

Une réussite dans l'application de la soudure à la construction des grands ouvrages: les ponts de Saint-Cloud et de Neuilly

Autor(en): **Levy, L.A. / Durand-Dubief, M. / Kienert, G.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **3 (1948)**

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-3999>

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.

Ia3

**Une réussite dans l'application de la soudure
à la construction des grands ouvrages :
les ponts de Saint-Cloud et de Neuilly**

**Eine erfolgreiche Anwendung der Schweisstechnik
bei der Erstellung grosser Bauwerke :
die Brücken von Saint-Cloud und von Neuilly**

**The successful use of welding for
the construction of large structures :
the Saint-Cloud and Neuilly bridges**

Service des Ponts et Chaussées du Département de la Seine

L. A. LEVY
Ingénieur en chef
des Ponts et Chaussées
Paris

M. DURAND-DUBIEF
Ingénieur
des Ponts et Chaussées
Paris

G. KIENERT
Ingénieur des Travaux
Publics de l'Etat
Paris

Les ponts de Saint-Cloud et de Neuilly, situés tous deux sur la Seine près de Paris, ont été étudiés et réalisés entre 1937 et 1941 par le Service des Ponts et Chaussées du Département de la Seine pour le compte du Ministère des Travaux Publics du Gouvernement français et du Département de la Seine.

Ces ouvrages comportent d'importantes ossatures en acier à haute résistance entièrement soudé à l'arc électrique, et sont les premières grandes réalisations françaises de ponts métalliques soudés.

Le pont de Saint-Cloud (fig. 1), d'une longueur de 186^m50 et d'une largeur de 30 mètres, comprend sept travées (cinq de 31^m50 de portée et deux de 14^m50) se composant de 13 poutres droites de hauteur constante réunies par des cadres d'entretoisement; ces poutres sont continues sur les 4 premières travées d'une part, et sur les 3 autres d'autre part. L'exécution de la charpente a nécessité la mise en œuvre de 1 700 tonnes d'acier et l'emploi de 1 400 000 électrodes.

Le pont de Neuilly (fig. 3), large de 35 mètres, présente deux arches de 67 mètres et 82 mètres de portée, surbaissées respectivement au dixième et au douzième; chaque arche comprend 12 arcs de section constante avec

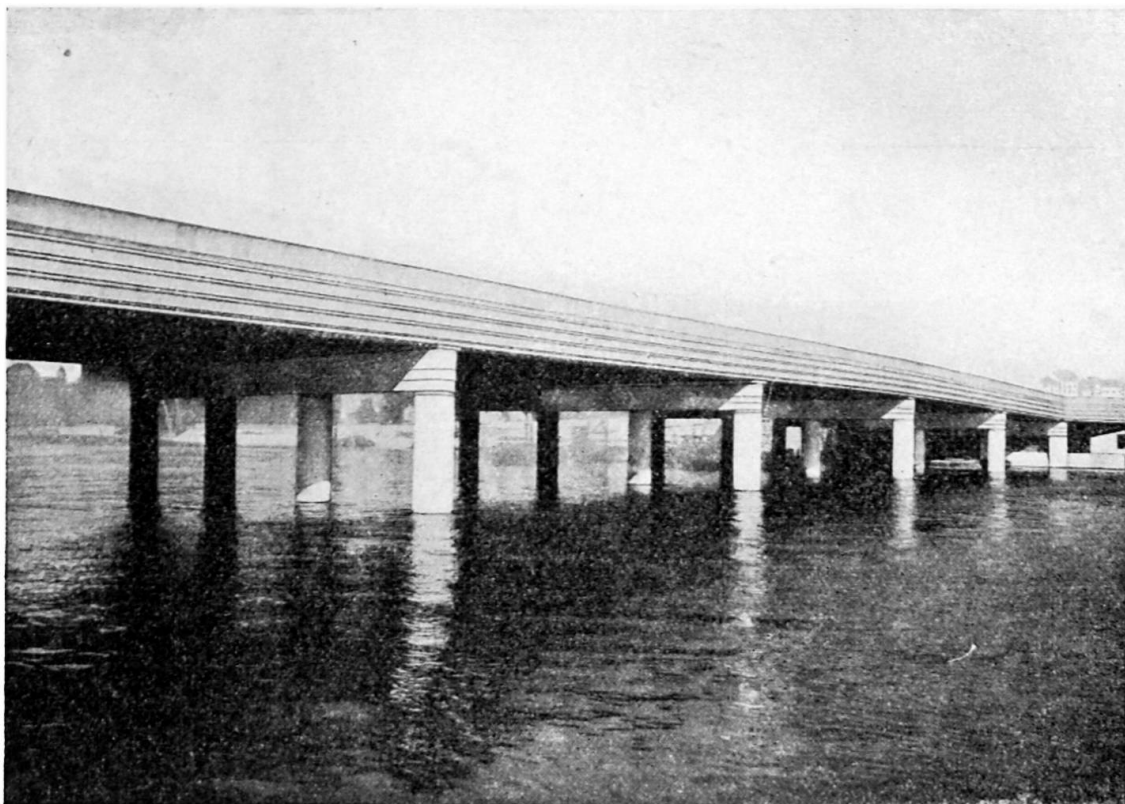


Photo H. Baranger.

Fig. 1. Vue générale du pont de Saint-Cloud.

articulation aux naissances, reliés par des butons et supportant le tablier par l'intermédiaire de montants articulés. L'ensemble de la charpente métallique pèse environ 2 200 tonnes; 1 500 000 électrodes ont été employées à son exécution.

La réalisation de ponts de cette importance en acier à haute résistance soudé constitue une entreprise hardie. On s'efforcera, dans la présente communication, de montrer que ces deux ponts ont pu cependant être réalisés en toute sécurité, grâce au soin apporté dans la préparation des projets et aux précautions prises lors de l'exécution. Le lecteur pourra se reporter, pour le détail de la description de ces ouvrages et de leur réalisation, aux monographies publiées par ailleurs.

Le souci dominant a été de tirer parti au maximum des possibilités offertes par la soudure, en choisissant toujours les solutions propres à ce mode d'assemblage. On peut tout d'abord le noter dans la conception des ouvrages.

C'est ainsi que les poutres du pont de Saint-Cloud sont constituées par une âme pleine et des semelles en plats à téton, assemblées par des soudures bout-à-bout du type en X. Ces poutres supportent directement la dalle

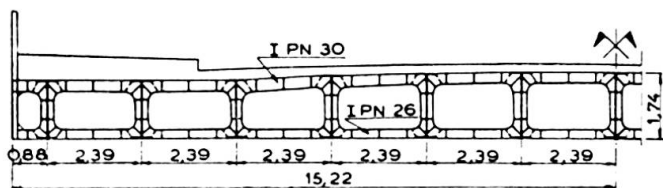


Fig. 2. Demi-coupe en travers du pont de Saint-Cloud, montrant les divers joints d'assemblage, les joints de chantier sont représentés en trait interrompu.

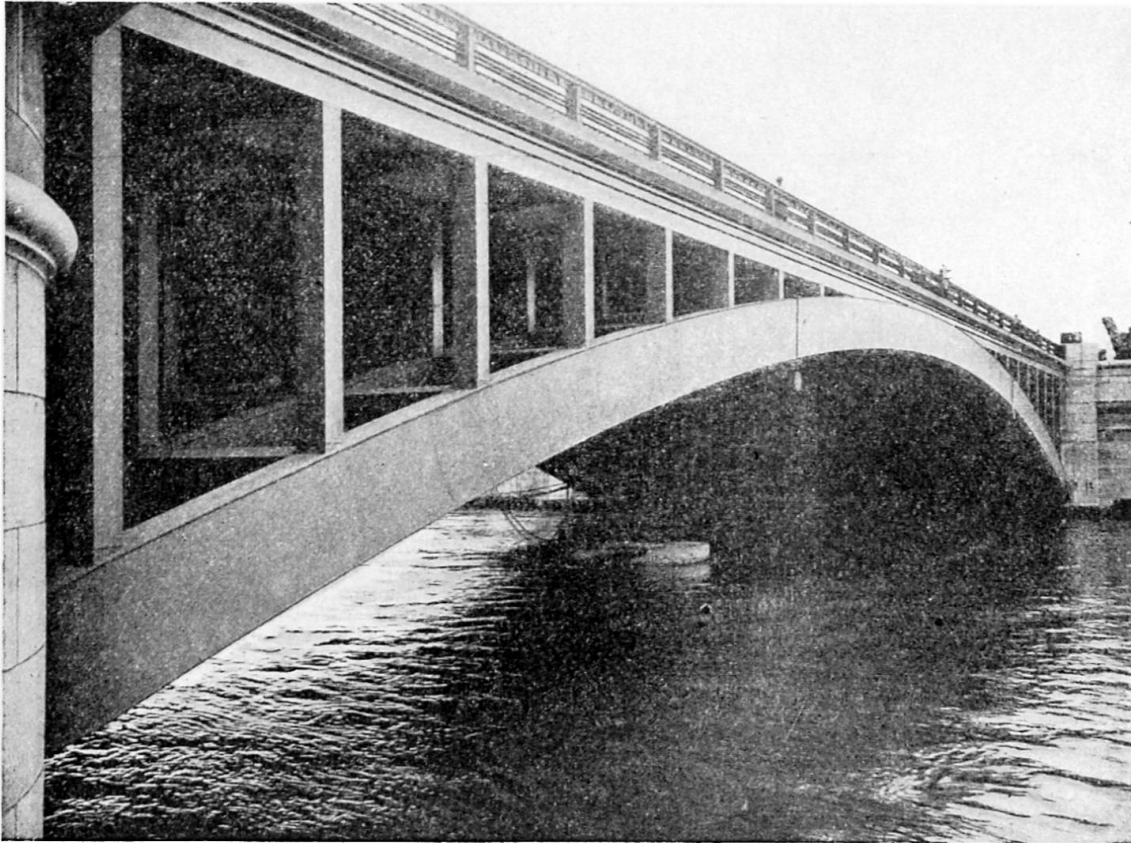


Fig. 3. Vue de l'arche de 82 mètres du pont de Neuilly.

en béton armé de la chaussée et leur hauteur varie d'une poutre à l'autre pour épouser le profil en travers de celle-ci. L'entretoisement est réalisé par des cadres en poutres-échelles de même hauteur que les poutres et dont les membrures inférieures et supérieures sont formées par des poutrelles normales fixées par des soudures bout-à-bout (fig. 2).

Les arcs du pont de Neuilly présentent une section en caisson rectangulaire dont les deux âmes et les deux semelles sont constituées par des tôles et larges plats assemblés par des cordons de soudure d'angle continu (fig. 3). Les butons reliant les arcs entre eux et les montants verticaux articulés sont du même type et n'offrent aucune saillie sur leur surface extérieure, les assemblages étant réalisés par des soudures en chanfrein. Quant au tablier, il est formé par un simple quadrillage d'entretoises et de longerons en poutrelles P N 36.

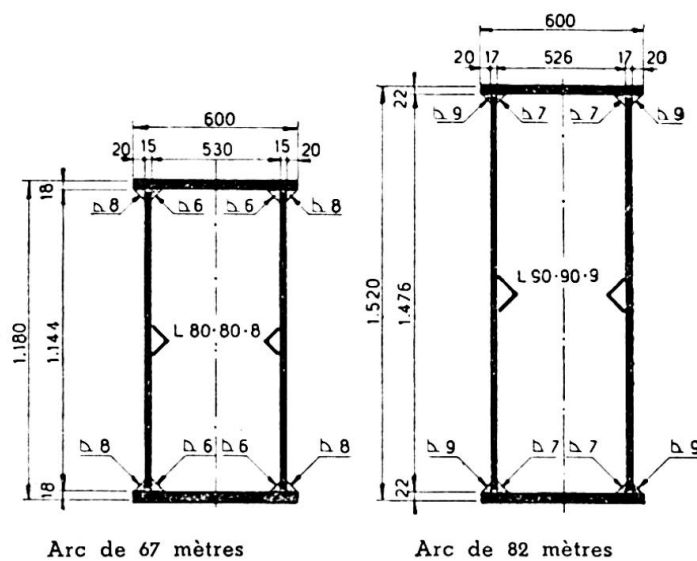


Fig. 4. Sections en caisson des arcs du pont de Neuilly.

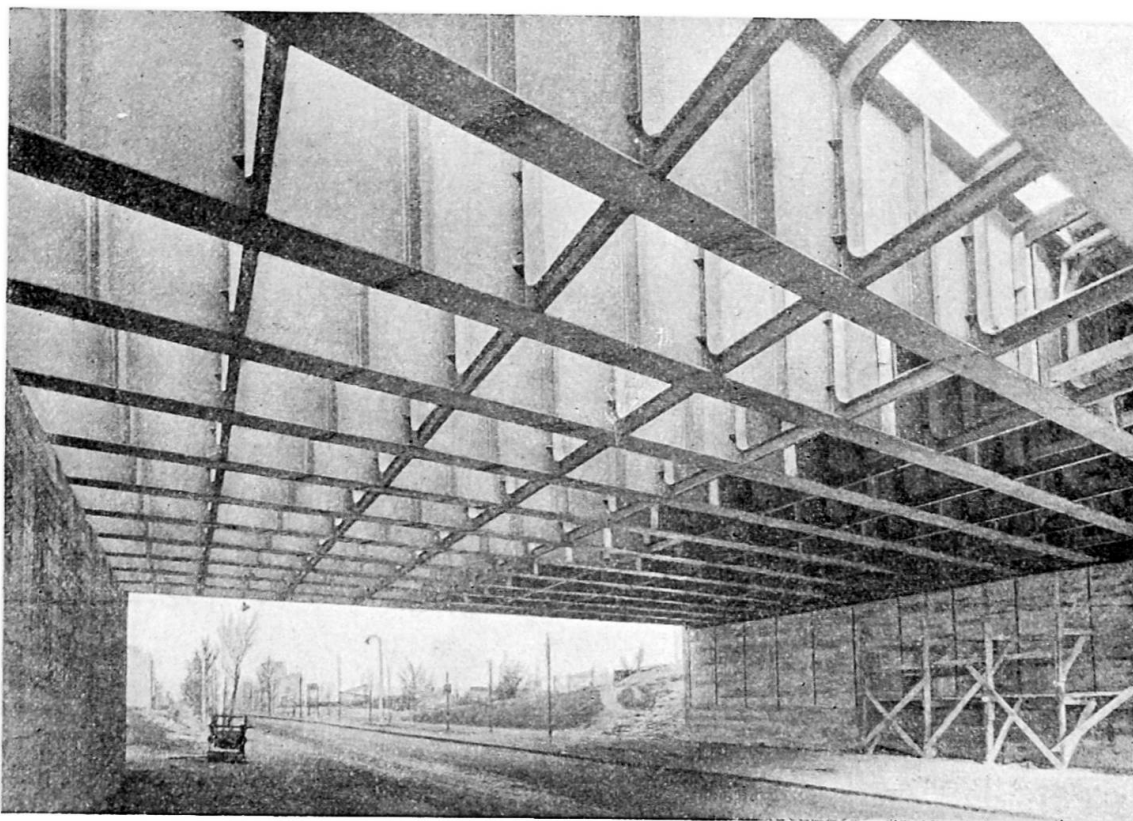


Fig. 5. Pont de la déviation autour de Saint-Denis.

On est donc arrivé à simplifier à l'extrême les éléments constitutifs de la charpente et leurs assemblages mutuels. Il a ainsi été possible d'éviter les accumulations locales de soudures et de réaliser des cordons où l'épauouissement des contraintes provoquées par les opérations de soudage pouvait se faire librement; ceci est de nature à écarter toute crainte d'une rupture inopinée. En outre, on a obtenu pour les ouvrages une grande simplicité de lignes et de formes, d'une valeur esthétique certaine, et qui a permis, pour le pont de Neuilly, l'absence de toute décoration autre que la corniche en tôle pliée au niveau supérieur du pont.

Les dispositions adoptées pour la réalisation des charpentes soudées des ouvrages ont fait l'objet d'études minutieuses et de précautions spéciales.

On s'est attaché tout d'abord à réduire au maximum le nombre et l'importance des soudures effectuées sur le chantier, en faisant réaliser en atelier d'importants tronçons dont les dimensions étaient limitées seulement par les possibilités de transport. Pour inciter les constructeurs à agir dans ce sens, le Cahier des Charges de chaque entreprise spécifiait d'ailleurs que l'Administration ne paierait pas les soudures de chantier, qui seraient considérées comme comprises dans les frais généraux de l'entrepreneur. En atelier, en effet, des dispositifs simples permettent de présenter les pièces de façon que la quasi-totalité des soudures (et en tout cas tous les joints importants) soit exécutée à plat, et de très bons résultats peuvent être obtenus avec des ouvriers de qualification professionnelle courante. L'expérience a, au contraire, confirmé que seuls des soudeurs hautement qualifiés (main-d'œuvre rare et coûteuse) étaient capables d'exécuter correctement

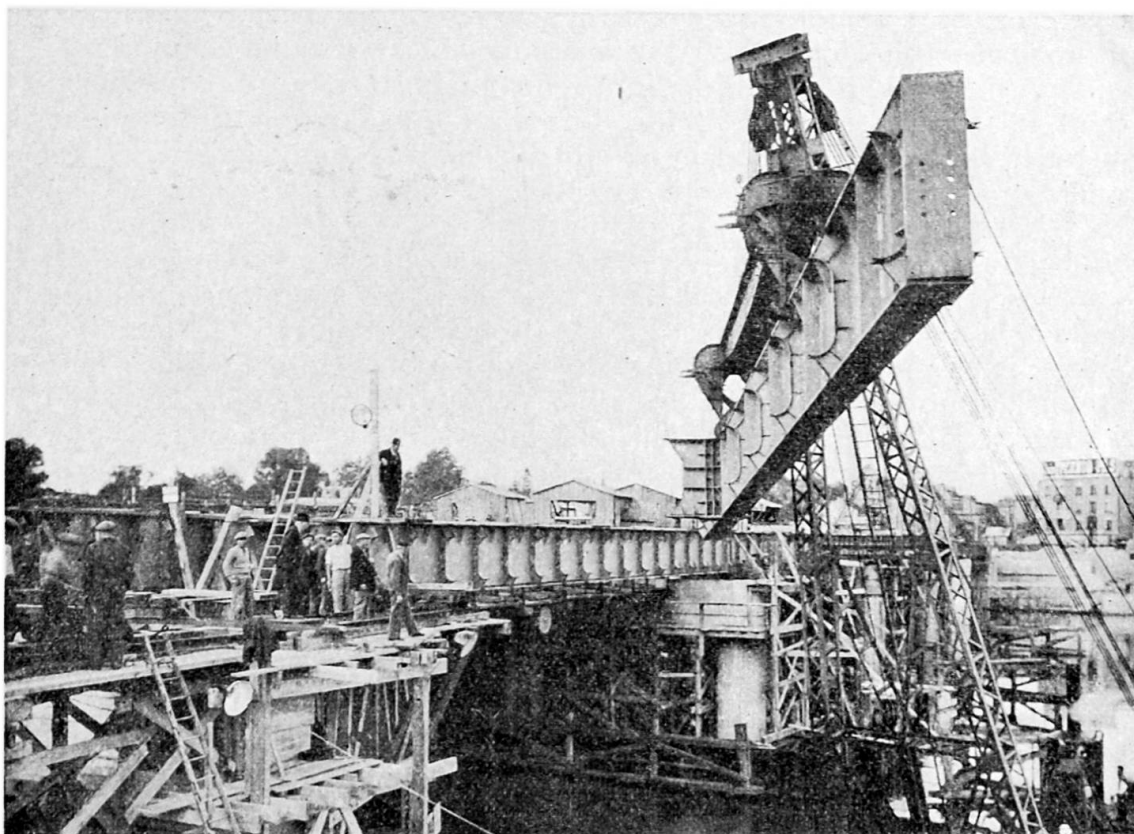


Photo H. Baranger.

Fig. 6. Mise en place des éléments de poutres du pont de Saint-Cloud.

les soudures de chantier, notamment celles au plafond et en corniche montante.

Par ailleurs, la crainte d'introduire dans les pièces des tensions internes importantes et de provoquer des déformations d'ensemble difficilement corrigéables a conduit les constructeurs à éviter tout bridage et à travailler sur des éléments libres de toute contrainte, en suivant et en compensant au fur et à mesure les déformations par un processus approprié d'exécution des soudures. Pour la même raison, l'ordre d'exécution des cordons de soudure sur le chantier a été choisi de telle sorte que le retrait dû aux opérations de soudage puisse se faire aussi librement que possible.

L'application de ces principes a été expérimentée et mise au point au cours de la construction d'un pont à poutres droites de 22^m50 de portée, de type analogue aux travées du pont de Saint-Cloud et situé sur une déviation de route à Saint-Denis (fig. 5). Les poutres de cet ouvrage ont été entièrement construites en atelier et les soudures de chantier ont été ainsi réduites aux seules soudures de jonction des membrures supérieures et inférieures des cadres d'entretoisement. Les études, essais et tâtonnements effectués à cette occasion ont permis d'apprécier exactement les difficultés et d'éviter des fausses manœuvres dans la réalisation ultérieure des grands ouvrages.

Les travaux d'atelier du pont de Saint-Cloud ont comporté l'exécution de tronçons de poutres de grande longueur (30 m environ), avec leurs raidisseurs et leurs amorces d'entretoises. Pour permettre l'exécution des joints en soudure à plat, les pièces étaient, dans l'atelier d'un des construc-

teurs, disposées tantôt sur des bancs horizontaux parfaitement nivelés, tantôt sur des tréteaux inclinés, permettant de les présenter dans la position désirée grâce à des manipulations convenables. L'autre constructeur a atteint le même résultat à l'aide d'un bâti tournant de la longueur des tronçons. Les tronçons de poutre ainsi constitués ont été amenés à pied d'œuvre par voie d'eau et mis en place à l'aide d'engins de levage ⁽¹⁾ (fig. 6). Dans ces conditions, les soudures à faire sur le chantier ont été limitées aux joints entre poutres principales et aux cordons bout-à-bout fixant les membrures haute et basse des entretoises sur leurs amorces en attente. On a d'ailleurs pris soin de disposer les joints de chantier des poutres au voisinage des foyers des poutres continues, donc dans les sections où les fatigues sont les plus faibles. D'autre part, les soudures des cadres d'entretoisement ont été effectuées en commençant à une extrémité de la charpente et dans l'intervalle médian, puis en progressant symétriquement et en éventail par rapport à la poutre centrale.

Pour le pont de Neuilly, les tronçons d'arc exécutés entièrement en atelier avaient une longueur de 22 mètres pour l'arche de 67 mètres (3 tronçons pour un arc) et de 16 mètres pour l'arche de 82 mètres (5 tronçons pour un arc) (fig. 7). La réalisation sans bridage de tronçons d'arc rigoureusement conformes aux dimensions du projet a pu être obtenue en construisant un plan de référence parfait de la longueur totale de l'arc et en respectant rigoureusement un processus minutieux d'exécution des divers cordons de soudure (la fig. 8 en donne un exemple). Le montage sur place a été effectué, par groupe de 4 arcs, à l'aide d'un pont de service métallique de 93 mètres de longueur à deux travées solidaires. La soudure des joints de chantier a été exécutée symétriquement par rapport à la clef, par quatre soudeurs (deux par joint) travaillant simultanément. Par mesure de sécurité, l'arc est renforcé intérieurement, au droit de ces joints, par un manchon soudé sur l'un des tronçons, et sur lequel le tronçon voisin vient s'emboîter, l'emboîtement étant facilité par la forme oblique du joint.

Un soin tout particulier fut exigé également pour l'élaboration du métal de base, qui est de l'acier à haute résistance au chrome-cuivre (Ac 54) du Règlement français. La résistance exigée ne put d'ailleurs être obtenue qu'en se tenant très près du pourcentage maximum accepté pour la teneur en carbone; cette teneur a parfois atteint 0,210 % et même 0,215 dans les pièces de forte épaisseur. Il a d'autre part été constaté que les diagrammes traction-allongement des éprouvettes prélevées dans ces pièces ne présentaient pratiquement pas de palier à la limite des domaines élastique et plastique; or ce palier, comme on le sait, permet l'écoulement des tensions internes provoquées par la soudure et est ainsi un élément important dans la recherche d'un métal éminemment soudable. Les essais effectués ont d'ailleurs montré que l'acier des pièces de faible épaisseur était beaucoup plus satisfaisant à cet égard.

Il apparaît ainsi que l'emploi de l'acier de la nuance française Ac 54 dans la construction d'ouvrages soudés nécessite certaines précautions ⁽²⁾.

Il faut également mentionner à ce propos qu'après divers tâtonnements

(1) La mise en place par lancement avait été proscrite pour éviter des fatigues anormales dans les soudures.

(2) L'acier 54 au chrome-cuivre est d'ailleurs encore plus difficile à river qu'à souder; le Service constructeur a pu s'en rendre compte à l'occasion de l'exécution d'un autre ouvrage.

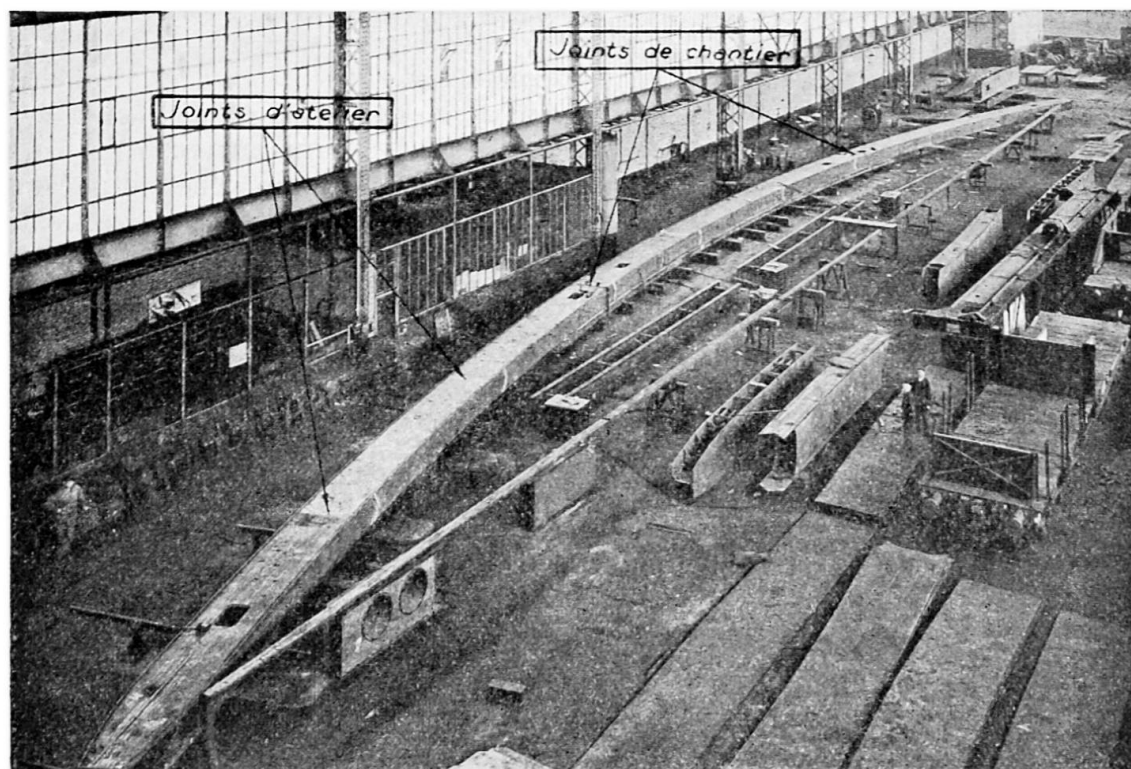


Fig. 7. Construction en atelier d'un arc de 67 mètres du pont de Neuilly.

Fig. 8. Schéma du processus de soudure en atelier d'un tronçon d'arc du pont de Neuilly.

1. Soudure en première passe des cordons a et b, à l'aide de 4 soudeurs (2 par cordon) partant du milieu du tronçon et allant vers chaque extrémité.
2. Retournement du tronçon et soudure en première passe des cordons e et f dans les mêmes conditions que ci-dessus.
3. Soudure en première passe des cordons g et h, à 4 soudeurs.
4. Deuxième retournement du tronçon et soudure en première passe des cordons c et d, à 4 soudeurs.
5. Soudure en deuxième passe des cordons a et b, c et d par 2 soudeurs dans l'arc et 2 soudeurs à l'extérieur.
6. Troisième retournement du tronçon et soudure en deuxième passe des cordons e et f, g et h (voir 5).



on s'est orienté vers l'utilisation d'électrodes dont l'acier présente la plus grande « élasticité » compatible avec la résistance demandée; il apparaît en effet que c'est là la qualité essentielle à rechercher du métal d'addition, et les résultats obtenus dans ce sens ont été très satisfaisants puisque, alors que le Règlement impose pour le métal d'addition un allongement de rupture supérieur à 18 %, les chiffres des essais sur prélèvements ont varié entre 21,50 et 22,50. D'autre part, et toujours pour la même raison, on a utilisé presque uniquement des électrodes de faible diamètre : sur un total de 2 960 000 électrodes, il y a eu 30 % d'électrodes de 3,25 mm, 40 % de 4 mm et 27 % de 5 mm.

Le souci d'avoir le maximum de garantie sur la qualité des joints soudés a conduit à exercer un contrôle sévère et constant sur l'exécution de ceux-ci.

Ce contrôle a porté tout d'abord sur la valeur des ouvriers soudeurs. En dehors des examens d'agrément prévus par le Règlement, chaque

soudeur était tenu de faire figurer au poinçon, à l'origine et à la fin de chaque cordon exécuté par ses soins, la lettre repère qui lui était affectée; d'autre part, les soudeurs travaillaient constamment sous la direction d'un contremaître-soudeur de l'entreprise et sous la surveillance de techniciens de l'Administration spécialistes de la soudure, effectuant un contrôle visuel journalier, complété de temps en temps par un contrôle plus poussé aux points douteux (fraisage ou radios). Cette méthode s'est révélée très efficace, tant par le profitable esprit d'émulation qu'elle crée chez les ouvriers, que par la possibilité qu'elle donne de connaître très rapidement la valeur de chaque soudeur, et ainsi de sélectionner les meilleurs pour les soudures les plus difficiles et les soudures de chantier; c'est ainsi que tous les joints de chantier des poutres principales du pont de Saint-Cloud ont été exécutés par quelques soudeurs soigneusement sélectionnés et spécialement entraînés à cet effet.

Il a été fait également un très large emploi du contrôle radiographique, tant en atelier que sur le chantier (2 400 m de films pour le seul pont de Saint-Cloud). Il est intéressant de noter que ce contrôle a rendu de grands services dans la mise au point de la technique d'exécution des joints, en permettant de suivre l'influence des divers facteurs d'exécution (ouverture de l'angle des chanfreins, écartement des pièces, diamètre des électrodes, reprises à l'envers, etc.) et de modifier ceux-ci jusqu'à disparition complète des défauts constatés. Il a ainsi été possible, notamment, d'éliminer complètement un défaut systématique apparu dans le joint âme-profilé à téton des poutres du pont de Saint-Cloud, en prenant des dispositions particulières pour la présentation des éléments à assembler et l'exécution de la reprise à l'envers.

Ainsi, malgré les graves écueils que présentait à l'époque l'exécution de grands ponts en acier à haute résistance soudé, et grâce au soin et aux précautions apportés dans la conception des ouvrages et dans leur réalisation, les ponts de Saint-Cloud et de Neuilly constituent des réussites certaines à l'actif de la soudure. Leur exemple doit inciter les constructeurs à utiliser de plus en plus ce nouveau mode d'assemblage, dont l'emploi rationnel apporte un grand progrès dans la technique de la construction métallique: réduction des poids et construction très homogène, cette dernière qualité se révélant dans l'aspect même des ouvrages.

La brièveté voulue de cette communication ne nous a pas permis d'approfondir les questions suivantes qui, pour le progrès de la technique de la construction soudée, mériteraient certainement de plus longs développements :

1. Recherche d'un acier à haute résistance éminemment soudable;
2. Avantages et inconvénients de l'emploi des plats à téton;
3. Difficultés de laminage des profils en Acier 54 (risques de pailles et feuillures);
4. Fabrication et recette des électrodes;
5. Joints soudés à l'atelier et au chantier;
6. Contrôle des soudeurs et des soudures.
7. Influence de divers facteurs sur la résistance des joints soudés (correction des déformations par martelage; meulage des cordons de soudure; température au moment de la soudure).

Résumé

Les ponts de Saint-Cloud et de Neuilly sur la Seine, construits entre 1937 et 1941, en acier à haute résistance entièrement soudé à l'arc électrique, sont les premières grandes réalisations françaises de ponts métalliques soudés. Le premier, d'une longueur totale de 186^m50, est un ouvrage à poutres continues sous chaussée de hauteur constante. Le second présente deux arches, de 82 et 67 mètres de portée, à arcs multiples du type à caisson et articulés aux naissances.

La présente communication montre le soin et les précautions apportés dans la conception et l'exécution de ces ouvrages. Des précisions sont fournies à ce sujet sur les points suivants :

1. Simplification des éléments constitutifs de la charpente;
2. Dispositions prises pour la réalisation en atelier et sur le chantier;
3. Elaboration du métal de base et choix des électrodes;
4. Contrôle des soudeurs et des soudures.

En définitive, les ponts de Saint-Cloud et de Neuilly constituent des réussites certaines à l'actif de la technique de la soudure et doivent inciter au développement de celle-ci.

Zusammenfassung

Die Brücken von Saint-Cloud und von Neuilly über die Seine, erbaut zwischen 1937 und 1941 in hochwertigem Baustahl und vollständig mit Lichtbogen geschweisst, sind die ersten grossen Verwirklichungen geschweisster Stahlbrücken in Frankreich. Die erste mit einer Gesamtlänge von 186^m5 ist ein durchlaufender Balkenträger von konstanter Höhe mit oberliegender Fahrbahn. Die zweite umfasst zwei Brückenbogen von 82 und 67 m Spannweite aus zahlreichen gelenkig gelagerten Bogenträgern mit Kastenquerschnitt.

Der vorliegende Aufsatz zeigt die Sorgfalt und Vorsicht, die beim Entwurf und bei der Ausführung dieser Bauwerke aufgewendet wurden. Folgende Punkte sind dabei ausführlicher behandelt worden :

1. Vereinfachung der Bauelemente der Tragkonstruktion;
2. Hinsichtlich der Erstellung in der Werkstätte und auf dem Bauplatz getroffene Anordnungen;
3. Bearbeitung des Grundmaterials und Wahl der Elektroden;
4. Kontrolle der Schweisser und der Schweissung.

Die Brücken von Saint-Cloud und von Neuilly stellen bemerkenswerte Erfolge der Schweisstechnik dar und dürften einen Beitrag zu deren Entwicklung leisten.

Summary

The Saint-Cloud and Neuilly bridges over the Seine, built between 1937 and 1941 of high tensile steel entirely welded by electric arc, are the

first big French instances of welded steel bridges. The former, with a total length of 186^m50 (615 ft), a structure with continuous roadway-bearing girders of a constant height. The latter has two arches with spans of 82 m (269 ft) and 67 m (220 ft) respectively, multiple arc of the trough type and with abutment hinges.

The present communication shows the care and precautions taken in the planning and execution of these structures. Specific information is supplied on this subject as regards the following points :

1. Simplification of the individual parts of the framework;
2. Arrangements made for construction in the workshops & site of work;
3. Elaboration of the basic metal and selection of electrodes;
4. Control of welders and welding materials.

Thus it can be stated that the Saint-Cloud and Neuilly bridges are definite successes in the realm of welding technique and should encourage development of the latter.