

les physiologistes, ne sont pas familiarisés avec les mathématiques. Il est bien commode, cependant, de voir immédiatement qu'une solution dont le $pH = 5$, par exemple, contient 100 fois plus d'ions H^+ que celle dont le $pH = 7$, donc est, en quelque sorte, 100 fois plus acide.

A quelques centièmes près, on peut représenter comme ci-dessus (tableau II) les principaux degrés d'acidité et de basicité des électrolytes, en se limitant à ceux qui correspondent à des valeurs entières de pH .

Il convient de remarquer que des sels chimiquement neutres comme le carbonate de sodium, le borate de sodium, et même un sel chimiquement acide, comme le carbonate acide de sodium, puisqu'il lui reste encore un hydrogène acide remplaçable par un métal, sont réellement basiques, puisque leur pH est plus grand que 7 (1).

Pour les valeurs de pH comprises entre deux valeurs différant d'une unité, telles que n et $n + 1$, on fait usage d'un tableau comptant autant de termes qu'on le veut et dont voici quelques extraits :

pH	Concentration en H^+
$n + 0,00$	$1,00 \times 10^{-n}$
$n + 0,10$	$0,80 \times 10^{-n}$
$n + 0,20$	$0,63 \times 10^{-n}$
$n + 0,40$	$0,40 \times 10^{-n}$
$n + 0,64$	$0,23 \times 10^{-n}$
$n + 1$	$0,10 \times 10^{-n}$

Ainsi, une solution dont le $pH = 7,64$ a une concentration en ions H^+ de $0,23 \times 10^{-7}$ ou $2,3 \times 10^{-8}$.

Dans la détermination du pH par les méthodes électriques, on évite tout calcul logarithmique en se servant d'une échelle à deux graduations qui se correspondent.

On voit, comme il fallait s'y attendre, que toutes les valeurs de pH sont comprises entre 0 et un nombre voisin de 14.

Voici ces valeurs (à la température de 18° et arrondies à 0,1 près) pour quelques acides et bases usuels en solution décimale.

Acides :	pH
HCl (acide chlorhydrique)	1,0
H^3PO^4 (acide phosphorique)	1,5
CH^3CO^2H (acide acétique)	2,9
CO^2H^2 (acide carbonique)	3,8
BO^2H^2 (acide borique)	5,2
C^6H^5OH (acide phénique)	6,0
Bases :	pH
$C^6H^5AzH^2$ (aniline)	7,8
$NaHCO^3$ (carbonate acide de sodium)	8,4
$Na^2B^4O^7$ (borate de sodium)	9,2
AzH^3OH (ammoniaque)	11,3
CO^3Na^2 (carbonate neutre de sodium)	11,6
NaOH (soude) (*)	13,1

(1) On dit que la fonction acide est caractérisée par la présence, dans la formule d'un corps, d'un H remplaçable par un métal. Mais, il ne s'agit là, on le voit bien, que d'un jeu d'écriture. Malgré son nom de sel acide, le carbonate acide de sodium fonctionne en réalité comme une base : nos muqueuses ne s'y trompent pas, et le bon sens indique aussi que les médecins ont raison quand ils prescrivent des alcalins comme le bicarbonate de soude. En pareil cas, le nom vulgaire, très ancien, d'avant la notation atomique, de bicarbonate de soude, ne préjugait rien et, par conséquent, valait beaucoup mieux que celui de carbonate acide de sodium. Le mot *fonction*, introduit autrefois dans la science chimique, n'est pas très heureux non plus en pareil cas, puisque la notion d'acidité et de basicité ne prend de signification réelle qu'en présence de l'eau. Cette observation montre combien est grand l'inconvénient d'adopter en matière scientifique des termes qui ont déjà un sens dans le langage usuel. Une notion comme celle du pH , en dehors de ses autres avantages, est précieuse parce qu'on ne peut la comprendre autrement que de la manière dont elle a été définie.

(2) Ce tableau précise exactement ce qui est dit dans la note (1) précédente. Il fait ressortir aussi pourquoi on peut impunément conserver des tissus osseux dans l'acide phénique : il est beaucoup moins acide que l'acide carbonique et surtout l'acide phosphorique qui, combinés à la chaux, constituent le tissu osseux ; c'est pourquoi encore l'acide acétique, le vinaigre, plus fort que l'acide carbonique, peut « agacer les dents ». Nos tissus, nos muqueuses surtout, apprécient des différences assez faibles du pH . On conçoit ainsi que ce soient des biologistes et des physiologistes qui aient introduit cette notion dans la science. Ceci nous rappelle un chef de travaux de chimie très original qui, pour savoir si un précipité sur filtre était bien lavé, goûtait aux dernières gouttes de liquide ayant traversé le filtre. Comme, en chimie analytique, on opère presque toujours en liqueur acide ou basique, il percevait ainsi la moindre acidité ou basicité.

Dans le prochain numéro, on verra comment on peut étendre à d'autres électrolytes qu'une solution saline, alcaline ou acide, la notion du pH . On verra aussi quelle signification il faut donner à cette notion, et en quoi elle diffère de la notion d'acidité qu'elle complète.

E. LEMAIRE,

(A suivre.)

Ingénieur des Arts et Manufactures.

CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES

LE PONT-ROUTE MÉTALLIQUE, SOUDÉ A L'ARC ÉLECTRIQUE, de Lowicz (Pologne).

L'hiver de 1928-1929 a vu se terminer, malgré les froids rigoureux, le montage d'un pont-route à Lowicz (Pologne), qui constitue le premier pont européen soudé entièrement à l'arc électrique, et le premier pont à usage public construit par ce procédé dans le monde entier. Jusqu'à présent, en effet, les ouvrages étudiés et exécutés avec la soudure électrique comme méthode exclusive d'assemblage, l'ont été dans un but plutôt expérimental et en quelque sorte à titre privé, pour répondre aux besoins des entreprises qui les avaient conçus (1).

Nous assistons à présent à l'introduction des mêmes méthodes dans la construction civile d'intérêt national. Généralement, ce sont les sociétés privées qui prennent l'initiative des nouveaux procédés de construction, et les Pouvoirs publics qui les ratifient

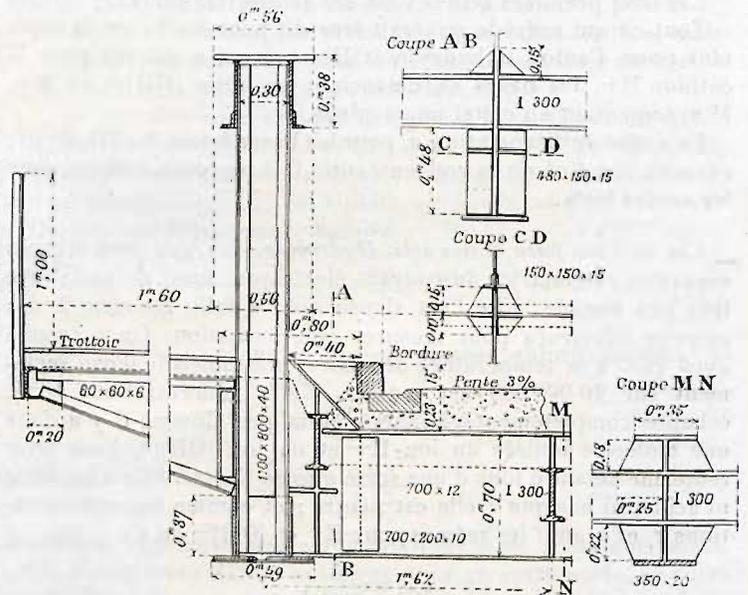


FIG. 1. — Coupe transversale partielle et détails du tablier.

avec beaucoup de prudence et de lenteur. Dans le cas présent, le Ministère des Travaux publics de la République polonaise, sous l'active impulsion du ministre M. Moraczewski et du directeur du Département des Routes, M. Nestorowicz, peut revendiquer l'honneur d'avoir su le premier comprendre tout l'intérêt de la soudure à l'arc dans la charpente, et le parti que l'on peut en tirer.

C'est à la suite d'une proposition de l'auteur de cet article, que ce ministère a pris l'initiative de faire construire entièrement par soudure électrique un nouveau pont sur une route importante. Il a confié le travail à l'entreprise Rudzki, de Varsovie, en collaboration avec la Société « La Soudure électrique autogène (procédés Arcos) », de Bruxelles, pour le soudage proprement dit. Le projet du pont a été fait par l'auteur, qui a assumé également la direction générale de la construction et du montage.

CARACTÉRISTIQUES DE L'OUVRAGE. — Le pont de Lowicz (fig. 1 à 3) est un ouvrage de première catégorie, sur lequel la grande route Varsovie-Berlin, par Poznan (Posen), traverse la

(1) Rappelons que le pont-rails de Chicopee Falls (Massachusetts, E.-U.), construit par la Westinghouse Electric Co sur un embranchement particulier desservant ses usines, a été décrit dans le *Génie Civil* du 26 janvier 1929, p. 91.

rivière Sludwia. Sa portée est de 27 mètres d'axe en axe des appuis, et sa largeur totale d'environ 10 mètres. Il est du type à tablier inférieur avec poutres paraboliques triangulées, espacées de 6^m 76. Leur hauteur maximum est de 4^m 30, ce qui assigne à ce pont le rapport $\frac{h}{l} = \frac{1}{6,28}$. Les trottoirs en encorbellement, à l'extérieur des maîtresses-poutres, ont une largeur utile de 1^m 50 environ. Le tablier est en béton armé.

Hypothèses de charges et de calcul. — Le règlement de 1925 du Ministère des Travaux publics fixe à 6^m 20, dans le cas actuel, la largeur utile susceptible d'être chargée. Cette distance comprend $2 \times 0^m 40 = 0^m 80$ de bordure ; en outre, la charge de chaque trottoir peut se répartir sur une largeur utile de 1^m 50.

Le même règlement suppose la chaussée divisée en bandes longitudinales de 2^m 50, dont chacune reçoit une charge mobile représentée par un rouleau compresseur de 20 tonnes et de 3 mètres d'empattement (fig. 4).

Devant et derrière ce rouleau compresseur, on admet une charge uniformément répartie de 500 kg/m², soit donc 1 250 kg

Pour les poutres secondaires du tablier :

$$R_a = 815 \text{ kg/cm}^2.$$

La résistance au cisaillement des soudures a été évaluée par la formule de Bryla :

$$K_c = (K_0 - \mu t) t, \text{ en kg/cm,}$$

dans laquelle K_c représente la résistance admissible au cisaillement, en kilogrammes par centimètre courant de cordon ; t est la largeur du cordon (supposé isocèle et légèrement bombé) exprimée en centimètres. K_0 et μ sont des constantes valant respectivement 640 et 80. Pratiquement, on écrit donc :

$$K_c = (640 - 80t) t \text{ kg/cm.}$$

Cette formule tient compte du fait que la résistance unitaire des cordons latéraux, travaillant au cisaillement, croît plus len-

tement que la dimension transversale. Un cordon de 6 × 6 mm, par exemple, pourra être sollicité à $K_c = (640 - 80 \times 0,6) 0,6 = 355 \text{ kg/cm}$. La résistance à la rupture d'un tel cordon est de 1 200 kg/cm, ce qui donne donc, au cas présent, un coefficient de sécurité de 3,38.

La simplicité du calcul des assemblages est très grande. Voici

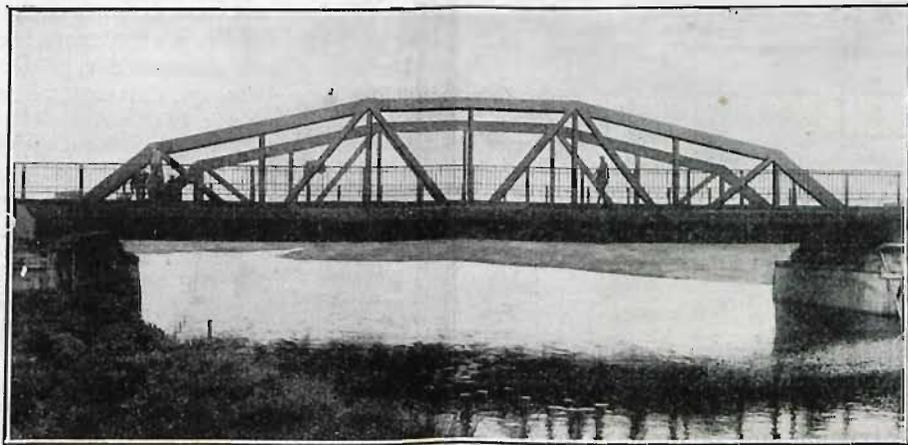
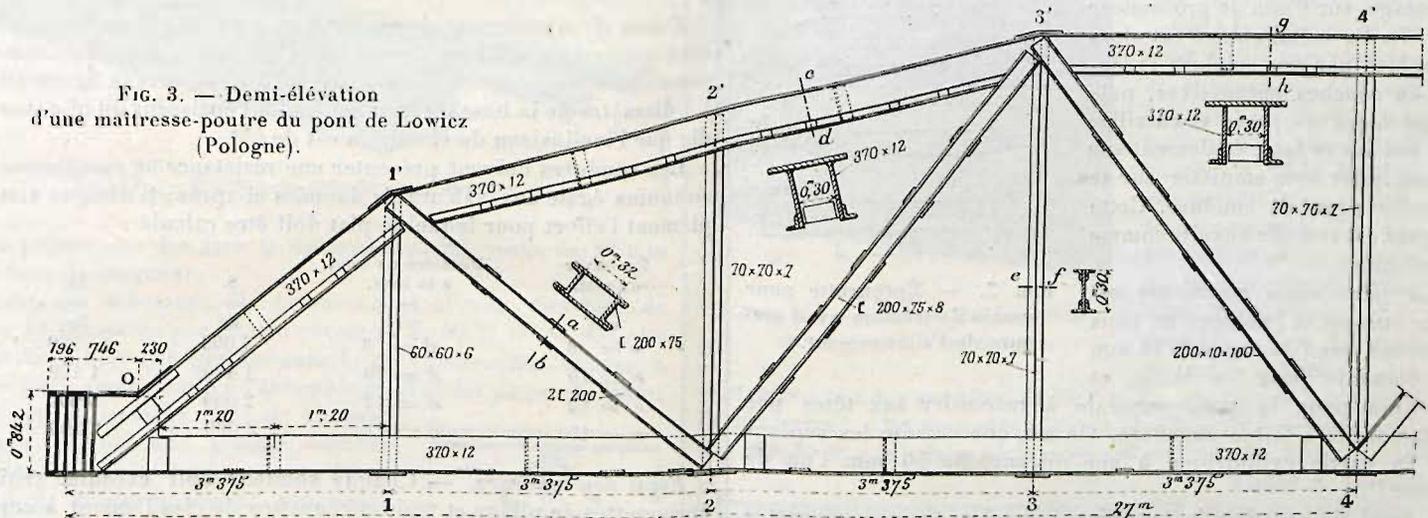


FIG. 2. — Vue d'ensemble du pont-route métallique, soudé à l'arc, de Lowicz (Pologne).

FIG. 3. — Demi-élévation d'une maîtresse-poutre du pont de Lowicz (Pologne).



par mètre courant de bande. La figure 4 montre les emplacements respectifs de ces diverses charges.

En outre, pour évaluer la charge totale sur la largeur b de la chaussée, il faut multiplier la charge d'une bande par le coefficient α qui s'exprime par :

$$\alpha = 0,4 b, \text{ pour } b \leq 5 \text{ mètres ;}$$

$$\alpha = 1 + 0,2 b, \text{ pour } b > 5 \text{ mètres.}$$

De cette façon, la charge totale croît proportionnellement à la largeur du platelage jusqu'à 5 mètres, et moins vite au delà. Les trottoirs sont supposés recevoir une charge répartie de 500 kg/m². La méthode des lignes d'influence donne la position la plus défavorable du compresseur.

Les pièces comprimées se calculent au flambage par la formule de Tetmajer-Jasinski.

L'acier doux utilisé dans la construction doit avoir une résistance à la rupture par traction de 37 à 42 kg/mm² et un allongement, mesuré sur dix fois le diamètre, d'au moins 20 %.

Les taux de travail admissibles sont déterminés par le règlement précité, soit :

Pour les poutres principales :

$$R_a = 900 + 3l = 981 \text{ kg/cm}^2.$$

le calcul pour le joint inférieur de la diagonale 1'-2, au nœud n° 2 (fig. 3).

Effort de traction dans la barre : 56 500 kg. La diagonale est constituée de deux fers U ; en prenant des cordons de 6 × 6 mm.

chaque fer nécessite

$$\frac{56\,500}{2 \times 355} = 80 \text{ cm de sou-}$$

dure. Pratiquement, on a

$$\text{pris } 104 \text{ cm, réduisant}$$

ainsi le taux de travail

$$\text{des cordons à : } \frac{28\,250}{104} =$$

$$270 \text{ kg/cm.}$$

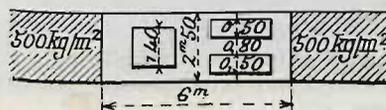
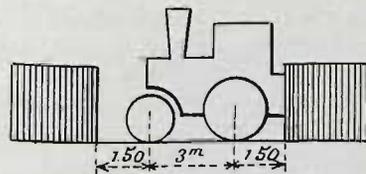


FIG. 4. — Diagramme de la charge d'épreuve réglementaire.

CONDITIONS DE RÉ-

CEPTION DU PROCÉDÉ DE

SOUDEUSE. — Le cahier

des charges, élaboré

d'accord entre la Société

« La Soudure électrique

autogène » et l'auteur, a été approuvé par le Ministère

des Travaux publics : il constitue ainsi le premier règle-

ment officiel relatif à la construction métallique soudée à

l'arc.

Voici les conditions imposées, et une courte description des essais auxquels on a procédé.

Essai de traction sans mesure d'allongement. — Les éprouvettes doivent être constituées de tôle d'acier Siemens-Martin (qualité chaudière) de 38 à 42 kg/mm². Les bords des tôles à juxtaposer sont taillés en biseau, de manière à former un chanfrein en

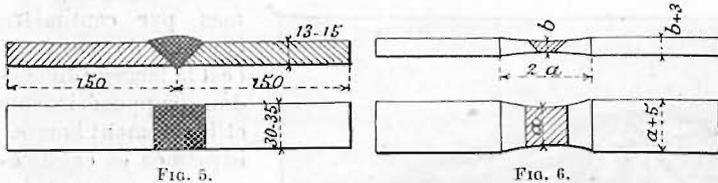


FIG. 5. — Soudure des éprouvettes pour essais de traction.

FIG. 6. — Réduction de l'éprouvette aux dimensions telles que $a + 5$ et $b + 3$ correspondent respectivement à la largeur et à l'épaisseur brutes des barreaux.

forme de V à 90°. Les pièces sont soudées ensuite comme le montre la figure 5, et rabotées ou fraisées aux dimensions indiquées par la figure 6.

La charge de rupture par traction doit valoir au moins 80 % de celle du métal servant à la construction, c'est-à-dire que l'on doit avoir :

$$R \geq 0,8 \times 37 = 29,60 \text{ kg/mm}^2.$$

On procède à trois essais successifs.

Essai de traction avec mesure de l'allongement. — Le métal est le même que pour l'essai précédent, et on en découpe une pièce de 300 × 60 × 15 mm. Cette tôle est entaillée dans le sens de son épaisseur, par fraisage ou rabotage, sur 9 mm de profondeur (fig. 7). Le métal enlevé est alors remplacé par une soudure exécutée en couches successives, puis la pièce est retournée et entaillée sur son autre face, également sur 9 mm, pour bien empiéter sur le premier dépôt de soudure. Cette saignée est remplie ensuite comme la première.

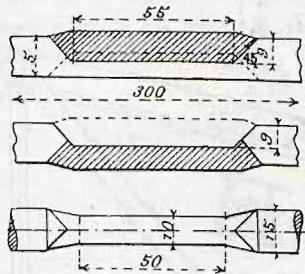


FIG. 7. — Éprouvette pour essais de traction avec mesure de l'allongement.

La pièce ainsi constituée est sciée suivant sa longueur en trois barreaux que l'on tourne à 15 mm de diamètre pour les bouts, et à 10 mm pour la partie centrale à raccorder aux têtes par deux congés à faible courbure. On marque ensuite les repères sur la partie cylindrique, à une distance de 50 mm l'un de l'autre (1).

L'essai de traction lente effectué sur les trois éprouvettes tournées doit donner un allongement de rupture d'au moins 15 % pour chacune d'elles (2).

Essai de pliage. — Deux tôles d'acier Siemens-Martin, de même qualité que les précédentes et mesurant 120 × 70 × 15 mm, sont soudées bout à bout après chanfreinage en V de 90°. Les quatre grandes faces sont ensuite rabotées comme le montre la figure 8, et les arêtes supérieures sont arrondies à la lime. Il faut éviter soigneusement, surtout sur la face tendue, la présence de traits de meule, de lime ou de burin qui pourraient former des amorces de cassures ou de fissures lors du pliage.

La pièce est serrée dans une presse, la soudure reposant par le sommet du V sur un mandrin de diamètre égal à trois fois l'épaisseur de l'éprouvette rabotée (fig. 8). La face supérieure est mise en contact avec deux rouleaux bien graissés, écartés de dix fois l'épaisseur de l'éprouvette rabotée, et dont le diamètre est donné par : $d = 5e - 5$ mm.

Le pliage doit pouvoir se faire jusqu'à 180° (extrémités de l'éprouvette rendues parallèles) sans manifester de rupture ni de criques profondes.

Essai de cisaillement. — On constitue des éprouvettes symétriques, au moyen de deux fers plats soudés sur deux goussets servant de prises aux mordaches de la machine de traction (fig. 9). Les soudures, du type à « cordons latéraux », c'est-à-dire parallèles à l'effort, ont 5 cm de longueur et 5, 10 ou 15 mm de côté ; leur profil est isocèle, à hypoténuse légèrement bombée.

Dans le tableau suivant, S représente la résistance à la traction des fers plats, qui doivent être calculés en conséquence, et

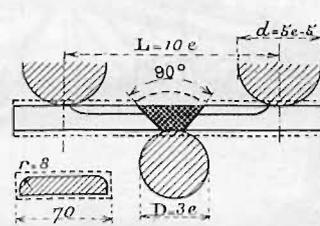


FIG. 8. — Éprouvette pour essais de pliage.

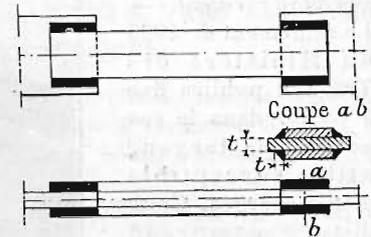


FIG. 9. — Éprouvette pour essais de cisaillement.

R_s est la résistance minimum au cisaillement dont doivent faire preuve les soudures. Cette résistance s'évalue en kilogrammes par centimètre courant de cordon considéré individuellement.

$t = 5$ mm	$S = 12\ 000$ kg	$R_s = 1\ 000$ kg/cm.
$t = 10$	$S = 20\ 000$	$R_s = 1\ 800$
$t = 15$	$S = 28\ 000$	$R_s = 2\ 400$

Chaque essai est répété trois fois, ce qui exige la préparation de neuf éprouvettes.

Essais de cisaillement de soudures en trous. — Deux fers plats sont solidarisés à l'aide de soudures exécutées dans des trous percés et chanfreinés dans l'une des pièces, suivant la figure 10. Le diamètre de la base du trou est égal à l'épaisseur du plat, tandis que l'inclinaison du chanfrein est de 45°.

Les soudures doivent présenter une résistance au cisaillement au moins égale aux valeurs S_s données ci-après ; S désigne simplement l'effort pour lequel le plat doit être calculé :

Épaisseur du plat	Diamètre du trou, à la base.	S.	S_s .
mm	mm	kg	kg
$e = 8$	$d = 8$	1 000	750
$e = 10$	$d = 10$	1 400	1 100
$e = 12$	$d = 12$	2 000	1 600
$e = 15$	$d = 14$	3 000	2 500

Essai des soudeurs. — Chaque soudeur doit exécuter trois éprouvettes de pliage et trois éprouvettes de cisaillement à cordons latéraux qui satisfassent aux essais décrits ci-dessus.

Toutes les soudures d'éprouvettes ont été effectuées au moyen des électrodes enduites, type Arcos-Tensilend, de la Soudure électrique autogène. Les essais ont donné pleine satisfaction, à la suite de quoi l'emploi exclusif de ces électrodes a été décidé.

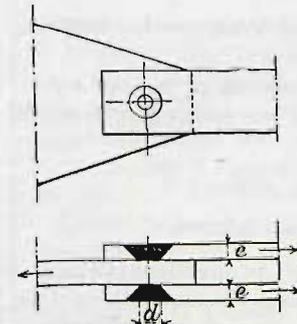


FIG. 10. — Éprouvette pour essais de cisaillement de soudures en trous.

EXÉCUTION DES POUTRES ET DES ASSEMBLAGES. — Les seuls profils utilisés dans la construction sont des tôles, des poutrelles, des fers U et des cornières. En particulier, les poutres principales (membres et entretoises) sont formées de tôles assemblées sur champ pour constituer des poutres en caisson ou en double T.

Dans les membrures à deux âmes (fig. 11), l'écartement de celles-ci est de 300 mm, leur hauteur de 370 mm et leur épaisseur de 12 mm. La semelle de la membrure comprimée est une tôle de 500 × 20 ou de 560 × 29, suivant l'emplacement. La semelle de la membrure tendue est en deux pièces (de 190 × 12

(1) Remarquons que l'allongement pris sur une distance égale à cinq fois le diamètre n'est pas, à proprement parler, identique à celui des éprouvettes normales pour l'essai des matériaux. Il lui est théoriquement supérieur, mais le fait d'avoir porté les points de repère à la naissance même des congés diminue l'allongement (effet des têtes d'éprouvettes) : il y a compensation et, pratiquement, les valeurs sont suffisamment concordantes.

(2) Comme on le verra plus loin, ces conditions de réception ont pu être, par la suite, rendues notablement plus sévères.

jusqu'à 250×18), afin d'éviter la stagnation de l'eau. On avait d'abord pensé composer les semelles en deux ou trois tôles superposées de 10 mm, puis on a préféré, pour plus de facilité, prendre une seule tôle de l'épaisseur voulue (max. 29 mm). C'est en effet une des particularités de la soudure à l'arc, que de permettre l'emploi de tôles aussi épaisses qu'on le désire. Toutefois,

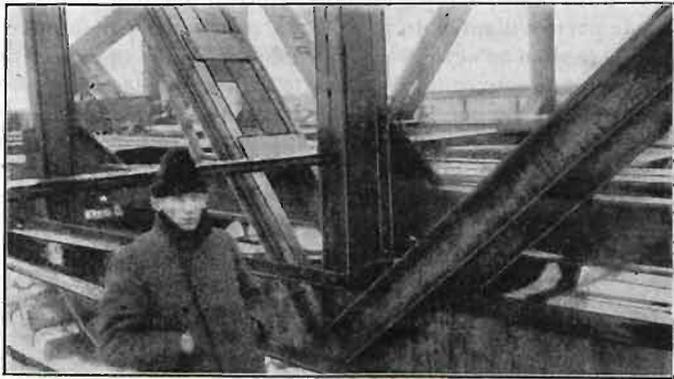


FIG. 11. — Assemblage membrure-montant-diagonales.

rien n'empêcherait la liaison par soudure de semelles superposées : il suffirait de prévoir celles-ci de largeurs légèrement inégales.

Dans la membrure comprimée, on a jugé utile de raidir les âmes à l'aide de cornières longitudinales de $90 \times 90 \times 11$, et de les solidariser par des entretoises en fers U de 300×100 , sur 350 mm de longueur (fig. 12). Enfin, on a disposé entre les entre-



FIG. 12. — Section de membrure comprimée.

toises principales des fers U de même profil, mais de 80 mm seulement de longueur.

Quant aux montants, ils comprennent chacun une tôle de 280×12 renforcée par quatre cornières de $80 \times 80 \times 8$. Cette disposition, bien que peu rationnelle en construction soudée, a été préférée pour faciliter l'assemblage avec les pièces de pont, au moyen de grandes tôles de 12 mm. On assure ainsi une grande raideur latérale aux maîtresses-poutres, sans emploi de contreventement supérieur. Les diagonales sont composées de fers U de 200×75 , entretoisés par des tôles de $200 \times 400 \times 10$, avec joints soudés à recouvrement.

On remarquera l'absence complète de goussets dans les nœuds des maîtresses-poutres. En effet, le recouvrement nécessité par un joint soudé est bien inférieur à celui que demande un assemblage rivé et, partout, les âmes de membrures ont pu suffire à la fixation directe des montants et diagonales.

Les joints bout à bout des tronçons de membrures ont été



FIG. 14. — Entretoise prête au montage.

renforcés par des couvre-joints soudés sur le chantier, surtout dans le but de faciliter le montage. Toutefois, cette disposition ne s'est pas montrée très avantageuse et, dans les prochaines constructions, on donnera sans doute la préférence aux couvre-joints en losange, analogues à celui de la figure 13.

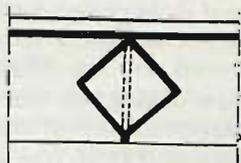


FIG. 13. — Couvre-joint en losange.

Les nœuds d'appuis, aux têtes de pont, ont été très renforcés, au moyen de tôles de 12 mm et de cornières de $80 \times 80 \times 10$. Le joint des membrures supérieure et inférieure se termine

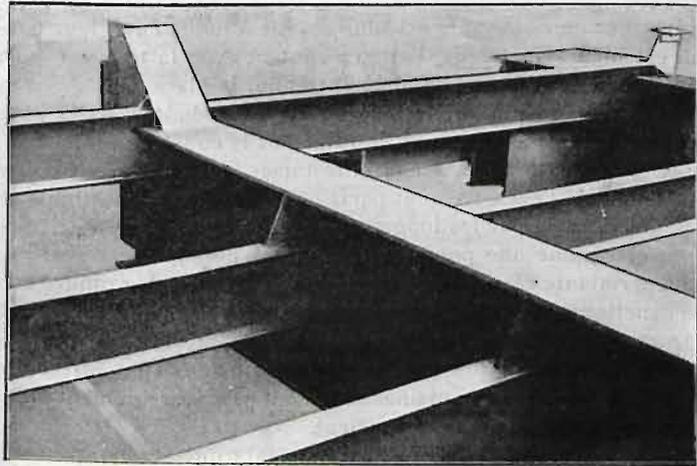


FIG. 15. — Jonction des entretoises et des longrines.

par un caisson rigide, fortement raidi par des cornières verticales (fig. 3, à gauche)

Les pièces de pont ou entretoises sont des poutres en I composées d'une âme de 700×12 et de deux semelles de 350×20 ; ces tôles sont soudées directement, sans cornières ni autres pièces de liaison (fig. 14).

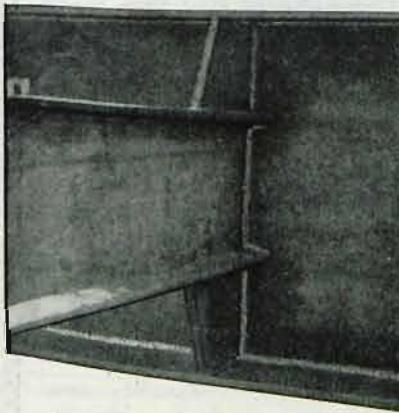


FIG. 16. — Soudure des longrines sur les âmes d'entretoises.

Ce mode de construction véritablement particulier à la soudure à l'arc s'est révélé fort pratique et économique, et son emploi ne fera que s'étendre dans la grosse charpente. La fixation des entretoises aux maîtresses-poutres (fig. 17) est très soignée, et nous en avons signalé plus haut les raisons. Les grandes tôles formant goussets ont encore été

renforcées par des semelles de 250×12 , soudées en bout pour la transmission des moments négatifs résultant de l'encastrement des pièces de pont dans les maîtresses-poutres (fig. 15).

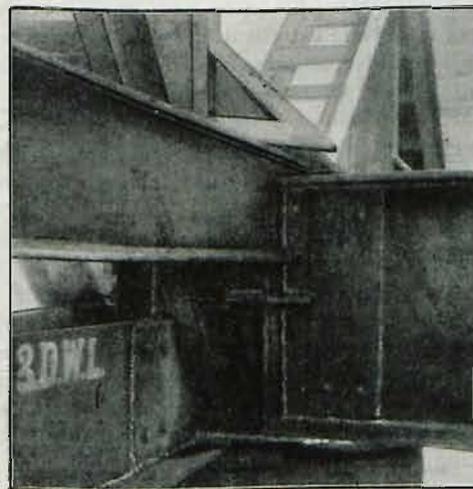


FIG. 17. — Assemblage d'une entretoise sur une poutre.

Grâce à la raideur de cet assemblage, si une entretoise est particulièrement chargée, les entretoises voisines et les maîtresses-poutres participent dans une large mesure à la sollicitation.

Les longrines sont de simples poutrelles de 300×125 , soudées bout à bout sur les âmes d'entretoises. Deux tôles trapézoïdales raidissent cet assemblage (fig. 16). Le but de ces tôles n'est

pas tant de soulager le joint en bout de la poutrelle — qui est bien suffisant à lui seul — que de former raidisseur pour l'entretoise.

Les longrines les plus rapprochées des maîtresses-poutres

sont posées à un niveau supérieur, et la tôle raidisseuse d'entretoise a été raidie elle-même dans le sens horizontal par une autre tôle visible sur la figure 17.

Nous ferons remarquer combien, en construction soudée, les tôles sont préférables aux cornières, dans tous les problèmes de raidissage : leur efficacité est plus grande à poids égal, leur fixation est bien symétrique, l'aile en contact avec la tôle à raidir, médiocrement utile, est supprimée ; enfin, le placement des raidisseurs n'exige plus ni le forgeage des extrémités, ni la pose de fourrures qui alourdissent inutilement la construction.

Le joint des longrines aux entretoises, tel qu'il vient d'être décrit, réalise l'encastrement parfait, c'est-à-dire la continuité de la poutre formée par les longrines successives. On a pu calculer celles-ci comme une poutre continue sur appuis élastiques, ce qui a permis de réaliser une économie de 12 % par rapport à la construction rivée, où les équerres n'offrent aucune résistance à la traction ou à la flexion. L'intérêt de la continuité est surtout sensible dans le cas où une ou deux longrines sont fortement chargées, alors que les voisines ne le sont pas. Le règlement polonais admet cette hypothèse de calcul.

Mentionnons enfin les contreventements du tablier, qui sont formés de cornières de $70 \times 70 \times 7$ soudées sous les semelles des pièces de pont et des membrures inférieures.

MONTAGE A L'ATELIER ET AU CHANTIER. — L'exécution des poutres soudées s'est faite dans les ateliers de l'entreprise Rudzki, à Minsk-Mazowiecki. Comme c'était le premier travail soudé de cette importance exécuté par cette entreprise, la Soudure électrique autogène avait envoyé ses propres soudeurs et contribué à l'organisation du travail (1).

Il peut paraître difficile, à première vue, de maintenir en place les trois tôles destinées à une poutre en double T ou en caisson. Cependant, rien n'est plus simple, grâce à l'outillage décrit ci-après : on s'est servi de brides spéciales (fig. 18 à 20) permettant

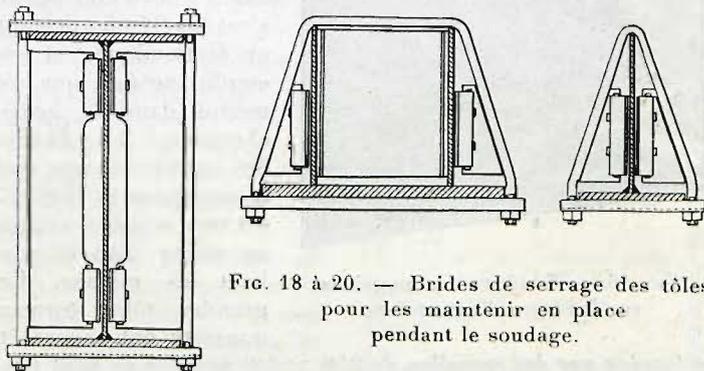


FIG. 18 à 20. — Brides de serrage des tôles, pour les maintenir en place pendant le soudage.

de serrer les tôles sans y faire aucun trou. Ces brides sont faites de fers ronds de 20 mm, filetés aux deux bouts, repliés ou non, et munis de goussets soudés laissant entre eux un intervalle d'environ 5 à 6 cm ; cet intervalle est ensuite réglé à l'épaisseur des âmes des poutres à assembler, au moyen de courtes cornières de $50 \times 50 \times 7$ pointées par soudure électrique.

Les poutres à souder ayant jusqu'à 7 mètres de longueur, six brides par poutre ont été jugées suffisantes. Grâce à leur forme ne gênant pas l'accès du soudeur, on a pu les laisser en place jusqu'après l'achèvement du travail.

Cet outillage s'est montré fort pratique, et il a permis d'obtenir des poutres parfaitement dressées, aucun trou n'a dû être percé dans les tôles pour des boulons de montage.

Les autres parties de la construction ont été montées de façon différente. Pour les joints à recouvrement, comme par exemple ceux des montants, on a maintenu les pièces en place au moyen de deux boulons à chaque extrémité ; cet assemblage provisoire a été renforcé par quelques points de soudure espacés, avant d'entreprendre le soudage définitif.

Les deux fers U composant les diagonales ont été maintenus par les bouts à l'écartement voulu, au moyen de fers U provisoires boulonnés (fig. 21), et en outre par une tôle échancrée déplaçable (fig. 22). Les trous des extrémités des fers U ont servi ensuite au montage sur le chantier.

La mise en place définitive a été réalisée par un boulonnage

(1) La direction des travaux à l'atelier de Minsk-Mazowiecki était assurée par MM. Dolinski et Jasinski ; le chantier était dirigé par M. Skwierczynski.

provisoire, suivi du soudage. Il convient d'insister sur ce point : tous les assemblages définitifs ont été réalisés par soudure à l'arc, sans un seul rivet ni boulon. Le courant nécessaire était fourni sur place aux transformateurs monophasés Arcos, par un alternateur actionné par une locomobile. Le pont a été monté directement en place, sur un échafaudage provisoire en bois barrant la rivière et reposant sur des pilots. Les pièces étaient amenées à l'aide d'un pont-portique en bois, roulant sur deux rails disposés de part et d'autre du pont. On a commencé par monter et souder le tablier en se servant de quelques boulons provisoires, d'équerres et de couvre-joints. Ensuite, on a dressé les maîtresses-poutres qui ont été boulonnées entièrement avant de commencer le soudage. La disposition des nœuds permettait de placer les boulons provisoires sans prévoir de pièces de liaison spéciales.

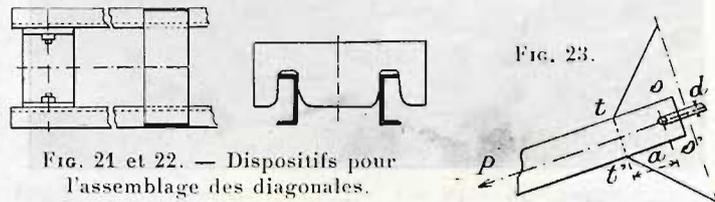


FIG. 21 et 22. — Dispositifs pour l'assemblage des diagonales.

Après achèvement du soudage, tous les boulons ont été enlevés et les trous rebouchés par soudure à l'arc, pour prévenir la corrosion et améliorer l'aspect. Ce remplissage n'était nullement dicté par un souci de résistance, parce que, dans une section telle que ss' , l'effort transmis par la barre est déjà fortement diminué par la présence des cordons de soudure ts et $t's'$ (fig. 23).

CONCLUSIONS. — Le poids total de l'ouvrage est de 55 tonnes, alors que le projet primitif, en construction rivée, prévoyait 70 tonnes : l'économie de métal résultant uniquement de l'emploi de la soudure à l'arc atteint donc 21,4 %.

Comme main-d'œuvre de soudage, il a fallu 1100 heures-homme à l'atelier et 900 heures-homme au chantier (ces chiffres doivent être considérés comme trop élevés, à cause des rigueurs de l'hiver pendant le montage définitif, et aussi parce qu'il s'agissait d'un premier travail).

L'économie de dépense par rapport à la construction rivée n'a pas atteint ce que l'on espérait, malgré la simplification évidente des opérations et l'allègement des fers. On a dû amortir les appareils de soudage, pour la plus grande partie, sur ce seul ouvrage.

En fait, le pont soudé a coûté à peu près autant que s'il avait été rivé, mais ce serait une erreur d'en conclure au manque d'intérêt économique du nouveau procédé.

En effet, les ateliers accoutumés au rivetage et qui entreprennent de la grosse construction soudée manquent d'expérience et ne peuvent pas calculer leurs prix, tout au moins pour le premier travail, sur les mêmes bases que pour la construction rivée ; mais c'est là une situation essentiellement provisoire, et le prix rapporté au kilogramme de construction soudée ne tardera pas, avec un peu de pratique, à tomber en dessous du prix du kilogramme de construction rivée. Cet avantage, joint à l'économie de poids très sensible, est une garantie de l'extension que la grosse construction métallique soudée ne peut manquer de prendre dans un avenir très rapproché (1).

Nous terminerons en signalant que l'étude des essais de réception des électrodes a permis d'élaborer un cahier des charges type pour la charpente soudée. Ce nouveau règlement, qui concerne aussi bien les charpentes d'ateliers et les ponts roulants que les gros ouvrages, a été notablement renforcé en ce qui concerne la sévérité des essais mécaniques. C'est ainsi que la Soudure électrique autogène propose actuellement aux constructeurs d'exiger pour les soudures d'acier doux un minimum de résistance de 40 kg/mm^2 , en même temps qu'un minimum d'allongement de rupture de 18 %. Ainsi, la sécurité de la construction soudée ne cesse de s'accroître à mesure que son emploi s'étend à de nouvelles applications.

ESSAIS DE RÉCEPTION. — Les 10, 11 et 12 août derniers ont eu lieu les essais de réception de l'ouvrage. Ils ont consisté en

(1) On se reportera avec intérêt, à ce sujet, aux considérations développées dans le *Génie Civil* du 2 février 1929, p. 109, par M. GODARD, sur : *Les charpentes soudées, à l'étranger et en France.*

épreuves de mises en charge statique et dynamique, dont voici le détail :

Charge d'épreuve sur le tablier du pont . . t/m². 1,33
 — — — — — les trottoirs 0,5

La mesure des déformations a donné les résultats suivants :

Pour 50 % de la charge d'épreuve, la flèche élastique a été de 2 mm ;
 — 80 % — — — — — 4 mm ;
 — 100 % — — — — — 6 mm.

Cette dernière flèche a été relevée douze heures après la mise en charge complète. Aucune déformation permanente n'a été constatée après l'épreuve statique.



FIG. 24. — Achèvement du tablier du pont.

Le dernier jour, on a procédé à des essais dynamiques au moyen d'un rouleau compresseur, essais qui ont également donné entière satisfaction.

Stefan BRYLA,

Ingénieur, Docteur ès sciences techniques,
 professeur à l'École polytechnique de Lwow (Pologne).

ELECTRICITÉ

LA TENSION LA PLUS AVANTAGEUSE dans les réseaux de distribution de lumière.

Les tensions les plus employées pour la distribution de l'énergie électrique sont 110 et 220 volts, ou des tensions voisines (en France, les tensions normalisées par l'arrêté ministériel du 10 juillet 1925 sont 115 et 230 volts).

On a souvent discuté la question de savoir quelle était la plus avantageuse de ces deux tensions. Au point de vue du distributeur, et à prix égal perçu par kilowatt-heure, la tension la plus élevée est naturellement la plus économique, comme conduisant à des frais d'installation plus faibles.

Au point de vue du consommateur, à prix égal payé par kilowatt-heure, la tension de 110 volts est préférable pour la lumière, en raison du rendement plus élevé des lampes, à durée égale. Pour la force motrice, on ne peut fixer aucune règle générale : les tensions basses se prêtent mieux à la construction des petits moteurs ; les tensions même plus élevées que 220 volts peuvent se trouver intéressantes lorsqu'il s'agit de fortes machines.

Mais la tension de 220 volts peut avoir un intérêt, même pour le consommateur de lumière, si, grâce à son emploi, le distributeur peut réduire le prix de l'énergie.

Il était donc utile d'examiner la question en se plaçant à un point de vue plus général, c'est-à-dire sans tenir compte de l'intérêt de l'une ou l'autre partie. C'est ce qu'a fait M. Chrustschoff dans une étude publiée par l'*Elektrotechnik und Maschinenbau*, du 16 juin, en se plaçant d'abord au point de vue exclusif de l'éclairage, et en n'envisageant que les réseaux desservis par courants triphasés.

L'auteur suppose qu'une lampe à incandescence à 220 volts dans le vide, de puissance moyenne (25 watts), absorbe 19 %

d'énergie de plus qu'une lampe à 110 volts (pour une lampe à atmosphère gazeuse de 75 watts, la différence atteint 26 %). Il établit une expression qui donne la tension la plus économique, en admettant que la loi du rendement des lampes en fonction de la tension normale est linéaire, et en recherchant quelle est la dépense totale minimum (somme des charges de capital et de la dépense d'énergie pour un flux lumineux donné), les variables étant les suivantes :

- Coefficient d'utilisation ;
- Prix de revient du kilowatt-heure ;
- Prix spécifique des conducteurs ;
- Prix de la partie des canalisations indépendante des conducteurs ;
- Prix spécifique des transformateurs ;
- Prix de la partie des postes de transformation, indépendante de la puissance ;
- Densité de la charge.

Il arrive ainsi à une expression de la forme :

$$U = \sqrt{\frac{pA}{100 \cdot \sqrt{s} \cdot \frac{rp}{100} (+ Tm)}}$$

où :

- U est la tension cherchée ;
- A, la valeur d'une expression qui est fonction des divers éléments du prix des installations ;
- e, une constante qui résulte de la variation du rendement des lampes avec la tension ;
- s, la densité de la charge ;
- r, la partie du prix des transformateurs variable avec la puissance ;
- p, le taux d'intérêt, amortissement et entretien du réseau ;
- T, la durée annuelle d'utilisation ;
- m, le prix de revient du kilowatt-heure.

Ainsi, la tension la plus économique diminue lorsque le prix de l'énergie, la durée d'utilisation et la densité de la charge augmentent.

En appliquant cette formule avec des prix qui correspondent à peu près aux circonstances actuelles, à deux prix de revient de l'énergie et à trois sortes de canalisations, l'auteur arrive au tableau I ci-dessous (nous avons converti les marks en francs en les multipliant par 6) :

TABLEAU I. — Variations du prix de revient de l'énergie.

Densité de la charge s (watts par m ²)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
I. Canalisation aérienne	127	107	97	90	85	81	78	"	"	"	"	"	"	"	"
II. Canalisation mixte	"	"	98	91	86	82	80	77	75	74	"	"	"	"	"
III. Canalisation souterraine	"	"	"	"	94	90	87	84	82	79	77	76	74	73	72
IV. Canalisation aérienne	177	149	134	125	118	113	109	"	"	"	"	"	"	"	"
V. Canalisation mixte	"	"	146	127	121	115	111	107	104	102	"	"	"	"	"
VI. Canalisation souterraine	"	"	"	"	132	126	121	118	114	111	108	106	104	102	100

En aucun cas, la tension économique n'atteint 220 volts. Il est juste d'ajouter que, si la densité de 1,5 W/m² est largement dépassée dans certaines villes, celle de 0,1 W/m² n'est pas atteinte dans nombre de villages.

Comme le bas prix de l'énergie est l'exception dans un réseau peu dense, l'auteur donne en outre les chiffres suivants :

s =	0,1	0,2	0,3		
I	106	88	79	m = 0,90	T = 1 000
II	85	72	65	m = 0,90	T = 1 500
III	106	88	79	m = 0,60	T = 1 500

D'après quelques fabricants de lampes, la différence de consommation entre la lampe de 25 bougies à 220 volts et celle à 110 volts serait, non pas 19 %, mais seulement 12 % ; auquel cas les chiffres du premier tableau se modifieraient comme l'indique le tableau II.