

Rapport général

Autor(en): **Schaper, G.**

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-3036>

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.

III

Rapport Général.

Generalreferat.

General Report.

Geheimrat Dr. Ing. G. Schaper,
Reichsbahndirektor, Reichsverkehrsministerium Berlin.

Nous avons à traiter aujourd'hui un problème très important, une question palpitante, à savoir l'application de la soudure dans les constructions de ponts et charpentes.

Au congrès de Paris, en 1932, c'est avec scepticisme que l'on envisageait cette question.

On gardait une grande réserve vis-à-vis de l'emploi de la soudure dans la construction des ponts et charpentes.

On craignait l'importance des contraintes de retrait, on avait des doutes quant à la structure du métal d'apport et l'on s'effrayait des difficultés présentées par l'exécution des constructions soudées.

Ainsi que l'ont prouvé les rapports présentés au Congrès actuel, la soudure s'est introduite de plus en plus, depuis 1932, dans la construction des charpentes et même dans la construction des ponts. Le progrès n'a subi aucun arrêt.

Les préventions que l'on avait contre le soudage des ouvrages à surcharges immobiles ou principalement immobiles (c'est-à-dire toutes les charpentes et les ponts-routes) peuvent être considérées aujourd'hui comme non fondées.

Les charpentes et les ponts-routes soudés sont généralement des constructions à âme pleine mais il existe cependant un certain nombre de poutres réticulées soudées.

Dans bien des pays on hésite encore à employer la soudure dans la construction des ponts-rails tandis que dans d'autres, au nombre desquels on peut ranger l'Allemagne, on a déjà réalisé de grands progrès dans le domaine du soudage des ponts-rails. Jusqu'à présent on n'a cependant soudé que des ponts-rails à âme pleine.

Depuis 1932 on a exécuté, en Suisse et en Allemagne principalement, des essais très nombreux et très complets pour déterminer l'endurance des assemblages soudés et des poutres à âme pleine entièrement soudées.

Ces essais ont montré que certains assemblages soudés, comme par exemple les joints bout à bout, possèdent une excellente résistance à la fatigue:

lorsque le métal de base se laisse facilement souder

lorsque les électrodes possèdent les mêmes qualités de résistance que le métal de base

lorsque les racines des soudures bout à bout sont nettoyées et reprises et lorsque, en surface, la transition de la soudure au métal de base est douce et sans entailles.

Un fraisage de la zone de transition a d'excellents effets.

D'autres essais ont montré que les extrémités des semelles appliquées sur des poutres à âme pleine devaient être chanfreinées en coupe longitudinale et fixées au moyen d'une soudure d'angle transversale; cette soudure doit être usinée afin qu'elle se raccorde progressivement à la semelle inférieure et les soudures d'angle latérales doivent également être usinées afin qu'elles s'adaptent bien à l'extrémité, d'épaisseur décroissante, de la semelle.

Les essais et l'expérience acquise ont montré qu'il n'y avait aucune raison de craindre la grandeur des contraintes de retrait.

Les contraintes de retrait dans les soudures de gorge, c'est-à-dire dans les soudures de liaison entre l'âme et les membrures sont très grandes (2000 kg/cm² et plus); elles n'atteignent pas cette valeur dans les poutres mêmes.

Elles ne sont pas plus grandes que les contraintes de laminage dans les profilés et spécialement dans les profilés à larges ailes.

Ces profilés sont cependant capables de supporter presque autant que s'ils n'étaient soumis à aucune contrainte par le laminage.

Il en est évidemment de même des poutres soudées.

Même les fortes contraintes de retrait dans les soudures de gorge ne sont pas dangereuses. Des essais approfondis sur l'endurance des poutres à âme pleine soudées l'ont montré.

Les poutres à âme pleine soudées possèdent, malgré les fortes contraintes de retrait observées dans les soudures, une beaucoup meilleure résistance à la fatigue que les poutres rivées.

L'explication de ce phénomène est à chercher dans le fait que les soudures fortement sollicitées sont entourées de parties moins sollicitées qui réduisent les fortes contraintes des premières dès que celles-ci veulent dépasser la limite d'écoulement.

Dans un domaine voisin, on a soudé avec succès des constructions importantes soumises à de fortes sollicitations dynamiques, telles que des presses hydrauliques, des dragues, des wagons de chemin de fer, des locomotives, etc.

En Allemagne, ainsi que dans d'autres pays, on construit de petits et grands bateaux, en acier St. 37 et St. 52, complètement soudés.

Les expériences faites avec les bateaux soudés sont parfaites quoique les petits bateaux surtout soient soumis souvent à des sollicitations fortement variables par gros temps.

Nous allons citer maintenant quelques ponts soudés intéressants:

En *Hongrie* le pont Raba à Győr (fig. 1), pont-route de 53 m de portée. Les poutres principales sont des poutres réticulées trapézoïdales.

En *Pologne* le célèbre pont-route de Lowicz (fig. 2) construit en 1928 déjà par M. le Prof. *Bryla* de l'Ecole Polytechnique de Varsovie. Les poutres maîtresses sont des poutres réticulées de 27 m de portée.

En *Belgique*, à part les ponts à âme pleine, plusieurs ponts Vierendeel sont soudés. La fig. 3 représente un pont-route avec ouverture principale Vierendeel de 61 m de portée, et poutres à âme pleine dans les ouvertures latérales.

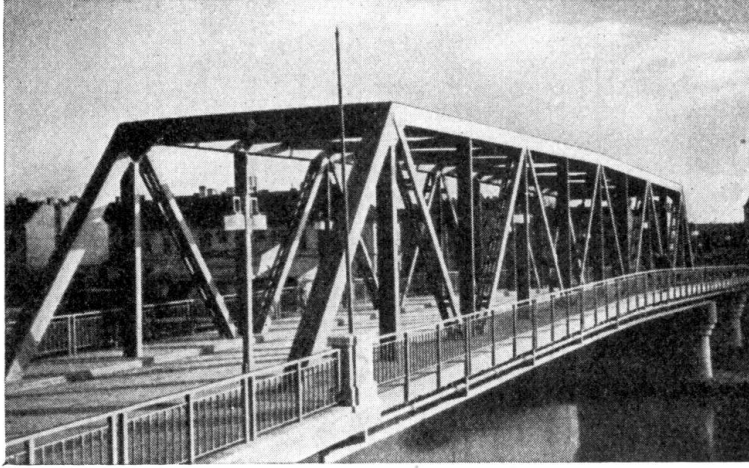


Fig. 1.

En *France* il faut citer tout spécialement un pont-rails à âme pleine près de St. Denis (fig. 4). Cet ouvrage élégant a été construit en acier à haute résistance 54, sur l'initiative de M. l'ingénieur en chef *Cambournac*. Les poutres

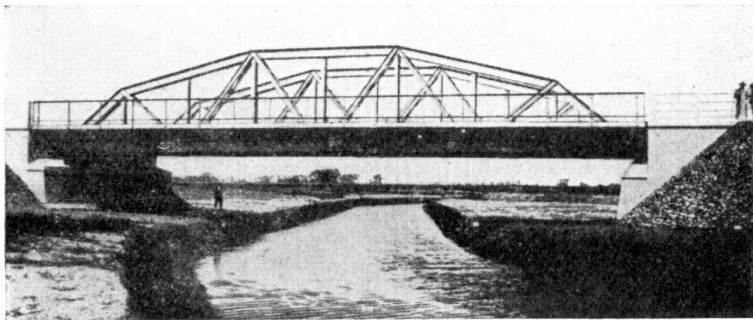


Fig. 2.

maîtresses sont des poutres continues sur trois appuis, avec hauteur d'âme de 2,30 m. L'une des poutres principales a des portées de 26,9 et 35,2 m et l'autre de 28,9 et 32,3 m.

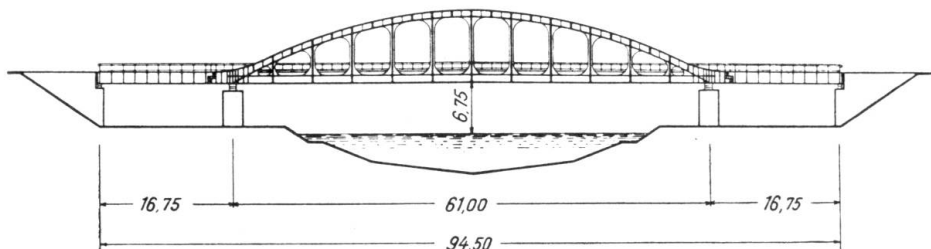


Fig. 3.

En *Yougoslavie* on a entièrement soudé un pont-rails à âme pleine sur trois ouvertures, situé à Zagreb (fig. 5).

En *Roumanie* il existe un pont-route en treillis de 30 m de portée (fig. 6).

En *Suède*, au fameux pont sur le *lac Mälär* à Stockholm (fig. 7) tout le tablier, le contreventement supérieur et les colonnes, d'un poids total de 2000 t, ont été soudés.

Les poutres du tablier et les entretoisements supérieurs du pont de *Traneberg* (fig. 8) sont aussi soudés. Le poids des éléments soudés se monte à 1300 t.

Le pont de *Palsund* en Suède est complètement soudé (fig. 9).

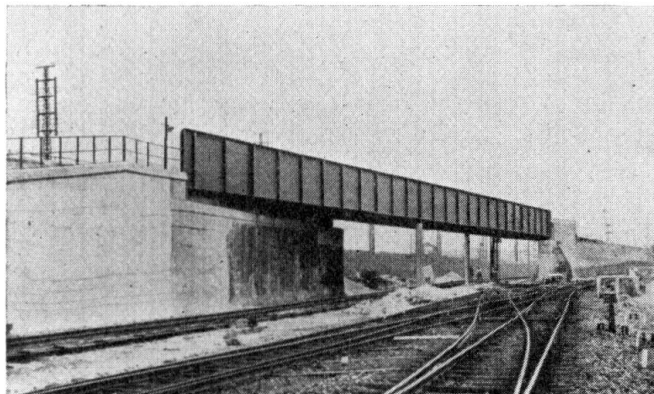


Fig. 4.

Le fleuve est franchi par un arc de 56 m de portée et les rives par des poutres de 12 m de portée reposant sur des piliers métalliques. La longueur totale du pont est de 276 m et le poids de 1100 t. Les entretoises sont en acier 52 tandis que les autres parties sont en acier 44. La fig. 10 montre un aspect de ce pont.

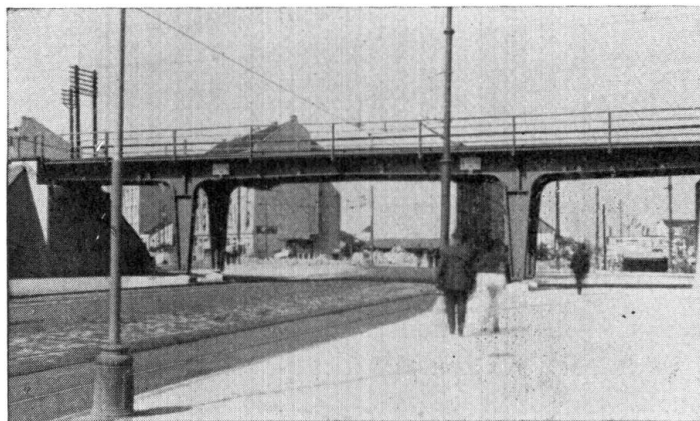


Fig. 5.

En *Suisse* on peut citer comme pont entièrement soudé le pont-route sur le *Tessin* (fig. 11) dont les poutres maîtresses sont des arcs non rigides raidis par des poutres à âme pleine de 70 m de portée.

Parmi les centaines de ponts-routes et ponts-rails soudés en *Allemagne* je citerai :

1° Le pont sur le *Ziegelgraben* (fig. 12) entre *Stralsund* et *Dänholm*, pont-rails à une voie avec deux ponts fixes de 52 m de portée chacun et un pont levant de 29 m. Le matériau est l'acier 37.

2° Le pont-rails à une voie sur le *Strelasund* (fig. 13) de la digue reliant *Dänholm* et l'île *Rügen* avec 2×5 ouvertures franchies par des poutres continues à âme pleine de 54 m de portée. Ici aussi on s'est servi de l'acier 37.

3° Le pont d'autoroute de *Kaiserberg* près de Duisbourg (fig. 14). Les poutres-maitresses sont des arcs renforcés par des poutres raidisseuses de 103 m de portée. Le matériau est l'acier 52.

4° Le pont d'autoroute de *Kalkberge* près de Berlin (fig. 15). Les poutres principales sont des poutres continues à âme pleine de $55,3 + 66,7 + 66,7 + 53,3$ m de portée. Leur hauteur est de 3 m et le matériau est l'acier 52.

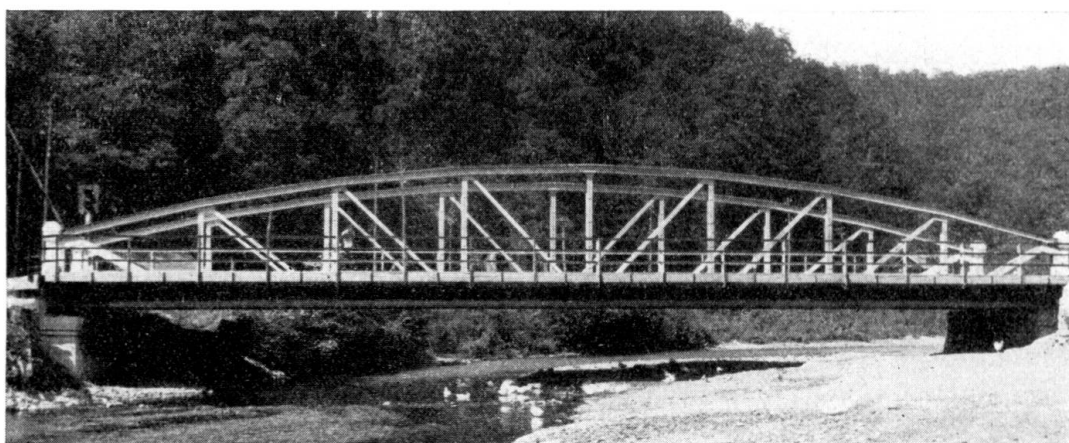


Fig. 6.

Les ponts-routes soudés ont en général donné satisfaction. Les nombreuses investigations faites sur des ponts soudés en service ont montré que ces ponts sont parfaits à tous points de vue. A part quelques fissures insignifiantes aux raidisseurs de l'âme on n'a constaté aucune détérioration.



Fig. 7.

Les principales règles que l'on doit observer lors du soudage des ponts sont les suivantes :

1° Il ne faudrait souder que des aciers non délicats, c'est-à-dire l'acier 37 et les aciers 52 de composition chimique déterminée.

2° Les électrodes doivent s'adapter aux propriétés du métal de base à souder.

3° Les soudures doivent être aussi peu nombreuses et aussi faibles que possible afin de limiter la quantité de chaleur à introduire et par le fait même les contraintes de retrait.

4° Les joints des âmes doivent être de pures soudures bout à bout.

5° Il faut éviter autant que possible les joints des semelles, en employant de longues semelles.

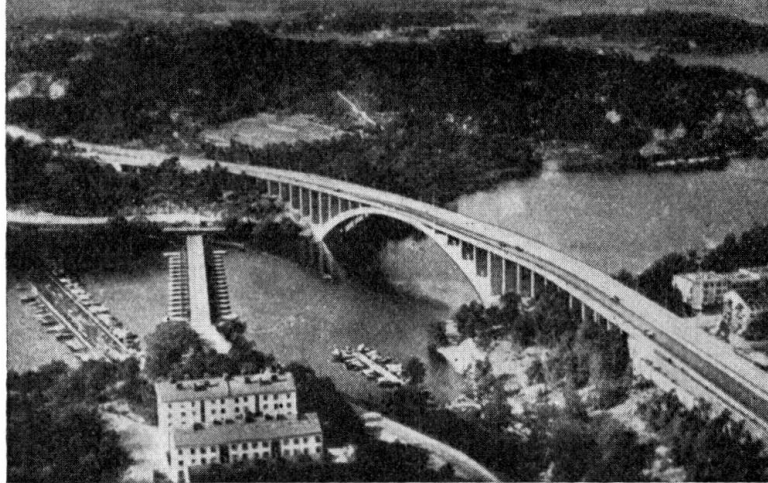


Fig. 8.

6° Là où l'on ne peut pas éviter un joint des semelles, ce joint doit être réalisé par une simple soudure bout à bout ou par une soudure bout à bout combinée avec un couvre-joint.

7° Il faut placer les soudures bout à bout aux endroits peu sollicités (où les moments sont faibles).



Fig. 9.

8° Il faut croiser les racines des soudures bout à bout et exécuter soigneusement les reprises.

9° Il est nécessaire d'étudier aux rayons X les soudures bout à bout et même aussitôt après la première passe, lorsqu'elles sont épaisses, car l'expérience

a montré que les fissures se produisent dans cette passe. Pour cette raison, les ateliers de construction métallique doivent être équipés avec une installation de radiographie.

10° Les soudures de gorge doivent si possible être radiographiées en quelques endroits.

11° En aucun cas il ne faut employer en même temps la soudure et le rivetage dans les joints. Ce serait une erreur par exemple que de souder l'âme et de river les membrures, car le joint de l'âme serait trop fortement sollicité par le martelage des rivets.

12° Dans les éléments tendus, il faut éviter les soudures transversales aux endroits fortement sollicités. On peut les admettre aux endroits faiblement sollicités mais elles doivent être exécutées avec transition douce au métal de base.

13° Lors du soudage des poutres du tablier il faut prendre garde qu'il ne se produise aucune contrainte de retrait élevée dans les assemblages. Dans ce but, on soude par exemple d'abord l'entretoise médiane avec les poutres maîtresses puis les longerons voisins avec cette entretoise et les entretoises voisines encore libres et alors seulement ces entretoises aux poutres principales, etc.

14° Dans les soudures exécutées en plusieurs passes, il faut proprement enlever les scories d'une passe avant d'exécuter la passe suivante.

15° Tous les travaux de soudage à l'atelier et sur le chantier doivent être continuellement et soigneusement contrôlés par des ingénieurs expérimentés.



Fig. 10.

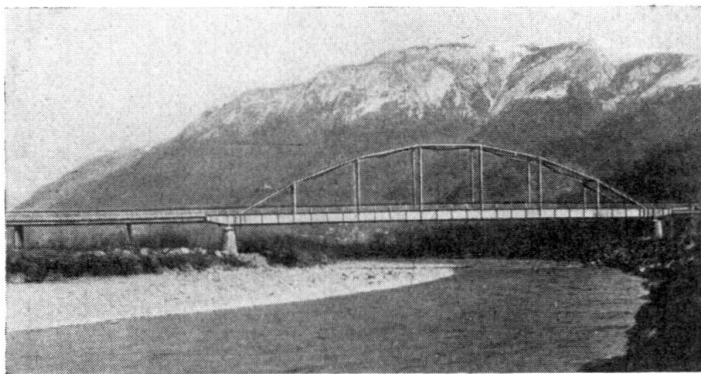


Fig. 11.

16° Les travaux de soudage ne doivent être exécutés que par des soudeurs expérimentés et habiles.

17° Comme la forme la plus simple pour le soudage est la forme en cuve, il

est recommandable de placer les pièces importantes dans des installations rotatives permettant de placer les éléments de telle sorte qu'il soit possible d'exécuter les soudures dans la position donnant la forme de cuve. Une installation rotative montée sur un chantier avec une poutre à souder est représentée à la fig. 6 de la contribution ci-dessous: IIIb *Dörnen*.



Fig. 12.

Comme complément à ces règles je vous présenterai, pour les commenter, deux types de joints exécutés sur le chantier.

1° Joint exécuté sur le chantier (fig. 16) pour le pont de Kalkberge près de Berlin, dont je viens de vous parler (fig. 15). Le matériau est l'acier 52. L'âme a une hauteur de 3 m et une épaisseur de 20 mm. Les semelles sont des profilés *Dörnen* 660 · 44. Les joints de l'âme et des semelles se trouvent à peu près au même endroit, au point où les moments sont les plus faibles. Ce sont de pures soudures bout à bout, en forme de tulipe dans les membrures et en X dans

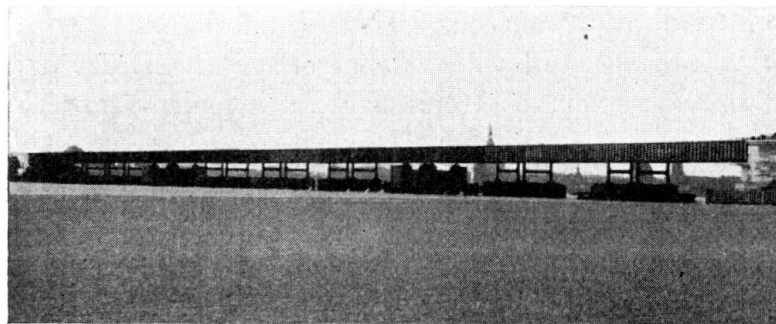


Fig. 13.

l'âme. Les joints des membrures sont à 45° . On a d'abord posé en même temps cinq passes dans les membrures, puis on a soudé un côté de la soudure en X de l'âme à partir du milieu vers le haut et vers le bas, à pas de pélerin, et en même temps on a continué le soudage dans les deux cordons des membrures. Lorsqu'un côté de la soudure en X de l'âme fut terminé, on a soudé l'autre côté. La succession du soudage était telle que les trois soudures étaient terminées en même temps.

2° Joint exécuté sur le chantier (fig. 17) au pont-rails sur le Strelasund, dont je vous ai déjà parlé (fig. 13). Aux joints on a introduit des éléments d'âme plus épais, de 40 mm, afin de réduire les contraintes dans les semelles (profilés spéciaux *Dörnen* 540 · 55). Entre les joints d'âme (soudures bout à bout en X) se trouvent les joints des membrures. Ceux-ci sont disposés de la façon suivante:

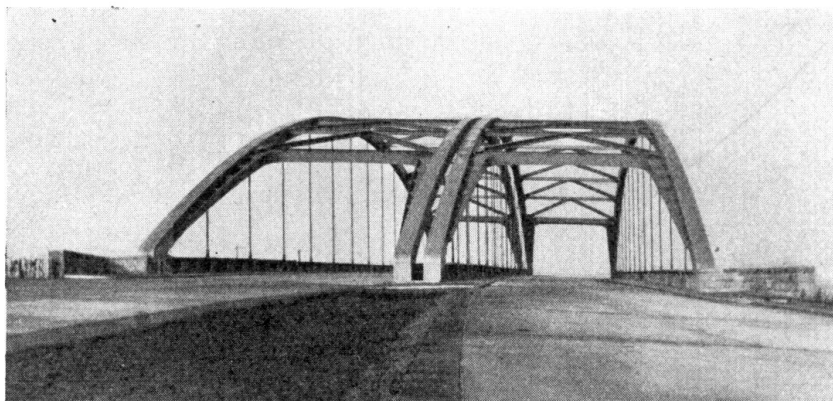


Fig. 14.

Les semelles sont assemblées par les soudures bout à bout en X formant un angle de 45° . A l'extérieur, sur les côtés des semelles on a soudé de petits couvre-joints verticaux de 120 · 40 et en outre des couvre-joints horizontaux de 200 · 30 disposés sur la membrure supérieure et sous la membrure inférieure.

Le soudage se fit de la façon suivante: Tout d'abord on a soudé jusqu'à mi-hauteur, dans les membrures supérieure et inférieure, les moitiés supérieures des cordons en X, puis la moitié inférieure de ces cordons sur une même étendue. La partie épaisse de l'âme était, d'un côté, assemblée à l'atelier déjà avec l'âme

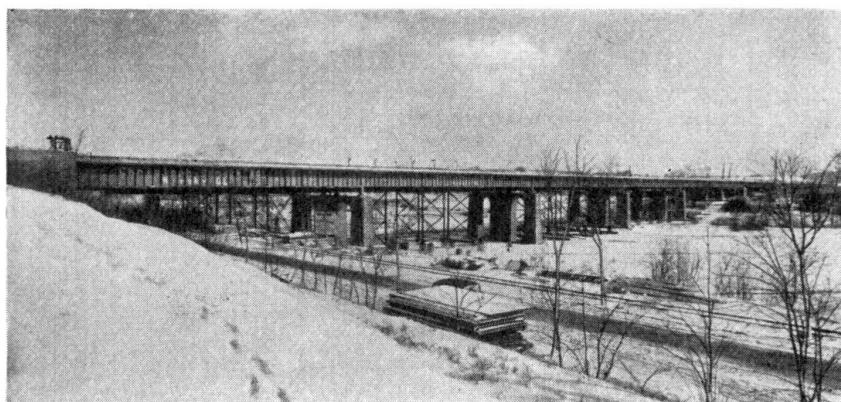


Fig. 15.

plus mince par une soudure en X. L'autre joint bout à bout de l'âme fut complètement effectué en même temps que les soudures des membrures. Après cela on a terminé les soudures bout à bout dans les membrures, puis on a fermé les soudures de gorge entre l'âme et les membrures. Alors on a soudé les couvre-joints verticaux et pour terminer les couvre-joints horizontaux.

On s'est souvent posé les questions suivantes: Pourquoi soude-t-on dans la construction des ponts et charpentes? Pourquoi abandonne-t-on le rivetage qui a fait ses preuves? N'est-ce pas simplement le désir de remplacer une ancienne méthode par une nouvelle?

Tout ingénieur qui aime le progrès, qui ne se confine pas à ce qui a déjà été fait, cherche à produire du nouveau. C'est là certainement une des raisons de l'introduction de la soudure dans la construction des ponts et charpentes.

Ce sont cependant d'autres raisons qui ont déterminé le développement de la nouvelle méthode:

- 1° Les systèmes soudés sont en général meilleur marché que les systèmes rivés.
- 2° L'aspect des ouvrages soudés est meilleur que celui des constructions rivées.
- 3° Dans les poutres à âme pleine, soumises à de fortes sollicitations dynamiques, il y a une troisième raison tirée des essais les plus récents, à savoir: que les poutres soudées ont une meilleure résistance à la fatigue que les poutres rivées.

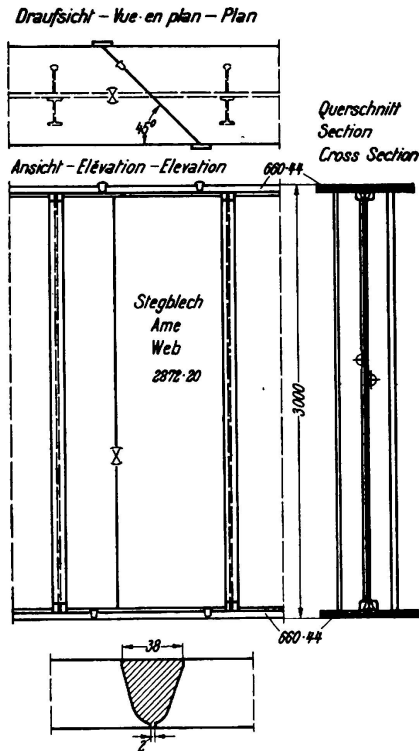


Fig. 16.

Au point de vue de l'économie des ouvrages soudés, il faut remarquer que, d'après l'expérience acquise dans les ateliers de construction bien installés, la soudure n'est en elle-même pas plus cher que le rivetage. Les constructions soudées sont en général de 15 % plus légères que les rivées. On arrivera encore à de plus fortes économies de poids.

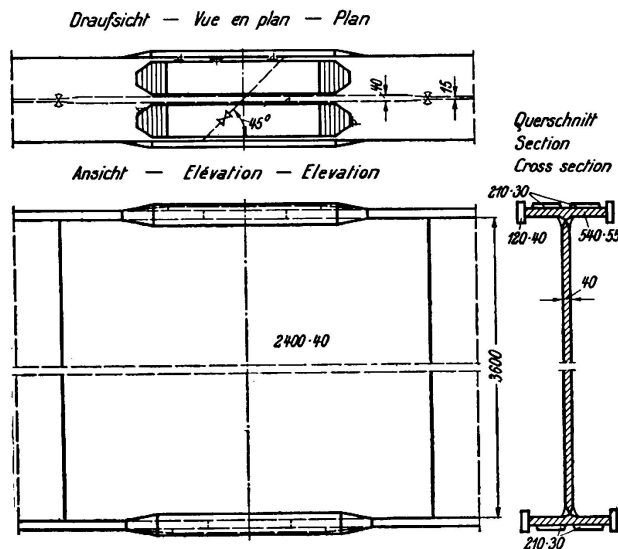


Fig. 17.

A la page 1377 de la Publication Préliminaire nous avons comparé deux cadres à deux articulations, l'un rivé et l'autre soudé, destinés au même ouvrage et ayant tous les deux la même portée. Le cadre rivé pèse 19,4 t tandis que le cadre soudé ne pèse que 14,3 t, l'économie de poids est donc de 26,3 %.

Pour vous montrer l'aspect esthétique de ces ouvrages soudés, voici quelques exemples:

La fig. 18 montre la forme d'une ferme soudée de la nouvelle gare de Düsseldorf. La construction rivée ne permet

pas d'obtenir des formes si belles, si simples et en même temps si parfaites.

La fig. 19 représente les quais, entièrement soudés, de la gare du Jardin zoologique à Berlin.

Toute la beauté des ponts soudés ressort du pont-rails que représente la fig. 20.

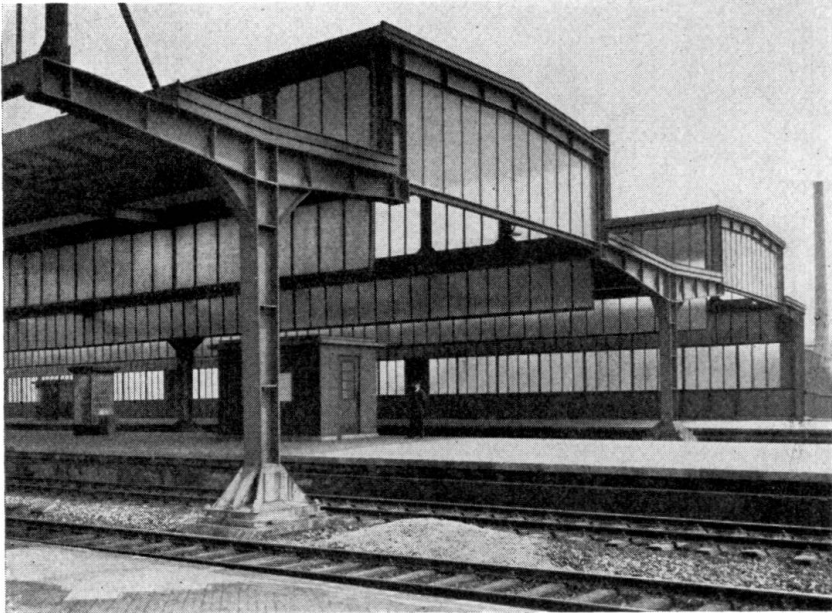


Fig. 18.

Les raisons que nous avons données sont si convaincantes que l'ingénieur ami du progrès doit tout faire pour développer l'emploi de la soudure dans la construction des ponts et charpentes.

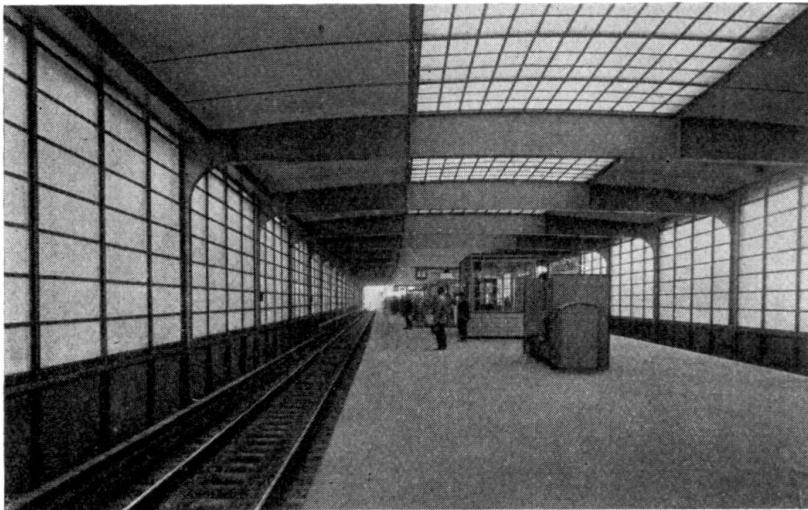


Fig. 19.

Puisque les essais et les investigations nombreuses et approfondies justifient scientifiquement l'emploi de la soudure dans les ponts et charpentes; puisque les expériences faites sur des ouvrages en service sont excellentes; puisque l'on a appris à souder juste et dans un ordre exact; puisque l'on sait quels matériaux

et quelles électrodes sont aptes au soudage et puisque l'on a établi des règlements pour le soudage des ponts et des charpentes, il n'y a plus, selon moi, aucune prévention à avoir contre l'emploi de la soudure dans la construction des ponts et des charpentes.



Fig. 20.

La radiographie est un procédé simple et sûr permettant de déterminer avec exactitude la structure des soudures importantes.

Même si quelques questions de détail sont encore à mettre au point, on peut cependant affirmer qu'il faut développer la soudure, qui permet de construire des ouvrages parfaits quant à leur sécurité, leur économie et leur beauté.