

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

Band: 12 (1984)

Artikel: Nouvelles structures mixtes associant le métal et le béton

Autor: Moreau, Philippe / Thivans, Pierre / Lacroix, Roger

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-12134>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.10.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Nouvelles structures mixtes associant le métal et le béton

Neuartige Verbundkonstruktionen

New Composite Structures

Philippe MOREAU
Pierre THIVANS
Entreprise Campenon Bernard

Roger LACROIX
Pierre GESTA
Société Générale d'Entreprises

Alphonse ATTAL
Jacques MAUBOUSSIN
Entreprise Fougerolle

Michel PLACIDI
Michel MARCHETTI
Entreprise Dragages et Travaux Publics

Michel VIRLOGEUX
Gilles CAUSSE
Jean CALGARO
Service d'Etudes Techniques
des Routes et Autoroutes

RESUME

Cette communication présente les idées actuellement développées en France par certaines entreprises et le S.E.T.R.A. pour mettre au point des structures composites associant de façon non classique le métal et le béton. Le principe fondamental est de remplacer par des pièces métalliques les âmes des caissons classiques en béton précontraint.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Zusammenarbeit verschiedener Bauunternehmungen mit dem S.E.T.R.A. hat in Frankreich zur Entwicklung neuartiger Tragwerke in Verbundbauweise geführt. Das Grundprinzip besteht im Ersatz der Stege klassischer Hohlkastenträger aus Spannbeton durch Stahlbleche.

SUMMARY

This paper presents the ideas developed in France by some contractors and S.E.T.R.A. in order to design composite structures with a non classical association of steel and concrete. The basic principle is to replace the webs of classical concrete box girders by steel elements.



1 – INTRODUCTION

Les constructeurs de ponts ont toujours cherché à réduire le poids des ouvrages, en particulier des ouvrages en béton précontraint, tout en s'efforçant de simplifier la construction.

Compte tenu des progrès déjà réalisés, on ne peut guère espérer réduire le poids des ponts en caisson en béton précontraint qu'en limitant le poids des âmes, sans trop augmenter les portées transversales pour ne pas alourdir le hourdis supérieur.

Il n'est donc pas étonnant que, depuis quelques années, certains ingénieurs aient imaginé de remplacer les âmes en béton des caissons classiques par des âmes métalliques, beaucoup plus légères. Cette solution présente aussi un avantage constructif majeur : les âmes sont les parties les plus difficiles à bétonner des caissons, particulièrement dans le cas des ponts de grande portée lorsque la hauteur du tablier devient importante, et lorsqu'on conserve des principes classiques de câblage, avec de nombreux câbles de précontrainte descendant et s'ancrant dans les âmes.

L'entreprise Campenon Bernard a commencé par mettre au point une solution de caisson à âmes métalliques plissées. Peu de temps après, l'entreprise Fougerolle a commencé à travailler sur une solution plus simple, comportant des âmes métalliques planes raidies de façon conventionnelle, et les entreprises S.G.E. et D.T.P. se sont associées pour développer une solution de caisson dans laquelle les âmes sont remplacées par des panneaux en treillis métallique.

Toutes ces recherches ont été suivies de près par le S.E.T.R.A., qui a participé à la mise au point de programmes d'essais expérimentaux avec les entreprises. Le S.E.T.R.A. a aussi établi quelques avants-projets et projets d'ouvrages de ce type.

2 – PONTS EN CAISSON EN BETON PRECONTRAINT A AMES METALLIQUES PLANES

La solution la plus évidente, et la plus simple en ce qui concerne les méthodes de construction, consiste à remplacer les âmes en béton des ponts en caisson classiques par des âmes métalliques planes, raidies de façon conventionnelle. Des cadres-entretoises assurent l'indéformabilité du caisson.

C'est vers cette solution que s'est orientée l'entreprise Fougerolle, avec pour buts d'alléger la structure et d'éviter les inconvénients constructifs liés à la présence des âmes en béton. Mais aussi pour rechercher des méthodes de construction très économiques : la charpente métallique peut en effet servir de cintre pendant la construction, cintre qui a l'avantage d'être incorporé à l'ouvrage et de participer à sa résistance.

Bien entendu, les âmes peuvent être verticales ou inclinées. Les semelles servent de support pour les connecteurs. Les âmes sont raidies par des raidisseurs longitudinaux, et les cadres-entretoises participent à ce raidissage. Le caisson est précontraint par des câbles extérieurs au béton.

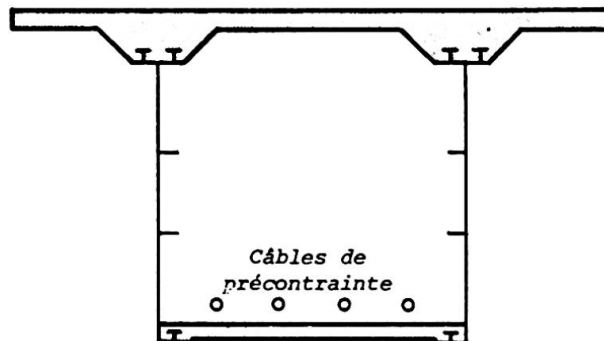
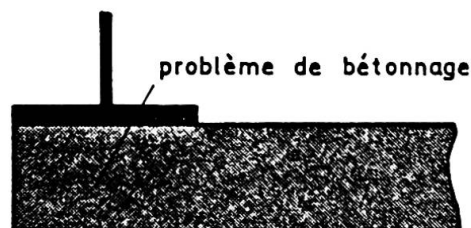
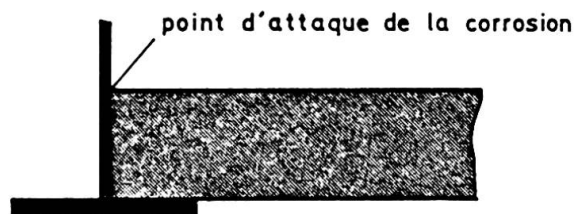


Figure 1 : Coupe schématique de la solution à âmes métalliques planes proposée par l'entreprise Fougerolle.



La principale difficulté vient de la position du hourdis inférieur. Sur le plan constructif, il est extrêmement favorable de placer le hourdis inférieur entièrement au-dessus de la semelle inférieure : la bétonnage est très facile, et la charpente métallique peut être lancée avant toute autre opération. Mais le point de triple contact (air-béton-métal), où la corrosion est particulièrement importante, est très mal placé. La corrosion peut produire une amorce de découpage de l'âme. Sur ce plan, il est bien préférable de placer le hourdis inférieur sous la semelle inférieure. Mais le bétonnage devient difficile, et il est délicat de lancer la charpente métallique.

Figure 2 : Problèmes posés par la position du hourdis inférieur.

Tous les problèmes de calcul de ces structures sont liés à la répartition des contraintes entre le métal et le béton. Le retrait intervient comme dans les ossatures mixtes classiques, mais aussi le fluage du béton sous l'effet de la précontrainte. Bien entendu, les glissements béton-acier dus au fonctionnement des connecteurs limitent le transfert des contraintes de compression du béton vers le métal.

Pour contrôler ces phénomènes, une recherche expérimentale a été lancée au Service d'Essai des Structures du C.E.B.T.P. à Saint-Rémy-les-Chevreuse. Le modèle a 1,70 m de haut, 3,00 m de large, et 25 m de long. Il est posé sur deux appuis simples distants de 20 m, les surlongueurs de 2,50 m en porte-à-faux étant destinées à disposer une importante entretoise en béton assurant le transfert des efforts du béton au métal, et à éloigner la zone d'ancrage des câbles des sections de mesure. Le dispositif de chargement comprend deux portiques enjambant l'ouvrage et quatre vérins permettant d'exercer des efforts de flexion et de torsion. Une charge permanente complémentaire est disposée en zone centrale.

Les essais sont en cours. Ils comportent des chargements statiques et dynamiques, en torsion et en flexion, et seront poussés jusqu'à rupture.

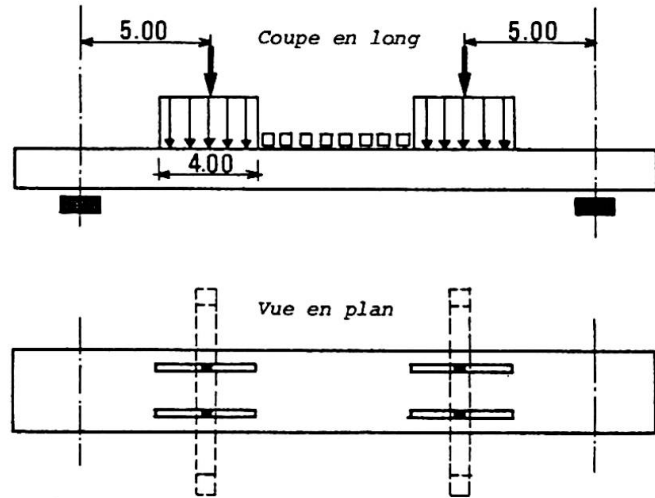


Figure 3 : Dispositif expérimental.

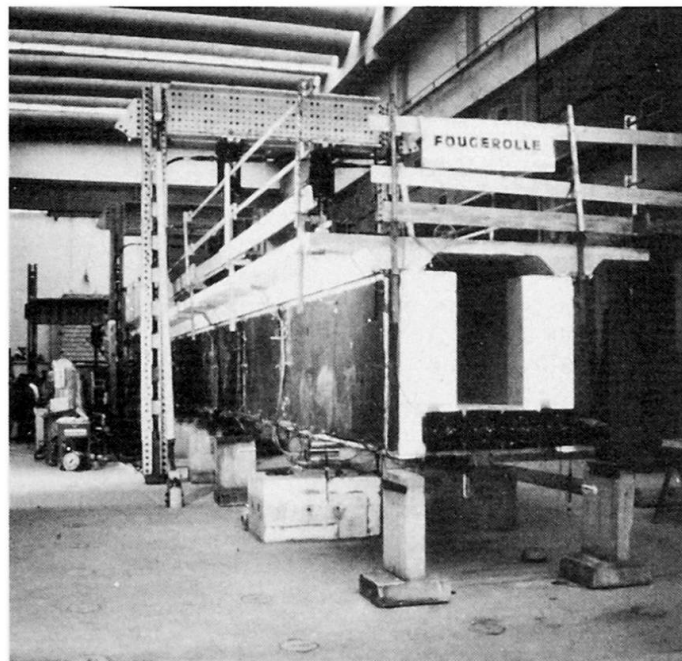


Photo 1 : Maquette d'essai de Saint-Rémy-les-Chevreuse.

3 — PONTS EN CAISSON EN BETON PRECONTRAIT A AMES METALLIQUES PLISSEES

Dans les caissons à âmes métalliques planes raidies, une partie de la précontrainte longitudinale passe dans l'âme. Non seulement cette précontrainte n'est pas utile, mais les contraintes de compression élevées qu'elle engendre dans la tôle des âmes imposent un important et coûteux raidissage.

Les ingénieurs de Campenon Bernard ont donc imaginé de remplacer les âmes planes par des âmes plissées, de façon à ce qu'aucune compression longitudinale ne passe dans les âmes et qu'elles ne travaillent qu'au cisaillement. Les ondulations sont suffisamment marquées pour conférer aux âmes une inertie de flexion transversale non négligeable, comparable à celle d'une âme en béton. Il n'est donc pas apparu nécessaire de créer de multiples cadres-entretoises comme dans la solution à âmes planes.



3.1. — Stabilité des âmes plissées

La première question à résoudre était celle de la stabilité des âmes plissées, sous l'effet des contraintes de cisaillement.

La stabilité locale de chaque bande d'acier, comprise entre deux pliures, peut être analysée en utilisant la réglementation en vigueur.

La forme et l'amplitude des ondulations doivent être choisies de façon à assurer la stabilité générale de l'âme, avec un coefficient de sécurité élevé. Pour cela, l'étude du voilement des tôles ondulées, qui avait déjà été menée par Easley sur les plans théorique et expérimental, a été reprise et développée au centre d'essais de l'entreprise Campenon Bernard, sur des tôles ondulées ou plissées montées sur un cadre spécialement conçu.

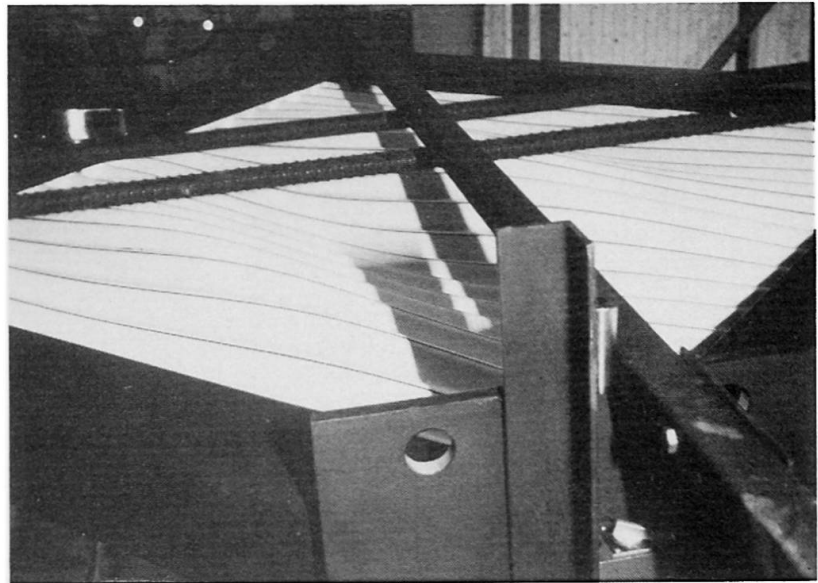


Photo 2 : Voilement d'un panneau en tôle ondulée.

3.2. — Fonctionnement d'une poutre tubulaire à âmes plissées

Le fonctionnement mécanique d'un caisson à âmes métalliques plissées paraît a priori surprenant : aucune compression ne passe dans les âmes, qui reprennent malgré tout les efforts de cisaillement. Pour vérifier la validité de ce modèle élémentaire, des calculs aux éléments finis ont été entrepris par Campenon Bernard sur une structure simple, puis par le S.E.T.R.A., en individualisant chacun des panneaux des âmes plissées.

Ces calculs ont aussi montré que les sections droites n'étaient pas indéformables, ce qu'on avait déjà eu l'occasion de constater pour des caissons classiques en béton. Sous charges dissymétriques, la structure doit plutôt être considérée comme constituée de deux poutres reliées par des articulations aux hourdis. La présence des âmes métalliques plissées n'accroît pas le phénomène.

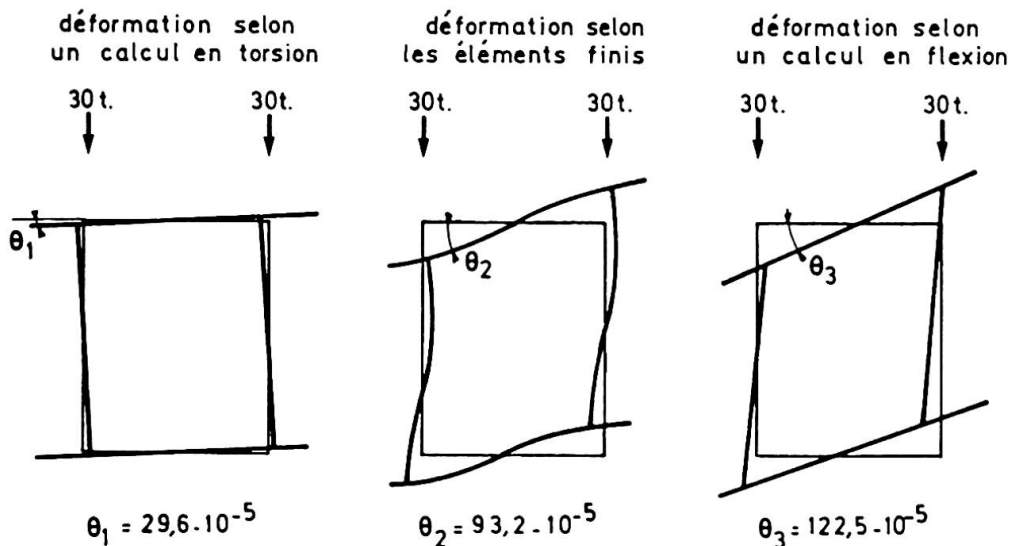


Figure 4 : Comparaison de trois modèles de calcul sous charges dissymétriques.

Toutes les études théoriques ont été contrôlées expérimentalement, sur une maquette de 12,70 m de portée et de 1,50 m de hauteur totale, en caisson à deux âmes inclinées en tôle plissée de 3 mm d'épaisseur et de 50 mm d'amplitude. Les charges statiques ont été créées par des câbles de précontrainte. La maquette a été soumise à des efforts de flexion et de torsion. Elle a été construite par l'entreprise, et instrumentée par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. Les essais ont donné des résultats tout à fait conformes aux prévisions des calculs.

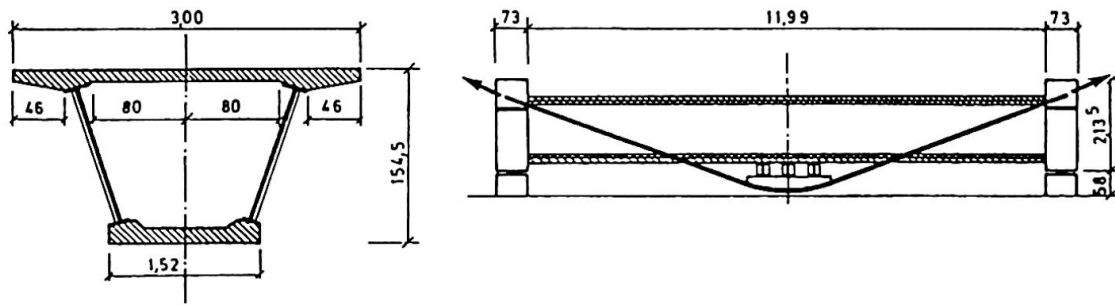


Figure 5 : Schéma de la maquette d'essai d'Asnières.

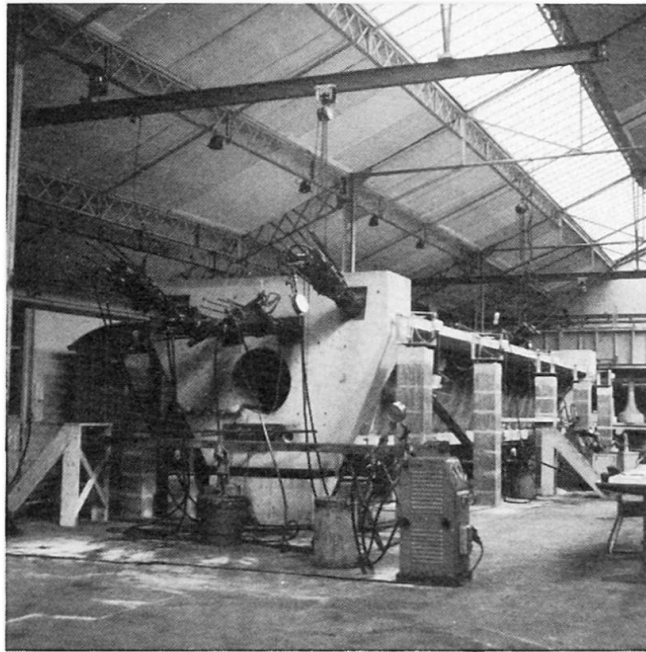


Photo 3 : Maquette d'essai d'Asnières.

4. PONTS EN BETON PRECONTRAIT A AMES EN TREILLIS METALLIQUE

De leur côté, les entreprises S.G.E. (Société Générale d'Entreprises) et D.T.P. (Dragages et Travaux Publics) se sont associées pour développer une autre solution, dans laquelle les âmes en béton sont remplacées par des treillis métalliques plans.

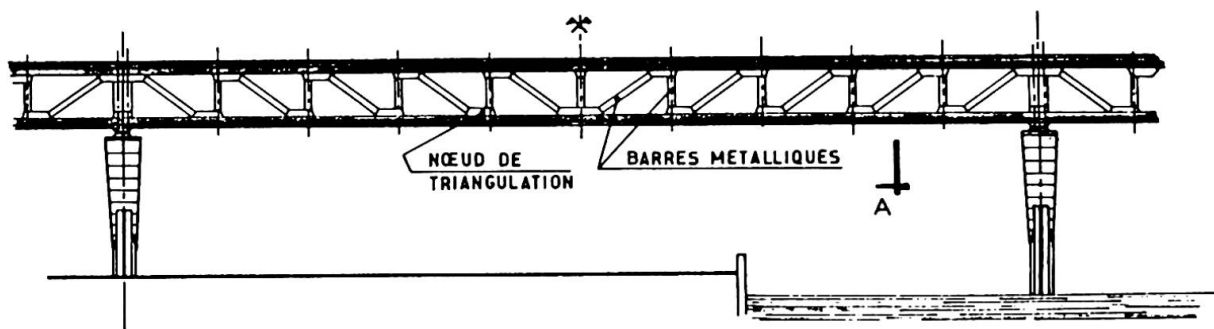


Figure 6 : Coupe longitudinale d'un pont à âmes en treillis métallique.



La triangulation est constituée de profils métalliques (H), ou éventuellement de profils fermés tubulaires. Elle peut être simple ou multiple. La jonction entre le treillis métallique et les membrures en béton se fait par l'intermédiaire de nœuds métalliques qui constituent des pièces essentielles de la structure.

Chaque nœud comporte deux goussets qui assurent la solidarisation du montant et de la diagonale aboutissant au nœud considéré, de façon à ce que les efforts de connection se réduisent à une force de glissement et un moment aussi réduit que possible, dont les effets sont répartis à la surface de contact grâce à la rigidité des goussets.

Les efforts exercés par le treillis sur les membrures sont transmis à chaque nœud par l'intermédiaire d'une platine plane et horizontale soudée sur les goussets. Des connecteurs soudés sur la platine assurent la liaison avec le béton.

En fonction de la méthode de construction et des portées, l'ouvrage peut être précontraint par des câbles extérieurs au béton, ou par des câbles situés dans les membrures en béton. Ou selon un principe de câblage mixte, avec des câbles extérieurs déviés de façon à créer une réduction d'effort tranchant, et des câbles placés dans les hourdis.

Les câbles de précontrainte situés dans les hourdis sont ancrés sur les nœuds. Cette configuration présente l'avantage d'assurer la répartition des efforts de précontrainte dans le béton par l'intermédiaire des nœuds métalliques, et d'améliorer la résistance au glissement de la liaison entre le treillis et les membrures grâce à la composante verticale de l'effort de précontrainte.

Un programme expérimental a été mis au point au Centre d'Essai des Structures du C.E.B.T.P. à Saint-Rémy-les-Chevreuse. Des essais ont tout d'abord été faits sur plusieurs types de connecteurs. Le montage a permis de faire l'étude de l'effet d'un effort normal à la surface de glissement, de traction ou de compression. Un nœud type, en vraie grandeur, a ensuite été soumis à un effort de précontrainte d'intensité croissante. Le programme s'achèvera avec l'essai d'un tronçon de poutre.

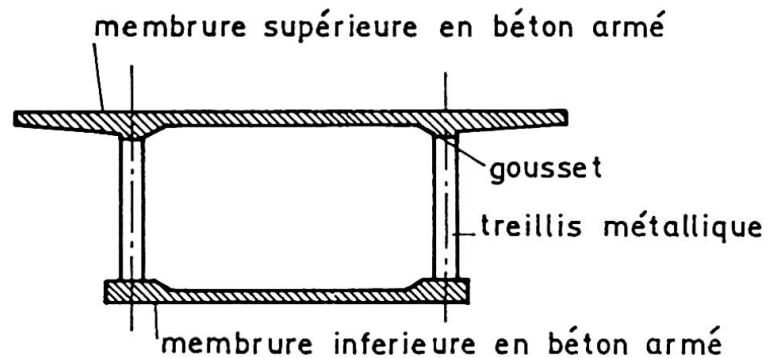


Figure 7 : Coupe transversale d'un pont à âmes en treillis métallique.

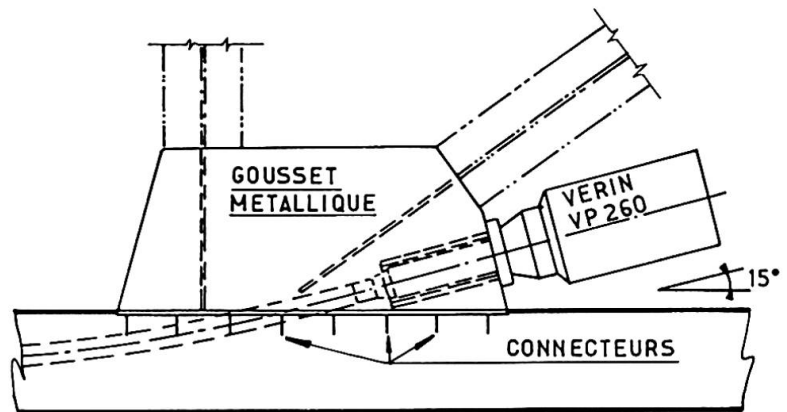


Figure 8 : Gousset métallique servant à l'ancrage d'un câble situé dans le hourdis inférieur.

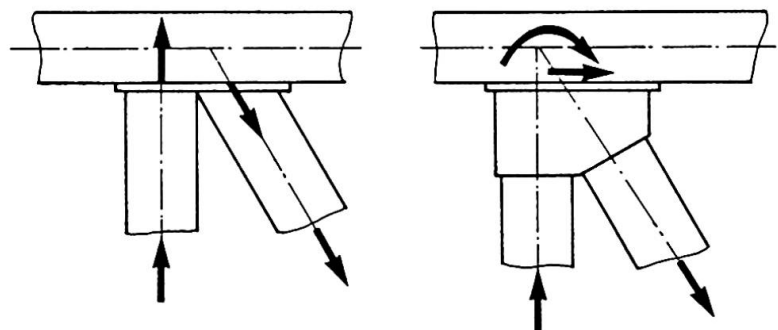


Figure 9 : Transfert des efforts dans le cas d'un nœud comportant des goussets (à droite), et sans goussets (à gauche).

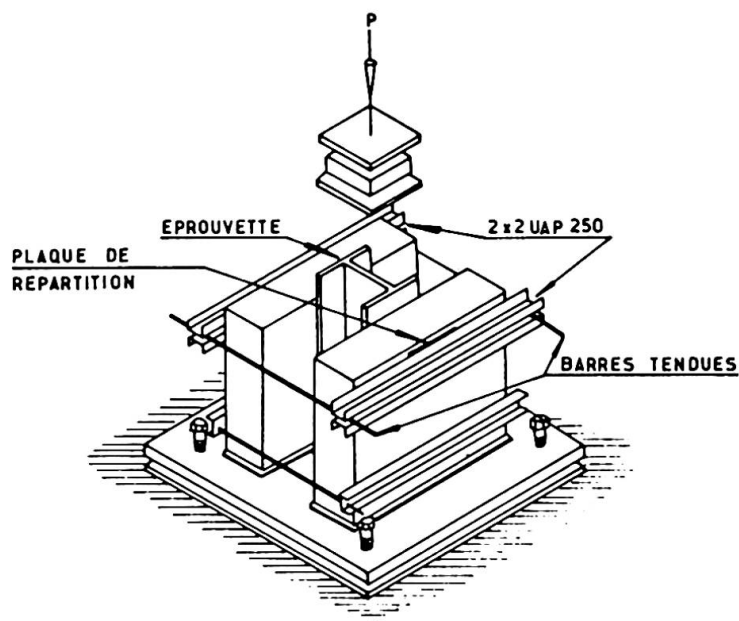


Figure 10 : Montage des essais de connecteurs.

5 – CONCLUSION

Les recherches qui ont été entreprises ont permis de développer plusieurs solutions entre lesquelles la concurrence ne manquera pas de jouer.

Un premier ouvrage devrait être construit à Arbois, en 1984-1985. Il a finalement été décidé de le confier aux entreprises S.G.E. et D.T.P.

De son côté, le S.E.T.R.A. a sommairement esquissé une solution de pont à voussoirs préfabriqués faisant appel à une triangulation métallique pour le pont de l'Ile de Ré. Et il a établi deux projets - l'un avec des âmes métalliques planes et l'autre avec des voussoirs préfabriqués et une triangulation métallique - pour le viaduc de Charolles. L'appel d'offres pour la construction de cet ouvrage devrait être réservé à des solutions de ce type.

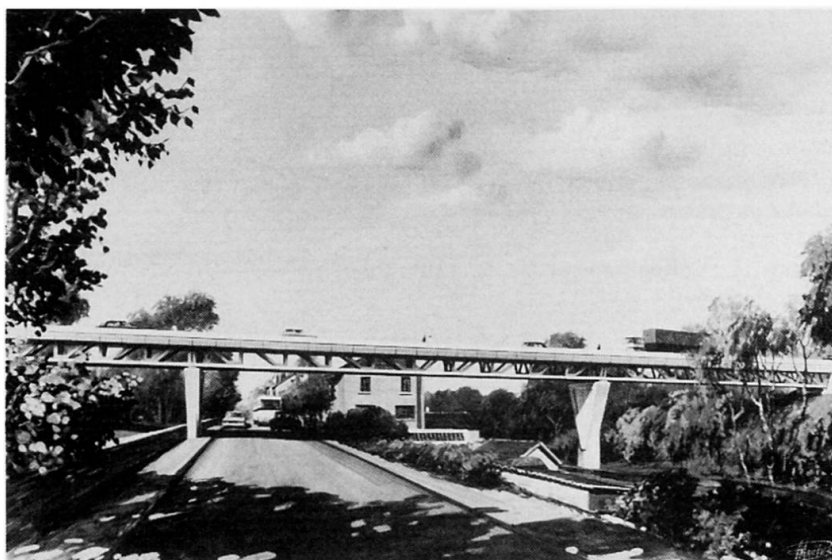


Photo 4 : Dessin du pont d'Arbois.



Photo 5 : Esquisse du pont de l'Ile de Ré.

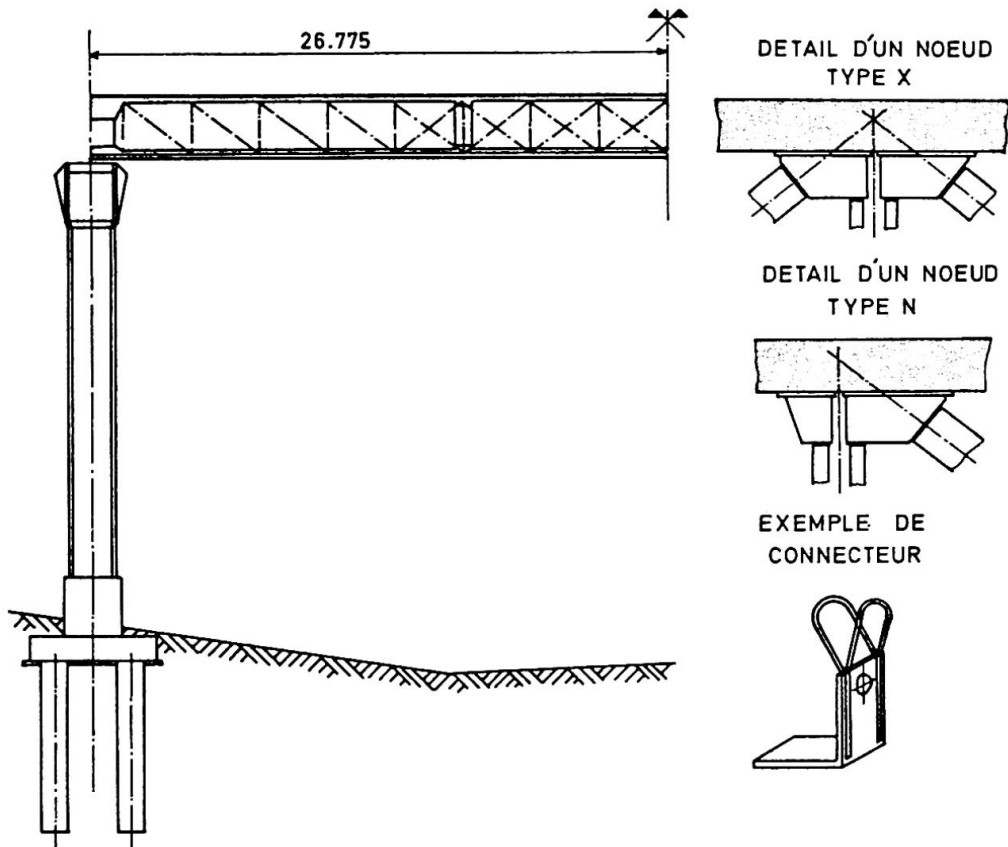
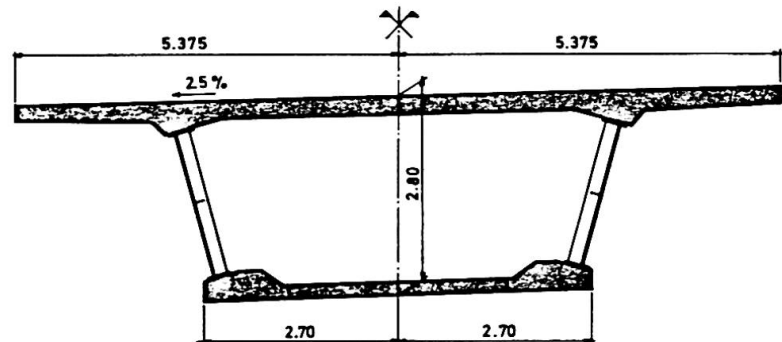
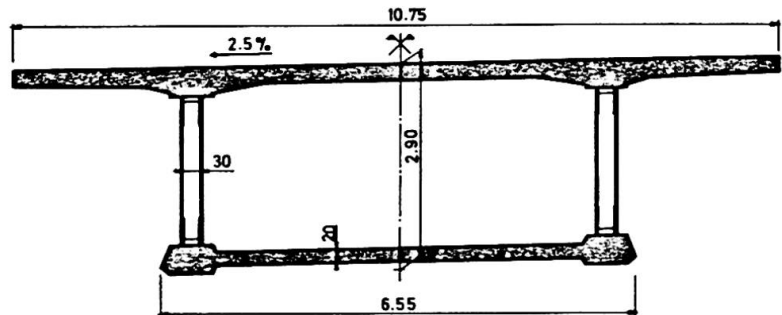


Figure 11 : Demi-coupe longitudinale de la grande travée du pont de Charolles. Solution à voussoirs préfabriqués.

Figure 12 : Coupe transversale de la solution à voussoirs préfabriqués.

Figure 13 : Coupe transversale de la solution à âmes planes.



REFERENCES :

- 1 Ph. MOREAU et P. THIVANS - Composite structures Steel/Prestressed concrete - Developments in Prestressed Concrete Structures - Part II - Journées d'Etudes A.F.P.C. 1982 - IABSE Proceedings - P. 63/83.
- 2 Ph. MOREAU et P. THIVANS - Structures composites acier-béton précontraint - Innovation dans le domaine des ouvrages d'art en béton précontraint - Journée d'étude A.F.P.C. - I.T.B.T.P. - 25 novembre 1982 - Annales de l'I.T.B.T.P. - Janvier 1984.