

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

Band: 2 (1936)

Artikel: Rapport général

Autor: Klöppel, K.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-3111>

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: 27.01.2026

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

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 dégâts 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 palanques 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 atteint 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 tableaux 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 cuivre⁷ (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. Davies: „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, 1^{er} 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 permanente. L'influence de

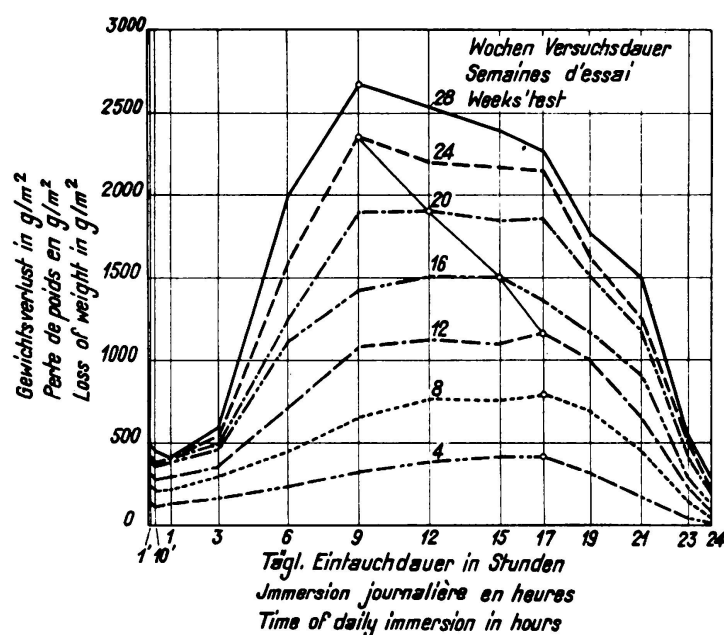


Fig. 1.

Usure par immersion répétée dans l'eau de mer d'un acier doux au carbone.

Changement d'eau toutes les 4 semaines.

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.

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

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

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, démolie 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 développement 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 requises actuellement si de nouvelles conditions devaient compléter 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 favorable aux constructions planes telles que les portes d'écluses. Les constructions soudées sont plus étanches et d'un entretien plus facile parce qu'elles sont 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.