

Evolution et tendances dans la construction des ponts métalliques

Autor(en): **Mehue, Pierre**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **12 (1984)**

PDF erstellt am: **15.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-12197>

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

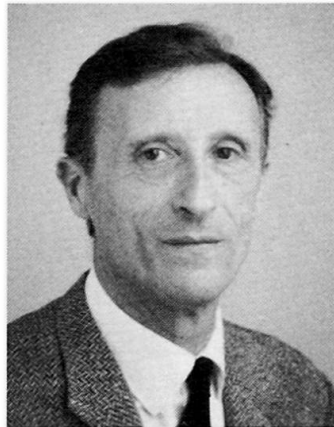
Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Evolution et tendances dans la construction des ponts métalliques

Entwicklung und Tendenzen im Stahlbrückenbau

Evolution and New Trends in Steel Bridges

Pierre MEHUE
Ing. Div. TPE
SETRA
Bagneux, France



Né en 1932. Entre en 1958 au Service Central d'Etudes Techniques puis en 1967 au Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes où il occupe depuis 1974 les fonctions de Chef d'Arrondissement à la Division des Ouvrages en Métal du Département des Ouvrages d'Art.

RESUME

Les progrès réalisés en matière de fourniture des aciers de charpente d'une part et d'usinage d'autre part, ont donné vers la fin de la précédente décennie un essor nouveau à la construction des ponts métalliques en France. Les améliorations apportées concernent surtout les caractéristiques géométriques et mécaniques des aciers permettant de réaliser des structures plus simples et plus robustes, dont la mise en oeuvre s'effectue pratiquement uniquement par soudage et qui présentent de ce fait une meilleure résistance à la corrosion.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Fortschritte im Bereich der Lieferung und der Herstellung von Baustahl haben gegen das Ende des letzten Jahrzehnts dem Stahlbrückenbau in Frankreich zu einem neuen Aufschwung verholfen. Die Verbesserungen betreffen vor allem die Geometrie und die mechanischen Eigenschaften des Baustahls, welche den Bau einfacher und widerstandsfähiger Konstruktionen erlauben. Die Montageverbindungen bestehen praktisch nur noch aus Schweißungen. Damit wird auch ein besserer Korrosionsschutz erreicht.

SUMMARY

The advancement made over the past fifteen years in elaboration and fabrication of steel for welded frameworks led to a new development in building steel bridges in France during the late seventies. Improvements were achieved as regards both geometrical and mechanical characteristics of steel plates to enable a simplification of bridge structures. Moreover, modern bridges constructed by entirely welded frames, consisting of I girders made of rather thick plates, are more resistant to corrosion.



1 - INTRODUCTION

Après une période d'accalmie vers le début de la précédente décennie, la construction des ponts métalliques en France a connu, vers 1978, un certain renouveau dû pour l'essentiel aux progrès réalisés en matière de fourniture et d'usinage des aciers de charpente, ainsi qu'aux efforts apportés au niveau de la conception des ouvrages pour tirer un meilleur parti du matériau et en particulier le rendre moins sensible à la corrosion.

2 - ACIERS DE CONSTRUCTION

Les améliorations apportées dans l'élaboration et la fabrication des aciers pour charpente métallique concernent à la fois les caractéristiques géométriques et les caractéristiques mécaniques des produits fournis.

2.1 - Caractéristiques géométriques

Alors que les textes règlementaires limitaient à 50 mm l'épaisseur des tôles que l'on pouvait utiliser, les produits effectivement mis en oeuvre jusqu'à la fin des années 60 étaient généralement, pour des questions de facilité de soudage, beaucoup plus minces, les valeurs les plus fréquemment adoptées se situant entre 20 et 30 mm. Il était donc nécessaire, pour constituer les membrures des poutres en I, de prévoir :

1 - des semelles de largeur relativement faible (500 à 700 mm) de manière à se prémunir contre l'apparition de phénomènes d'instabilité en cas de sollicitation en compression,

2 - la superposition, dans les zones les plus sollicitées à la flexion, de plusieurs semelles (3 à 5 suivant les cas) dont le raboutage, lors de l'assemblage des tronçons sur le site, étaient assez délicat en raison de la complexité des séquences de soudage conduites dans un ordre très précis pour éviter les déformations et bridages (Fig. 1),

avec les nombreuses sujétions qui pouvaient en résulter au stade de la conception comme de l'exécution.

La possibilité, depuis la fin des années 70, d'obtenir, dans des conditions de production relativement courantes, des tôles de forte épaisseur (50 à 100 mm), jointe au développement des techniques d'oxycoupage évoqué ci-après, a progressivement permis, en faisant appel, sans risque d'instabilité, à des semelles plus larges (900 à 1200 mm) mais en nombre moins élevé, ce qui réduit l'importance des joints de montage et facilite considérablement les opérations de raboutage sur chantier. Dans la mesure où les caractéristiques de l'ouvrage l'autorisent, la tendance actuelle est de constituer chaque membrure de poutre par une semelle unique de largeur constante mais dont l'épaisseur varie par paliers en fonction des sollicitations ; ce qui d'une part simplifie encore l'exécution des joints de montage qui ne comportent pratiquement plus que des soudures bout à bout (Fig. 2) et d'autre part est plus économique puisque supprimant les surlongueurs nécessaires à l'accrochage des semelles additionnelles par des cordons d'angle.

Cette utilisation de tôles fortes a également été étendue, mais avec des épaisseurs plus faibles (20 à 30 mm), aux âmes des poutres en I, renforçant notablement leur résistance aux phénomènes d'instabilité en même temps qu'elle permet un allègement sensible du raidissage et par conséquent une diminution du linéaire de soudure qui améliore de façon substantielle l'économie de l'ouvrage.

Bien entendu la réalisation de joints soudés sur chantier pour des semelles d'épaisseur voisine de 100 mm requiert l'emploi d'un personnel possédant une bonne qualification technique en même temps que la mise au point de procédures de soudage extrêmement précises faisant l'objet de contrôles très rigoureux effectués aux différents stades de l'exécution. Par ailleurs il convient de s'assurer que les tôles possèdent une bonne homogénéité dans le sens de l'épaisseur sous réserve de présenter une certaine susceptibilité au phénomène d'arrachement lamellaire ; homogénéité qui peut être d'autant plus difficile à ob-

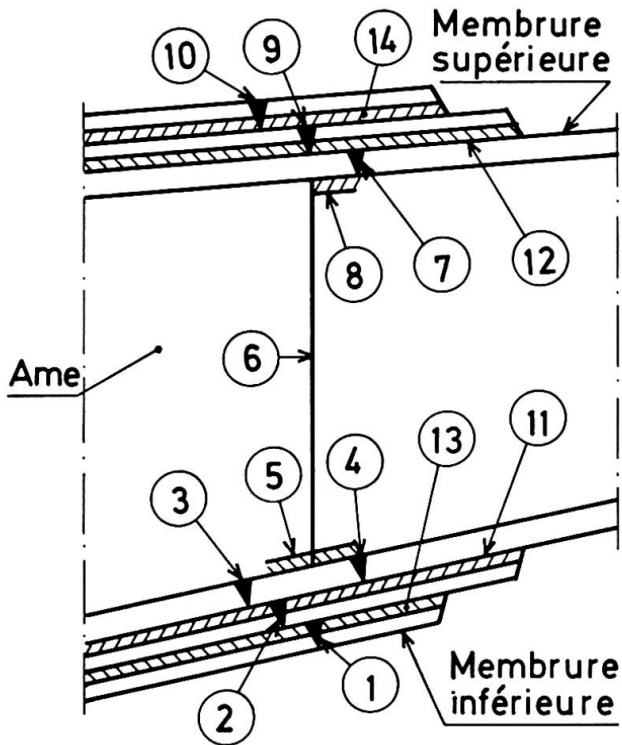


Fig. 1 - Ordre d'exécution des soudures sur chantier pour un joint de poutre en I comportant des membrures à semelles multiples.

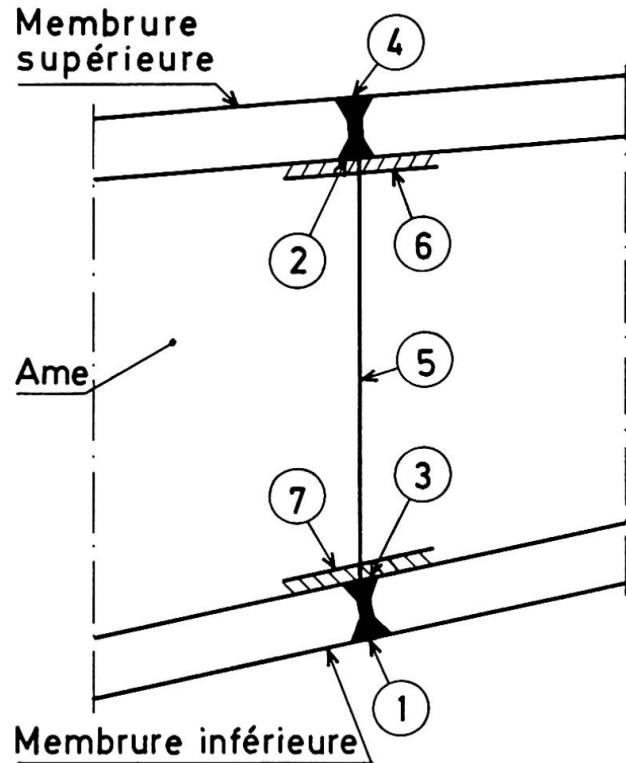


Fig. 2 - Ordre d'exécution des soudures sur chantier pour un joint de poutre en I comportant des membrures à semelle unique.

tenir avec des procédés courants que l'épaisseur est élevée. Il paraît donc préférable, dans les circonstances actuelles, de ne pas chercher à dépasser par trop les épaisseurs maximales utilisées jusqu'à maintenant (120 à 130 mm) sous peine de devoir imposer un minimum de résilience dans le sens de l'épaisseur de la tôle, ou de recourir aux aciers à isotropie améliorée évidemment plus fiables mais dont le coût serait supérieur à celui des aciers actuellement utilisés. Enfin, dernier développement en la matière, la possibilité désormais offerte par les forges de laminier des tôles dont l'épaisseur varie de façon continue ce qui permet d'utiliser au maximum la résistance du matériau en serrant au plus près la courbe enveloppe des sollicitations sans multiplier les rabotages de semelles ou d'âmes d'épaisseurs différentes.

2.2 - Caractéristiques mécaniques

En ce domaine c'est l'apparition, dans le courant de la précédente décennie, des aciers à haute limite d'élasticité de nuances E 355, E 375, E 420 et E 460 définis par la norme française NF A 36-201 qui constitue le fait marquant. Mais si le premier est d'une utilisation maintenant très courante pour les tôles fortes qui viennent d'être évoquées, les derniers n'ont, jusqu'à présent, pas donné lieu à de nombreuses applications dans les ponts métalliques.

De fait si ces aciers offrent un grand intérêt par le gain de poids qu'ils permettent d'obtenir dans les zones les plus sollicitées et où l'utilisation d'acier de nuance inférieure conduirait à des sections trop importantes, il en va différemment dans les autres zones où l'on risquerait d'avoir :

- soit, en raison des impératifs de conception et de fabrication, des sections surabondantes dans lesquelles les performances du matériau seraient mal exploitées,
- soit, si l'on recherche l'utilisation rationnelle du produit, des sections très faibles, conduisant à des éléments assez minces donc relativement sensi-

bles aux phénomènes d'instabilité élastique et aux sollicitations dynamiques, ce qui n'est évidemment pas satisfaisant.

De sorte que jusqu'ici les aciers E 420 à E 460 n'ont été utilisés pour des membrures inférieures de poutres, lorsqu'ils permettaient de diminuer de façon appréciable le nombre ou l'importance des semelles, et uniquement dans les zones où les moments restaient positifs. En effet on avait alors affaire à des poutres hybrides dont les âmes, en acier de nuance inférieure, peuvent être sollicitées, à leur base, au voisinage de la limite d'élasticité de ce dernier, ce qui ne présente pas d'inconvénient dans la mesure où il s'agit d'une traction.

Température (°C)

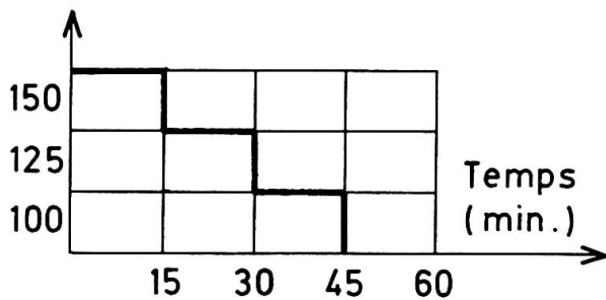


Fig. 3 Conditions de postchauffage pour un acier E 460 préchauffé à 100° C.

Par ailleurs les premières expériences réalisées semblent avoir montré que la mise en oeuvre de ces aciers, sans véritablement soulever de difficultés, posait néanmoins quelques problèmes dus à la nécessité de procéder à un préchauffage (à 100° C) puis à un postchauffage prolongé (125 à 150° C durant 45 ou 30 minutes) d'une réalisation délicate sur chantier (Fig. 3), et par ailleurs susceptibles de provoquer des déformations du métal lors de l'exécution de certaines soudures. A cet égard des recherches ont été effectuées durant ces dernières années pour essayer

de simplifier ces procédures de soudage et en particulier de supprimer le préchauffage ou le postchauffage, en faisant par exemple appel à des aciers dont les propriétés sont obtenues à l'état trempé-revenu.

L'application la plus importante réalisée à ce jour concerne les deux travées métalliques, de 115 m de portée chacune, du pont Mathilde, sur la Seine, à ROUEN (1979), pour lesquelles 270 tonnes d'acier E 460 ont été utilisées pour constituer la majeure partie des membrures inférieures des poutres, permettant de remplacer l'empilement de cinq semelles de 30 mm d'épaisseur initialement prévu par deux semelles de 50 mm d'épaisseur.

Néanmoins, en dépit des progrès accomplis à l'occasion de cette réalisation, il est permis de se demander si :

- d'une part, l'allègement ainsi apporté, qui risque, dans le cas de franchissement plus modestes, de conduire à des structures très souples et par conséquent plus sensibles aux sollicitations dynamiques et au développement de phénomènes de fatigue,
- d'autre part, l'évolution des épaisseurs de tôle précédemment évoquée, ne concourent pas à réserver l'emploi des aciers à haute limite d'élasticité à des ouvrages d'une certaine importance.

3 - STRUCTURE DES TABLIERS

Les progrès accomplis dans l'élaboration et la fourniture des aciers de construction ont eu pour conséquence directe la simplification des tabliers des ponts. En particulier la possibilité d'utiliser des tôles de forte épaisseur a permis en augmentant la largeur des semelles et en renforçant les sections des membrures, de diminuer le nombre des poutres dans les ponts à platelage supérieur et d'arriver ainsi aux structures bipoutres avec dalle de couverture en béton qui ont connu de très nombreuses applications au cours des cinq dernières années.

Dans ce type d'ouvrage, la charpente ne comporte plus, comme son nom l'indique, que deux poutres assez écartées et qui sont reliées :

- soit en tête par des pièces de pont de 0,60 m à 1 m de hauteur, espacées de 3 à 4 m et qui assurent à la fois un rôle de contreventement de l'ossature pen-

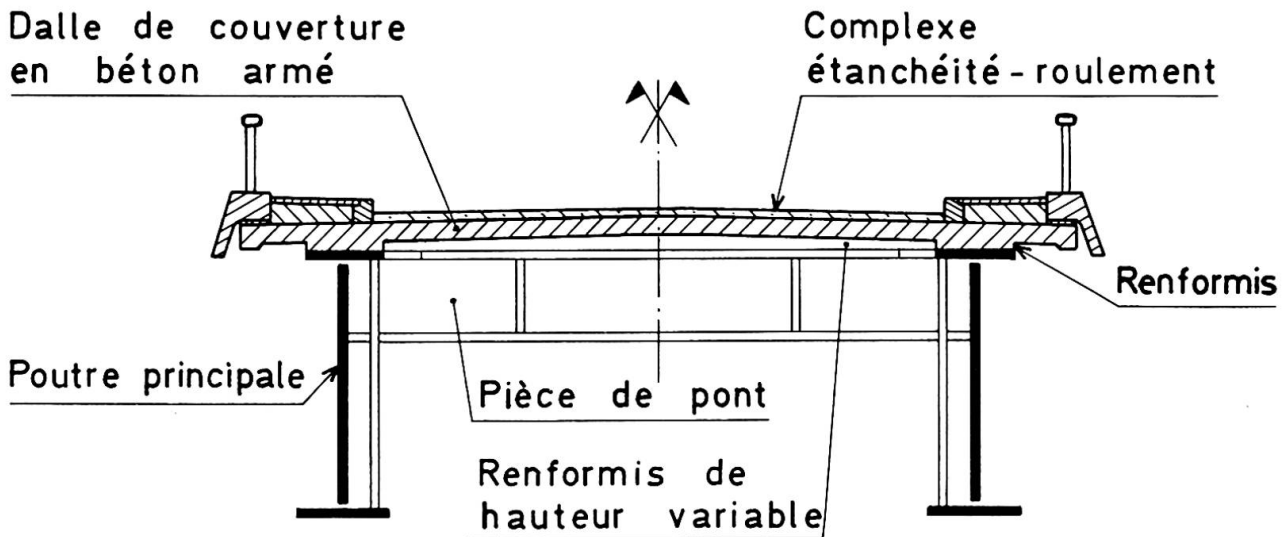


Fig. 4 Pont à deux poutres sous chaussée et pièces de pont.

dant les opérations de montage et de coulage du béton et de soutien de la couverture qui peut ainsi être assez mince (0,22 à 0,24 m) et légère (500 à 600 kg/m²) (Fig. 4),

- soit à mi-hauteur par des entretoises de 0,60 à 0,80 m de hauteur, espacées de 6 à 8 m et qui n'assurent que la fonction de contreventement, de sorte que la couverture, qui ne repose que sur les poutres, est plus épaisse (0,28 à 0,35 m en moyenne) et plus lourde (700 à 800 kg/m²) (Fig. 5), pour des portées et écartements de poutres très variables comme le montre le tableau 1.

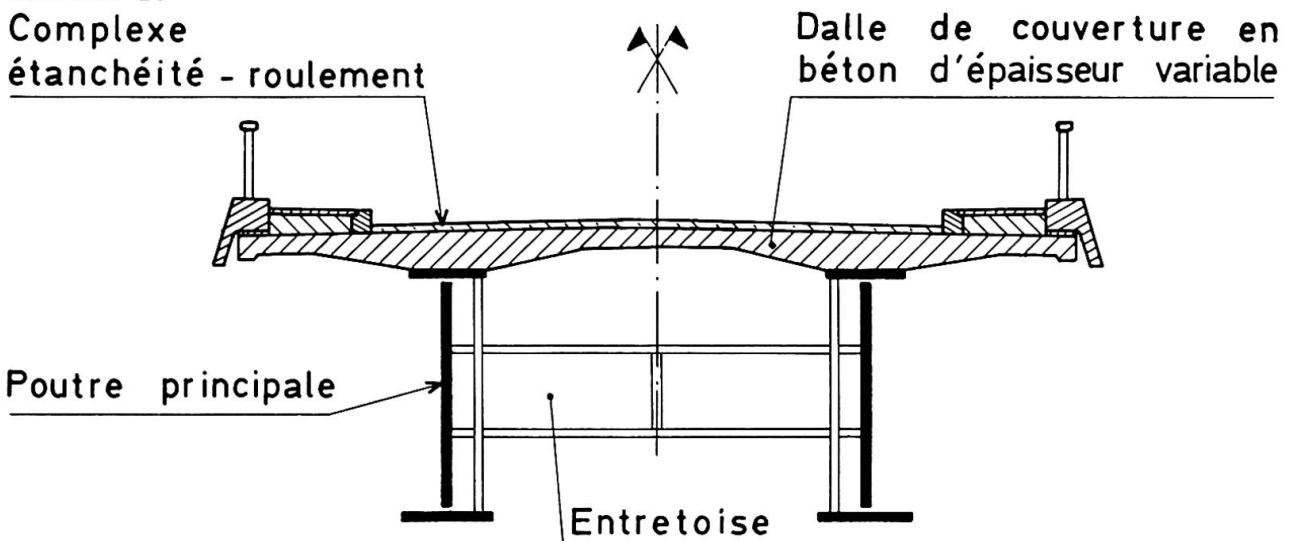


Fig. 5 Pont à deux poutres sous chaussée et entretoise, avec dalle de couverture d'épaisseur variable.

En raison de leur simplicité de conception ces structures peuvent s'adapter très facilement aux plates-formes de largeur variable (échangeurs d'autoroutes) ou présentant un tracé en courbe progressive (clothoïde) moyennant variation de la portée des encorbellements de la dalle ou de l'écartement des poutres qui restent rectilignes.

Par ailleurs toujours pour les ponts à platelage supérieur en béton, les textes réglementaires parus en 1981 consacrent l'usage établi depuis une quinzaine d'années de considérer la dalle comme partie intégrante de la membrure supérieure des poutres et de la prendre systématiquement en compte dans les calculs de résistance, ce qui offre l'avantage de diminuer de façon appréciable la sec-



OUVRAGE	ANNEE	PORTEES (m)	ECARTEMENT (m)		DIMENSIONS MAXIMALES DES SEMELLES UTILISEES (mm)
			DES POUTRES	DES PIECES DE PONT OU ENTRETOISES (*)	
DEAUVILLE	1979	30,50 + 30,50	7,00	4,00	600 x 32 + 550 x 24
DOUAI	1980	87,50	12,00	3,90	1100 x 90 + 900 x 40
SAUCHY	1981	66,40	9,00	3,91	1100 x 120
PLOUVAIN	1981	30,56-49,70-30,56	9,00	3,81	800 x 80
FOURNEAUX I	1981	33,20 + 33,20	10,00	3,69	700 x 62
FOURNEAUX II	1981	60,00	7,00	7,50 (*)	850 x 100
PRESLES	1981	56,00 - 94,00 94,00 - 56,00	3,64	7,50 (*)	750 x 60
SOISSONS	1982	82,00	7,00	4,10	900 x 90
PINAY	1982	45,00 - 75,00 75,00 - 45,00	3,64	7,50 (*)	600 x 60
COURCHELETTES	1982	45,00 - 70,00 70,00 - 45,00	10,40	4,00	960 x 84
NOGENT	1983	33,00-59,50-33,00	6,00	8,50 (*)	800 x 90
SAUMUR	1983	23,54 - 33,70	10,00	3,92	750 x 62
LIVINHAC	1984	59,04 - 59,04	6,80	4,00	800 x 90
CRETEIL	1984	32,00 - 61,70 70,25 - 34,80	10,00	4,75	950 x 130

Tableau 1 Caractéristiques principales de quelques ponts bipoutre construits depuis 1979.

tion d'acier de cette dernière, mais exige évidemment que soit assurée une liaison efficace des deux matériaux de manière à former véritablement une structure mixte. Parallèlement l'habitude a été prise de tirer parti des phases de bétonnage, quasi inévitables sur un ouvrage de quelque importance, pour faire intervenir plus tôt le béton dans les sections les plus sollicitées et réaliser un léger gain d'acier de charpente au niveau des membrures supérieures. Enfin ont été également construits des ouvrages composites constitués par la juxtaposition, dans un même franchissement, de tabliers métalliques et de tabliers en béton précontraint définis pour être utilisés chacun au mieux de leurs possibilités en tenant compte des particularités de la brèche et du site. Ainsi le pont Mathilde déjà cité comportant un ouvrage en béton précontraint de 250 m de longueur flanqué de deux travées métalliques de 115 m de longueur reposant sur des consoles de 38 m de portée.

4 - EXECUTION DES CHARPENTES

Cette évolution de la conception des ouvrages n'a évidemment été possible qu'en raison des progrès réalisés dans l'exécution des charpentes et notamment dans le domaine de l'usinage, de l'assemblage et de la manutention des éléments.

4.1 - Usinage

Il s'agit surtout là de la préparation des pièces et plus particulièrement du traçage et du coupage, qui se situent en tête de la chaîne de fabrication, et pour lesquels la recherche d'une meilleure rentabilité passe par :

- l'utilisation optimale du matériau basée, pour le débitage d'une tôle de dimensions données, sur la meilleure imbrication des pièces devant en être tirées,
 - l'adaptation du matériel aux cadences d'exécution prévues (machines d'oxycoupage à axes multiples permettant un travail à plusieurs chalumeaux, machines à chalumeaux montés sur têtes tournantes, etc ...),
 - l'amélioration des procédés existants (oxycoupage au moyen de buses à haut rendement augmentant sensiblement la vitesse de coupe),
 - la mise en oeuvre de procédés plus performants (coupage au laser ou par fusion plasma),
- avec commande photoélectrique pour la lecture des informations qui sont généralement fournies sous forme de dessins.

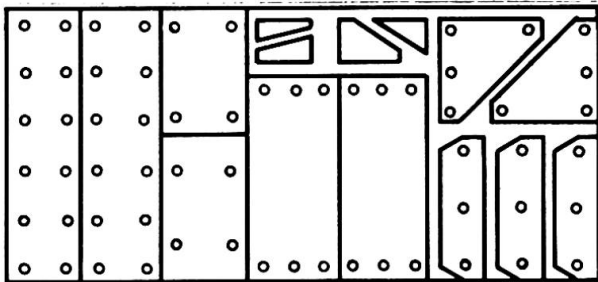


Fig. 6 Exemple d'imbrication optimale de pièce à découper réalisée par machine à commande assistée par ordinateur.

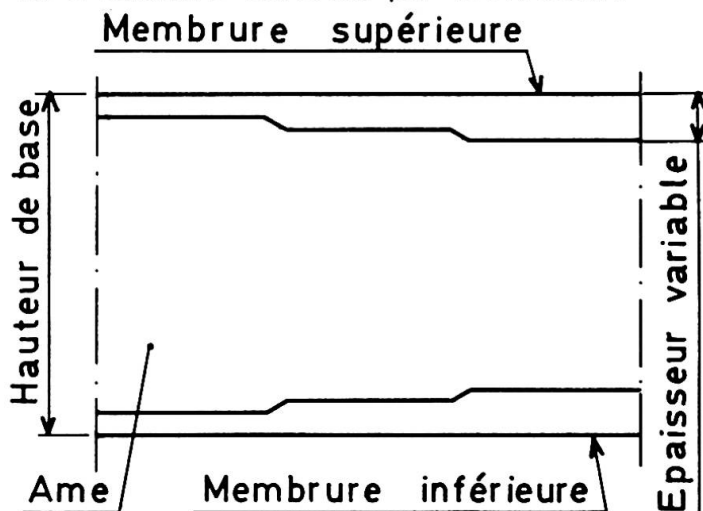


Fig. 7 Mise en oeuvre d'âmes poutres dont la variation d'épaisseur des membrures s'effectue par l'intérieur.

4.2 - Assemblage

C'est essentiellement l'extension des techniques de soudage, en usine comme sur le site, qui constitue ici le fait marquant, conduisant, lorsque la structure et le mode de montage choisis s'y prêtent, à la suppression des joints boulonnés :

Plus récemment a été introduite la commande numérique par ordinateur qui, à partir d'informations désormais fournies sous forme géométrique et non plus optique, permet :

- d'améliorer la précision du découpage, souvent nécessaire pour recourir à de nouvelles techniques de soudage qui imposent des tolérances plus réduites,
- d'effectuer automatiquement l'optimisation de l'imbrication des pièces à obtenir à partir des tôles disponibles (Fig. 6),
- de gérer au mieux le stock de tôles brutes, de pièces découpées et de chutes utilisables ultérieurement,

avec établissement de programmes capables d'enchaîner sur un même banc le traçage, le découpage et le chanfreinage automatiques des tôles sans intervention d'aucun opérateur. Ce qui aboutit par exemple à la mise en oeuvre d'âmes de poutres adaptées au changement par l'intérieur des épaisseurs des semelles et tirant ainsi meilleur parti des performances de l'acier en excentrant au maximum les membrures dans chaque section (Fig. 7).



- pour les âmes et les membrures des poutres, par souci d'esthétique et de commodité,
 - pour les pièces de pont, entretoises et contreventements,
 pour déboucher sur la réalisation de charpentes de facture entièrement soudée. Sur le plan technologique, commencent aussi à se mettre en place des processus automatiques de soudage capables d'effectuer des opérations répétitives sur des pièces simples (pièces de pont, raidisseurs d'âme, etc...) ou de garantir un respect accru de certains paramètres de soudage tels que le contrôle de l'apport d'énergie ou du positionnement de l'arc sur le joint à réaliser.

4.3 - Manutention et fabrication .

Les ateliers des usines de construction métallique ont également été rendus plus opérationnels par la modernisation des équipements (ponts roulants de forte puissance, vireurs et mannequins de grandes dimensions, etc ...) et l'aménagement d'aires libres de superficie étendue, qui concourent à la réalisation en usine de grosses unités supprimant une partie des reprises et rabotages qui étaient antérieurement exécutés sur le site.

Toutes modifications qui ont permis de diminuer le nombre d'heures de travail par tonne d'acier mise en oeuvre, qui est passé, pour des ouvrages de caractéristiques relativement courantes à environ 18 contre 24 il y a une dizaine d'années, et par conséquent de diminuer le coût de la production.

5 - RESISTANCE A LA CORROSION

La corrosion des charpentes en acier, en raison des dégradations qu'elle est susceptible de causer aux structures d'une part, et des dépenses qu'il faut engager pour s'en protéger d'autre part, reste souvent la préoccupation majeure des gestionnaires d'ouvrages métalliques.

Aussi convient-il de souligner que les ponts modernes, dont les charpentes :

1 - font appel à des formes simples (poutres à âme pleine, comportant peu de raidisseurs), bien aérées, facilement accessibles, et qui sont étudiées pour éviter la rétention ou la stagnation des eaux de ruissellement ou de condensation,

2 - utilisent pour les éléments structurels des tôles relativement épaisses, qui présentent par conséquent moins de surface exposée au milieu ambiant,

3 - comportent en général des assemblages soudés, donc étanches, sont beaucoup moins sensibles à la corrosion que les ponts anciens constitués assez souvent de poutres en treillis à triangulation fine, avec des tôles minces assemblées par rivetage et de ce fait très vulnérables à l'action de l'humidité.

Par ailleurs, l'efficacité des chapes ou des couches d'étanchéité posées sur les dalles de couverture s'est également accrue, diminuant les risques d'infiltration des eaux.

Enfin d'importants progrès ont également été réalisés en matière de protection qui permettent d'exiger des garanties relativement sévères et soigneusement définies sur le plan quantitatif comme sur le plan qualitatif.

6 - CONCLUSION

Ce bref exposé montre que des progrès importants ont été accomplis au cours des dernières années dans la construction des ponts métalliques, et qui sont pour une part à l'origine du renouveau précédemment évoqué, mais qu'il convient évidemment de poursuivre dans cette voie, de nombreuses améliorations pouvant encore être apportées dans divers domaines.

BIBLIOGRAPHIE

OFFICE TECHNIQUE POUR L'UTILISATION DE L'ACIER - Bulletins "Ponts métalliques" n° 7 (1980), n° 8 (1982) et n° 9 (1983).