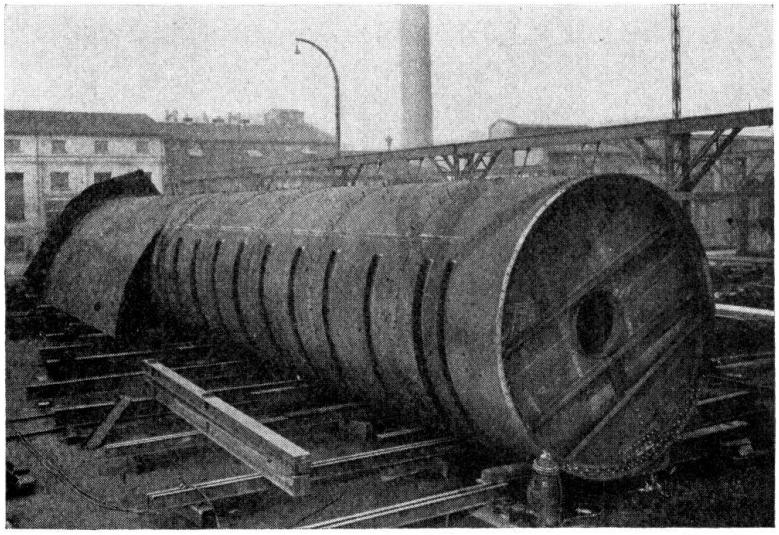

Fig. 2.

Dans un grand barrage à doubles vannes on avait prévu une couverture de la vanne supérieure afin de faciliter l'écoulement de l'eau lorsque cette dernière vanne était abaissée. Cette couverture (fig. 3) était constituée par des planches inclinées vers l'aval, ainsi que le montre la figure de gauche. Après chaque crue ce déversoir était détérioré et devait être remis à neuf. Le bois fut remplacé par du fer mais on a tenu auparavant à effectuer des essais sur modèle à l'échelle 1:5 pour déterminer la forme à donner à la tôle. On a constaté qu'il fallait donner à la tôle une forme incurvée, telle que l'indique la figure de droite. La forme originale, inclinée, provoquait une répartition tout-à-fait irrégulière de la pression avec de nombreux points de succion, deux phénomènes très désagréables dans la construction hydraulique car ils peuvent donner naissance à des oscillations et à des déteriorations. La nouvelle forme trouvée présente par contre une répartition régulière de la pression et

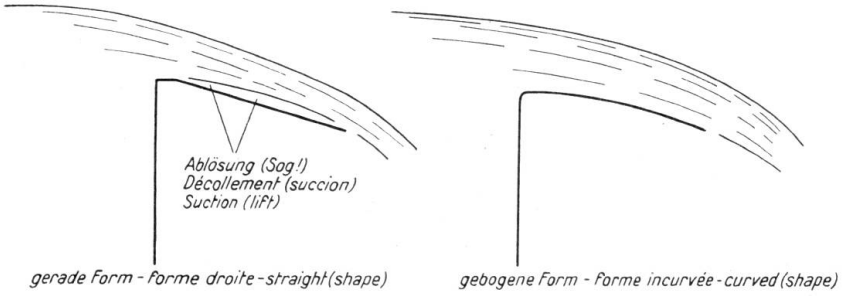

Fig. 3.

aucune succion. Par la même occasion on a trouvé que les nouveaux déversoirs présentaient deux autres avantages très importants. La surcharge de l'eau sur le déversoir lui-même a passé de 82 t (ancienne forme), à 38 t (nouvelle forme), d'où réduction de la force de levage. En outre, la capacité du déversoir augmente

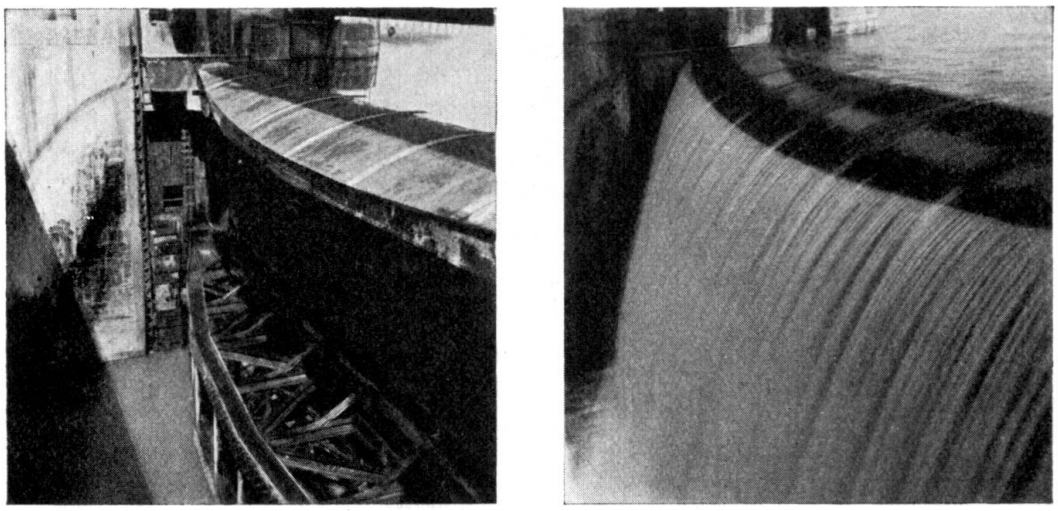

Fig. 4.

de 20 % ; un déversoir hydrauliquement bien conformé permet donc de réduire la longueur du barrage. La fig. 4 montre la construction d'une vanne confectionnée par la M.A.N. pour l'usine de Ryburg-Schwörstadt. Le déversoir est incurvé. Ces vannes ont une hauteur totale de 12,5 m et la vanne supérieure peut être abaissée de 4,5 m. De telles vannes doivent naturellement être étudiées avec grands soins en ce qui concerne les effets dynamiques.

Un autre problème était celui des oscillations des vannes avec écoulement inférieur à faible ouverture. Dans ce cas, l'accroissement de la hauteur de retenue entraînait parfois des détériorations. Des essais ont immédiatement montré que la conformation de la poutre d'étanchéité était cause de ces oscillations et que l'on pouvait assez facilement remédier à cet inconvénient (fig. 5). Ici aussi il est possible d'obtenir une courbe des pressions positive et régulière.

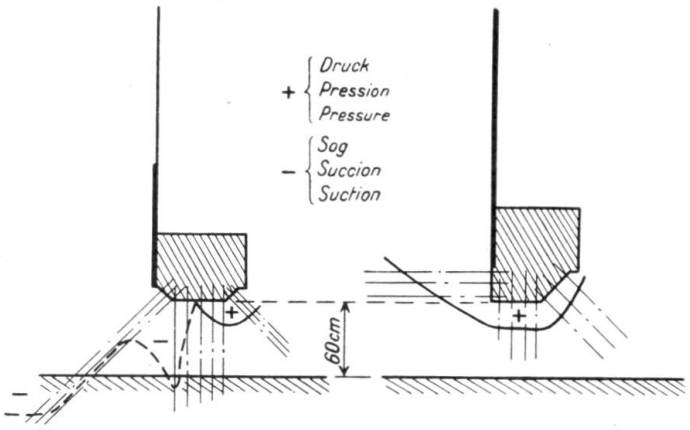

Fig. 5.

Dans d'autres barrages, soit à vannes, soit à clapets fonctionnant comme déversoirs, on a observé des oscillations, principalement lorsque la hauteur de la nappe de déversement était faible. Par voie d'essais on a tout d'abord essayé d'assurer une bonne aération de l'espace situé entre la vanne et la nappe, ce qui n'était pas

toujours suffisant. On a constaté que la nappe d'écoulement, mince et continue, était très sensible à tout impuls: elle tend donc par elle-même à osciller. Les essais ont encore montré que cette sensibilité de la nappe d'eau diminuait lorsqu'on troublait sa continuité, c'est-à-dire en ondulant ou en coupant la nappe (fig. 6).

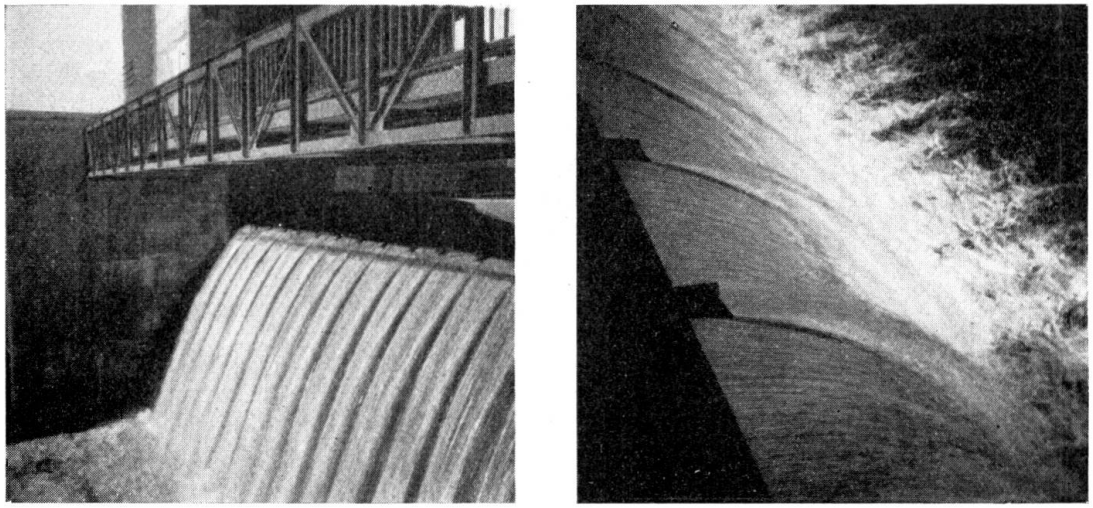

Fig. 6.

Cet effet pourrait être obtenu en plaçant au sommet du déversoir des tôles en forme de queue d'aronde. La figure précitée montre l'écoulement d'une nappe après construction de ces couteaux ou perturbateurs.

Les clapets en forme de ventre de poisson, que construit la M.A.N., sont également munis de perturbateurs (fig. 7); ces clapets présentent l'avantage de n'être actionnés que d'un seul côté. La figure 7 représente le clapet de 18,0 × 4,0 m du barrage de Heimbach.

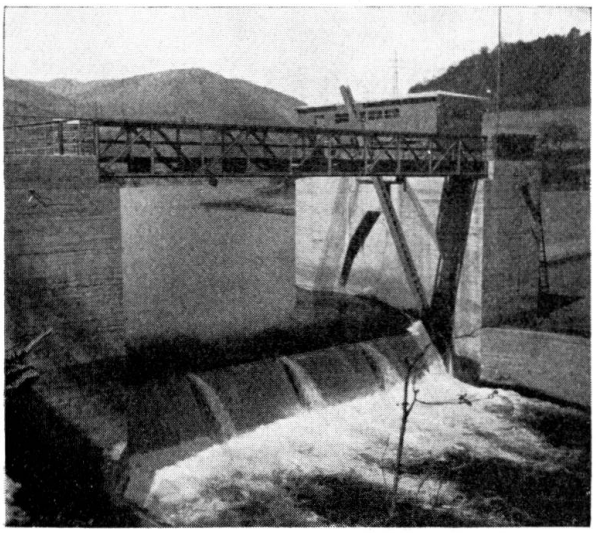

Fig. 7.

Dans les barrages à clapets on a constaté que l'accroissement de la hauteur d'eau en aval engendre des forces alternées qui peuvent facilement provoquer des oscillations. On a été amené à conformer les clapets de telle sorte que dans tous les cas, le moment engendré par le poids propre et le poids de l'eau soit positif, c'est-à-dire dans le sens du rabattement (fig. 8). La courbe qui descend vers la droite représente le moment de torsion résultant du poids de l'eau pour toutes les positions du clapet. La petite partie négative est largement contrebalancée par le moment du poids propre qui est toujours positif. Ce problème n'a pu être résolu que grâce à un grand nombre de mesures de pression. Si l'on veut travailler avec précision il est nécessaire d'entreprendre de

nouveaux essais pour chaque nouveau barrage, car la forme du barrage lui-même, la forme du radier, la hauteur d'eau en aval et la hauteur de la nappe varient d'un cas à l'autre, ce qui modifie le résultat final. Ces essais permettent de déterminer le moment de torsion que doit supporter le clapet ainsi que la puissance des appareils de levage. En général, on prévoit un jaugeage de l'installation, c'est-à-dire que l'on mesure le débit pour chaque position des vannes.

Un problème spécialement compliqué est celui des vannes des décharges de fond (fig. 9). Grâce à ses études de laboratoire, la M.A.N. a trouvé, au cours de ces dernières années, de nouvelles solutions très satisfaisantes. Il était nécessaire de disposer de pressions très élevées au laboratoire, pour qu'il soit possible de transposer à la réalité les résultats acquis. La fig. 10 représente la vanne de

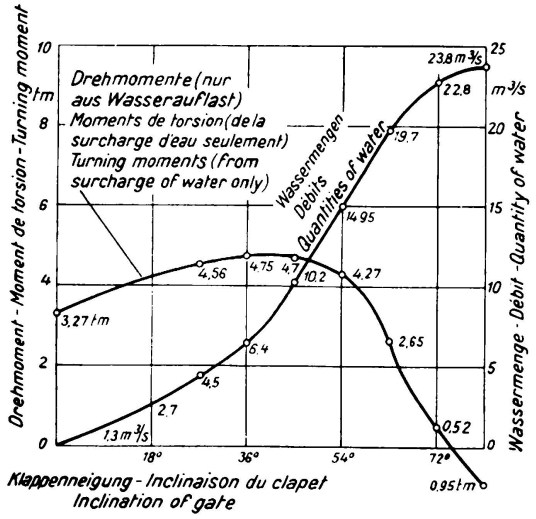

Fig. 8.

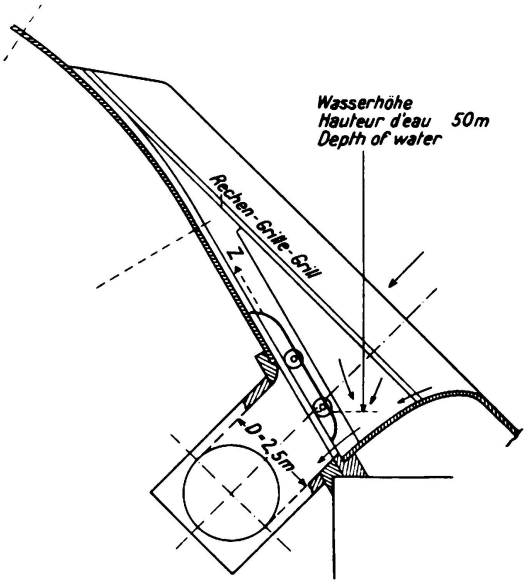

Fig. 9.

la décharge de fond du barrage de l'Odertal dans le Harz; cette vanne est soumise à une pression d'eau de 50 m environ. Sous pression d'eau totale, cette vanne doit pouvoir se fermer simplement par son propre poids; de vastes essais tant sur la conformation des vannes que sur celle de l'ouvrage étaient donc nécessaires.

La lutte contre les oscillations et l'étude des effets de l'eau en mouvement ont encore eu d'autres influences sur la construction. Il ne faut pas attacher son attention à la seule conformation mais aussi au dimensionnement des constructions. On devrait toujours opposer une certaine masse à l'eau en mouvement. Je suis d'avis qu'il est dangereux de réduire la masse des installations mobiles par un raffinement de la construction ou par l'emploi de matériaux à haute résistance. Même une diminution de prix ne devrait pas entrer en ligne de compte et encore moins une économie du courant électrique nécessaire à la manipulation de ces installations. Ce dernier point surtout ne joue absolument aucun rôle car on ne manipule que rarement *les vannes,* tandis que ce que nous avons dit des masses n'a pas ou que peu d'importance pour les écluses et leurs élévateurs. Le choix de l'acier St. 52 ne paraît pas très heureux dans la construction des barrages, quoique parfois on soit contraint d'y recourir. L'élasticité, et par le fait même la tendance aux oscillations, sont plus grandes dans les ouvrages construits avec ce matériau.

Les contraintes admissibles devraient être plus faibles que dans les autres constructions métalliques, à cause du danger de corrosion; dans les constructions hydrauliques, l'acier St. 37 ne devrait pas être sollicité au-dessus de 1200 kg/cm².

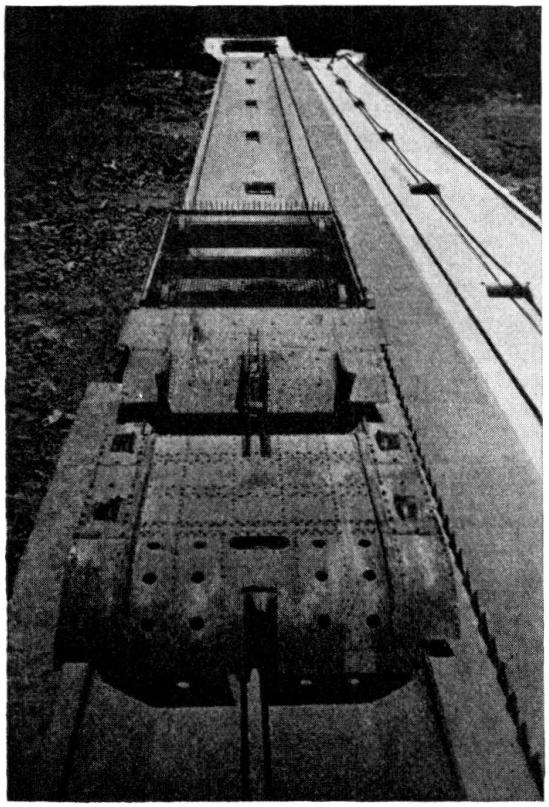

Fig. 10.

En terminant, je voudrais montrer les dimensions que peuvent prendre les ouvrages de la construction hydraulique et à cet effet je vais présenter quelques photographies d'ouvrages en construction ou en service. Deux exemples des grands barrages du Main et du Neckar: tout d'abord une vanne à trois membrures avec clapet en forme de ventre de poisson pour l'usine de Faulbach sur le Main (fig. 11), photographie prise au cours de la construction. La vanne a une ouverture de 35,0 m et une hauteur totale de 6,70 m dont 1,60 pour le clapet. Au nombre des barrages du Neckar, celui de Heidelberg est des plus intéressants (fig. 12) tant par sa beauté (ce qui est important car le barrage est en ville) que par ses dimensions. Les trois vannes ont une hauteur de 4,10 m pour une ouverture de 40,0 m, on peut les abaisser de 0,60 m.

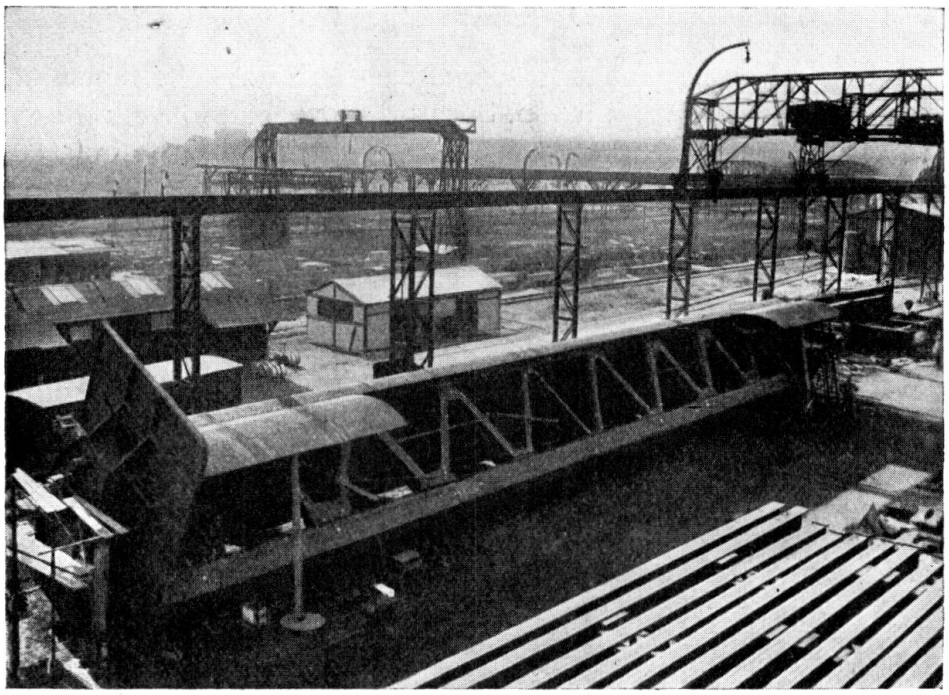

Fig. 11.

Comme exemple de vannes à cylindre à un seul bordage je citerai celles du barrage de Solbergfoos en Norvège (fig. 13). Cette figure représente une des trois vannes en construction. Ce type de construction est très avantageux

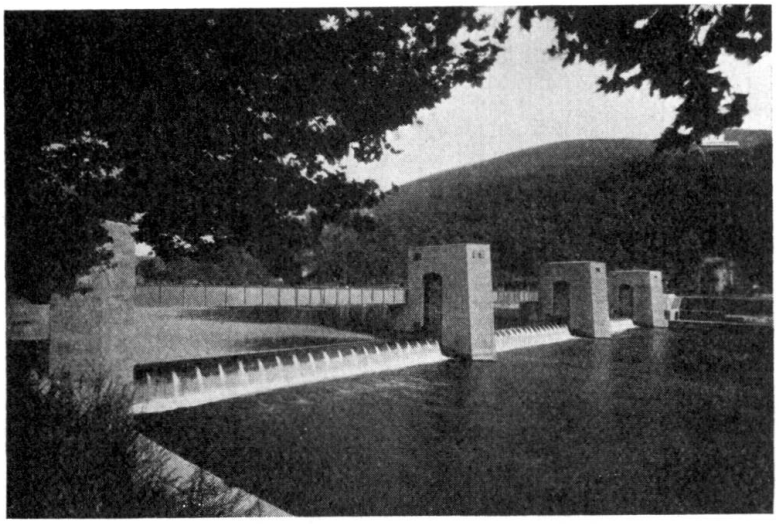

Fig. 12.

lorsque la hauteur de retenue est assez grande et lorsque la portée est relativement faible. Le barrage de Solbergfoos a trois vannes de 20,0 m de portée et de 8,75 m de hauteur (fig. 14).

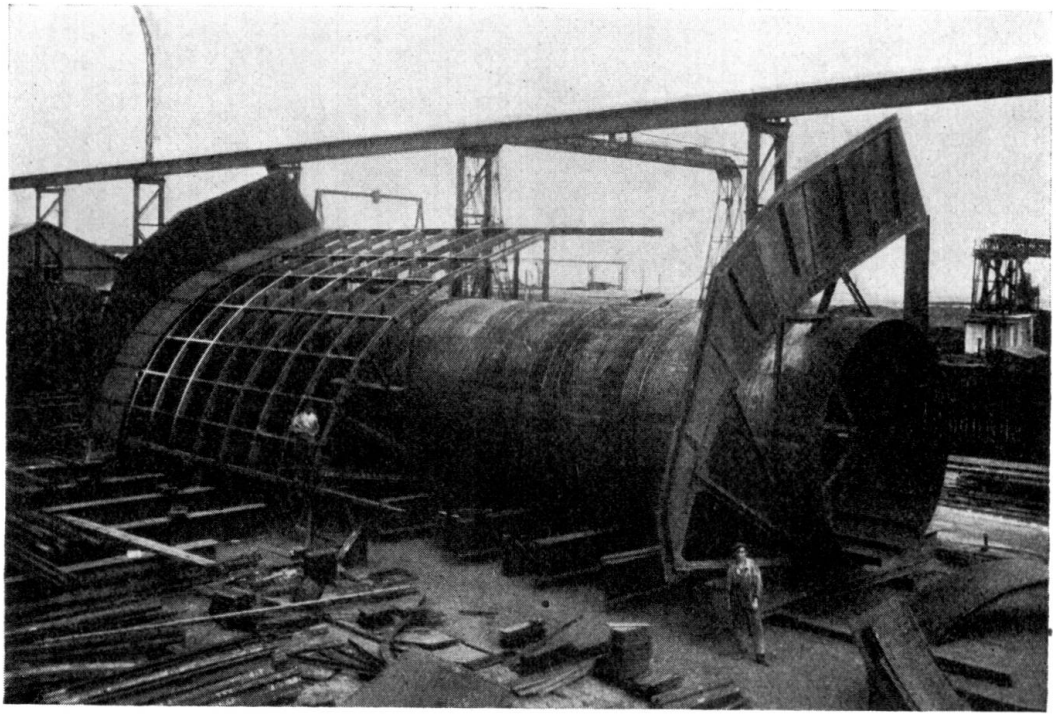

Fig. 13.

Parmi les grands barrages à vannes doubles j'ai déjà cité Ryburg-Schwörstadt. Le grand barrage de Kachlet sur le Danube est également équipé avec des vannes

doubles de la M.A.N. Avec ses 6 vannes de 25 m d'ouverture et 11,5 m de hauteur, ce barrage est un des plus importants du monde. Citons pour terminer

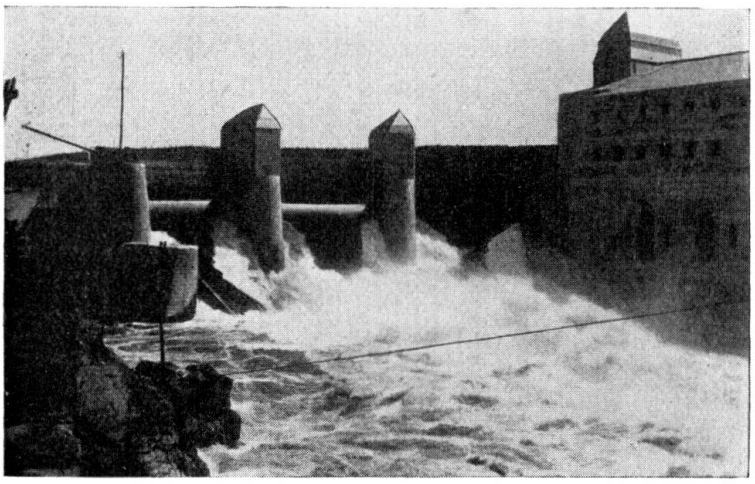

Fig. 14.

le barrage de Pernegg (fig. 15) qui est également un bon exemple d'adaptation au paysage. Il possède 3 vannes doubles de 15,0 m sur 11,60 m. Dans ces

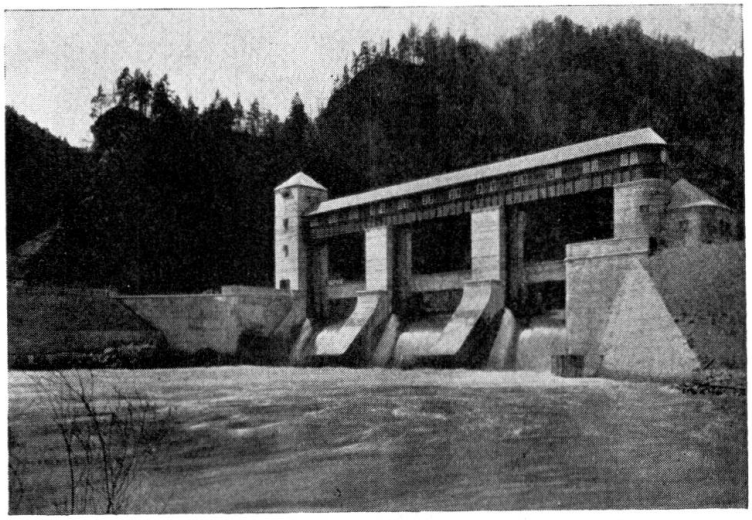

Fig. 15.

barrages on peut en général ouvrir les vannes d'un quart de la hauteur totale tandis que les vannes en forme de hache peuvent être abaissées jusqu'au tiers de la hauteur totale.

VII b 2

Application de l'acier dans la construction hydraulique, généralités et détails.

Anwendung des Stahles im Wasserbau, Allgemeines und Einzelheiten.

The Use of Steel in Hydraulic Engineering, General Remarks and Details.

Prof. Dr. K. Dantscher,
Oberbaudirektor der Rhein-Main-Donau A.G., München.

Les rapports de Messieurs *Agatz* et *Burkowitz* traitent de l'emploi de l'acier dans la construction hydraulique, en distinguant les installations fixes des installations mobiles. Ils exposent l'emploi de l'acier dans la construction hydraulique ainsi que la conservation de ce matériau dans ces constructions. Cette contribution à la discussion doit compléter les rapports dans le sens d'un exposé du développement de la construction métallique dans les travaux hydrauliques accompagné de quelques exemples exécutés en Allemagne.

Les matériaux employés en construction hydraulique il y a une centaine d'années étaient la pierre, le béton, les fascines, les terres glaises et le bois. Ce dernier était principalement utilisé dans les travaux hydrauliques pour les installations mobiles telles que les portes d'écluses, les appareils de fermeture des barrages et dans les fondations pour les clayonnages de pieux et de traverses. Le fer n'était presque pas employé dans les constructions hydrauliques ou seulement sous forme de clous, de vis et de frettes dans les constructions de bois. Plus tard on construisit des pièces d'appui et des éléments portants en fonte et en fer forgé. D'une manière générale, cet état de choses a duré jusqu'à la fin du siècle dernier. Ce n'est que la production en gros de l'acier et des pièces laminées de formes et de grandeurs les plus variables qui ait apporté une modification; le fer s'est alors introduit avec une rapidité incroyable dans la construction hydraulique. Il y a presque complètement remplacé le bois et jusqu'à un certain point même les constructions de pierre. Il permet souvent de nouvelles méthodes de travail et de nouvelles formes de construction. Nous voulons brièvement esquisser ce développement en groupant les constructions hydrauliques de la façon suivante:

I° — Constructions hydrauliques servant à la navigation,
II° — Constructions de barrages,
III° — Ouvrages servant aux usines hydro-électriques,
IV° — Fondations.

I° — Constructions hydrauliques servant à la navigation.

Il faut dire tout d'abord que depuis une cinquantaine d'années l'acier tend à remplacer le bois dans la construction des bateaux eux-mêmes. Cette transformation est presque complète pour la navigation maritime et elle est en grande partie accomplie chez nous pour la navigation fluviale. L'acier présente une plus grande stabilité pour la construction des bateaux et il permet un accroissement des dimensions que l'on ne pouvait imaginer jusqu'à présent avec le bois. Citons comme exemple un élément fondamental des constructions fluviales: *l'écluse à sas*. Presque toutes les portes d'écluses étaient en bois il y a 50 ans environ, dans l'un ou l'autre cas le cadre était en fer. L'ouverture normale était de 6 à 8 m. Le bateau de 600 t exige une ouverture de 10 m et celui de 1500 t une ouverture de 12 m; pour les écluses maritimes, cette ouverture s'est accrue lentement jusqu'à 40 et 50 m. Il était impossible d'exécuter en bois des portes de cette grandeur. Seule la construction métallique était capable de résoudre ce problème. C'est ainsi que l'on constate d'abord dans la navigation fluviale le remplacement des *portes busquées en bois* par les *portes busquées en fer*. La porte busquée est la fermeture des anciennes écluses à sas et sa construction avait été si bien perfectionnée par l'expérience acquise au cours des siècles et par l'intuition des forces agissantes que la porte métallique n'est qu'une reproduction, jusque dans ses détails, de la porte de bois. La construction métallique apportait dans ce domaine les méthodes très développées de la statique et durant un certain temps on a essayé de supprimer l'indétermination statique des portes busquées et d'éliminer les moments de flexion par une courbure de ces portes; ont est revenu actuellement à la forme classique. Les dimensions sont devenues sensiblement plus grandes. Le type normal des portes busquées a une ouverture de 12 m. Les portes busquées de l'écluse de Kachlet sur le Danube ont une ouverture de 24 m, ce qui correspond aux dimensions des écluses du premier canal de la mer du Nord à la Baltique. Lorsque l'on se trouve en présence de telles dimensions, on peut donner aux portes busquées la rigidité requise en appliquant une tôle de bordage solide et bien rivée (double éventuellement).

Le développement résultant de l'introduction du fer s'est étendu dans une autre direction encore, la forme des portes a aussi évolué. Même s'il existait autrefois quelques portes à trappe ou à glissière de faibles dimensions pour des écluses de peu d'importance, on peut affirmer cependant qu'il n'était possible de construire de telles portes qu'avec l'acier.

Les *portes levantes* et les *portes à segment* sont tout-à-fait nouvelles. Monsieur le *Dr. Becher* en présente des exemples dans sa contribution à la discussion. Les *portes à glissière* montrent que les grandes écluses d'entrée dans les grands ports de navigation intérieure sont irréalisables sans la construction métallique. De telles écluses sont cependant essentielles pour le développement des grands ports tels que Bremerhaven, Anvers, Amsterdam et des voies navigables telles que le canal de la mer du Nord à la Baltique. Il est évident que toutes les installations accessoires croissent avec la grandeur des portes. Ces accessoires furent toujours construits en fer. Nous voulons cependant parler d'un de ces accessoire; la construction métallique a développé de nouvelles méthodes de remplissage des écluses. Dans les petites écluses primitives, le remplissage se faisait par de petites ouvertures pratiquées dans la porte de bois; plus tard on a introduit les dérivations

dans les murs latéraux. Les portes métalliques plus rigides permettent cependant de prévoir de plus grandes ouvertures dans la porte elle-même; on trouve de nouveau, par exemple dans les canaux du Neckar, le remplissage au moyen d'ouvertures pratiquées dans les portes métalliques; ces ouvertures ont elles-mêmes des fermetures à segment. Les *portes levantes* et les *portes à segment,* qui toujours sont en acier, permettent le remplissage et la vidange directs car elles peuvent être manoeuvrées malgré la pression de l'eau. Pour franchir des différences de niveau plus grandes, on se sert généralement en Allemagne de *l'écluse normale* qui ne peut être réalisée sans portes métalliques. Parmi les écluses élévatrices, le plan incliné est la construction pour laquelle on emploie le moins l'acier. Le fer joue par contre un rôle de première importance dans la réalisation des autres types d'écluses élévatrices. Dans ce domaine, les entreprises allemandes de construction métallique ont exécuté des ouvrages du plus vif intérêt avec les écluses élévatrices de Henrichenburg et Niederfinow.

Jusqu'à maintenant j'ai esquissé le remplacement du bois par le fer. Il faut encore dire que dans le domaine de la navigation, le fer tend à se sustituer au béton et tout spécialement dans les écluses à sas, les murs de quais et les revêtements des canaux. Le professeur *Dr. Agatz* a déjà montré dans son rapport que les madriers d'acier sont tout-à-fait appropriés à leur but. Il existe en Allemagne un certain nombre d'écluses à sas complètement exécutées avec des madriers d'acier. Les réalisations les plus importantes sont les écluses de Griesheim et Eddersheim sur le Main, qui ont 350 m de longueur et 14 m de largeur. Les parois des écluses sont exclusivement constituées par des palplanches métalliques. Lorsque le sol permet un battage exact des palplanches, les avantages de cette méthode sont évidents. Les murs de quais ont souvent été réalisés de cette façon et il est démontré que les madriers d'acier, ancrés vers l'arrière, sont très appropriés aux constructions de ce genre. Un magnifique exemple d'utilisation des madriers métalliques est l'élargissement du canal Dortmund—Ems pour des bateaux d'un modèle plus grand. Cet élargissement fut réalisé sur de grandes longueurs en battant dans les talus une paroi de madriers d'acier et en enlevant la terre comprise entre les parois; cette méthode simple permet l'élargissement du canal sans interruption de la navigation. L'imperméabilité de ces parois est très grande lorsque le battage est bien exécuté.

II° — Constructions de barrages.

Les barrages qui ont différents buts dans la construction hydraulique, étaient autrefois le plus souvent des barrages fixes; dans bien des cas, le corps de barrage lui-même était en bois; la fermeture des ouvertures destinées à l'évacuation du gravier et de la glace étaient munies de petites vannes de bois. La canalisation des rivières, entreprise il y a un peu plus d'un siècle, exigea des barrages mobiles sur toute la largeur de la rivière et l'on a introduit à cet effet les *barrages à aiguilles, à clapets* et *à tambours.* Les aiguilles et les clapets étaient en bois et seuls les appareils d'appui étaient en fonte ou en fer forgé. Les ponts de service de ces barrages avec chevalets du type *Poirée* montrent clairement les faibles possibilités du fer. Les progrès réalisés dans le forgeage améliorèrent cet état de choses, par exemple dans les barrages à aiguilles. Si le barrage à clapets

de *Chanoine* n'a pu se développer, c'est en grande partie par suite du peu de possibilités du fer; sa réintroduction après 80 ans par *Pasqueau* ne tient qu'à une meilleure préparation du fer et à l'exécution des appuis en acier coulé. Son emploi à l'heure actuelle n'est dû qu'à la construction métallique.

La fermeture des barrages était autrefois presque exclusivement la *vanne*; le barrage avait toujours une partie fixe. Par exemple dans les régions où les rivières ont une forte pente, les barrages destinés aux usines hydro-électriques sont presque sans exception des barrages fixes car on ne pouvait construire pour les barrages mobiles que des vannes de faibles dimensions. Progressivement cette méthode disparait, la partie mobile devient toujours plus grande et la partie fixe disparait même pour les barrages d'usines hydro-électriques, depuis que l'acier permet de construire des vannes satisfaisantes de grandes dimensions. C'est un gros progrès pour la régularisation du débit et l'évacuation du gravier et de la glace.

Le bois ne permet pas de construire des vannes d'une portée dépassant 8 m, il était cependant nécessaire de réaliser des portées plus grandes. A Schweinfurt sur le Main par exemple on voulait exécuter une ouverture de 30 m à cause de l'évacuation difficile de la glace. Dans l'étude d'une fermeture de cette dimension, l'ingénieur en chef *Eickemeyer* proposa un cylindre d'acier à cause de son grand moment résistant; *Carstanjen*, directeur du „Brückenbauanstalt Gustavsburg" près de Mayence en tira le *barrage à tambour* qui ne peut être réalisé qu'avec de l'acier. Ces barrages à tambour permettent des portées irréalisables avec d'autres systèmes; ils sont simples et robustes et conviennent ainsi très bien à la construction hydraulique. Les plus grandes constructions de ce genre ont été réalisées pour les barrages servant à la navigation où les barrages à tambour ont été très tôt adoptés. Le service d'un réseau de canaux exige l'évacuation de la glace, des débris flottants et des eaux pourries sans abaissement du niveau de l'eau. A ce point de vue les anciens barrages étaient préférables. Les tambours mobiles et les tambours surmontés de clapets permettaient de satisfaire à ces exigences. Ainsi que nous l'avons déjà dit, les vannes ordinaires ne pouvaient dépasser 6 à 8 m de portée et lorsque le débit l'exigeait, on ne pouvait réaliser une ouverture plus grande qu'au moyen de montants mobiles. Cette construction grossière a bientôt dû disparaitre. Le fer a permis de construire des vannes d'une portée plus grande. On a réalisé alors la grande vanne métallique, avec paroi de retenue en tôle d'acier, transmettant la poussée horizontale de l'eau sur une poutre en treillis horizontale. Ce nouveau type de construction permit de réaliser des portées beaucoup plus grandes mais la mise en mouvement de ces vannes exigeait de très grandes forces. La *vanne Stoney* a tranché la question en introduisant des rouleaux entre la vanne et ses appuis. Ces chariots exigeaient un nouveau dispositif d'étanchéité. L'étanchéité est assurée au moyen d'une barre dans les vannes Stoney et au moyen d'une tôle élastique dans les vannes de la M.A.N.

En Allemagne, et surtout dans les usines hydro-électriques de l'Allemagne du Sud, la construction des vannes est très développée; la „Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg" (M.A.N.) a créé les *vannes doubles* et les *vannes en forme de hache* qui permettent un abaissement de la vanne supérieure et la „Dortmunder Union" les *vannes à trois membrures* et les *vannes avec clapet*. On a déjà réalisé des portées de 40 m et plus et si des oscillations ne s'étaient pas présentées dans

les vannes de grande portée, il existerait actuellement déjà des vannes de plus de 50 m.

Les «barrages automatiques» dont les vannes sont mises en action par la pression de l'eau ont tiré de l'introduction de l'acier des avantages tout-à-fait importants. Le *barrage en forme de toit* n'est qu'une reprise du système trouvé par l'Américain *White* il y a plus de 100 ans; de tous les types de clapets, un certain nombre a été construit pour permettre le réglage automatique du niveau de l'eau dans les chambres d'équilibre et aux déversoires des barrages. Les clapets en forme de ventre de poisson autorisent actuellement les plus grandes dimensions. La M.A.N. a construit sur le Weser un barrage à secteurs de 54 m de portée pour 4,5 m de hauteur d'eau, ce qui en fait la plus grande vanne qui existe. *Le barrage à tambour* de *Desfontaines*, constitué de minces clapets à l'origine, a pu, grâce à l'acier, atteindre une largeur de 12 m et fut employé avec entière satisfaction dans les canaux du Main. Pour terminer il faut encore citer le *barrage à segment* qui n'est réalisable que grâce à l'acier et qui a été construit en Allemagne pour des portées allant jusqu'à 30 m.

Dans le domaine de la construction des barrages, l'acier s'est complètement substitué au bois; il a permit d'augmenter la portée et la hauteur de retenue et de créer de nouveaux types de vannes.

III° — Ouvrages servant aux usines hydro-électriques.

Nous venons de montrer toute l'influence qu'a eue l'introduction de l'acier sur les barrages des usines hydro-électriques. Nous voulons encore dire quelques mots ici sur les modifications introduites par l'acier dans l'usine elle-même. Il n'y a pas si longtemps encore, la roue, le coursier circulaire, toute l'infrastructure et le mécanisme étaient en bois. Les turbines métalliques se sont introduites il y a 80 ans environ. Depuis lors l'usine est en béton et il est aussi possible d'utiliser de plus hautes chutes où l'eau est amenée par des tuyaux jusqu'aux turbines. Ces tuyaux sont devenus un élément important des usines à haute pression et l'acier a conquis là un domaine duquel on ne pourra pas le chasser. Les conduites forcées ont aussi été exécutées en bois et en béton armé mais pour des petites hauteurs et de faibles quantités d'eau. Les conduites forcées de toutes les grandes usines hydro-électriques sont actuellement en acier. La construction des conduites forcées est toujours assez compliquée; le réglage des turbines engendre continuellement des variations de pression dans les tuyaux, une fermeture brusque peut produire une forte augmentation de la pression et par le fait même une forte sollicitation dans les tuyaux; il faut ajouter les sollicitations dues à la température, et qui sont très fortes dans les grands tuyaux, et les efforts résultant du mode d'appui. Le tuyau de fonte que l'on rencontre encore ici ou là dans de petites installations est complètement remplacé par l'acier dans les grandes usines. La technique allemande a créé le tuyau laminé sans jointures *(tuyau Mannesmann)*, élément qui ne peut être remplacé par aucun autre dans les installations à haute pression. Si la quantité d'eau est très grande, on utilisera des tuyaux à grands diamètres, construits avec des tôles laminées. Les joints longitudinaux et transversaux sont le plus souvent réalisés pas rivetage mais la soudure est de plus en plus employée. Les conduites forcées des usines telles que

celles du Walchensee, du Schluchsee et des usines de pompage, où la même conduite sert à la remontée de l'eau, ne sont concevables qu'en acier. Les différents types de fermeture, tels que les clapets de réglage pour l'étranglement et les tiroirs à haute pression jouent un rôle très important (voir le rapport *Burkowitz*).

Le service des usines hydro-électriques a encore apporté quelque chose de neuf. Il faut faire en sorte, dans ces usines, de maintenir la retenue sinon les pertes d'énergie sont trop grandes. Pour l'entretien et la réparation des vannes on a développé les fermetures provisoires qui sont devenues des constructions tout-à-fait intéressantes. Les anciennes poutres de bois ne suffisent plus aux grandes ouvertures actuelles. On les a remplacées par des poutres d'acier; l'appui, le transport, la manipulation de ces poutres influencent fortement la disposition générale d'un barrage moderne. La poutre métallique ne convient pas à toutes les portées car elle devient trop lourde avec l'accroissement de l'ouverture. C'est pourquoi on a trouvé pour la fermeture provisoire des grands barrages des constructions qui peuvent être assemblées sur place et sous l'eau comme par exemple le système de l'ingénieur *Schön*, exécuté par la Maison *Noell*, Würzburg. La fermeture qui repose sur des piles métalliques se compose soit de plaques, soit de palplanches *Larssen* qui sont appliquées aux aiguilles du barrage à aiguilles.

Citons en passant les fermetures provisoires flottantes, constructions métalliques creuses, qui sont amenées sur place par flottaison et immergées. Au barrage de Kachlet il existe des poutres de ce genre d'une portée de 24 m.

IV° — Les fondations.

Monsieur *Agatz* a présenté un rapport très complet sur l'emploi de l'acier dans les fondations. L'emploi de l'acier est ici double: d'une part sous forme de palplanches pour l'exécution des fouilles et d'autre part sous forme d'élément de construction permanent contre le déchaussement et pour la transmission des forces.

Jusqu'à présent l'acier n'était employé dans les fondations que lorsqu'on se servait de la cloche ou du caisson. Quelques fois on utilisait des tuyaux d'acier comme pieux dans des cas spéciaux. Depuis que l'ingénieur en chef de la ville de Brême, *Larssen*, a trouvé avec la collaboration de la „Dortmunder Union" la palplanche métallique, la question des fondations s'est complètement modifiée. Les ingénieurs se sont toujours efforcés d'exécuter les fondations à ciel ouvert. Autrefois, on entourait la fouille de palplanches de bois ou de batardeaux et on la dessèchait; des profondeurs de 5 à 6 m entrainaient déjà de très grandes difficultés. La palplanche métallique permet d'effectuer un battage plus profond dans le sol et d'obtenir une paroi *étanche*. En outre, cette paroi est beaucoup plus rigide qu'une paroi de palplanches en bois. Il y a 30 ans on prévoyait déjà une fondation à l'air comprimé pour des profondeurs de 6 à 7 m tandis qu'aujourd'hui on peut facilement atteindre à ciel ouvert des profondeurs de 12 à 14 m grâce aux palplanches métalliques. On est déjà descendu à plus de 20 m avec cette méthode. La fouille de grandes dimensions et grande profondeur n'épouse plus comme autrefois le plan de l'ouvrage à construire, on lui donne aujourd'hui une forme circulaire facilitant le raidissement; on a ainsi un puit

que l'on excave jusqu'à la profondeur voulue. La disposition des joints et des madriers d'angle assure une bonne étanchéité.

Dans la construction des barrages il s'agit toujours d'empêcher l'infiltration de l'eau sous l'ouvrage, ce qui pourrait détériorer le sous-sol avec le temps. L'imperméabilité du sol devait être réalisée jusqu'à présent soit par la fondation elle-même, soit par des murs d'appui. Dans bien des cas on a eu recours à une fondation pneumatique, ce qui est très couteux et demande beaucoup de temps. Dans ce domaine, la palplanche métallique a rendu de grands services, elle permet dans la plupart des cas d'atteindre le sol imperméable même s'il se trouve à une grande profondeur. Une telle palplanche métallique est plus étanche qu'une paroi de béton pneumatiquement exécutée, lorsque le battage est bien effectué. L'introduction de ces palplanches permet d'éliminer facilement toute infiltration dangereuse; il en résulte que tous les barrages peuvent avoir actuellement de meilleures fondations qu'autrefois.

Monsieur *Agatz* a déjà parlé de l'emploi des profilés laminés comme pieux d'appui ou comme pieux portants. Nous nous trouvons actuellement au début d'une nouvelle évolution; le bois domine encore dans ce domaine, le pieu de béton armé n'a pas encore pu le déloger. Nous verrons si le pieu métallique aura plus de succès.

Au cours de ces 10 dernières années on a souvent construit des digues de terre pour les hautes retenues d'eau. L'étanchéité est assurée par une paroi de béton armé placée dans le noyau de la digue. Dernièrement on a employé les palplanches métalliques pour la confection de cette paroi d'étanchéité. Le noyau se trouve ainsi entre deux parois d'acier. Les sollicitations auxquelles est soumis le noyau durant l'établissement et le tassement de la digue, peuvent être très grandes et par le fait même ne peuvent être supportées sans fissuration que par un matériau possèdant les propriétés élastiques de l'acier.

V° — La durabilité de l'acier dans les constructions hydrauliques.

L'introduction de l'acier dans les constructions hydrauliques soulève une grave question, celle de la durabilité de ce matériau dans ces constructions. Le rapport *Agatz* répond qu'il est impossible de se prononcer car l'expérience est trop nouvelle. On peut difficilement admettre que ces constructions métalliques placées dans l'eau dureront aussi longtemps que les aqueducs des Romains et les pieux de bois continuellement sous l'eau; on pourra leur attribuer la même durée qu'aux ouvrages de béton et en tous cas qu'aux ouvrages de béton armé des constructions hydrauliques. On a déjà beaucoup parlé des moyens de conservation de l'acier dans les constructions hydrauliques. La question des enduits a été largement étudiée sur les ouvrages construits en Allemagne mais nous ne sommes pas parvenus à une solution définitive.

VIIb 3

La soudure dans les travaux hydrauliques.

Schweißkonstruktionen im Stahlwasserbau.

Welding in Hydraulic Engineering.

G. Wittenhagen,
Oberingenieur der Dortmunder Union Brückenbau A.G., Dortmund.

Contrairement à ce que l'on constate dans la construction des ponts et des charpentes, la soudure n'a trouvé que relativement peu d'applications dans les constructions hydrauliques. On peut cependant affirmer que même dans ce domaine particulier l'ingénieur doit profiter de plus en plus de tous les avantages constructifs, techniques et économiques que lui offre la soudure.

Dans les ouvrages hydrauliques: fermetures de sécurité, batardeaux, portes d'écluses, etc., les sollicitations sont en général purement statiques. De même que dans la construction des charpentes, la soudure est avantageuse et économique dans ces constructions statiquement sollicitées.

Par contre, les effets dynamiques jouent un rôle prépondérant dans les vannes mobiles. Les processus sont encore plus difficiles à déterminer dans ces constructions que dans les ponts qui, eux aussi, sont principalement soumis à des sollicitations dynamiques. Les forces dynamiques sont difficiles à calculer dans les barrages, d'ailleurs elles ne sont souvent qu'imparfaitement expliquées au point de vue scientifique. Dans certains cas, les vannes doivent être déplacées alors que la pression de l'eau est maxima et l'eau peut s'écouler soit par dessous la vanne, soit par dessus. Les tourbillons produits par le mouvement de l'eau, ainsi que les variations de pression de l'air, favorisent dans certains cas l'apparition d'oscillations dangereuses. Aussi longtemps que l'on ne connaîtra pas parfaitement les causes de ces oscillations et les moyens de les combattre, il sera bon de construire les vannes aussi rigides et aussi lourdes que possible.

Les entreprises qui s'occupent de construction de vannes travaillent depuis de nombreuses années, en collaboration étroite avec les écoles d'ingénieurs et les laboratoires d'essai, à l'étude des causes de ces oscillations et des moyens de les combattre et cela par de vastes essais et des études scientifiques approfondies. Les résultats acquis jusqu'à ce jour sont très satisfaisants. Ils montrent qu'il est parfaitement possible d'éliminer les oscillations qui peuvent être dangereuses en conformant exactement l'ouvrage et en adoptant diverses précautions. On n'a cependant pas pu mettre parfaitement au point cette importante question. Malgré tous les soins apportés au projet et à l'exécution de ces ouvrages, des oscillations se produisent toujours en cours de service; leurs effets

peuvent être cependant si fortement réduits que ces oscillations ne mettent pas en danger l'existence de l'ouvrage. Afin de réduire dans la plus forte mesure possible l'influence de ces oscillations, non encore expliquées du point de vue théorique, le constructeur est contraint de donner à ces ouvrages une grande rigidité et une inertie aussi grande que possible. L'ingénieur ne peut donc pas encore tirer profit de la réduction de poids, très désirable du point de vue économique, que permettrait de réaliser l'emploi de la soudure. C'est pour la même raison d'ailleurs que l'on renonce encore à l'heure actuelle à l'utilisation, économique cependant, des aciers à haute résistance dans la construction des vannes.

Si donc on renonce actuellement à souder entièrement les vannes il est cependant possible d'en construire avantageusement certains éléments à l'aide de la soudure. Dans la plupart des vannes à trois membrures, construites au cours de ces dernières années par l'Union de Dortmund, on a soudé les cloisons d'extrémité, les membrures et les clapets alors que l'on a rivé toutes les autres parties.

La soudure permet d'adapter plus simplement les cloisons d'extrémité au profil des vannes. La réduction de poids ainsi obtenue ne joue aucun rôle car ces cloisons se trouvent sur les appuis.

L'emploi de la soudure pour la confection des membrures permet une construction simple, des liaisons pratiques et une disposition simple des bois d'étanchéité.

Les clapets de retenue doivent bien résister à la torsion lorsque leur portée est grande. Le cylindre placé pour résister aux forces de torsion est simple à construire et à assembler rigidement aux autres éléments de la construction grâce à la soudure. L'emploi du rivetage pour la construction de la tôle de bordage, incurvée pour réduire les oscillations, revient beaucoup plus cher. En outre, l'emploi de la soudure permet d'éviter les têtes de rivets situées en avant de la tôle de bordagge et exposées au danger d'usure par le sable.

A l'encontre de ce que nous venons de dire pour ces constructions sollicitées dynamiquement, la soudure peut présenter de grands avantages pour les ouvrages hydrauliques principalement sollicités statiquement.

Les rapports statiques les plus simples se présentent dans les poutres de batardeaux. L'Union de Dortmund a livré pour l'usine de Albbruck-Dogern des poutres de ce genre complètement soudées. Elles sont constituées d'âmes et de semelles à fourchette. L'économie de poids par rapport à une construction rivée se montait à 14 %. Cette diminution de poids a une influence très heureuse sur les appareils de levage.

Un autre exemple d'application très appropriée de la soudure est représenté par les portes levantes construites par l'Union de Dortmund pour l'écluse de Niegripp. La traverse principale et les montants sont des poutres à âme pleine, les membrures sont des profilés spéciaux à fourchette. Les joints de montage de la tôle de bordage sont rivés. L'économie de poids par rapport à une construction rivée atteint 11 % environ, ce qui permet de réduire les contre-poids dans la même proportion. Les charges de l'appareil et de l'échafaudage de levage sont également plus faibles.

Une application nouvelle et intéressante de la soudure aux travaux hydrauliques est représentée par les flotteurs de 10 m de diamètre et 35 m de hauteur, actuellement en construction pour l'écluse élévatrice de Rothensee, reliant l'Elbe au canal du Mittelland. L'économie de poids est importante, elle se monte à environ 10—12 %.

Même si les résultats acquis jusqu'à ce jour avec la construction soudée dans les ouvrages hydrauliques ne sont pas aussi sensationnels que dans la construction des ponts et charpentes, ils ne sont cependant pas négligeables car les difficultés que l'on doit surmonter sont très grandes dans les constructions hydrauliques.

VII b 4

Barrages d'acier.

Stahldamm.

Steel Dams.

Prof. G. Krivochéine,
Ing., General-Major, Prag.

Je voudrais vous montrer un domaine dans lequel les possibilités d'emploi de l'acier sont énormes. Il s'agit de la construction des barrages.

C'est un fait connu qu'il existe en Amérique du Nord un millier de barrages en pierre, en béton et en béton armé alors qu'il n'y en a que 4 ou 5 en acier.

Les barrages construits en pierre, en béton ou en béton armé ne sont pas parfaitement étanches alors que l'on peut exécuter des barrages métalliques tout-à-fait étanches.

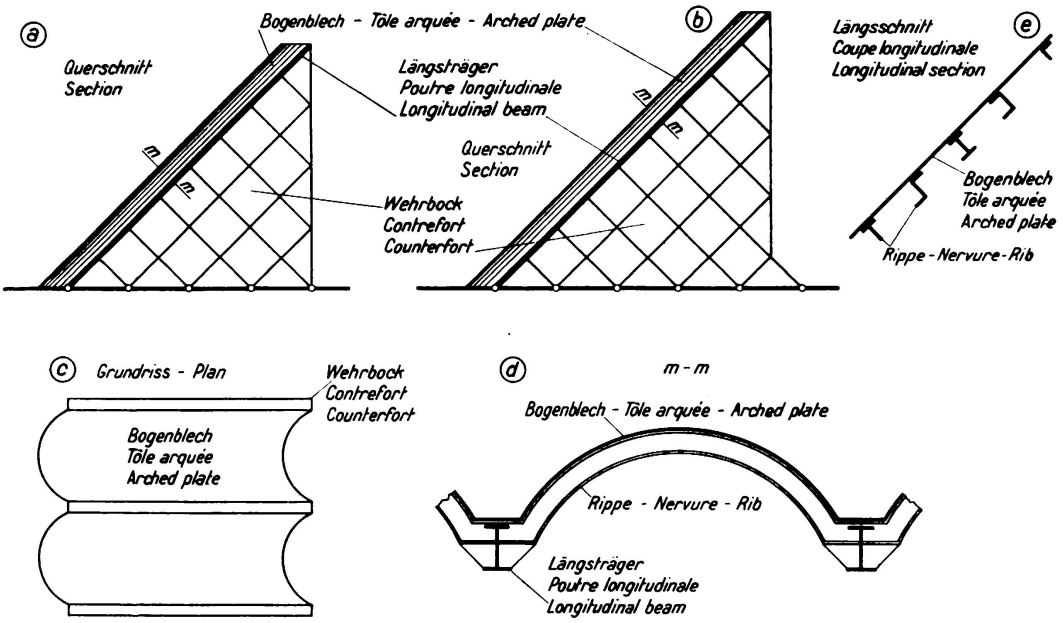

Fig. 1.

Le système de barrage bréveté[1] de l'ing. *Fultner*, l'ing. *Dr. Sekla* et le Professor *Krivochéine* (fig. 1 a, b, c, d) se compose d'une série de tôles d'acier arquées de grande portée (8 à 15 m), renforcées par des nervures.

---

[1] D.R.P. N°. 653411. *France*: N°. 763680; *Angleterre*: N°. 417160; U.S.A. N°. 2033027; Tchécoslovaquie N°. 56399 et N°. 57059.

Ces tôles arquées s'appuyent (sans aucune entretoise), par l'intermédiaire de longerons inclinés, sur des contreforts verticaux réticulés.

Les contreforts ont une forme originale et absolument nouvelle, c'est un treillis sans aucune diagonale. Un treillis de ce genre, avec articulations théoriques dans les noeuds, est rigide et statiquement déterminé.

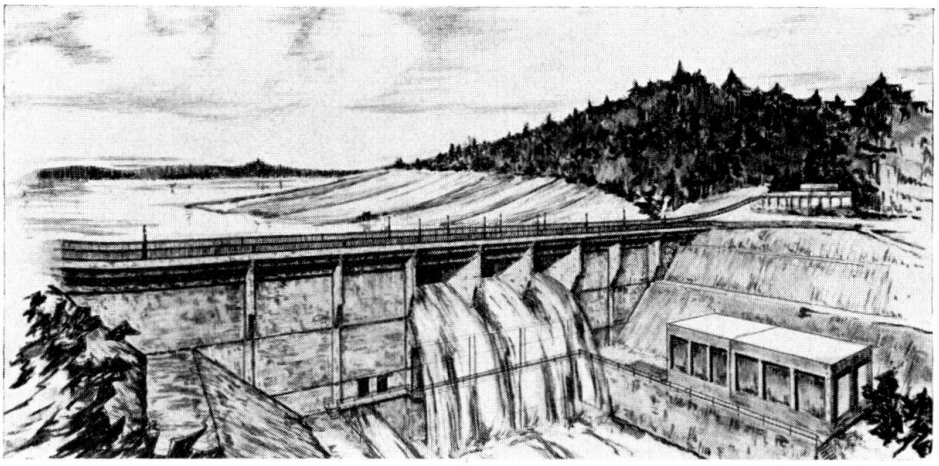

Fig. 2.

Projet de Barrage en acier sur la Svratka à Kniničky, Tchécoslovaquie.
Brevet d'invention de MM. J. Fultner, G. Krivochéine, J. Sekla.

Un barrage en arc, construit d'après ce brevet, est tout-à-fait élastique; la dilatation engendrée par les variations de température ne nécessite aucun joint spécial. Un autre avantage de cette invention est la réduction importante de la largeur du barrage à sa base.

Nous avons présenté un projet de barrage métallique au concurs qui a été ouvert pour la construction du barrage de «Kniničky» situé dans les environs de Brünn (fig. 2).[2]

Ce projet de barrage métallique suivant le brevet ci-dessus a été présenté par les usines de Vitkovice et son coût était de 22 à 53 % meilleur marché que les 15 autres projets de barrages de pierre ou de béton.

[2] Le barrage métallique de Brünn avait un revêtement en plaques de béton armé du type Monier.

VIIb 5

L'épaisseur et l'oxydation des palplanches métalliques.

Wandstärke und Abrostung bei stählernen Spundwänden.

The Thickness and Rusting of Steel Sheet Piles.

Dipl.-Ing. W. Pellny,
Hamburg.

Le domaine de la palplanche métallique avec ses applications multiples s'est développé en science spéciale au cours de ces dernières années et on peut le considérer aujourd'hui comme une branche importante de la construction hydraulique. Par suite du développement toujours plus vaste des sciences techniques, l'ingénieur se trouve dans l'impossibilité matérielle de suivre le développement de chaque branche et d'être au courant de l'état de la technique, même en ne se basant que sur la bibliographie. Pour cette raison déjà, sans même tenir compte de l'intérêt général, il serait utile de tout ramener à des formes simples et claires dans la technique afin d'épargner à l'ingénieur toute étude longue et inutile.

C'est pourquoi on peut féliciter les quatre usines allemandes intéressées d'avoir uniformisé les profils de palplanches métalliques. Si par hasard les profilés d'une usine avaient un moment résistant de 50 cm^3 plus grand ou un poids de 4 kg/m^2 plus petit, cette différence pouvait jouer un rôle prépondérant dans le choix d'un type de palplanches. Les palplanches correspondantes de toutes les usines ont aujourd'hui la même section, le même moment résistant W_x, le même poids et le même coefficient de qualité $W_x:G$. En outre les frais de transport sont les mêmes puisque toutes les usines comptent le transport à partir de la gare de Oberhausen ou du port de Duisburg-Ruhrort.

Il est cependant encore un point qui reste un casse-tête pour l'ingénieur consciencieux, celui de l'épaisseur des parois et de son oxydation. Il n'est pas douteux que la plus grande partie des ouvrages ont été rénovés pour des raisons de service, parce que les installations étaient vieilles, parce que la capacité ne suffisait plus ou encore parce que l'exploitation était trop coûteuse mais rarement par contre parce que l'installation menaçait ruine. Toutefois, on est contraint d'éliminer absolument cette dernière cause ou tout au moins de reporter la ruine dans un temps aussi éloigné que possible; il est donc préférable de choisir des palplanches à parois épaisses.

A ce point de vue, beaucoup d'ingénieurs croient distinguer une différence entre les différents profils. Ils se basent sur les tableaux donnés par les usines

et qui indiquent 13 mm peut-être dans un cas et 11 mm dans un autre cas. Ce serait une erreur grave que de croire pour autant que la première paroi résistera mieux à l'oxydation que la seconde qui a des ailes plus minces mais un W_x de même grandeur. Il faut une fois mettre les choses au point car *beaucoup d'ingénieurs qui travaillent avec des palplanches ont tiré cette conclusion erronée mais compréhensible et ont vu des difficultés là où il n'en existail aucune.*

Lorsque l'on parle d'épaisseur des parois, on oublie que les profilés en Z possèdent, à côté de l'épaisseur indiquée pour l'aile dans les tableaux, une forte section supplémentaire dans les charnières. Les principaux profilés des usines allemandes sont donnés dans le «Beton-Kalender» 1937, IIe partie, p. 33 et 34; nous y renvoyens le lecteur intéressé. La répartition de la section de la charnière sur toute la largeur de l'aile donne une bande de 5 mm d'épaisseur. Si l'on effectue ce calcul pour les sections des différents types de profilés, on arrive au résultat que les *épaisseurs calculées, c'est-à-dire agissantes sont à peu près les mêmes dans les profilés correspondants des différentes usines.*

A titre de simplification on peut admettre avec une exactitude suffisante que le moment résistant est égal à la section des ailes multipliée par la distance de ces ailes à l'axe neutre.

Dans l'étude et l'estimation d'une palplanche métallique après 50 ou 100 ans ce n'est pas l'épaisseur primitive et son oxydation qui comptent mais uniquement le *moment résistant qui subsiste.*

Une oxydation de 1 mm représente pour *tous* les profilés correspondants la même réduction du moment résistant mais les profilés à faible hauteur sont un peu plus favorables d'après ce que nous venons de dire. La plus forte oxydation possible correspond aux endroits les plus minces de l'âme et se monte peut-être à 8 mm alors que l'épaisseur des ailes est de 13 mm. Lorsque l'oxydation est plus forte encore c'est l'âme de la palplanche qui tombera en ruine. Une oxydation de 8 mm correspond à un *affaiblissement uniforme de* l'aile d'une épaisseur de 8 mm pour toutes les palplanches No. III, qui ont un $W_x = 1600$ cm³. Cela signifie une réduction du moment résistant de 1600 cm³ à $\frac{13-8}{13} = 1600 = 610$ cm³. Une telle réduction de W_x n'entrera cependant que rarement en ligne de compte.

La forte oxydation est limitée en hauteur à la mince bande exposée tantôt à l'air tantôt à l'eau ou se trouve immédiatement au-dessous. Par bonheur, la flexion maxima pour laquelle a été calculée la palplanche se produit dans la plupart des cas, à un endroit situé plus bas que la bande d'oxydation maxima. L'oxydation peut donc produire un fort affaiblissement avant que la paroi soit en danger.

Des mesures très exactes ont montré que l'on peut s'attendre en Europe à une oxydation de 2 mm après 90 ans aux endroits les plus exposés, pour autant que les conditions soient normales (cf. *Agatz,* Publication Préliminaire du IIe Congrès de l'A.I.P.C., p. 1444, à l'embouchure de la Weser, 0,2 mm en 8 années). Même une oxydation plus forte ne parlerait pas contre l'acier mais bien plutôt pour l'acier.

Les voeux adoptés le 7 octobre 1936 lors de la clôture des séances de travail à l'Opéra Kroll, contiennent la phrase suivante, dans la partie consacrée aux

applications de l'acier dans la construction hydraulique: «Les expériences faites jusqu'à ce jour permettent de constater avec satisfaction que la résistance à la rouille de nos palplanches métalliques est plus grande qu'on ne l'avait pensé lors de leur introduction.»

Quand on connaît la valeur minima que peut atteindre W_x aux endroits fortement oxydés, pour une sécurité donnée, on a vite fait de calculer la durée d'une palplanche ou le profil que l'on doit choisir.

Avec le temps, le remblais situé derrière les palplanches se consolide, la *véritable* poussée de la terre décroît et devient nettement plus faible que la poussée *calculée* sur laquelle était basé le projet. On peut donc en toute tranquillité réduire fortement le coefficient de sécurité pour un ouvrage ancien si l'on tient compte des conditions spéciales existantes. On admet par exemple un coefficient de sécurité de 2 ou de 3 pour un ouvrage neuf, parce qu'on ne peut pas prévoir toutes les influences qui agiront dans la suite, parce qu'on ne connaît pas suffisamment le comportement des ouvrages du même genre, parce que l'accroissement de la charge utile est encore inconnu et en général pour être préservé de toute surprise. Toutes ces considérations disparaissent lorsqu'il s'agit d'un ouvrage ancien. C'est sans crainte que l'on peut procéder avec moins de soins pour autant qu'il est possible de contrôler les éléments portants et pour autant que les propriétés du matériau ne varient pas, ce qui est généralement le cas pour l'acier.

La sécurité réside dans la faible contrainte choisie ou tolérée pour l'acier. Le prof. Agatz recommande d'aller jusqu'à la limite du domaine élastique dans les cas clairs de la construction hydraulique. L'acier dépasse toujours les valeurs minima prescrites de la limite d'étirement et de la résistance: on est donc le plus souvent du côté sûr.

D'ailleurs le calcul de la poussée des terres assure une sécurité suffisante lorsque l'on admet une répartition triangulaire de cette poussée et lorsqu'on renonce à limiter par une courbe le prisme agissant. Il est évident que l'on doit choisir avec exactitude l'angle de frottement.

En ce qui concerne l'oxydation elle-même, il nous faut faire une distinction très nette entre l'oxydation apparente et l'oxydation réelle. Souvent on désigne avec erreur par rouille des écailles qui ne sont que des épaisses couches de boue ou d'autre matière collées à la palplanche par l'eau de rouille. De même certains processus électrolytiques peuvent augmenter l'oxydation en certains endroits. L'origine de ces particules de rouille est à chercher tout-à-fait ailleurs dans certains cas. Le *Dr. Ing. Klie* pense que l'huile perdue par les bateaux peut protéger les palplanches dans les parties exposées tantôt à l'air et tantôt à l'eau quoique d'autre part cette huile salisse très désagréablement l'eau des ports. Ce sont là autant de questions qui doivent encore être mises au clair. Dans le fer, cette couche de rouille dont l'épaisseur peut souvent se monter à plusieurs millimètres ne correspond qu'à une réduction de quelques fractions de millimètre de l'épaisseur des palplanches. Si donc on veut observer l'oxydation sur des ouvrages, il faut mesurer l'épaisseur primitive et l'épaisseur restante.

VIIb 6

Tuyaux en acier pour conduites forcées de grand diamètre, sous de hautes pressions intérieures.

Stahlrohre für Druckleitungen mit großem Durchmesser und hohem Innendruck.

Steel Pipes of Large Diameter Subject to Heavy Internal Pressure.

Dr. Ing. h. c. M. Roš,

Professeur à l'Ecole Polytechnique Fédérale et Président de la Direction du Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et Institut de recherches — Industrie, Génie civil, Arts et Métiers — Zurich.

Les mesures de tension et de déformation exécutées au Laboratoire fédéral d'essai des matériaux dans les années 1930—1935, mesures faites jusqu'à l'éclatement des tuyaux sous la pression intérieure, et liées à des examens et à des essais approfondis des conduites elles-mêmes et des matériaux — (Diamètre $D = 1{,}8 - 4{,}6$ m; Hauteur des pressions H jusqu'à 1750 m; Coefficient de capacité $H \cdot D^2 = 1500 - 3000$) —, ont permis d'acquérir de précieuses connaissances en ce qui concerne la répartition des tensions et les déformations et de fixer les degrés de sécurité suivants:

Type	Coefficients de sécurité calculés par rapport		
	à la rupture statique	à l'écoulement	à la fatigue
1. Tuyaux soudés, soudure normale ou hélicoïdale, type „Sulzer" Winterthour			
Acier de qualité normale			
Résistance à la traction $\beta_z = 38—42$ kg/mm²	3,5	2,4	1,6
Acier de qualité supérieure			
Résistance à ta traction $\beta_z = 42—48$ kg/mm²	3,5	2,4	1,4
2. Tuyaux frettés à chaud, type „Ferrum" Katowice			
Résistance à la traction:			
Tuyau $\beta_z \cong 38$ kg/mm²			
Frettes $\beta_z \cong 60$ kg/mm²	3,4	2,3	—
3. Tuyaux étirés à froid, auparavant frettés, type „Autofrettage G. Ferrand", Bouchayer et Viallet, Grenoble			
Résistance à la traction:			
Tuyau $\beta_z \cong 38$ kg/mm²			
Frettes $\beta_z \cong 94$ kg/mm²	3,9	2,0	—
4. Tuyaux frettés de fil d'acier (bobine), type „Monteux" Paris			
Résistance à la traction:			
Tuyau $\beta_z \cong 42$ kg/mm²			
Fil d'acier $\beta_z \cong 197$ kg/mm²	4.5	2,0	—

Les quatre types examinés à fond se font une concurrence technique et économique encore accrue par la soudure hélicoïdale. Chacun a ses avantages techniques et économiques — économie de poids, danger de formation de rouille, entretien, sécurité — qui doivent être évalués dans chaque cas particulier sur la base d'études comparatives exactes.

Dans les cas de formes compliquées — embranchements, collecteurs, conduites d'alimentation des turbines, trous d'homme de grandes dimensions, tubulures, — la mesure seule des tensions et des déformations résultant d'un système de sollicitations suivant plusieurs axes permet de juger avec exactitude la fatigue et la sécurité réelle. L'examen de la formation de la fissuration — lignes d'écoulement — dans les couches superficielles en laque spéciale donne aussi des renseignements précieux. Les essais de fatigue et de photoélasticité permettent d'évaluer l'affaiblissement des pointes de tensions. Le système de tensions et de déformations correspondant à la pression en service ne doit provoquer nulle part l'écoulement. Seule l'application et le perfectionnement de toutes les méthodes d'essais permettent de juger la sécurité effective des conduites forcées.

Leere Seite
Blank page
Page vide