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

Band: 11 (1980)

Artikel: Evolution dans la conception des grands ponts en acier

Autor: Sfintesco, Duiliu

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-11343

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: 15.08.2025

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

VIII

Evolution dans la conception des grands ponts en acier

Tendenzen im Entwerfen grosser Stahlbrücken

Trends in Big Steel Bridge Design

DUILIU SFINTESCO
Dr. Ing. h.c., F. ASCE
Paris, France

RESUME
En passant en revue des exemples récents de divers types de ponts (à poutres caissons, en arc, à béquilles, en treillis, à haubans, suspendus), le rapport fait ressortir les possibilités offertes par l'acier en tant que matériau par excellence approprié à la construction de grands ouvrages.

ZUSAMMENFASSUNG
Anhand kurzer Beschreibungen neuerer Brücken verschiedener Art (Kastenträger-, Bogen-, Fachwerkträger-, seilverspannter und Hängebrücken) werden die vom Stahl als dem bestgeeigneten Werkstoff für Grossbrücken gebotenen Möglichkeiten hervorgehoben.

SUMMARY
By reviewing recent examples of several types of bridges (box girder, arch, truss, cable stayed, suspended bridges), the possibilities offered by the use of steel as best adapted material for big bridges are shown in this paper.

1. INTRODUCTION

L'objet du présent texte est de présenter succinctement quelques aspects marquants de l'évolution actuelle dans la construction des grands ponts, en visant plus particulièrement la conception de ces ouvrages. Cependant, le projet ne pouvant être raisonnablement conçu et compris qu'en envisageant le comportement prévu de l'ouvrage en service ainsi que les diverses phases de sa réalisation, et aussi la façon dont il va répondre aux exigences de toute nature (fonctionnelles, économiques, esthétiques, etc.) qui lui sont imposées, les indications qui suivent ne se limiteront pas aux aspects strictement conceptuels et se référeront d'ailleurs à des exemples concrets.

Mais, traiter de grands ponts, porte en tout premier lieu à considérer le matériau qui est par excellence celui des grands ouvrages de franchissement, celui des grandes portées et des records du monde: *l'acier*. Ce texte est donc consacré aux réalisations dues à l'emploi de ce matériau, qui n'apparaît pas dans le rapport introductif.

Evidemment, il est hors de question de faire un tour qui se veuille plus ou moins complet du sujet dans un cadre aussi limité. Nous nous contenterons donc d'y aligner un choix de remarques, greffées sur des exemples de réalisations et susceptibles de donner une image générale des tendances observées dans la construction des grands ponts en acier.

Précisons d'emblée que, parmi les principaux traits de l'évolution actuelle résultant des progrès techniques incessants, des contraintes économiques de plus en plus sévères et des exigences fonctionnelles toujours croissantes, on constate -d'une part- une nette régression sinon la quasi-disparition de l'emploi d'acier dit "ordinaire", avec une limite d'élasticité de l'ordre de 360 N/mm^2, en faveur d'aciers à haute résistance et souvent résistants à la corrosion et -d'autre part- une progression des systèmes constructifs fondés sur des calculs élaborés et conduisant à des ouvrages relativement légers,avec des procédés judicieux, donc économiques, de fabrication et de montage.

On constate donc la nette prédominance de la recherche de formes structurales les plus efficaces, dans lesquelles les fonctions de résistance aux diverses actions ne sont plus attribuées séparément à des éléments structuraux spécialisés (poutres maîtresses, entretoisements, contreventements, etc.), mais à l'ensemble de l'ouvrage, dont les parties constitutives sont traitées comme solidairement multi-fonctionnelles.

Cette façon de concevoir les structures est maintenant possible grâce à l'emploi des ordinateurs, qui permet de mettre en application des méthodes d'analyse très élaborées, autrefois impratiquables, tandis que les méthodes classiques de calcul -plus simples, mais conduisant à des ouvrages plus lourds et moins économiques- ont pratiquement disparu. Cette évolution est particulièrement avancée dans le domaine des ponts en acier, où la précision qualitative et dimensionnelle et la clarté du cheminement des sollicitations justifient pleinement les efforts déployés dans ce sens.

L'évolution des grands ponts en acier est marquée, comme elle l'a toujours été, par une poussée constante des performances, y compris des records dans chaque type d'ouvrages. Dans ce qui suit, nous en donnons quelques aperçus.

2. PONTS A CAISSONS

Depuis la spectaculaire construction du pont de Düsseldorf-Neuss en 1952, la

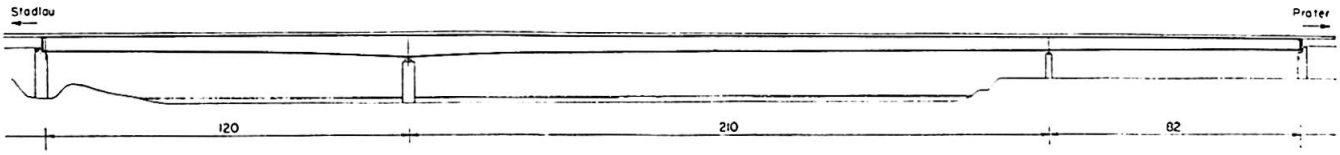
construction des ponts à poutres caissons continues, favorisée notamment par les développements des réseaux d'autoroutes, a connu un grand essor dans le monde pour les ouvrages de moyenne portée, comme en témoignent les nombreux ponts de ce type réalisés depuis.

Ces ponts comportent, dans la plupart des cas, soit -comme pour celui de Düsseldorf-Neuss- deux caissons parallèles solidarisés par des entretoisements, ou un caisson unique avec ou sans encorbellements latéraux. Ils sont caractérisés par une grande rigidité torsionnelle due à la forme "en tube" de la structure portante, mais aussi -du fait des grands élancements d'ensemble ainsi rendus possibles- par l'élégance de leur silhouette répondant aux ambitions esthétiques les plus hardies.

Cependant, les proportions adoptées dans certains ouvrages des années 60 avaient quelque peu devancé le progrès des connaissances approfondies nécessaires pour une analyse précise de la stabilité des systèmes porteurs à âmes minces, ce qui a permis l'apparition de quelques (en fait, quatre) incidents, qui ont eu le mérite de mettre en branle l'attention des chercheurs et les moyens de divers laboratoires. Les études théoriques et expérimentales très poussées ainsi effectuées sur la stabilité post-critique au voilement des âmes, compte tenu des imperfections inévitables, et conjointement sur les systèmes de raidissage, ont permis de combler cette lacune, au point que l'étude et la réalisation d'un tel ouvrage sont devenues des opérations quasi-classiques entre les mains des projeteurs et constructeurs avertis.

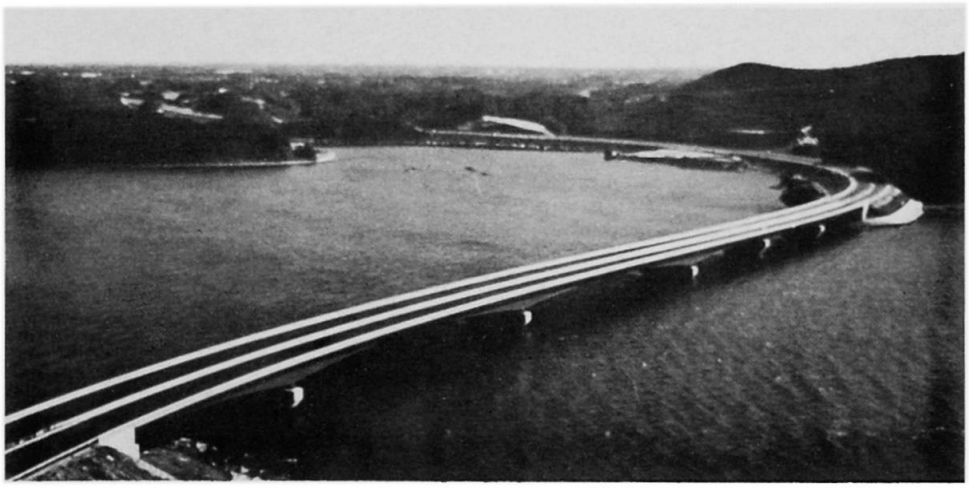
Parmi les nombreux ponts à poutres caissons que l'on pourrait citer, nous en avons choisi les exemples suivants:

Le pont du *Prater* sur le Danube à Vienne, pont à trois travées de 120+210+82 m et avec une largeur totale du tablier de 31,88 m sur deux caissons de 7,56 m de largeur et de hauteur variable, résultant en une élégante sobriété de lignes.



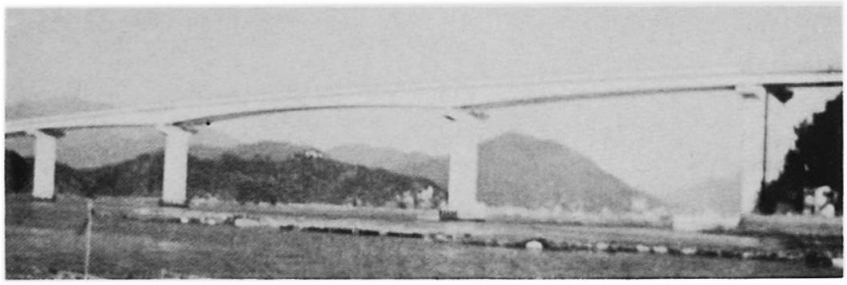
Pont du Prater

Le pont de *Hamanako*, au Japon, est à quatre travées de 80+140+140+80 m avec deux caissons de hauteur variable (H_{max} = 6 m, H_{min} = 3 m), résultant en un profil très élancé, souligné par une couleur vive tranchant sur le paysage sans toutefois le contrarier.



Pont de Hamanako

La même recherche de beauté se retrouve dans le pont d'*Hiroshima*, à trois travées de 100+150+100 m de portée avec deux caissons de hauteur variable à profil parabolique en travée centrale et demi-parabolique en travées de rive, avec H_{max}= 6,30 m et H_{min}= 3,20 m. L'ouvrage, peint en blanc, se détache élégamment dans l'environnement marin où il est situé.



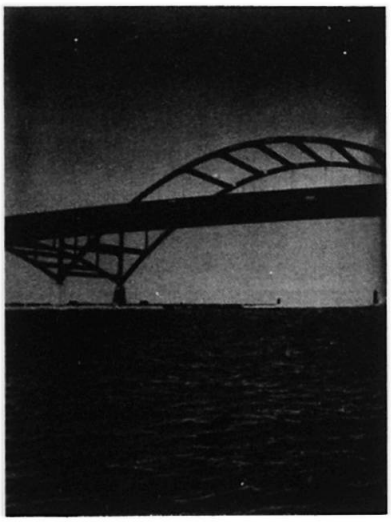
Pont d'Hiroshima

Notre quatrième et dernier exemple du genre est le pont de *Floridsdorf* sur le Danube, à Vienne. De construction techniquement tout aussi "classique" et de forme tout aussi élégante que les précédents, il se distingue par la remarquable rapidité de son exécution. En effet, appelé à remplacer un pont accidenté sur une voie de trafic intense, ce pont à trois travées de 82,5+167,5+82,5 m comportant deux chaussées à deux files de voitures, deux voies de tramway et des pistes cyclables et piétonnes, a été réalisé (travaux de génie civil et fabrication et montage de la structure métallique compris) dans le temps record de 18 mois depuis l'adjudication et jusqu'à la mise en service, ce qui est à peine la moitié d'un délai habituel pour un tel ouvrage.

Cet exemple démontre la faculté particulière de la construction en acier de répondre à des contraintes très sévères de délais, pour faire face à des situations exceptionnelles.

3. PONTS EN ARC

Nous avons choisi, pour illustrer le caractère de ce type de ponts, hors d'Europe des exemples d'ouvrages de portée moyenne par rapport aux records qui dépassent les 500 m. Ils assurent avantageusement des franchissements où la topographie et la géologie du lieu s'y prêtent, mais exigent des procédés particuliers de montage, plus laborieux que ceux des ponts à poutres droites.



Pont de Milwaukee

Le pont de *Milwaukee*, franchissant les eaux des rivières Milwaukee et Kinnickinnic avant leur embouchure dans le Lac Michigan, avec une hauteur libre de 36,6 m au dessus du plan d'eau, permet le passage de navires de haute mer.

Des études comparatives de plusieurs types de ponts sur le plan technique et architectural ont conduit au choix de la formule d'arc sous-tendu, la tension dans le tablier situé à mi-hauteur de l'arc annullant la poussée horizontale sur les piles, ce qui s'imposait du fait de la faible résistance du sol.

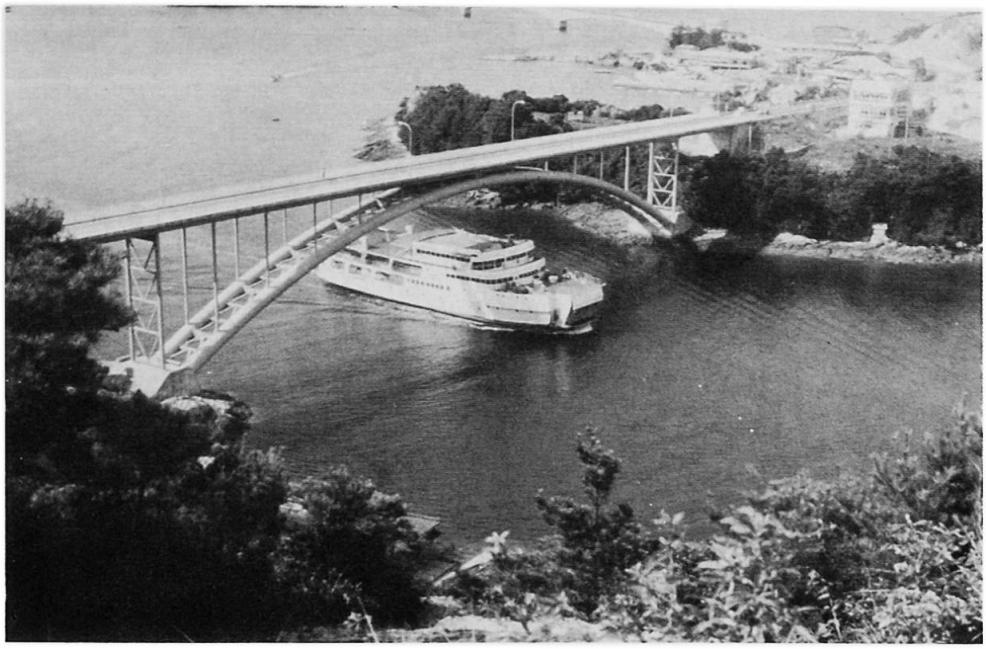
La structure de l'arc est en caisson étanche, non peint à l'intérieur et raidi par des nervures en Vierendeel.

La coloration en bleu du tablier et en teinte or du reste de la structure témoigne de la recherche esthé-

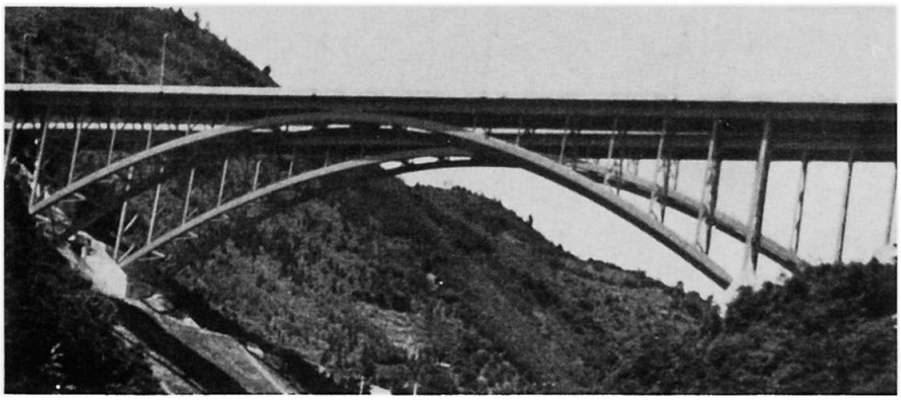
tique qui a déja joué dans le choix du type d'ouvrage.

Les ponts en arc à tablier supérieur de *Matsushima* et de *Minasegawa*, placés en des sites particulièrement pittoresques du Japon, sont conçus en harmonie avec leur environnement, dont ils constituent maintenant un élément positif.

Le premier est en construction tubulaire -arcs, contreventements en K et montants tout en tubes ronds- et rappelle le beau pont suédois d'Askeröfjord. Le second est en caissons carrés. Tous deux peints en une teinte rouge et munis de garde-corps en aluminium qui ajoutent à leur élégance, ils témoignent de la prédilection japonaise pour les jeux de couleurs.



Pont de Matsushima



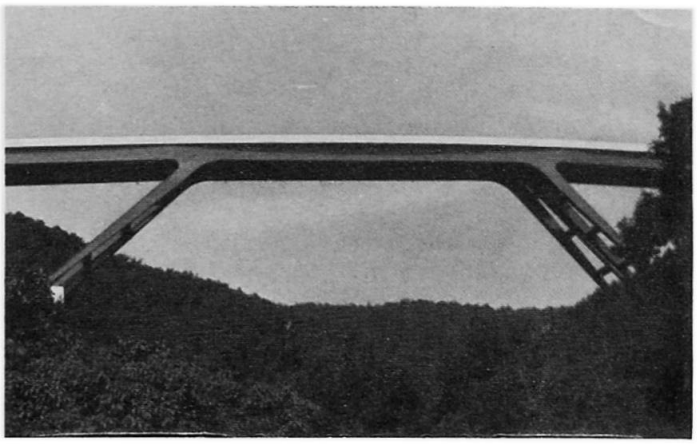
Pont de Minasegawa

4. PONTS A BEQUILLES

Lorsqu'il s'agit de franchir une vallée dont le profil incite à l'adoption de ce type de pont, et même en profil non accidenté mais à condition de bénéficier d'une certaine hauteur de libre passage en dessous, il peut être avantageux de recourir à un pont à béquilles, système qui s'apparente à la fois au pont en arc et au pont à poutres continues et qui permet géométriquement d'enjamber une largeur libre de passage bien plus grande que la travée centrale du tablier.

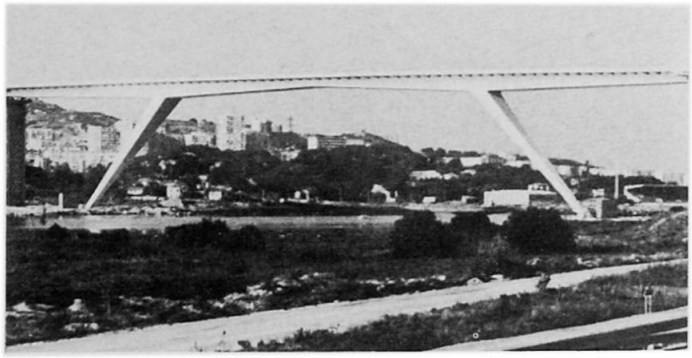
C'est le cas, à titre d'exemple, du pont de *Yuyadani* au Japon, de dimensions bien plus modestes que le très beau Pont Grande Duchesse Charlotte à Luxembourg, mais qui en rappelle les proportions.

Les portées du tablier sont de 50+60+50 m. Une particularité de ce pont est son tracé courbe, inhabituel pour ce type d'ouvrage.



Pont de Yuyadani →

C'est aussi le cas du Viaduc de *Martigues* sur la passe navigable de Caronte, de la Méditerrannée à l'étang de Berre. La partie centrale du viaduc est à trois travées de 85+130+85 m mais, du fait du système à béquilles, correspond à un passage libre de 210 m de largeur au niveau du plan d'eau.



Viaduc de Martigues

L'adjudication de cet ouvrage métallique a eu lieu par compétition avec le béton précontraint, qui toutefois était retenu pour les viaducs d'accès, à travées de 45 m de portée.

5. PONTS EN TREILLIS

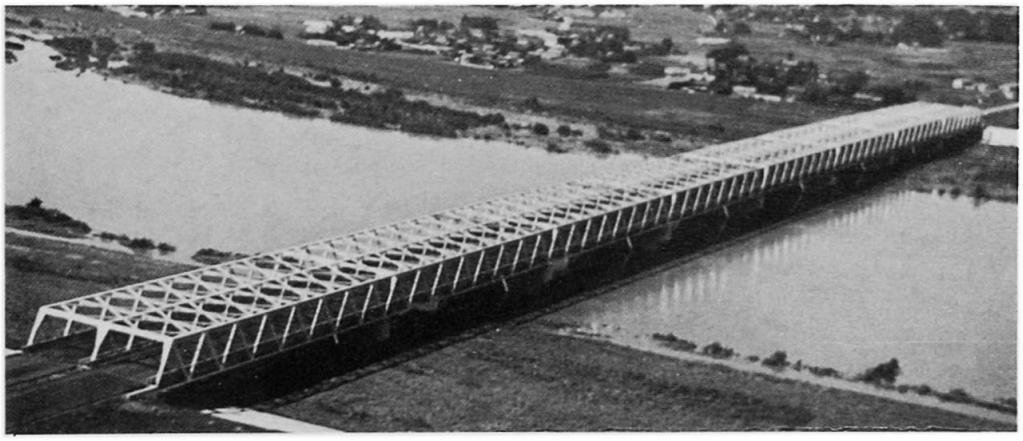
Le pont en treillis, qui fut jusqu'à ces derniers temps la formule quasi universelle, ou tout au moins largement prédominante pour les moyennes portées et même au delà, a été presque totalement abandonné dans les projets d'Europe occidentale, en raison de son coût de fabrication et d'entretien, mais aussi comme non conforme aux canons des exigences esthétiques modernes. Il est cependant intéressant de constater qu'en Amérique et au Japon ce type d'ouvrages continue à figurer dans les programmes et a donné lieu, encore tout récemment, à de remarquables réalisations.

Vu dans l'optique traditionnelle, le calcul des ponts à treillis apparaît comme relativement simple, mais on ne peut ignorer qu'il comporte des problèmes non résolus, notamment la détermination des longueurs de flambement des barres, qui rend illusoire la précision voulue des calculs.

Quant aux considérations économiques et esthétiques, la comparaison des poids d'acier mis en oeuvre et de l'aspect, par exemple, des deux ponts du Firth of Forth à 80 ans d'intervalle ou, plus proches, du Pont Severin à Cologne et de l'ouvrage détruit qu'il a remplacé, en constitue une démonstration parlante.

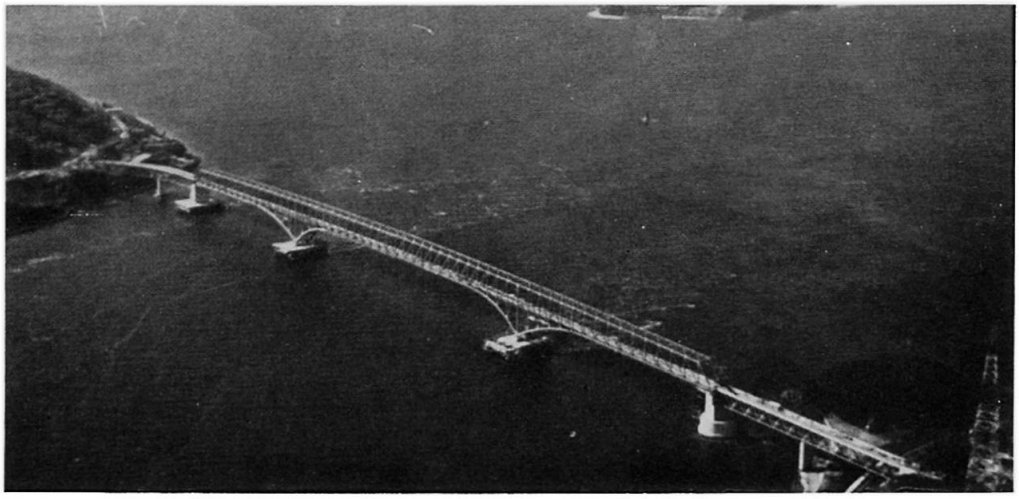
Cela n'entache cependant pas les mérites des exemples que nous allons considérer ci-après, trois ponts japonais.

La structure du pont de *Tonegawa* comporte trois poutres maîtresses à treillis en V, continues sur quatre travées de 80 m et de hauteur constante, avec contreventement supérieur et tablier inférieur, donnant passage à une autoroute à trois voies dans chaque sens.

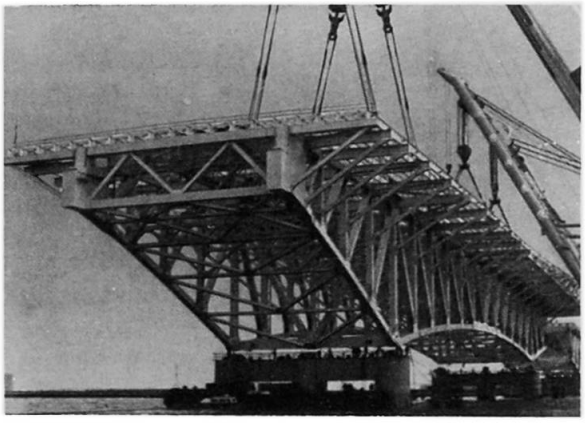


Pont de Tonegawa

Le pont de *Ohshima*, à poutres continues sur trois travées de 200+325+200 m avec treillis en N, n'atteint pas le record mondial de portée détenu par le pont Astoria (aux U.S.A.), mais se place en second après celui ci. Il est relativement étroit, le tablier inférieur étant prévu pour 2 files de voitures (6,5 m) et un trottoir (1,5 m) et il est peint en vert pâle, pour s'accorder avec le paysage. Le tablier est en béton léger, armé.



Pont de Ohshima



Pont d'Arakawa

Sur l'autoroute de ceinture de la Baie de Tokyo, on construit actuellement un pont à treillis de 840 m de long: le pont d'*Arakawa*, franchissant la rivière du même nom à son embouchure. Sa structure est du type à cantilever, constituée à 70% en acier autopatinable résistant à la corrosion, sur le total de 20000 t mis en oeuvre.

La structure, fabriquée en atelier en 7 tronçons entièrement soudés, est ainsi apportée à pied d'oeuvre et assemblée par boulons HR.

6. PONTS A HAUBANS

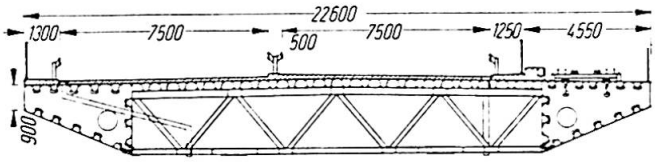
La construction moderne de ponts à haubans, spectaculairement inaugurée par celle du pont de Düsseldorf Nord sur le Rhin avec ses portées de 108+260+108 m, a connu un essor considérable au cours des dernières années, ce système s'étant révélé techniquement et économiquement intéressant. En effet, le fractionnement des portées, dû au haubanage, conduit à des ouvrages relativement légers. Cette légèreté, ainsi que son incidence sur le parti de génie civil, influent favorablement sur l'économie d'un tel projet. Accessoirement, les haubans peuvent être utilisés pour les opérations de montage.

Afin de dégager les tendances actuelles, nous présentons quelques exemples illustrant différentes versions de ce type d'ouvrages.

Le pont de *Steyregger* sur le Danube, en Autriche, à trois travées de 80+161+50 m, est muni d'un pylône métallique en A transversal de 44 m portant, sur selle, deux nappes inclinées de 15 haubans de 69 mmΦ disposés en éventail. Le tablier est mixte, à dalle de béton sur grille de poutres en acier avec 4 poutres maîtresses continues. L'effort collaborant de la dalle sur toute la longueur est réalisé par dénivellation des appuis d'extrémité, par soulèvement des appuis sur selle et finalement par réglage individuel des douilles sur les haubans.

Le calcul du système porteur hautement hyperstatique, avec prise en compte des phases de montage et de bétonnage et des multiples actions prévues en service, a été rendu possible par combinaison de plusieurs programmes sur ordinateur.

Deux ponts pratiquement identiques, construits à *Zárate* (Argentine) traversant les deux bras du Paranà à son embouchure, comportent un tablier constitué de deux caissons trapézoïdaux de 3,90 m de largeur, reliés par une dalle orthotrope de 15,8 m de largeur et entretoisés par des diaphragmes à âme pleine et des treillis en K.



Section transversale du tablier

Deux pylônes en béton supportent des nappes verticales de haubans disposés en éventail, préalablement confectionnés en atelier (procédé sans précédent pour un tel ouvrage, dans ces dimensions).

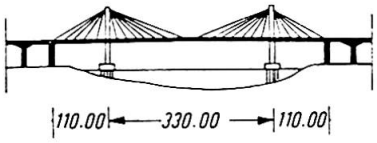


Schéma longitudinal

Le revêtement de la dalle est en béton, pour des raisons locales (climat sec, prix de revient) et sert de ballast pour cette structure par ailleurs très légère, sensible aux actions du vent. Dans l'étude de stabilité torsionnelle il a été tenu compte d'une forte dissymétrie due à la présence d'une voie de tramway sur un côté du tablier.

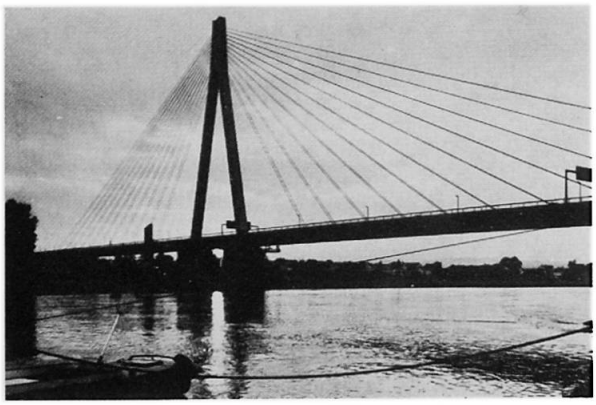
Le pont de *Saint-Nazaire* sur la Loire détient, avec sa travée centrale de 404 m, le record mondial de portée.

Pont de Saint-Nazaire

Le tablier est en caisson métallique, d'une largeur de 15 m. Deux pylônes métalliques en A, à cheval sur le tablier, supportent chacun deux nappes de haubans toronnés, de 72 à 105 mm$^{\phi}$, ancrés sur les pylônes (sans selle de passage). Compte tenu du grand élancement latéral du tablier, une étude spéciale sur les effets du vent a été effectuée. Elle a conduit au choix d'un profil aérodynamique et à l'installation de déflecteurs judicieusement placés.

Le choix du système à haubans, plutôt que d'un pont suspendu, a été imposé par la quasi-impossibilité de placer des culées d'équilibrage en plein milieu d'un large estuaire.

A la différence des exemples précédents, le pont français de *Raiffeisen* sur le Rhin, en Allemagne, comporte un seul pylône métallique médian en A, de 88 m, portant une seule nappe verticale de 44 haubans de 108 à 118 mm disposés en éventail dans le plan axial du pont. Le tablier, continu, est encastré sur la travée centrale de 38,40 m située sur un terre-plein entre les deux bras du fleuve, enjambés par les travées de rive avec des portées de 235 et 212 m. Il est constitué d'un caisson symétrique à 4 âmes (écartement 5,55-3,50-5,55 m) avec des encorbellements de 10 m sur chaque côté, le tout portant deux chaussées de 10,75 m et deux trottoirs de 3,5 et 4,5 m.



Pont de Raiffeisen

Ce pont étant destiné à remplacer un autre, devenu impropre au service exigé, devait être construit sans interrompre la circulation routière et sans gêner la navigation. Cette contrainte a été satisfaite par montage à côté de l'ancien ouvrage et ripage sur les têtes de piles. Cette dernière opération (déplacement latéral de 16,25 m de la structure de 12000 t) s'est effectuée sans incident en 54 heures, limitant ainsi à l'extrême la gêne de la circulation.

Remarque générale.

L'emploi du système à haubans est en progression. On peut noter, par exemple, les projets japonais des deux ponts identiques de *Hitsuishijima* et *Igurojima* (portées: 185+420+185 m) et celui du port de *Yokohama* (portées: 200+460+200 m) dont la construction est imminente et qui prendront donc successivement le relais du record détenu par le pont de Saint-Nazaire. Mais dans les conditions actuelles rien n'empêche de viser plus loin, vers des portées de 500 à 600 m.

7. PONTS SUSPENDUS

Le pont suspendu, structure par excellence des ouvrages de grande et très grande portée, connaît un développement continu, répondant aux nécessités toujours croissantes du trafic traversant les grandes brèches, dans les diverses parties du monde. Ce type de ponts n'a jamais cessé de détenir le record absolu de portée, jamais dépassé que par un ouvrage du même type, comme c'est le cas encore aujourd'hui, où le record mondial de 1300 m du pont sur le détroit de Verrazano est en train de céder cet honneur au pont en construction sur le Humber, en Grande Bretagne, avec sa portée de 1410 m et sa poutre de rigidité de 4,50 m de hauteur, approchant ainsi la prédiction de John Roebling faite il y a plus d'un siècle: "the one-mile span". Cette progression n'est, de toute évidence, nullement finie et ce sont des considérations économiques et de conjoncture -et non techniques- qui arrêtent des projets tels que, par exemple,

celui du franchissement du détroit de Messine, pour lequel on n'a pas hésité à envisager une portée maximale allant, selon les diverses solutions proposées, de 1700 à 3000 m.

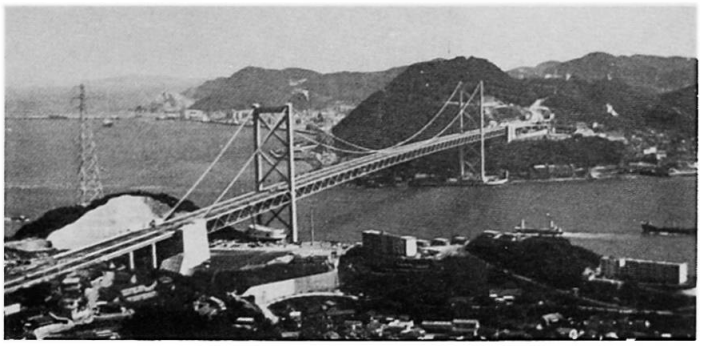
Des preuves, s'il en fallait, de la complexité des bases économiques et financières indispensables pour la réalisation d'ouvrages de cette importance sont amplement fournies par l'histoire des adjudications de divers grands ponts suspendus, au cours des deux dernières décennies.

Des considérations du même ordre, mais dans un contexte plus favorable et associées au besoin impérieux d'assurer des liaisons efficaces entre les principales îles du Japon, ont conduit à un prestigieux ensemble d'ouvrages de grande portée -évidemment en acier- qui est en cours de réalisation. C'est dans cet ensemble que se situent, entre beaucoup d'autres, les ponts suspendus suivants:

- le pont de *Kanmon*, avec une travée centrale de 712 m
- le pont de *In-no-Shima*, " " " " " 770 m
- le pont de *Ohnaruto*, " " " " " 876 m

ainsi que les projets en cours de réalisation suivants:

- trois ponts suspendus avec des portées de 940, 990 et 1100 m sur le trajet *Kojima-Sakaide* et
- le pont d'*Akashi* avec une portée de 1514 m.



Pont de Kanmon

Tous ces ouvrages sont placés dans des sites particulièrement difficiles, en raison des conditions météorologiques (typhons) et sismiques et de très forts courants marins. Ils ont donc dû faire l'objet d'études extrêmement complexes.

8. REMARQUE FINALE

Le cadre de cet exposé ne permettant pas de nous étendre sur des considérations générales, nous laissons au lecteur le soin de tirer les conclusions qui, de toute évidence, s'imposent d'elles-mêmes sur le rôle de l'acier dans la construction des grands ponts.

9. BIBLIOGRAPHIE

1. Droin, J.C. et Corbière, G.: Le Viaduc de Martigues - CFEM, Paris,
2. Heckel, R.: Die Floridsdorfer Donaubrücke in Wien -
3. Leonhardt, F. et al.: Zwei Schrägseilbrücken über den Rio Paranà - Der Stahlbau, 8/1979, Berlin.
4. Müller, Th.: Die Steyregger Brücke in Linz -
5. n.n.: Le Pont de Saint-Nazaire Saint-Brévent - CFEM, Paris, 1974
6. n.n.: Documents divers communiqués par MM. K. Miyamoto (Nihon Doro Kodan, Tokyo), M. Sasado (Technological University, Nagaoka), J. Tajima (Honshu Shikoku Bridge Authority, Tokyo), Y. Uyemae (Metropolitan Expressway Corporation, Tokyo).