

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

Autor(en): **Dantscher, K.**

Objektyp: **Article**

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

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

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-3113>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

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; on 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 accessoires; 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 dérivi-

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 élévatoires, 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 élévatoires. Dans ce domaine, les entreprises allemandes de construction métallique ont exécuté des ouvrages du plus vif intérêt avec les écluses élévatoires de Henrichsburg 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 substituer 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 disparaît, la partie mobile devient toujours plus grande et la partie fixe disparaît 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 disparaître. 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 déversoirs 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 permis d'augmenter la portée et la hauteur de retenue et de créer de nouveaux types de vannes.

III^o — 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 desséchait; des profondeurs de 5 à 6 m entraînaient 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 coûteux 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 possédant 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.