

Les ponts en acier de faible portée

par St. Bryla,

Professeur à l'Ecole Polytechnique de Varsovie

Par raison d'économie, c'est au bois que l'on a eu généralement recours pour la reconstruction des ponts-routes de faible portée en Pologne, après la guerre. Actuellement on remplace graduellement ces ponts en bois par des ouvrages permanents soit en acier, soit en béton armé.

On réalisera le maximum d'économie dans la construction des ponts en acier :

1° En développant de plus en plus l'emploi de la soudure, dont les applications ne devront pas être restreintes aux assemblages faits en atelier, mais devront être étendues aux assemblages de montage effectués sur le chantier ;

2° En révisant les prescriptions officielles, notamment en ce qui concerne les tensions admissibles, qui sont beaucoup trop faibles pour l'acier comparativement à celles admises pour le béton armé ;

3° En étudiant les types de construction les mieux appropriés à chaque cas d'application : poutres soudées, poutrelles ou poutres enrobées, ponts en arc, ponts suspendus ;

4° En standardisant les types de ponts métalliques et notamment les types de ponts soudés.

STEEL BRIDGES OF SMALL SPAN

by St. Bryla, Professor at the Polytechnical School of Warsaw

By reason of economy most of the bridges of small span which have been rebuilt in Poland after the war are of wooden construction. These wooden bridges are now gradually being replaced by permanent constructions either in steel or in concrete.

Maximum economy in steel bridges will be attained :

1° By developing the use of welding not only for shop joints but also for erection joints to be made in the field ;

2° By revising the existing official regulations, particularly regarding the allowable stresses, which are much too conservative for steel as compared with the stresses allowed in reinforced concrete ;

3° By trying to find out in each particular case the most appropriate type of construction : welded plate-girders, joists or beams encased in concrete, arch bridges, suspension bridges ;

4° By standardizing the types of steel bridges, especially the types of welded bridges.

STAHLBRÜCKEN KLEINER STÜTZWEITEN

von St. Bryla, Professor an der Technischen Hochschule in Warschau

Nach dem Weltkrieg wurden in Polen aus wirtschaftlichen Gründen die Strassenbrücken kleinerer Stützweiten gewöhnlich aus Holz wiederaufgebaut. Heute werden diese Holzbrücken allmählich durch ständige Stahl- oder Eisenbetonbauten ersetzt.

Die höchste Wirtschaftlichkeit im Stahlbrückenbau erreicht man :

1° Durch den stetig wachsenden Gebrauch des Schweissverfahrens, dessen Anwendung nicht nur den Verbindungen in der Werkstatt, sondern ebenfalls den Anschlüssen auf der Baustelle selbst angepasst werden muss ;

2° Durch die Neugestaltung der amtlichen Vorschriften, unter ganz besonderer Berücksichtigung der zulässigen Spannungen, die, im Vergleich zum Eisenbeton viel zu schwach angesetzt sind ;

3° Durch das Studium der sich in jeglichem Falle am besten eignenden Ausführung : geschweisste Träger, einbetonierte Walzträger, Bogenbrücken, Hängebrücken ;

4° Durch die Normung der Stahlbrückenbauweise und im besondern der geschweissten Stahlbrücken.

Le développement économique des divers pays a suivi et continue à suivre différentes directions.

Il est facile de le constater dans tous les domaines de la technique, y compris dans la construction des ponts. Considérons le cas particulier des ponts

de faible portée. Cette dénomination se rapporte avant tout à la portée des ponts, mais aussi, jusqu'à un certain degré, au genre et à la méthode de construction. La portée des ponts que nous prenons ici en considération est de 30 à 50 mètres



Construisez en acier!

Dans la construction des ponts, on peut se servir de divers matériaux dont le choix dépend de l'orientation du développement économique de chaque pays. En France, en Italie et dernièrement aussi en Angleterre, nous voyons se répandre l'emploi du béton armé; en Allemagne, c'est l'acier qui domine; mais, dans aucun de ces pays, nous ne voyons presque figurer le bois comme matériau de construction. La position de la Pologne était très différente. Dans la partie de la Pologne qui se trouvait avant la guerre sous la domination de la Russie, les voies de communication, et notamment les routes et les ponts, étaient systématiquement maintenus dans l'état le plus primitif; puis ce fut la guerre qui ravagea à plusieurs reprises le pays, semant partout la destruction et appauvrissant encore un pays, qui n'était déjà pas riche. Il n'est donc pas étonnant que, surtout au cours des premières années qui suivirent la guerre, on dut se servir pour l'œuvre de reconstruction des moyens les plus économiques. C'est la raison pour laquelle la majeure partie de nos ponts, et notamment les ponts-routes, furent construits en bois. Seuls les ponts jetés sur des fleuves plus importants, ayant donc une plus grande portée, furent construits, à titre définitif, soit en acier, soit en béton armé. Dans la suite, surtout pendant la période de pleine prospérité économique, l'on se mit à reconstruire en matériaux durables les ponts à faible portée. Actuellement, la crise économique a ralenti le rythme de ces travaux, mais on n'a pas cessé cependant de remplacer les ponts en bois par des ponts permanents.

Comme on le voit, le problème de la construction des ponts de faible portée se présente en Pologne sous un aspect différent de son aspect dans les autres pays de l'Europe Occidentale. Tandis que dans ces derniers, c'est une question de choix entre l'acier et le béton armé, en Pologne, c'est une question de choix entre un pont en bois ou un pont permanent et ce n'est qu'ensuite que l'on a à décider du choix entre le béton et l'acier.

Tout le monde se rend parfaitement compte de l'infériorité que présentent, sous tous les rapports, les ponts en bois; mais les frais de construction, plusieurs fois moins élevés que ceux des ponts en acier, jouent un rôle très important. Afin de favoriser le développement des ponts permanents, il faut donc avant tout abaisser leur prix de construction. Notons d'autre part que les ponts en béton armé demandent très peu de dépenses d'en-

Minimum d'encombrement

retien. Il faut donc en outre que le prix des ponts en acier soit moindre que celui des ponts en béton.

Dans notre pays, le ciment est comparativement bon marché, tandis que l'acier est plutôt cher. Dans ces conditions, les ponts de petite portée ne se font d'habitude pas en acier. Il faut donc arriver à ce que la construction en acier soit plus légère qu'elle ne l'est actuellement et cela dans une assez large proportion. En effet, dans nos conditions économiques, c'est le poids de l'acier qui influe sur le prix de la construction, plutôt que l'importance de la main-d'œuvre.

On réalisera une importante réduction de poids en employant la soudure, en augmentant les tensions admissibles et en faisant choix d'un système de construction approprié.

Le prix unitaire des constructions soudées diffère, il est vrai, dans les différents pays; il est parfois plus bas, parfois plus élevé que celui des constructions rivées. Cependant, grâce à la simplicité de leur exécution, les constructions soudées parviendront tôt ou tard à l'emporter partout sur les constructions rivées. Cette tendance apparaît nettement, et le prix unitaire des constructions soudées pourra devenir plus faible ou tout au plus égal, dans certains cas spéciaux, à celui des constructions rivées. En outre le poids des constructions soudées est toujours inférieur à celui des constructions rivées: la différence est de 15 à 25 %. Actuellement, en Pologne, les constructions soudées sont plus économiques que les constructions rivées, mais la différence de prix n'est pas aussi sensible, mais elle augmente chaque année. La propagation de la soudure à la place du rivetage constitue l'une des premières conditions de l'emploi de l'acier dans la construction des ponts de faible portée.

Je désire faire remarquer également que l'emploi de la soudure à l'atelier et du rivetage sur le chantier, pour des raisons d'économie mal comprises, ne peut pas donner de bons résultats. L'avantage de la soudure ne se réduit pas uniquement à une économie réalisée sur les assemblages et les sections des barres rivées: la soudure crée en outre une possibilité d'encastrement ou de continuité des poutres et une possibilité de coopération de tous les éléments du pont. Si même les frais de main-d'œuvre des travaux de rivetage sont moins élevés, un calcul rationnel du pont, tenant compte de tous les facteurs précités, montre qu'en définitive, le rivetage au chantier ne fait qu'augmenter le prix de la construction. C'est



Sauvegardez l'avenir

là une règle générale et seuls les assemblages des contreventements transversaux y font exception ; ils ne jouent d'ailleurs aucun rôle au moment de l'action d'une charge utile.

D'autre part, il est certain qu'avec le perfectionnement des méthodes dont on dispose aujourd'hui, les assemblages soudés peuvent être exécutés sur chantier tout aussi bien que ceux réalisés à l'atelier.

Le second facteur jouant un rôle important dans le développement des ponts en acier est la révision nécessaire des prescriptions limitant les tensions maxima admissibles. Les tensions admises pour le béton sont comparativement plus grandes que celles qui sont prescrites pour l'acier. Si l'on admet pour le béton une tension s'élevant au tiers de sa résistance de rupture, les tensions pour l'acier devraient être augmentées par rapport à celles qui sont actuellement obligatoires et qui correspondent, elles aussi, au tiers de la résistance de l'acier. En effet, grâce à la méthode de sa fabrication, l'acier est un matériau beaucoup plus uniforme et d'une qualité plus certaine que le béton. Le coefficient de sécurité doit donc être diminué. On devrait également, en principe, soumettre à une révision la règle qui consiste à faire dépendre les tensions de la destination de la construction, et introduire plutôt dans le calcul un coefficient dynamique. En soumettant à une révision ces prescriptions, on ne doit pas négliger la possibilité de baser le calcul sur les qualités de ductilité du matériau. Dans certains systèmes de construction, par exemple dans les poutres continues, on peut réaliser, grâce à la ductilité, une grande économie. Les dernières expériences de Paton à Kieff ont fourni de précieuses informations à cet égard.

La question du choix du système de construction joue toujours un rôle important, moins important cependant lorsqu'il s'agit de ponts de faible portée où les solutions possibles sont limitées, d'habitude, à la poutre librement appuyée ou à la poutre continue. La poutre librement appuyée est la moins économique mais la plus facile à calculer, aussi l'emploie-t-on le plus volontiers dans la construction des ponts de faible portée. C'est elle pourtant qui supporte le moins bien la concurrence avec d'autres matériaux, comme par exemple le béton armé. Ces poutres peuvent être enrobées ou non de béton.

La construction de ponts de faible portée ouvre de larges perspectives d'emploi aux poutrelles enrobées. Leur résistance est beaucoup plus grande

Construisez en acier!

que celles des poutrelles non enrobées, car le béton les préserve contre le flambement horizontal de l'aile comprimée et contre un écrasement local au point d'action d'une charge concentrée ; pour un même coefficient de sécurité, la résistance des poutrelles enrobées est considérablement augmentée. Nous basant sur les expériences de Baes, dont les conclusions ont été publiées dans *L'Ossature Métallique* (1), nous pouvons admettre que la tension admise pour les poutrelles enrobées peut être de 33 % supérieure à celle admise pour les poutrelles non enrobées. Les constructions en poutrelles enrobées présentent encore un autre avantage, c'est de ne pas exiger les mêmes soins d'entretien que les poutrelles non enrobées ; enfin, tous les contreventements transversaux peuvent être beaucoup plus petits. Contrairement aux ouvrages en béton armé, ce genre de construction ne requiert presque pas d'échafaudage, ce qui diminue considérablement le temps nécessaire pour l'exécution. On peut aussi employer de la même façon des rails de chemin de fer pour des portées plus faibles ; dans ce cas, on trouvera généralement qu'il est plus avantageux de constituer l'enrobage sous forme d'une dalle pleine plutôt que sous forme d'une dalle nervurée : il en est également ainsi pour les poutrelles jusqu'à une certaine portée.

Les poutrelles non enrobées sont moins avantageuses ; l'emploi de la soudure facilitera néanmoins leur utilisation dans bien des cas, notamment par l'addition de semelles aux ailes, ce qui était impossible à obtenir ou trop coûteux au moyen du rivetage, ou bien encore par la pose de raidisseurs d'âme soudés, ou enfin en augmentant la hauteur des poutrelles en les coupant et en intercalant un élément de tôle. (Ce moyen peut être pratiqué surtout avec les poutres continues si la ductilité de l'acier n'a pas été prise en considération dans le calcul.)

Les poutres composées à âmes pleines sont employées dans le cas des grandes portées. Dans le cas de constructions de faible hauteur, elles sont moins avantageuses que les poutrelles renforcées par des semelles. Pour les grandes portées, les poutres à âme pleine sont peu esthétiques, surtout dans le cas d'une travée unique. Seules les poutres continues ont une apparence esthétique ; elles sont même employées, surtout en Allemagne, pour des portées dépassant 60 mètres. Ici la soudure ne donne pas lieu à une économie aussi

(1) Poutrelles métalliques enrobées, par LOUIS BAEES, *L'Ossature Métallique*, n° 1, 1933, pp. 1-16.



Maximum de sécurité

importante que dans les constructions en treillis. On ne gagne qu'environ 10 à 12 % sur le poids ; par contre le travail est très simplifié. Ce système de construction sera économique en employant des poutres transversales appropriées qui permettront une collaboration de toutes les maîtresses-poutres, lorsque le nombre de celles-ci est supérieur à deux. Il serait utile de consacrer plus d'attention à ce type de construction.

On peut aussi avoir affaire à des constructions où le tablier en béton armé est fixé aux maîtresses-poutres de telle façon que celles-ci peuvent être considérées comme solidaires les unes des autres : le tablier travaille en compression, la poutre en acier en traction (exactement comme des poutres en béton armées en traction, réunies par une dalle comprimée). Cependant, un pont de ce type que j'avais projeté pour la ville de Rowno n'a pas donné l'économie espérée.

Dans cet exposé succinct, je ne décrirai point les ponts en treillis et ne les comparerai pas aux ponts à âmes pleines. Il y aura cependant souvent lieu de faire emploi de ces systèmes de construction pour de petites portées, surtout en construction soudée. Les poutres en treillis ont le même caractère statique que les poutres composées et la question du choix entre un type ou l'autre dépendra en premier lieu du prix du matériau et des frais de main-d'œuvre.

Par contre, il faut consacrer plus d'attention aux ponts en arcs et aux ponts suspendus. On ne les emploie pas en général dans des ponts de faible portée, néanmoins leur usage peut contribuer puissamment à développer l'usage de l'acier pour la construction de ces ponts. Les ponts en arcs sont surtout avantageux dans les régions montagneuses, là où le terrain peut résister par lui-même à des poussées horizontales. Aujourd'hui, dans de pareilles conditions, on construit presque exclusivement des ponts en béton ou en béton armé, qui exigent des échafaudages très coûteux. Les arcs en acier enrobés ou non enrobés ne demandent souvent aucun échafaudage et leur construction s'effectue d'une manière très simple. Dans le cas de faibles portées, on peut se servir simplement de poutrelles encastrées dans le béton de fondation. Ici, il y a lieu aussi de remarquer les avantages que présentent, pour la construction de ce type de ponts, l'application de la soudure, qui permet de passer sur bien des petites inexactitudes de l'assemblage. De même, les arcs en bow-string peuvent donner de très bons résultats. J'ai fait l'étude, il y a peu de

Minimum d'encombrement

temps, d'une passerelle en acier, d'une portée de deux fois 22 mètres, et l'application de ce système a permis de réaliser une économie importante (la construction rivée, composée de poutres parallèles en treillis librement encastrées, étudiée ultérieurement, pesait 30 tonnes, tandis que la construction de ce pont en arc, avec application de la soudure, n'avait qu'un poids d'environ 16 tonnes, c'est-à-dire donnait lieu à une économie d'environ 50 %).

Pour des portées un peu plus grandes, l'emploi d'un pont suspendu est souvent indiqué ; il assure une exécution simple et rapide, en même temps qu'il permet d'obtenir une économie souvent intéressante. En 1932, j'ai étudié un pont de III^e classe pour Procisna. Le projet d'un pont en acier fut opposé au projet d'un pont en bois sur piliers en béton, antérieurement prévu. Le projet du pont suspendu prévoyait une travée de 50 mètres à la place des trois travées en bois, d'environ 16 mètres chacune. Avec une largeur légèrement réduite, le pont en acier donnait une économie d'environ 15 % comparativement au pont en bois, dans le cas d'emploi d'une poutre de rigidité en treillis en bois. Si le même treillis était fait en acier soudé, l'économie aurait été un peu moindre, mais elle aurait toujours existé. On peut conclure de cet exemple que, bien souvent, une construction en acier rationnellement projetée peut rivaliser victorieusement, non seulement avec une construction en béton armé, mais même avec une construction en bois.

Afin de promouvoir sur une grande échelle la construction de ponts de faible portée d'un certain type, il est indispensable de les standardiser. Cette tâche incombe aux institutions qui ont pour but de développer l'emploi de ces types de constructions. Les ponts en béton armé sont déjà classés en types dans divers pays, entre autres en Pologne. Les ponts en acier ne le sont pas chez nous et s'il s'agit de ponts soudés, c'est-à-dire de ceux qui sont aujourd'hui les plus importants, tout est encore à faire dans ce domaine de la standardisation des types.

Comme conclusion, je vois les moyens suivants pour favoriser le développement des ponts en acier à faible portée : l'application le plus largement possible de la soudure ; la révision des prescriptions, particulièrement de celles qui sont relatives aux tensions admissibles ; la mise en usage des systèmes variés de construction conduisant à une économie de poids ; enfin, l'étude de types standard de ces ponts.

