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

Band: 12 (1984)

Artikel: Structures treillis en béton précontraint

Autor: Lacombe, Hervé

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-12135

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

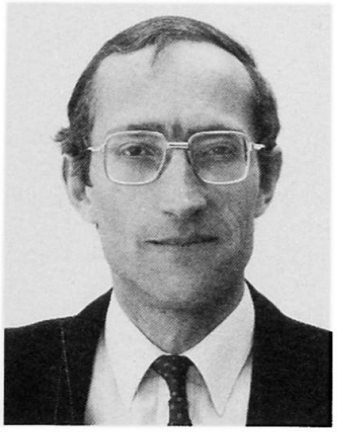
ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Structures treillis en béton précontraint

Fachwerkstrukturen aus vorgespanntem Beton

Prestressed Concrete Triangular Trusses

Hervé LACOMBE
Ing., Chef Service Adj.
Bouygues
Clamart, France



Hervé Lacombe, 42 ans, Ingénieur HEI, diplômé du Chebap. Après 3 ans chez Europe Etudes, il entre dans le groupe Bouygues. Etudes d'exécution en France et à l'étranger sur ouvrages d'art, métro, centrales nucléaires, divers ouvrages fonctionnels. Actuellement, études concernant les structures treillis.

RESUME
L'article fait le point de l'expérience acquise depuis 10 ans dans le domaine des structures treillis en béton précontraint. Historique, possibilités actuelles dans les portées de 150 à 250 mètres; projection sur l'avenir. Industrialisation des chantiers. Préfabrication totale. Utilisation de bétons à très haute résistance. Assemblage par précontrainte extérieure.

ZUSAMMENFASSUNG
Der Artikel zeigt den Stand der seit 10 Jahren von der Firma Bouygues im Bereich der Fachwerkstrukturen aus vorgespanntem Beton erworbenen Erfahrung. Geschichtlicher Hintergrund. Heutige Möglichkeiten in Hinsicht auf 150 bis 250 Meter lange Spannweiten. Zukünftige Aussichten. Industrialisierung der Baustelle. Gesamte Vorfertigung. Verwendung sehr hochwertigen Betons. Zusammenbau durch äussere Vorspannung.

SUMMARY
This article reviews the Bouygues Group's experience over the past 10 years in the field of prestressed concrete triangular trusses including the background, current capabilities in the 150 to 250 meter span range, future prospects and industrialization of construction methods. The article also addresses completely precast structures, the use of very high strength concretes, and assembly by external post-tensioning.

1 – INTRODUCTION

Depuis près de 10 ans, l'entreprise BOUYGUES travaille sur la conception des structures triangulées et de nombreux brevets concrétisent cette connaissance au fur et à mesure de l'avancement de notre recherche.

L'objet de cette communication est de présenter :

– Un bref historique de cette recherche,

– l'état des possibilités actuelles de ce type de structure,

– une projection sur l'avenir.

Les applications de ces structures sont multiples. Pour limiter l'exposé, nous nous arrêterons principalement à l'exemple des tabliers de ponts routiers.

2 – HISTORIQUE

Ce retour en arrière évoque deux générations successives d'ouvrages. La toiture du stade Olympique de TEHERAN est représentative de la première époque. Les poutres maîtresses sont conçues en treillis bidimensionnel ; elles sont découpées en voussoirs à joints conjugés, puis assemblés par précontrainte intérieure au béton.

La seconde génération mérite qu'on s'y attarde quelque peu : l'exemple significatif est le pont de BUBIYAN (Koweit).

2.1. Le pont de BUBIYAN

Cet ouvrage assure une liaison autoroutière entre le continent et l'île de BUBIYAN. Long de 2.383 mètres, il comprend 58 travées de 40 mètres et une passe navigable de 51 mètres de portée, l'ensemble étant regroupé en 11 viaducs successifs continus. Transversalement, sa largeur est d'environ 20 mètres.

2.1.1. Structure

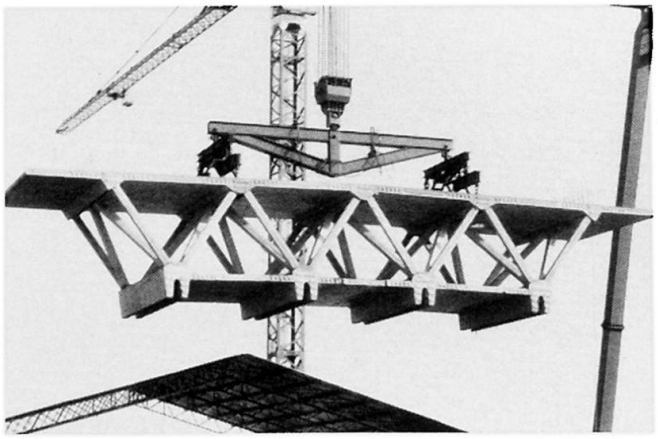


Figure 1 – BUBIYAN – Voussoir préfabriqué

Comme le montre la photo 1, la structure pourrait se comparer à un caisson à âmes multiples dans lequel les âmes habituellement pleines ont subi deux modifications majeures :

– en coupe transversale, la disposition des plans des âmes obéit à un fonctionnement en treillis,

– sur une vue longitudinale, chacun des plans constitutifs d'une âme est une poutre treillis.

2.1.2. Technique de construction des travées courantes

La technique des voussoirs préfabriqués à joints conjugés a été adoptée sans difficulté. L'assemblage de ces voussoirs s'est fait par travée entière allant d'une pile intermédiaire à la suivante.

Dans un premier temps, les neufs voussoirs constituant une travée sont pris en charge et amenés à leur emplacement définitif par un engin de pose prenant appui sur la partie de tablier déjà réalisée.

Dans un deuxième temps, la précontrainte définitive est mise en place assurant la continuité de l'ouvrage et permettant la libération de l'engin de pose. Les câbles de précontrainte sont extérieurs au béton ; ils viennent prolonger par couplage les câbles de la travée précédente et s'ancrent à l'extrémité du voussoir posé sur la pile d'accostage de cette nouvelle travée. Ces dispositions ont permis de réaliser la pose proprement dite en 5 mois calendaires. Le rythme de croisière était d'une travée par jour.

2.2. Les enseignements

Il faut revenir plus en détail sur certains points de la construction pour faire une bonne analyse de la compétitivité et de l'intérêt technique de ces structures.

2.2.1. Préfabrication

Il y a deux stades de préfabrication. D'une part le treillis proprement dit constitué de pièces d'un poids unitaire de 600 kg. D'autre part, le voussoir où les opérations de bétonnage n'intéressent que des éléments simples, à savoir les dalles supérieure et inférieure.

Cette division en ateliers indépendants améliore la productivité du chantier car elle impose une spécialisation de la main d'œuvre. Elle diminue aussi le coût des investissements lié à l'outil de coffrage ; en effet, une cellule effectuant la totalité des deux opérations aurait une complexité bien supérieure à la somme obtenue pour des ateliers indépendants.

2.2.2. Précontrainte

La précontrainte extérieure s'impose d'elle même lorsque les barres de treillis ont de faibles dimensions (carré de 20 cm de côté pour le pont de BUBIYAN). C'est une obligation dont il faut se satisfaire sans regret car elle aboutit à un progrès à la fois économique et technique.

Progrès économique puisqu'elle va encore dans le sens d'une industrialisation du chantier : à titre d'exemple, la pose des gaines s'affranchit des difficultés liées à l'encombrement du ferraillage.

Progrès technique parce que d'une part la précontrainte devient visitable et facilement remplaçable et que d'autre part le tracé des câbles ne subit plus de déviations parasites.

2.2.3. Simplicité et réalité du fonctionnement mécanique

Les essais que nous avons réalisés en grandeur nature, ont démontré clairement la concordance entre le calcul théorique et les mesures de déformation et de contraintes. Il est intéressant de noter que les écarts étaient plus petits là où le treillis instrumenté était plus éloigné des zones d'ancrage des câbles de précontrainte (structures classiques composées de voiles pleins en béton précontraint).

En fait ces observations s'expliquent simplement. L'ingénieur de structure sait bien que tout élément de plaque est délicat à modéliser : problème du matériau hétérogène qu'est le béton, problème de frontières avec d'autres plaques.

A l'inverse, on peut dire que les structures treillis se prêtent avantageusement au calcul informatique. Les éléments unitaires sont des barres ne travaillant que sous des efforts monoaxiaux de compression ou de traction simple. Le cheminement des efforts est obligatoire et le dimensionnement gagne à la fois en simplicité et en exactitude ; finalement, les résultats des essais ne pouvaient qu'entériner la concordance d'une modélisation bien adaptée au sujet traité.

2.2.4. Joints conjugés

On notera enfin l'amélioration apportée au fonctionnement des joints entre voussoirs conjugués. En effet, la surface de conjugaison est réduite aux tables supérieure et inférieure alors que dans un caisson classique, il faut y ajouter le contact des âmes. Or, les phénomènes de retrait différentiel implique que plus les surfaces de contact sont importantes, plus la probabilité d'obtenir une mauvaise conjugaison augmente.

La conformité de la géométrie finale de l'ouvrage a pleinement justifié ce bon fonctionnement des joints.

3 – POSSIBILITES ACTUELLES

Le bilan qui vient d'être fait nous amène aujourd'hui à étendre la technique des voussoirs à joints conjugés pour le franchissement des portées allant de 150 à 250 mètres.

Les structures treillis sont naturellement adaptées au franchissement des grandes portées ; cependant, si l'ouvrage fini résoud facilement l'impératif de résistance requise pour porter le poids propre et les surcharges routières, les problèmes liés à la pose deviennent prioritaires. Nous développerons ci-après les différentes mesures qui permettent d'atteindre cet objectif en s'attachant à démontrer les faisabilités autant techniques qu'économiques.

3.1. Alléger la structure

Chacun conviendra que dans le domaine des grandes portées, la légèreté de la structure est un bon indice d'économie. Aussi, en plus des âmes, notre première démarche est de passer en treillis le plan de la table inférieure.

Le gain de matière est important et fonctionnellement, ce plancher de visite sera remplacé par un léger caillebotis prenant appui sur les barres du nouveau treillis.

Dans le même but de légèreté, il conviendrait de ne pas modifier la table supérieure, car elle assure à la fois le rôle de support de la chaussée et le rôle de membrure dans la flexion générale du tablier.

Nous séparerons pourtant ces deux fonctions, d'une part en passant en treillis le plan de la membrure, d'autre part en créant une dalle de roulement posée sur les nœuds du treillis de la membrure par l'intermédiaire de dés en élastomère.

Dans cette optique, l'économie est réalisée au moment de la pose là où on a besoin d'un maximum de légèreté pour diminuer les investissements demandés par les engins de pose. La dalle de roulement intervient alors comme superstructure au même titre que les corniches, garde-corps et couche de roulement.

3.2. Améliorer la résistance du béton de la structure treillis

Pour faire un nouveau pas dans l'allègement de la structure, il faut améliorer maintenant la qualité du matériau. La résistance à la compression du béton de BUBIYAN approchait les 35 MPa. Le moment est venu de doubler ces résistances et les essais que nous entreprenons actuellement nous en donnent l'assurance. Quelques règles simples sont à observer :

- un rapport eau sur ciment voisin de 0.30
- l'ajout d'un superfluidifiant
- des agrégats et des sables très propres
- un contrôle aigu de la teneur en eau pendant la prise du béton
- une compacité permettant d'obtenir une densité proche de 2,5 (béton lourd).

La fabrication de bétons à 70-80 MPa de résistance va bouleverser les habitudes et les méthodes de nos chantiers traditionnels. En particulier, on ne pourra plus séparer fabrication et mise en œuvre dans les coffrages car comme nous l'avons vu précédemment le respect de la teneur en eau a une implication directe sur la conception de ces coffrages : en un mot, ceux-ci doivent être parfaitement étanches.

3.3. L'élément unitaire du treillis

L'élément unitaire du treillis sera le nœud comprenant les demi-barres qui arrivent sur ce nœud (figure 2).

Un nœud courant peut recevoir 12 demi-barres. Un nœud de frontière avec l'extérieur se traite de la même façon : il est simplement amputé des quelques demi-barres qui ne sont plus nécessaires à sa définition géométrique. La fabrication de l'élément se fait à partir d'un moule métallique venant coffrer toutes les surfaces des barres et du nœud. La mise en œuvre du béton se fait par injection (pression de 6 MPa) à l'extrémité d'une des demi-barres.

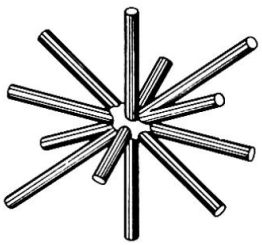


Figure 2 — Nœud courant

3.4. Fabrication d'un voussoir

Contrairement aux procédés classiques, la fabrication d'un voussoir n'est plus qu'une opération d'assemblage entre éléments unitaires. En conséquence, l'investissement demandé par cette opération est réduite à sa plus simple expression.

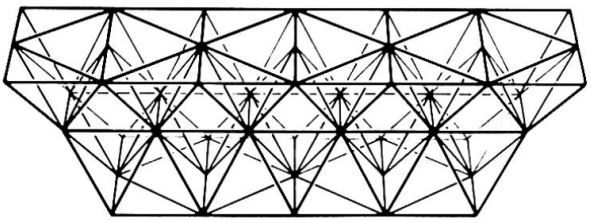


Fig. 3 Voussoir courant

Il faut distinguer deux types de liaison :

3.4.1. La liaison entre deux demi-barres

La liaison définitive se fait par précontrainte extérieure. Provisoirement, cette liaison doit donc assurer la reprise des efforts apparaissant avant la mise en œuvre de cette précontrainte, c'est-à-dire principalement, les efforts résultant de la manutention du voussoir lui-même.

Cette liaison provisoire se fait par recouvrement au moyen d'armatures que l'on vient sceller par injection de mortier à l'intérieur de tubes noyés dans l'élément unitaire. Par la même occasion, cette injection assure le bétonnage du joint. On remarque que les liaisons à mi-barres se situent dans un endroit particulièrement facile à traiter. Il en aurait été tout autrement s'il avait fallu faire un assemblage au droit du nœud.

3.4.2. Les joints conjugés

La conjugaison se fait dans un plan ne comportant que des nœuds. Lors de la fabrication de ces nœuds, il suffit de disposer dans le moule un diaphragme de séparation représentant la surface de conjugaison. Un boulonnage provisoire traverse ce joint pour solidariser les deux demi-éléments, d'une part lors de la manutention, d'autre part, lors de l'assemblage du voussoir en amont de ce joint.

3.5. Qualité et durabilité

Ces nouvelles structures demandent à considérer d'une façon nouvelle les impératifs de qualité. Au même titre que l'acier de précontrainte, le super béton deviendra l'objet d'un contrôle de haut niveau parfaitement compatible avec la préfabrication nécessairement industrielle des éléments unitaires de treillis.

Enfin, pour mieux apprécier la durabilité, deux observations permettent de démarquer ces structures de leurs homologues en acier. Il est déjà évident qu'un béton normal a l'avantage d'une excellente résistance aux agressions extérieures : un super béton qui est naturellement moins poreux ne fera qu'améliorer cette propriété. Quant à l'acier de précontrainte, les dispositions retenues permettent de remplacer aisément les câbles qui se montreraient défaillants.

Les conditions très strictes de fabrication demanderont un investissement qui ne pourra être rentabilisé que par une standardisation des éléments unitaires : au même titre que les profilés d'acier, on verra apparaître un catalogue d'éléments treillis en béton.

L'ère d'une industrialisation nouvelle est proche.

4 – PROJECTION SUR L'AVENIR

Il est permis de penser que ces nouvelles structures vont concurrencer les constructions métalliques dans le domaine des portées exceptionnelles. Pour cela, il faut franchir un nouveau pas dans la résistance des bétons en créant la pierre artificielle. Ces bétons seront fabriqués en usine, dans des moules constitués d'une enveloppe frettée, permettant de comprimer le béton pendant sa prise à des valeurs de l'ordre de plusieurs dizaines de MPa ; des expériences récentes (Théodor A. BRUGE) ont montré aussi tout l'intérêt apporté par l'utilisation des fumées de silice : des résistances de plus de 135 MPa ont déjà été obtenues à 28 jours d'âge. La combinaison de ces deux procédés devrait aboutir à des résistances de 180 MPa.

5 – CONCLUSION

La technique du treillis est nécessaire pour obtenir la préfabrication par objets élémentaires de volume réduit. Elle est rendue possible par l'assemblage de ces éléments simples par précontrainte.

Cette voie nous semble être celle qui permettra de découvrir les formes structurelles spécifiques du béton précontraint, car elle rejoint les deux propriétés fondamentales liées à l'utilisation de la précontrainte.

- propriété de supprimer totalement les tractions dans le béton,
- propriété d'assembler de proche en proche pour aboutir à la structure définitive.

Ces deux propriétés doivent être utilisées en parfaite communion de pensée.

C'est la démarche constante qui nous guide et que nous vérifions dans l'élaboration de ces nouvelles structures.