

---

# Les charpentes métalliques tubulaires

par **Stephane Bryla**

Docteur-Ingénieur, Professeur à l'École Polytechnique de Lwow (Pologne)

## Considérations générales

Pour la construction des charpentes métalliques, les sections tubulaires constituent en théorie, la solution la plus économique; à égalité de poids, les sections tubulaires possèdent, en effet, des moments d'inertie plus grands que ceux des profils ordinaires.

Malgré ces avantages, les sections tubulaires n'étaient employées que dans des cas tout à fait exceptionnels, à cause des difficultés d'exécution des charpentes tubulaires, de leur entretien malaisé et de leur coût élevé.

En construction rivée, les assemblages de tubes de petits diamètres, entre eux et à des profilés ordinaires, sont difficiles à réaliser. D'autre part il est malaisé de mettre leur surface intérieure à l'abri de la corrosion; seuls les tubes d'un diamètre suffisant pour permettre le passage d'un homme, peuvent être efficacement protégés intérieurement.

Enfin, le prix des tubes étirés est beaucoup plus élevé que celui des profilés courants; leur emploi ne peut donc se justifier que si l'économie de poids compense l'accroissement du prix au kilo ou si la condition de légèreté est primordiale.

En pratique, et jusqu'en ces dernières années, les charpentes métalliques tubulaires ne furent adoptées que lorsqu'on put faire usage de tubes de diamètres considérables fabriqués à l'aide de tôles cintrées, assemblées par rivetage. Le pont du *Firth of Forth* est un exemple de ce genre de constructions.

## Charpentes tubulaires soudées

L'apparition des procédés de soudure autogène et du découpage au chalumeau oxy-acétylénique fut le point de départ de l'essor considérable que prend actuellement la construction métallique tubulaire.

*Tubes* : Les tubes peuvent être soit étirés, soit à joint longitudinal soudé ou rivé.

Bien que de valeur constructive plus grande, les tubes étirés sont relativement peu utilisés, à cause de leur prix élevé.

Dans le cas de diamètres moyens et, *a fortiori*, dans le cas de petits diamètres, les tubes à joint longitudinal en rivure sont difficiles à fabriquer; de plus, les trous de passage des rivets déforment la section du joint; enfin, la présence d'un couvre-joint et des têtes de rivets confère à la surface extérieure du tube un aspect peu favorable.

Les tubes à joint soudé ne présentent aucun de ces inconvénients; pour leur fabrication, on part d'une bande de tôle plane dont on réalise le pliage à l'aide d'un outillage spécial et dont les bords rapprochés sont soudés. Une autre méthode de fabrication consiste à enrouler en hélice la bande de tôle et à souder les bords adjacents. Le dépôt de cordons de soudure hélicoïdaux est moins facile, mais les tubes obtenus présentent plus de garanties.

Le pliage des tubes en acier peut s'effectuer à froid ou à chaud, selon le diamètre et l'épaisseur du tube; on peut d'ailleurs corriger par chauffage les défauts causés par le pliage à froid.





Fig. 13. Plongeoir en tubes soudés construit à Berlin en 1931.

*Assemblages de tubes* : C'est surtout dans les procédés d'assemblages des tubes que la soudure a apporté une véritable révolution.

En construction rivée, l'assemblage de tubes de grands diamètres était malaisé ; il devenait très difficile pour les tubes de diamètres moyens et irréalisable pour les tubes de petits diamètres. C'est ainsi que dans la construction des fermes de toitures on évitait d'utiliser des tubes malgré leurs avantages.

La soudure supprima les difficultés d'assemblage des tubes. L'exécution des nœuds de treillis, la plus difficile à réaliser par rivure, fut simplifiée et facilitée au maximum.

Le mode d'assemblage des tubes le plus simple est la jonction bout-à-bout. Si les tubes à assembler sont formés de tôles peu épaisses, on pourra les renforcer au droit du joint à l'aide de plaques de renfort

s'étendant sur une partie de la circonférence du tube ou faire usage d'un manchon de raccordement.

Pour les assemblages de tubes entre eux ou de tubes à d'autres profilés, par exemple à des fers T, on peut utiliser des goussets d'assemblage qui permettent d'allonger les cordons de soudure ou de leur donner des longueurs équivalentes. Les goussets seront placés entre les tubes (fig. 21) ou glissés dans des fentes ménagées dans les tubes (fig. 16).

Les profilés tubulaires <sup>(1)</sup> conviennent particulièrement pour la construction des poutres en treillis et des linteaux et constituent un profil idéal pour la résistance à la compression.

La résistance des assemblages tubulaires soudés a été mise en évidence par les expériences de Hilpert et de Bondy à l'École Polytechnique de Charlottenburg. Ces expérimentateurs soumièrent à des essais de flexion des mâts tubulaires soudés, qui se révélèrent deux fois plus résistants que des mâts similaires en profilés rivés, tout en étant plus légers.

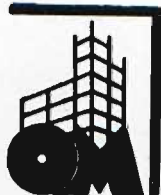
### Avantages et inconvénients des charpentes tubulaires <sup>(2)</sup>

La section annulaire permet de constituer les barres comprimées avec le minimum de matière, donc les plus légères. Quand on fait usage de tubes étirés, l'économie de poids réalisée n'arrive pas à compenser l'accroissement des dépenses dû au coût unitaire plus élevé de ces tubes. Au contraire, quand on fait usage de tubes soudés, la différence de prix avec les pro-

<sup>(1)</sup> Voir BRYLA, *Spawanie elektryczne Zelaza*, Varsovie, 1927.

<sup>(2)</sup> HILPERT-BONDY, *Neuere Rohrbauten Z.V.D.I.*, 1933.

BRYLA, *Spawane Konstrukcje Rurowe*, *Spawane i Ciecic Morali*, 1933.



filés courants est assez faible pour justifier l'emploi des profils tubulaires.

L'esthétique des constructions tubulaires, surtout celles de petites dimensions, est meilleure que celle des constructions en fers cornières ou autres profilés courants. C'est le cas notamment des trempins, mâts, petits ponts, etc... D'ailleurs les conditions architecturales exigent fréquemment des sections circulaires.

Les profils tubulaires ne présentent pas de bords tranchants, susceptibles de blesser la personne qui les prend en mains : c'est le cas des trempins, des rampes, etc., qu'on construit fréquemment en tubes pour cette raison.

Leurs faibles dimensions transversales réduisant au minimum l'ombre portée, font adopter les constructions tubulaires pour la construction des charpentes de toits vitrés. C'est en tubes soudés que fut exécuté le croisillon de la charpente du toit vitré du hall des opérations financières de la Caisse d'Epargne de Varsovie (fig. 15).

La réduction de la surface extérieure des profils tubulaires par rapport aux autres profilés atteint normalement 20 à 30 % et parfois même 50 %. Il en résulte une économie notable d'enduit protecteur.

Les charpentes tubulaires ne présentent pas de parties d'accès difficiles, dépourvues d'enduit protecteur et particulièrement exposées à la corrosion. Elles permettent un écoulement de l'eau aisé et sûr.

Les charpentes tubulaires offrent moins de prise au vent par suite de leur section réduite et de leur forme aérodynamique plus avantageuse. Cet avantage est important pour les mâts et les pylônes.

Le principal désavantage des charpentes tubulaires est leur prix unitaire élevé ; en général elles ne sont pas économiques et c'est l'un ou l'autre de leurs avantages propres qui en impose le choix.



Fig. 14. Plongeoir en tubes soudés, à Szarłoj, Pologne.



Fig. 15. Ferme parabolique en tubes soudés de la charpente du toit vitré du hall des opérations financières de la Caisse d'Epargne de Varsovie.



Actuellement, la corrosion de la surface intérieure des tubes n'est plus à craindre; par application de béton ou d'un mortier de ciment, on met l'intérieur du tube complètement à l'abri de la rouille, moyennant une légère augmentation du poids de la construction. En outre, les tubes sont fermés et soudés à leurs extrémités. Pour les tubes de grand diamètre accessibles à l'intérieur, la préservation est facile à assurer.

### Exemples de constructions tubulaires

La figure 13 représente le plongeur à deux étages exécuté à Berlin par Bondy en 1931. Le plongeur a 9 m. 75 de hauteur; les tubes ont 10 cm. de diamètre et sont assemblés sans goussets par soudure oxy-acétylénique. La figure 14 représente un plongeur à Szarlotj, Pologne.

Le hall des opérations financières de la Caisse d'Épargne de Varsovie possède un toit vitré supporté par des fermes en treillis de forme parabolique, disposition économique et permettant un accès facile au-dessus de la verrière (fig. 15).

Les fermes ont 14 m. 42 de portée et sont écartées de 3 m. 40 au centre et de 3 m. 27 aux extrémités; la longueur totale du hall est de 23 m. 54 ( $2 \times 3,27 + 5 \times 3,40$ ). L'arbalétrier et l'entrait sont constitués respectivement de fers T de  $80 \times 80 \times 9$  et de  $70 \times 70 \times 8$ . La triangulation en W est formée de tubes de 52 mm.

Le profil tubulaire a été choisi pour obtenir le maximum de clarté; l'assemblage des tubes aux membrures a été réalisé en entaillant le tube au chalumeau et en soudant le tube au fer T, le long de l'entaille. Aux endroits où l'inclinaison des diagonales ne permettait pas un embrèvement convenable, on a soudé des goussets circulaires sur l'âme des fers T, de ma-

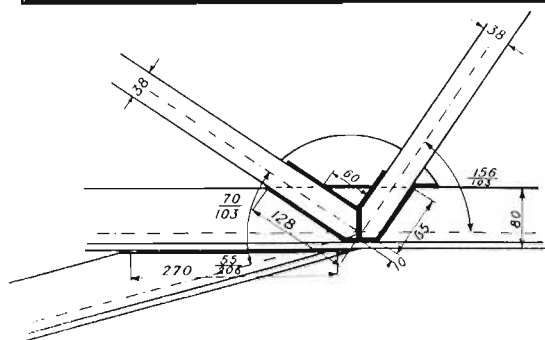


Fig. 16. Vue en élévation d'un nœud de l'entrait des fermes paraboliques.

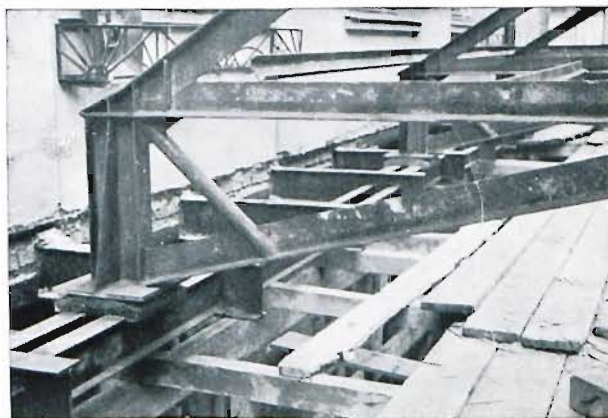
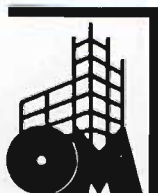


Fig. 17. Vue de l'assemblage des supports des fermes paraboliques.



Fig. 18. Coupole en tubes soudés de la Caisse d'Épargne de Varsovie.



nière à obtenir des cordons de soudure de longueur suffisante (fig. 16). Les extrémités des tubes ont été fermées par soudure sur les ailes des fers T, de manière à isoler l'intérieur des tubes et à le mettre à l'abri de la corrosion. La figure 17 représente les détails de l'assemblage des supports des fermes.

La Coupole de la Caisse d'Épargne de Varsovie a été exécutée en tubes soudés au chalumeau (fig. 18). L'emploi de tubes dans cette construction a permis de réaliser une économie de poids de près de 50 % et offrait en outre l'avantage d'une exécution très simple. La charpente de la coupole, de forme hémisphérique, se composait de cercles méridiens reliés par des tubes transversaux. Au lieu de disposer ces tubes transversaux dans des plans horizontaux, ce qui aurait nécessité des courbures différentes à chaque niveau, on les constitua de tronçons placés dans des plans diamétraux de la sphère, ce qui permit de leur donner la même courbure et de n'utiliser qu'un seul et même gabarit de pliage.

Les tubes utilisés avaient 50 mm. de diamètre et 4 mm. d'épaisseur. Seule, la membrure à la base de la coupole était constituée par un fer T de  $140 \times 140$ .

La coupole a 12 m.40 de diamètre ; sa hauteur est de 7 m. 50. Le poids des tubes de son ossature atteint 2.600 kg. Celle-ci fut recouverte d'un treillis métallique servant d'armature à une couche de béton de 4 cm. d'épaisseur. La figure 19 représente la coupole en cours d'exécution.

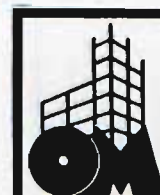
Les figures 20 et 21 représentent la charpente exclusivement tubulaire des usines Perun à Varsovie. La portée des fermes est de 12 m. 66. Les arbalétriers sont constitués de tubes de 100 mm. ; les entrants des fermes sont formés de tubes de 70 mm. aux extrémités et de tubes de 44 mm. 5 dans la portée centrale. Les semelles d'appui sont



Fig. 19. La coupole en tubes soudés de la Caisse d'Épargne de Varsovie en cours d'exécution.



Fig. 20. Assemblage des arbalétriers des fermes en tubes soudés supportant la toiture des usines Perun à Varsovie.



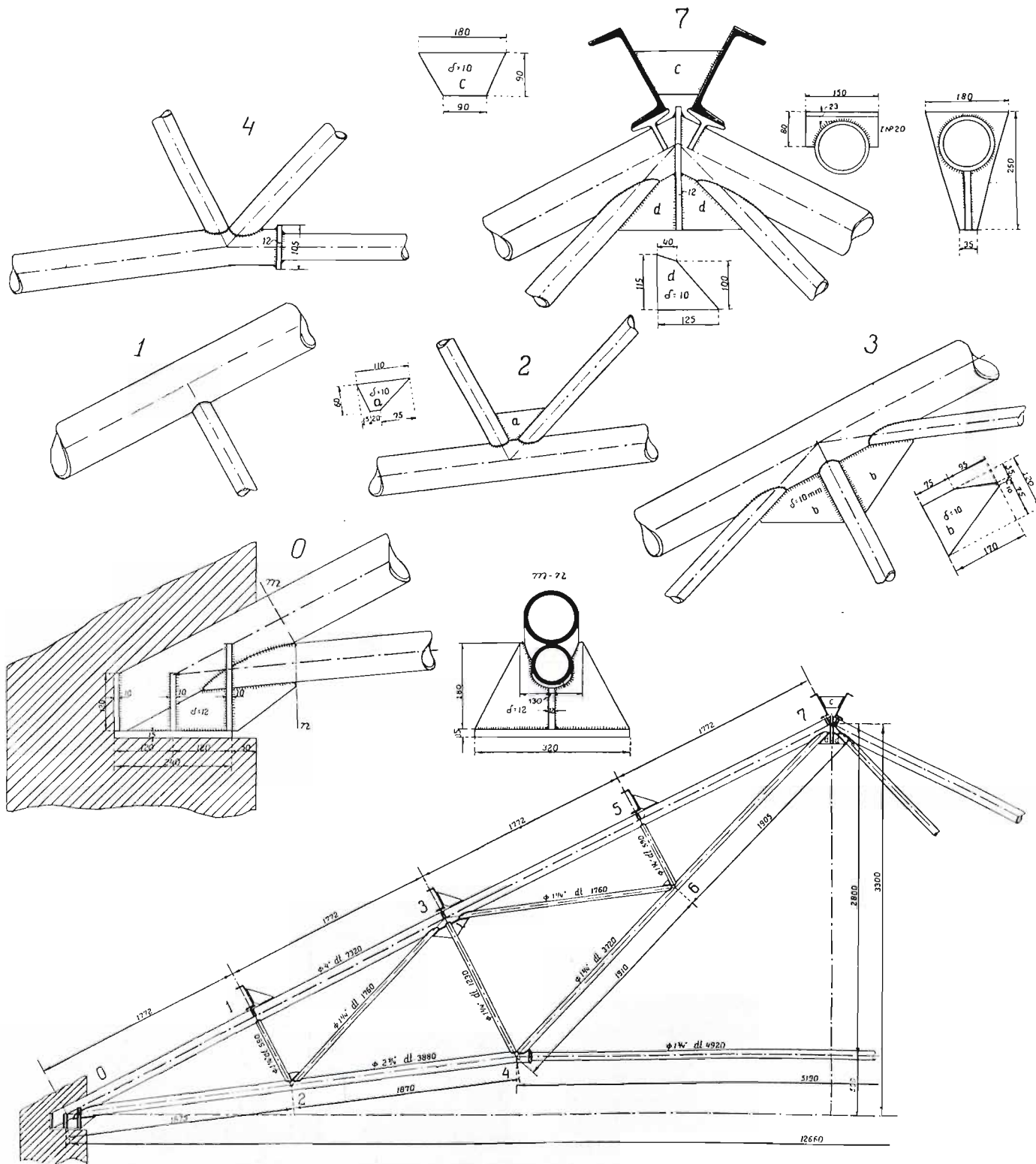
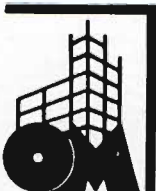


Fig. 21. Vue en élévation des fermes en tubes soudés supportant la toiture des usines Perun à Varsovie. Détails des nœuds et des appuis.

16



formées de tôles soudées à angles droits. Les assemblages principaux ont été réalisés à l'aide de goussets en tôle ; les pannes sont fixées sur l'arbalétrier par l'intermédiaire de sellettes découpées dans des fers T. Toutes les soudures furent effectuées au chalumeau. Les trois constructions précédentes ont été faites par la Société Perun de Varsovie.

On vient d'achever à Milan la construction d'une tour en tubes étirés de 106 m. 60 de hauteur (fig. 22). Cette tour est hexagonale ; ses piliers sont réunis entre eux par des contreventements verticaux en losange et par des contreventements horizontaux formant un réseau de triangles équilatéraux. Les piliers, au nombre de 6, sont légèrement inclinés et sont formés de tubes dont les diamètres varient de la base au sommet de 432 mm. à 165 mm. Les contreventements se composent de tubes dont les diamètres varient de 178 à 82 mm. Au centre de la tour se trouvent un escalier et un ascenseur, menant à la plate-forme au sommet de la tour.

Les figures 11 et 12 montrent les détails de l'assemblage des contreventements aux piliers. Ces assemblages sont réalisés à l'aide de goussets en tôle pénétrant dans des fentes pratiquées à cet effet dans les piliers. Les contreventements horizontaux et verticaux sont reliés par trois goussets en tôle pénétrant dans des fentes pratiquées dans les tubes, dont les extrémités sont pliées et soudées aux tôles. Un montage provisoire fut réalisé à l'aide de boulons traversant les extrémités des tubes (fig. 23).

La figure 24 représente le réservoir à eau de Tallahassee en Floride. Sa capacité est de 1515 m<sup>3</sup>. Il est supporté par 8 piliers tubulaires de 85 cm. de diamètre ; sa hauteur est de 23 m. (1).

(1) Voir *L'Ossature Métallique*, n° 4, juillet-août 1933, p. 144.

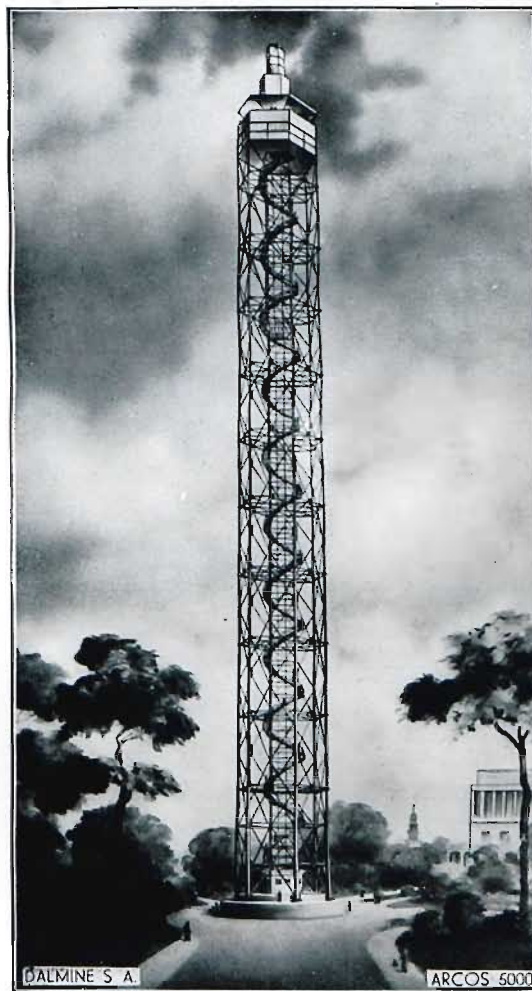
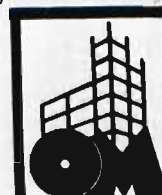


Fig. 22. Vue de la tour Littoria à Milan. La tour a 106,60 m. de hauteur et est construite en tubes assemblés par soudure. (Cliché Arcos.)



Fig. 23. Détail d'un nœud de contreventement horizontal de la tour Littoria. (Cliché Arcos.)





**Fig. 24.** Château d'eau à Tallahassee, Floride. Capacité 1.515 m<sup>3</sup>. Le réservoir est supporté par 8 piliers tubulaires.

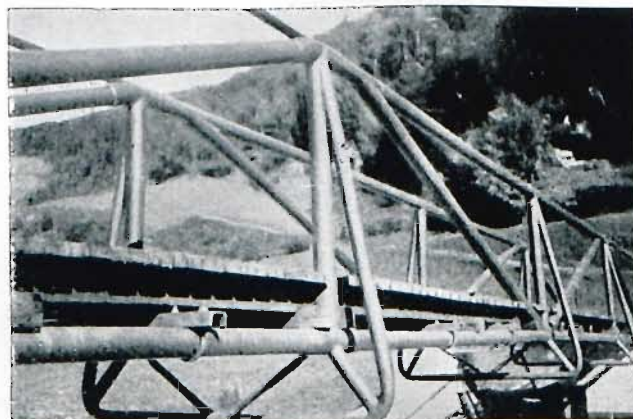
Dans le domaine de la construction des ponts, nous citerons la passerelle de Wiesberg sur la rivière Tresanne (Autriche), construite entièrement en tubes en 1931 (fig. 26 et 27). La passerelle a 14 m. de portée et 1 m. de largeur ; elle a été calculée pour une surcharge de 200 kg/m<sup>2</sup>. La hauteur des poutres en treillis à membrures parallèles, qui forment en même temps garde-corps, est de 1 m. 20 ; elles sont reliées par un contreventement horizontal en treillis. Des renforts transversaux furent placés au droit des montants médians. L'accès au chantier étant difficile, la passerelle fut construite à l'atelier en trois parties, munies chacune d'un renfort transversal. Ces parties furent transportées séparément sur le chantier et assemblées à l'aide de manchons reliant les membrures tubulaires. On fit usage pour cette construction de tubes de 38 mm. à 80 mm. de diamètre. La réduction de poids par rapport à une passerelle en construction rivée, objet d'un premier projet, atteignait 50 %. Comme d'autre part, le coût

de la soudure fut inférieur à celui du rivetage, la construction tubulaire se révéla la plus économique. Les soudures furent exécutées au chalumeau oxy-acétylénique.

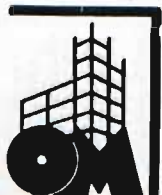
Dans la construction du pont de Kho-daung, à Burma (Indes) (fig. 28), on fit usage de tubes dans une large mesure. Ce pont a 4 travées et 30 m. de longueur totale.



**Fig. 25.** Détail d'un des six nœuds d'angle d'un contreventement horizontal de la Tour Littoria à Milan. (Cliché Arcos.)



**Fig. 26.** Vue de la passerelle de Wiesberg sur la rivière Trésanne en Autriche. La passerelle est entièrement construite en tubes assemblés par soudure.





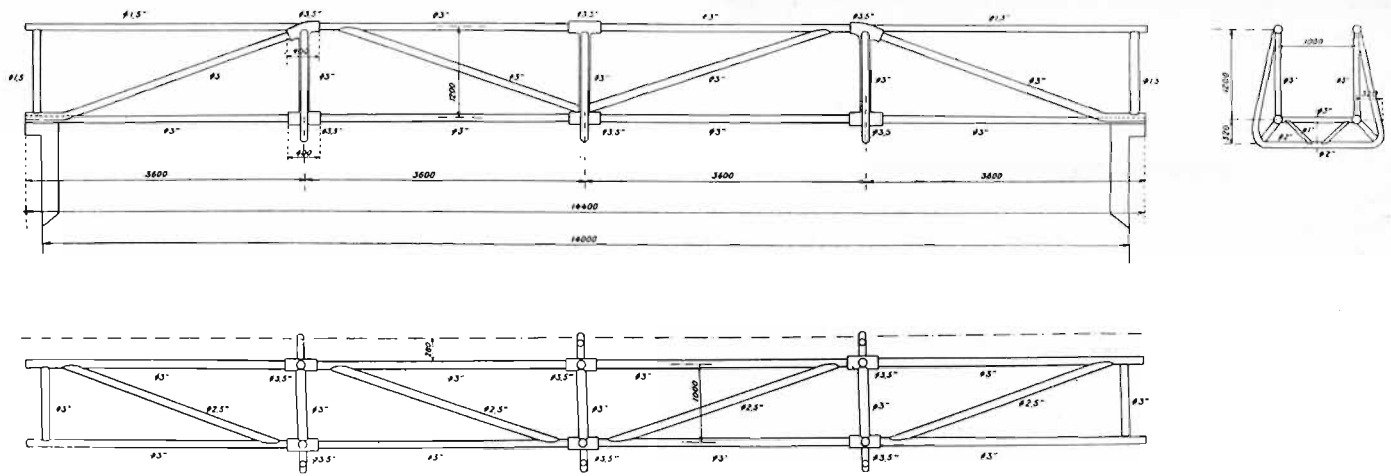


Fig. 27. Elévation, plan et section de la passerelle de Wiesberg (Autriche).

Ses piles ont 6 m. de hauteur elles sont entièrement construites en tubes. Des tubes de 25 cm. furent également utilisés dans la construction du tablier ; ils furent coupés à longueur et assemblés aux poutres par soudures. Les tubes utilisés dans cet ouvrage étaient des tubes de remploi ce qui rendit la construction particulièrement peu coûteuse. Les soudures furent exécutées à l'arc électrique.

Il existe encore de nombreuses autres constructions tubulaires ; il ne nous est pas possible de les décrire toutes dans cet article et nous avons dû nous borner à la description des plus caractéristiques.

Les exemples cités montrent que l'application de la soudure a augmenté considérablement le nombre de profils utilisables en construction : tout particulièrement les tubes métalliques, considérés jusqu'à présent comme peu désirables pour la cons-

truction des charpentes, ont trouvé de vastes débouchés dans ce domaine.

Cela ne veut évidemment pas dire que les tubes deviendront dans l'avenir un élément primordial de la construction. Bien souvent des raisons d'économie prévaudront sur les considérations théoriques. C'est ainsi notamment que les tubes soudés peuvent fréquemment conduire à des solutions économiques, tandis que les tubes étirés donnent des constructions plus coûteuses.

Les constructions décrites précédemment doivent être considérées comme des constructions d'essai, à grande échelle, entreprises en vue de rechercher des voies nouvelles dans le domaine de la construction métallique soudée.

Il est certain en tout cas que grâce à la soudure, l'emploi des tubes dans la construction se développera de plus en plus.

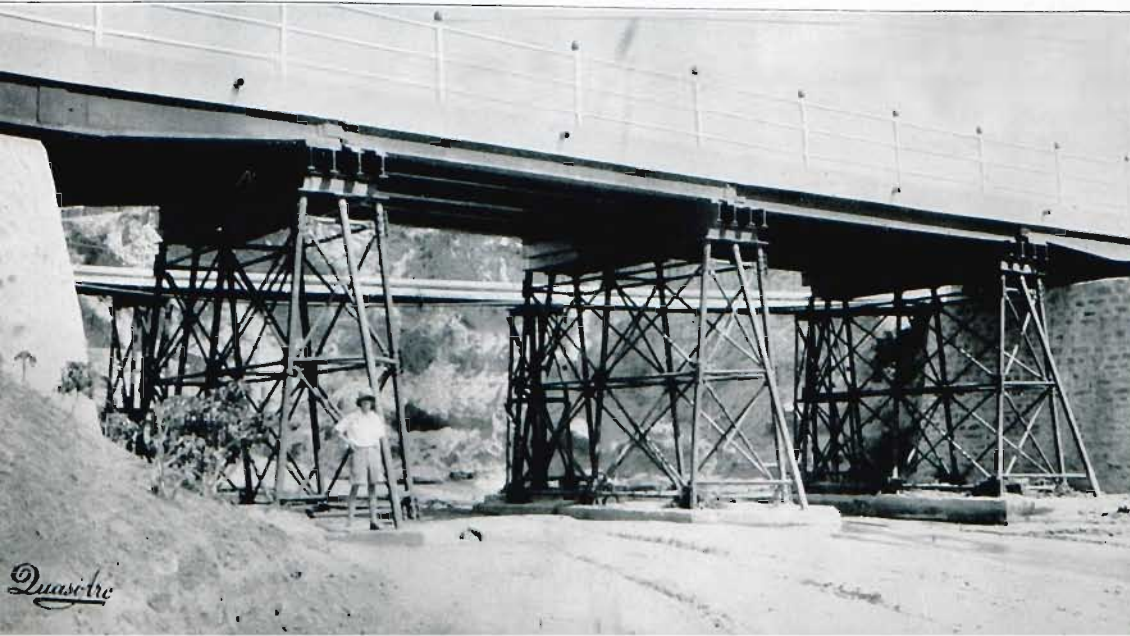


Fig. 28. Pont route de Khodaung à Burma, Indes. Les piles sont formées de tubes métalliques assemblés par soudure. (D'après la revue *Electric Welding*.)