

# Evolution dans la construction de grands ponts (1ère partie: conception)

Autor(en): **Mathivat, J.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **11 (1980)**

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-11208>

## **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.

## VIIIa

### **Evolution dans la construction de grands ponts (1<sup>ère</sup> partie: conception)**

Tendenzen im Grossbrückenbau (1. Teil: Entwurf)

Trends in Big Bridge Engineering (Part 1: Concept and Design)

#### **J. MATHIVAT**

Professeur

Ecole Nationale des Ponts & Chaussées

Paris, France

#### **RESUME**

La plupart des grands ponts en béton précontraint sont actuellement construits par encorbellement. L'évolution de la construction par encorbellement a été marquée dans les dernières années par une simplification et un allègement de l'ossature transversale des tabliers et par une amélioration dans la technique de bétonnage en place des voussoirs. Ce mode de construction a, d'autre part, été étendu à de nouvelles structures, tels les ponts à haubans et les arcs, et a fait appel à de nouveaux matériaux, comme le béton léger, ce qui a permis d'étendre son domaine d'application.

#### **ZUSAMMENFASSUNG**

Die meisten Brücken aus Spannbeton werden heute im Freivorbau ausgeführt. Die Entwicklung der Freivorbauverfahren ist in den letzten Jahren dadurch gekennzeichnet, dass das Fachwerk der Fahrbahnen einfacher und leichter gemacht wird und die Technik der Ortsbetonierung von Hohlkasten verbessert wurde. Diese Bauverfahren ist ausserdem an neuen Tragwerken wie Schrägkabelbrücken angewendet worden und ist für neue Baustoffe wie Leichtbeton besonders geeignet, was zur Erweiterung ihres Anwendungsbereiches beigetragen hat.

#### **SUMMARY**

Most big bridges in prestressed concrete are now constructed by the cantilever method. The development of cantilever construction has been marked over recent years by a simplification and lightening of the lateral framework of the decks and by an improvement in the technology of in situ concreting of segments. This method of construction has furthermore been extended to new structures such as cable-stayed bridges and arch bridges and lends itself to new materials such as light-weight concrete, which has facilitated the extension of its range of application.



## 1. INTRODUCTION

Parmi les ponts en béton précontraint, on peut distinguer les ouvrages de portées moyennes (inférieures à 50 m), qui comportent les ponts à poutres préfabriquées lancées, les ponts poussés et ceux construits sur cintres autoporteurs et autolanceurs, et les ouvrages de grandes portées (supérieures à 50 m), relevant de la construction par encorbellement (Fig. 1)

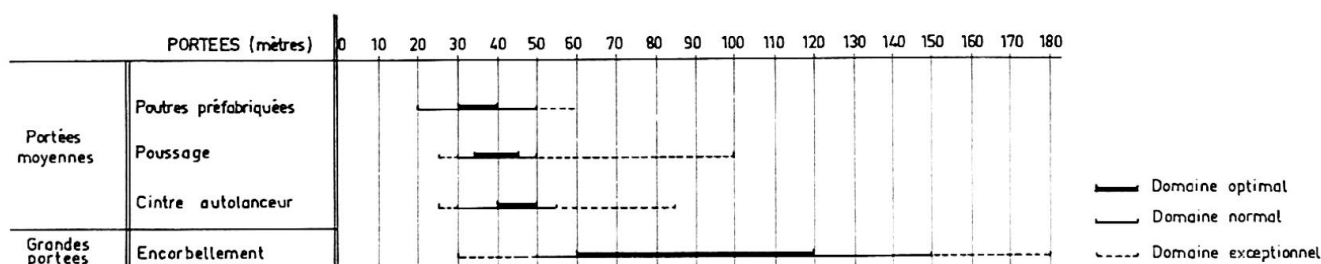


Fig. 1 - Domaine des grands ponts en béton précontraint

Nous nous limiterons dans la suite de ce rapport à cette dernière catégorie d'ouvrages, qui englobe la majorité des grands ponts en béton précontraint.

## 2. OUVRAGES TRADITIONNELS CONSTRUITS PAR ENCORBELLEMENT

Les procédés de construction par encorbellement sont au nombre de deux : bétonnage en place de voussoirs à l'intérieur d'équipages mobiles et assemblage de voussoirs préfabriqués.

En examinant les ouvrages importants construits par encorbellement depuis 5 ans, on constate que le premier procédé, en Europe Occidentale et en particulier en France, a pris nettement le pas sur le second. Cette tendance résulte à la fois des progrès faits dans la technique par bétonnage en place des voussoirs et de la conjoncture économique, qui incite les entreprises à réduire leurs investissements.

Par ailleurs, l'évolution de la section transversale des tabliers, qui avait été précédemment caractérisée par un accroissement régulier des dimensions et du poids unitaire des voussoirs, semble stoppée et parfois même inversée.

### 2.1 - Section transversale des tabliers

Le nombre et la forme des poutres-caissons constituant la section transversale dépend avant tout de la largeur du tablier.

Si cette largeur ne dépasse pas 13 m, c'est la poutre-caisson unique à deux âmes de forme classique qui s'impose.

Dans le cas d'ouvrages dont la largeur dépasse 18 m, l'association de deux poutres-caissons simples est actuellement souvent préférée (Pont d'OTTMARSHEIM) à une poutre unique à trois âmes (Pont de GENNEVILLIERS), qui nécessite un matériel spécial plus onéreux (Fig. 2)

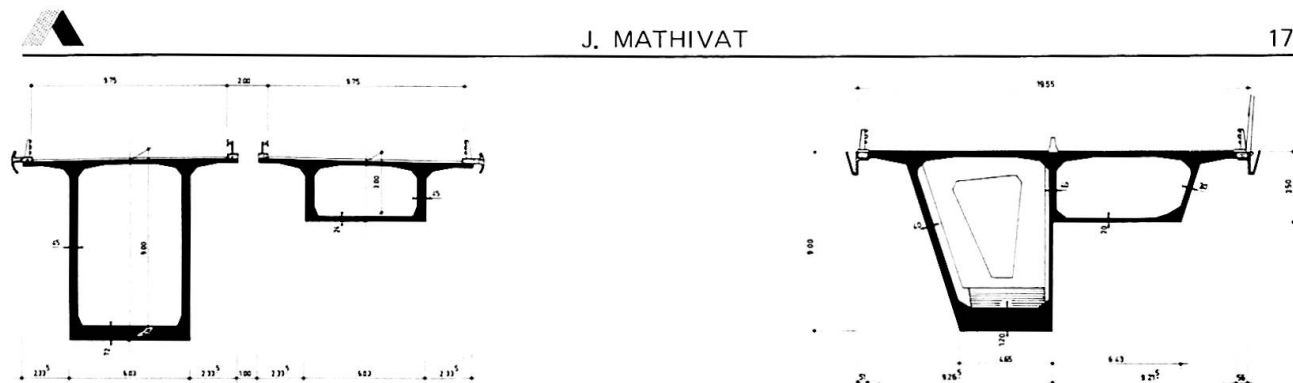
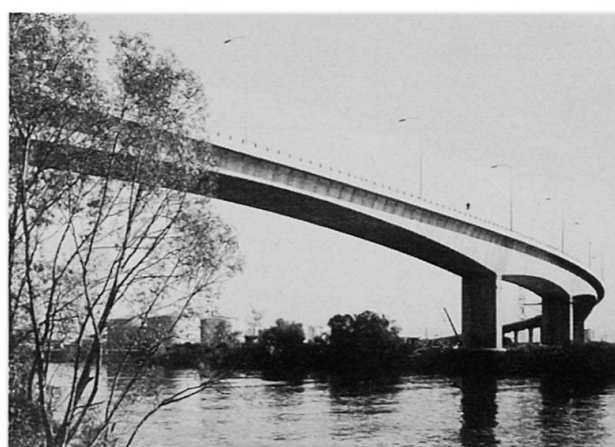
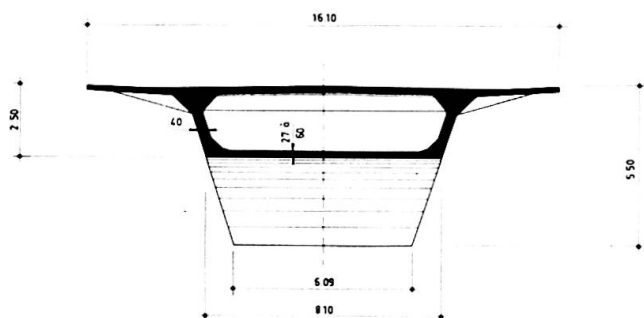


Fig. 2 - Sections transversales des ponts d'OTTMARSHEIM et de GENNEVILLIERS

Pour les tabliers dont la largeur est comprise entre 13 m et 18 m, un nouveau type de structure a connu un développement rapide. Il s'agit d'une poutre-caisson à deux âmes comportant un hourdis supérieur nervuré transversalement, qui conduit à des dispositions constructives plus simples que la poutre tubulaire à trois âmes. (Pont de SALLINGSUND) (Fig. 3).

Fig. 4 - Pont de GENNEVILLIERS

Fig. 3 - Pont de SALLINGSUND



## 2.2 - Amélioration dans la technique du bétonnage en place des voussoirs

Le double objectif de réduire les déformations des équipages sous la charge du béton et d'accélérer les cycles de construction des voussoirs a entraîné l'évolution suivante :

### (1) Utilisation de moules rigides autoportants

La conception des équipages a été modifiée de manière à intéresser les panneaux coffrants à leur résistance, permettant par la même occasion de dégager les surfaces de travail. (Pont de GENNEVILLIERS) (Fig. 4)

### (2) Exécution de la section transversale en deux phases

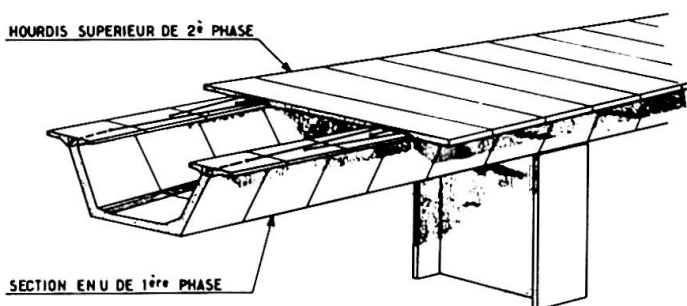
La section transversale est bétonnée en deux étapes, le hourdis supérieur étant réalisé séparément avec un décalage de plusieurs voussoirs (Viaduc du MAGNAN)

Fig. 5 - Viaduc du MAGNAN

TABLIER BETONNE EN DEUX PHASES

HOUDIS SUPERIEUR DE 2<sup>e</sup> PHASE

SECTION EN U DE 1<sup>re</sup> PHASE





Les dispositions précédentes, associées au traitement thermique du béton et à l'emploi de plaques de répartition sous les ancrages des câbles de précontrainte, conduisent à une réduction sensible du cycle de construction permettant l'exécution, par semaine et par équipage mobile, de deux paires de voussoirs.

### 3. EXTENSION DE LA CONSTRUCTION PAR ENCORBELLEMENT

Au cours des dernières années de nouvelles structures de pont ont connu un développement important, grâce aux progrès technologiques réalisés dans la construction par encorbellement et au perfectionnement des moyens de calcul. Ce sont essentiellement :

- les ponts à haubans,
- les ponts en arcs,

Dans le même temps, l'utilisation de matériaux nouveaux comme le béton léger a permis de franchir économiquement de grandes portées avec de nouveaux schémas statiques.

#### 3.1 - Les ponts à haubans

Nous avons vu que, dans le domaine des portées comprises entre 50 m et 150 m, les ponts traditionnels construits par encorbellement constituent actuellement la solution la plus satisfaisante du point de vue technique et économique.

Mais, à partir de 180 m environ, ce type d'ouvrage présente plusieurs inconvénients :

- . augmentation considérable des moments de poids propre par suite de la variation d'inertie des consoles ;
- . accroissement des contraintes de compression dans la membrure inférieure ;
- . multiplication des câbles de précontrainte des fléaux.

Il devient alors plus efficace d'augmenter le bras de levier de la précontrainte en écartant artificiellement les câbles du tablier, ceux-ci se comportant comme des haubans et s'appuyant sur un mât qui assure leur déviation.

On est conduit ainsi à des ponts à haubans multiples répartis qui constituent une nouvelle famille d'ouvrages construits par encorbellement, se différenciant des ouvrages traditionnels par :

- la commodité de remplacement des câbles en cas de détérioration ;
- leur plus grande sensibilité à la fatigue et aux phénomènes vibratoires.

Le développement rapide de ce type de structures, dont on compte déjà plusieurs réalisations et de nombreux projets avec des portées voisines de 300 m, montre l'intérêt économique qu'elles présentent pour le franchissement de grandes brèches.

Du point de vue de leur conception un certain nombre de tendances semblent devoir se dégager :

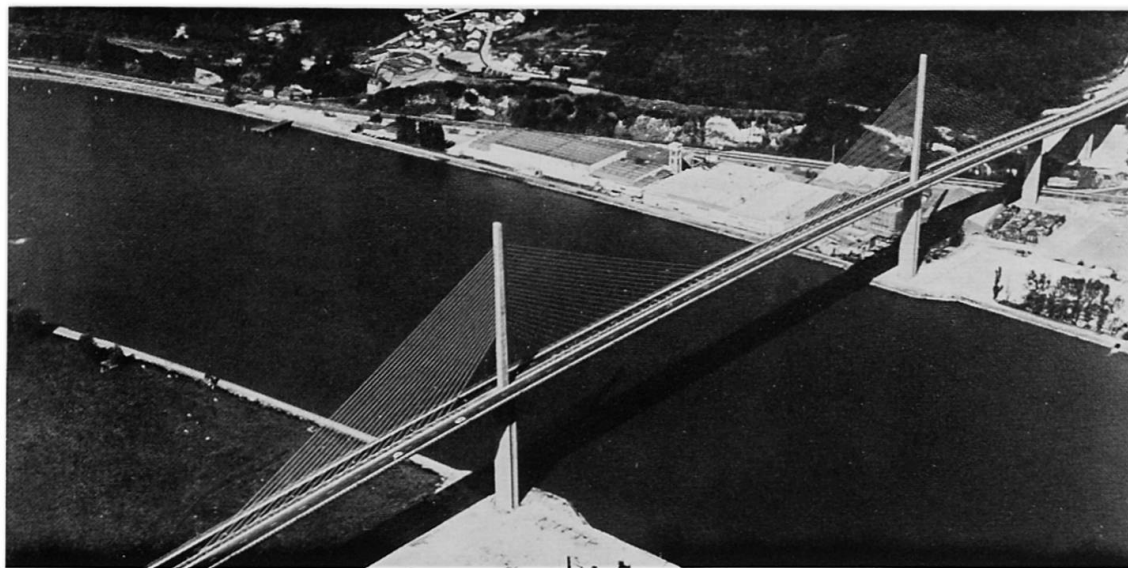


Fig. 6 - Pont de BROTONNE (Portée 320 m)

### 3.1.1 - Nature et écartement des haubans

Les haubans sont généralement constitués de câbles de précontrainte, disposés à l'intérieur d'une enveloppe, métallique ou plastique, et injectés au coulis de ciment ou à la résine. Ces câbles sont plus performants que les câbles clos, tant du point de vue de la résistance à la rupture que du module de déformation longitudinale.

Ils sont distribués de façon régulière le long de l'ouvrage, avec des écartements faibles, de façon à permettre leur remplacement éventuel et à faciliter la construction du tablier par encorbellement.

### 3.1.2 - Configuration longitudinale du haubanage

Les haubans sont disposés en éventail ou en harpe, la première solution conduisant à la valeur minimale du poids d'acier pour les élancements courants des mâts, la seconde offrant des simplifications constructives notables dues à la constance de l'angle d'incidence des haubans.

Pour des ouvrages dont la portée principale n'excède pas 200 m, un haubanage en harpe associé à un mât de 60 m de hauteur environ constitue probablement la solution la plus économique.

### 3.1.3 - Configuration transversale du haubanage

Une suspension axiale du tablier, chaque fois qu'elle est possible, semble préférable, car la disposition des ancrages des haubans, leur mise en place et leur remplacement éventuel s'en trouvent facilités (Fig. 7).

### 3.1.4 - Schéma du mât

Dans le cas d'une suspension axiale, un mât unique est la solution la plus simple, mais il nécessite souvent une dimension transversale importante, conditionnée par sa stabilité élastique et entraînant un élargissement du tablier. Aussi, dès que la stabilité élastique du mât devient préoccupante, en particulier pour des ouvrages soumis aux séismes, on a généralement recours à des mâts en Y renversé. (Fig. 8).





Si la suspension du tablier est latérale, on prévoiera souvent deux mâts parallèles entretoisés.

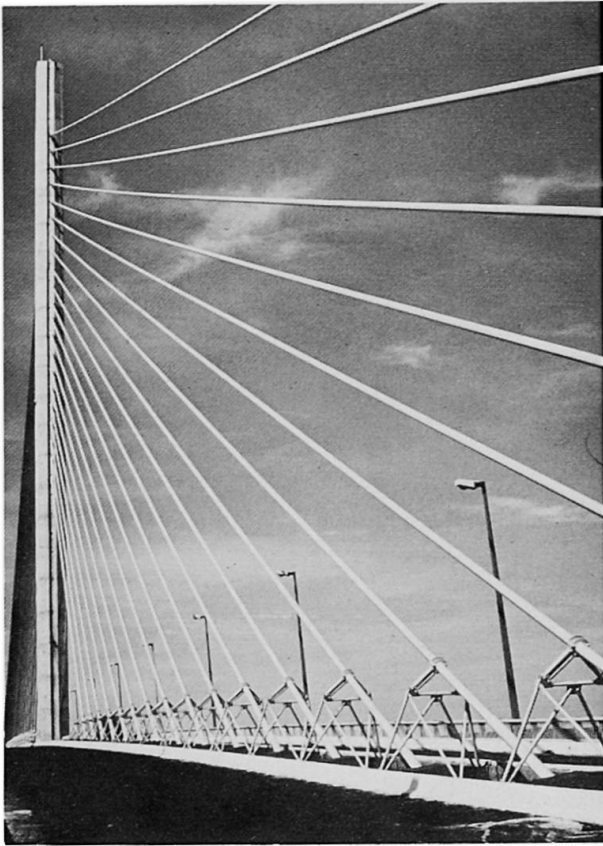


Fig. 7 - Pont de BROTONNE

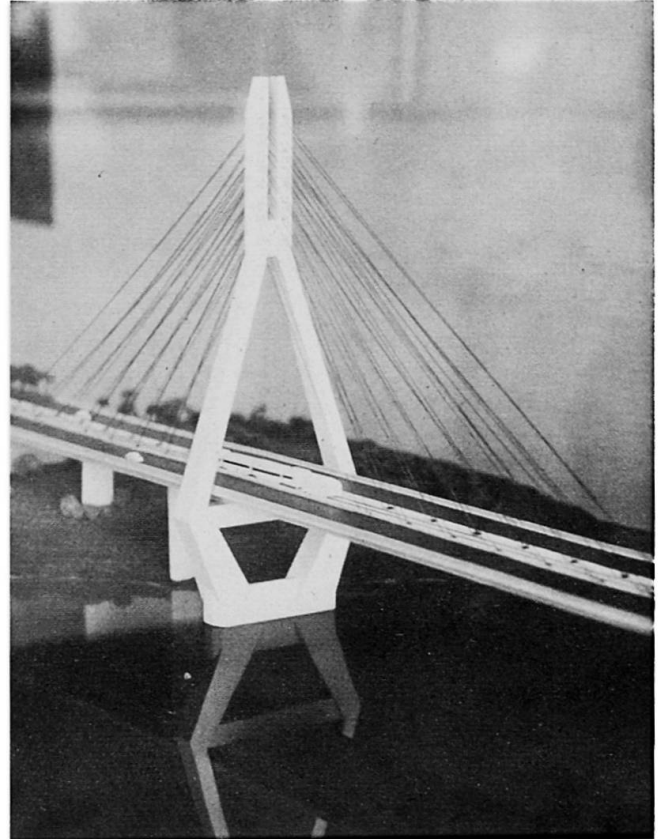


Fig. 8 - Pont sur le Rio CARONI

### 3.1.5 - Structure transversale du tablier

Elle dépend étroitement du mode de suspension du tablier. On peut cependant distinguer trois types de structures couramment utilisées :

- (1) deux poutres tubulaires latérales entretoisées transversalement au droit desquelles sont ancrés les haubans. Cette structure s'adapte bien aux ouvrages à suspension latérale. Un exemple en est donné par le pont de PASCO-KENNEWICK, aux U.S.A., dont la portée centrale mesure 300 m. (Fig.9)

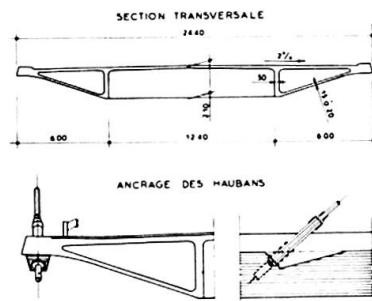


Fig. 9 - Pont de PASCO-KENNEWICK

- (2) une poutre tubulaire à trois âmes, les haubans étant ancrés au droit de l'âme centrale. Les inconvénients de ce type de structure résident dans la mauvaise accessibilité des ancrages des haubans, qui sont généralement disposés sous l'âme centrale, et dans la déformabilité de la section due au transfert de l'effort de suspension des haubans aux âmes latérales. (Fig.10)

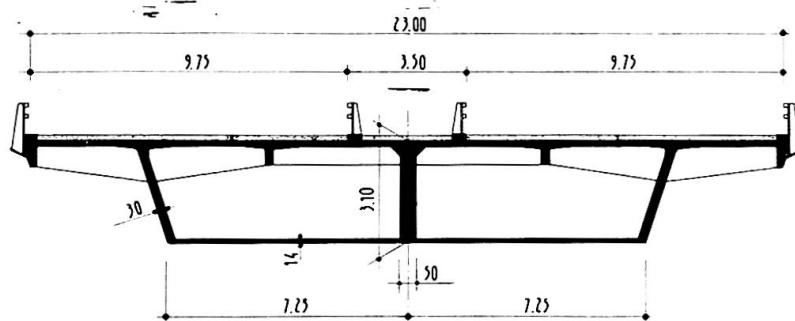


Fig. 10 - Pont d'OTTMARSHEIM  
(projet de Base)

- (3) une poutre tubulaire à deux âmes, comportant une triangulation intérieure. Cette structure, d'une grande rigidité, est généralement plus légère que la précédente et facilite la mise en tension des haubans qui s'effectue à l'intérieur du tablier. Elle peut s'adapter à des ouvrages de largeurs très différentes, comme le montre la figure 11, le hourdis supérieur pouvant être nervuré transversalement dans le but de diminuer la portée du hourdis inférieur et de réduire l'inclinaison des âmes, afin d'améliorer les conditions de bétonnage du tablier.

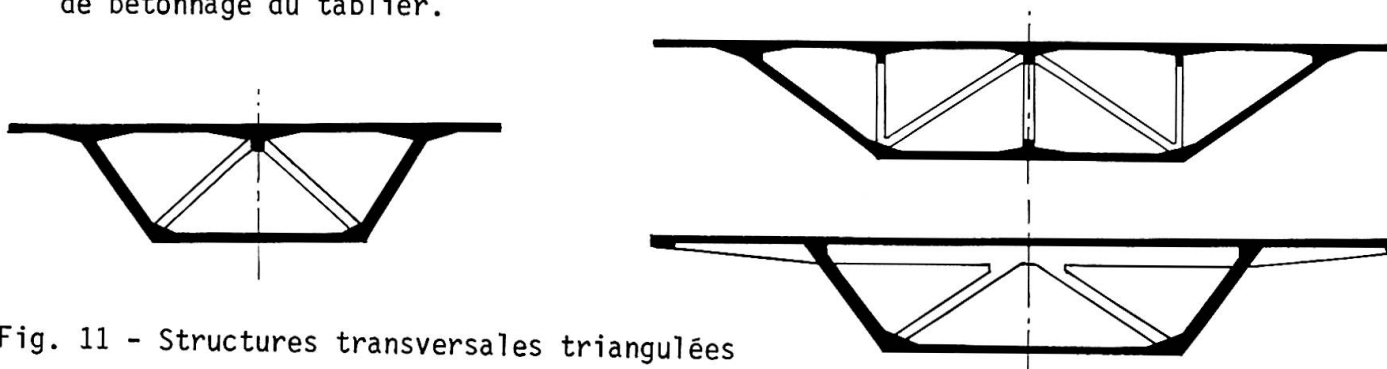


Fig. 11 - Structures transversales triangulées

C'est une section de ce type, sans poteaux verticaux, ni nervures, qui a été choisie au pont de BROTONNE, la structure monocellulaire étant raidie par des butons inclinés convergeant au point d'ancrage des haubans et disposés longitudinalement tous les 3 m (Fig. 12).

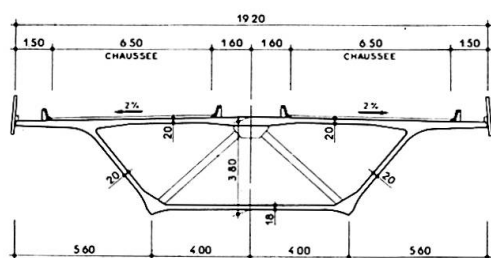
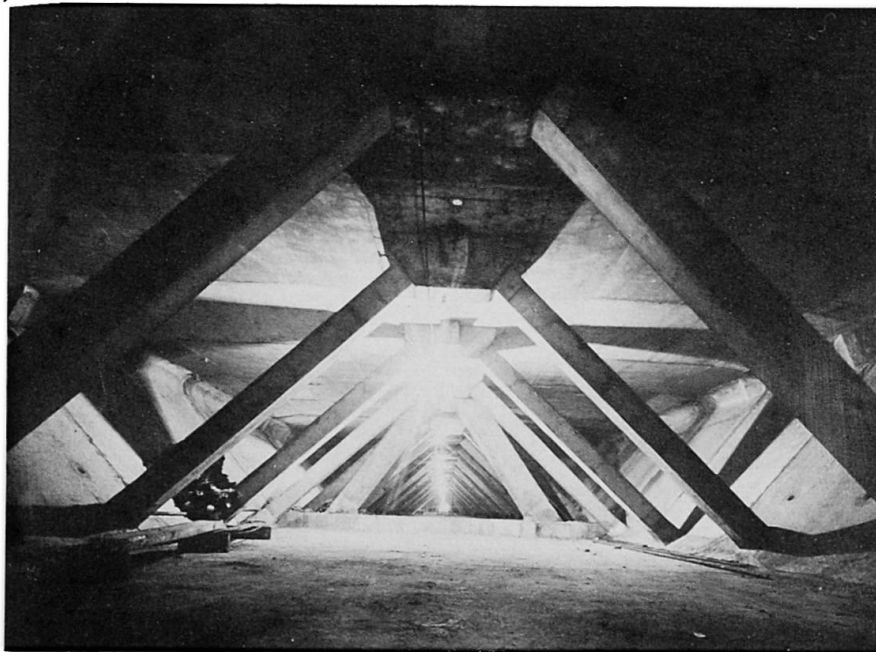


Fig. 12 - Section transversale  
du pont de BROTONNE



Les solutions (2) et (3) s'appliquent aux ouvrages à suspension axiale.

### 3.1.6 - Structure longitudinale de l'ouvrage

Elle est liée au mode de construction du tablier, qui est inspiré directement de la technique de l'encorbellement, et aux caractéristiques de la brèche à franchir. Elle se compose généralement de fléaux symétriques assemblés entre eux par pré-contrainte.





Dans certains cas toutefois, les fléaux peuvent être dissymétriques, la travée d'équilibrage reposant sur des appuis intermédiaires rapprochés contribuant à l'ancrage des haubans et augmentant la rigidité de la suspension (Fig. 13)

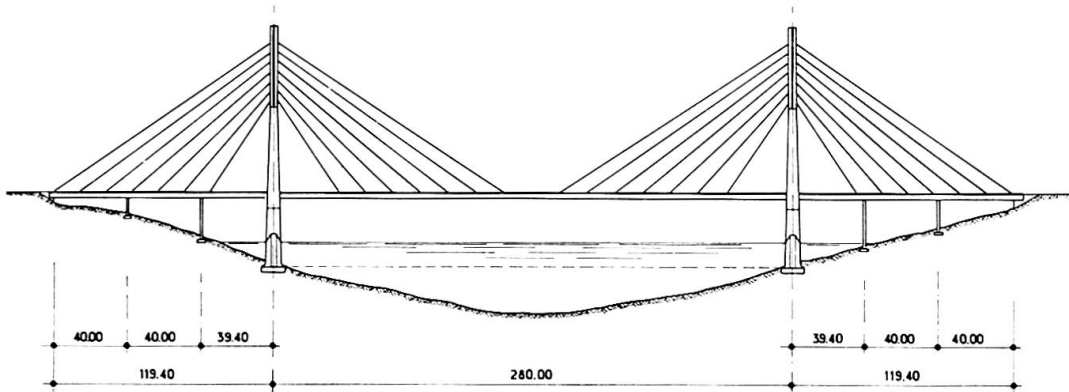


Fig. 13 - Coupe longitudinale du pont sur le Rio CARONI (portée : 280 m)

Dans les ponts à haubans multiples répartis, la résistance à la flexion longitudinale de la structure est assurée par l'utilisation de haubans rapprochés, capables de supporter des contraintes élevées et s'accomode par conséquent d'un tablier de faible rigidité. Mais dans certains ouvrages à l'exemple du pont sur le GANTER, en Suisse, on peut envisager de faire participer à la fois le tablier et les haubans à la reprise des charges verticales. On est alors conduit à une structure hybride tenant du pont à haubans et du pont en encorbellement traditionnel (Fig. 14 et 15).

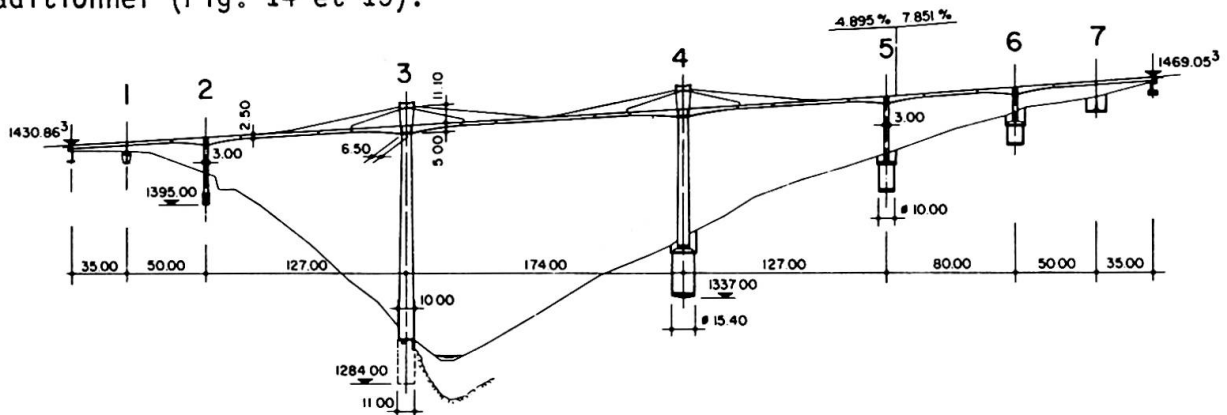
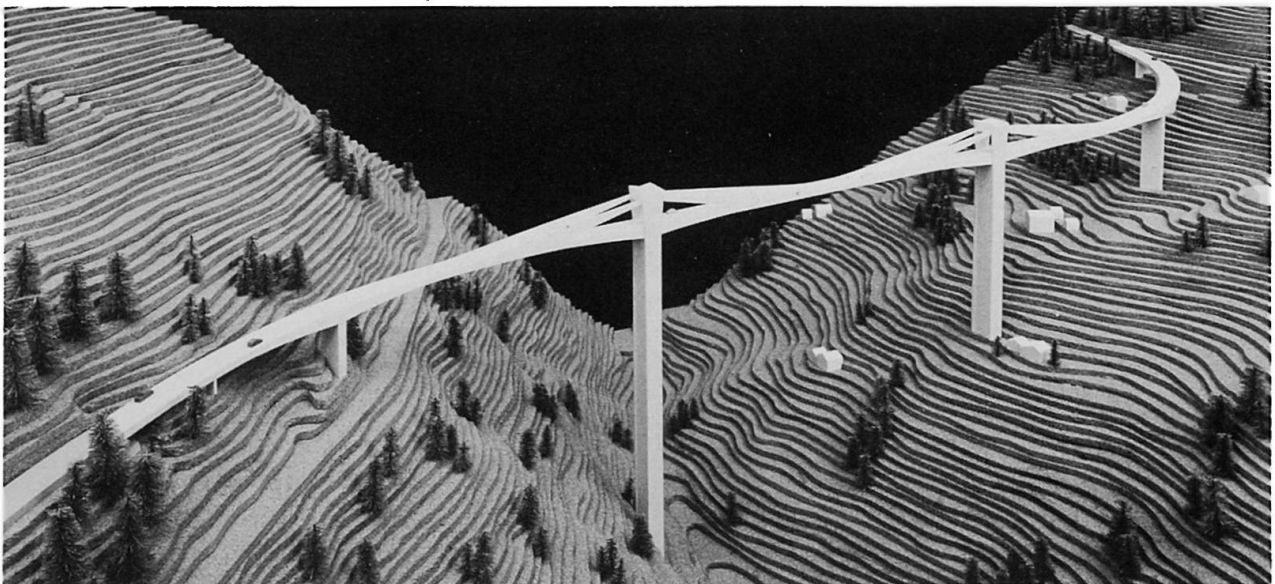


Fig. 14 - Coupe longitudinale du pont sur le GANTER

Fig. 15 - Pont sur le GANTER





Enfin, les mâts étant généralement les éléments les plus sollicités et les plus vulnérables d'un pont à haubans, il est tentant, quand on le peut, de les supprimer en ancrant directement les haubans dans les rives de la vallée, si la nature du terrain le permet. C'est ce qui a été imaginé pour le projet du pont de RUCK-A-CHUCKY, en Californie, dont le tablier, au tracé en plan fortement courbe, est suspendu sur une portée d'environ 400 m par des câbles ancrés dans les falaises (Fig. 16).

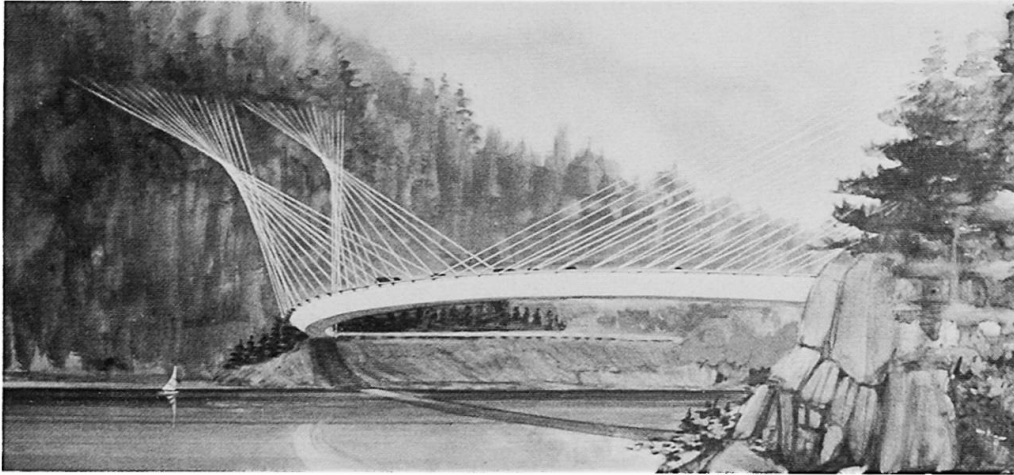


Fig. 16 - Pont de RUCK-A-CHUCKY

### 3.2 - Les ponts en arc

Le développement des grands ponts en arc a été stoppée il y a une vingtaine d'années par suite du coût élevé des cintres nécessaires à leur construction, comme le montre la liste des ouvrages les plus connus :

- . le pont de PLOUGASTEL - portée 186 m (1929) (Fig. 17)
- . le pont sur le Rio ESLA - portée 210 m (1939)
- . le pont de SANDÓ - portée 264 m (1948)
- . le pont sur le DOURO - portée 270 m (1960)

Mais le recours à la technique de l'encorbellement, qui permet le montage d'un arc au moyen d'un haubanage provisoire, en se libérant des cintres, a redonné un intérêt économique certain à ce type de structure dont la silhouette s'intègre parfaitement à certains sites accidentés.

Cette méthode avait été imaginée par FREYSSINET en 1950 à l'occasion de la réalisation des viaducs de CARACAS, bien qu'il ait fait alors appel à un cintre partiel pour la construction de la partie centrale de l'arc (Fig. 18).



Fig. 17 - Pont de PLOUGASTEL  
(portée 186 m)

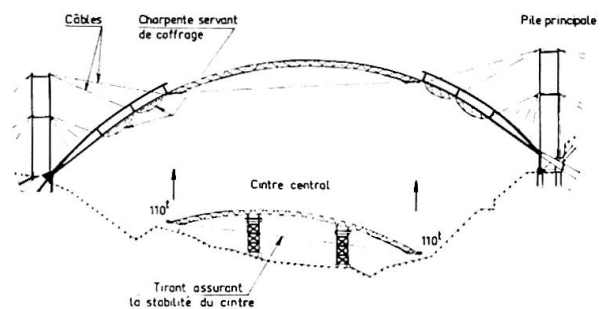


Fig. 18 - Viaduc de CARACAS  
(portée 152 m)



Nous avons proposé plus récemment, pour le viaduc du MAGNAN sur l'Autoroute A. 8, près de Nice, un arc de 260 m de portée, entièrement monté par encorbellement dont le coût était comparable à une solution plus traditionnelle à poutre qui fut finalement préférée.

Afin de réduire le poids de l'arc et de diminuer les haubans, il avait été envisagé de construire sa section transversale en deux phases. L'alvéole central, appelé arc primaire, devait d'abord être exécuté jusqu'au voisinage de la clé, une charpente métallique prolongeant le porte-à-faux et assurant le clavage. Le reste de la section transversale de l'arc, appelé arc secondaire, était alors achevé (Fig. 19).

Depuis, plusieurs ouvrages importants ont été construits suivant un procédé analogue. Ces ouvrages sont caractérisés par les dispositions suivantes :

(1) la conception du haubanage provisoire

Dans la majorité des cas les haubans s'appuient sur les piles situées à l'aplomb des culées de l'arc et sont ancrés sur les rives. Pour la construction des éléments de l'arc voisins de la clé un pylone auxiliaire est souvent utilisé afin d'augmenter l'inclinaison des haubans. Les ancrages des haubans sur les rives se font généralement au droit des fondations des piles ou des culées du tablier supérieur (Fig. 20).

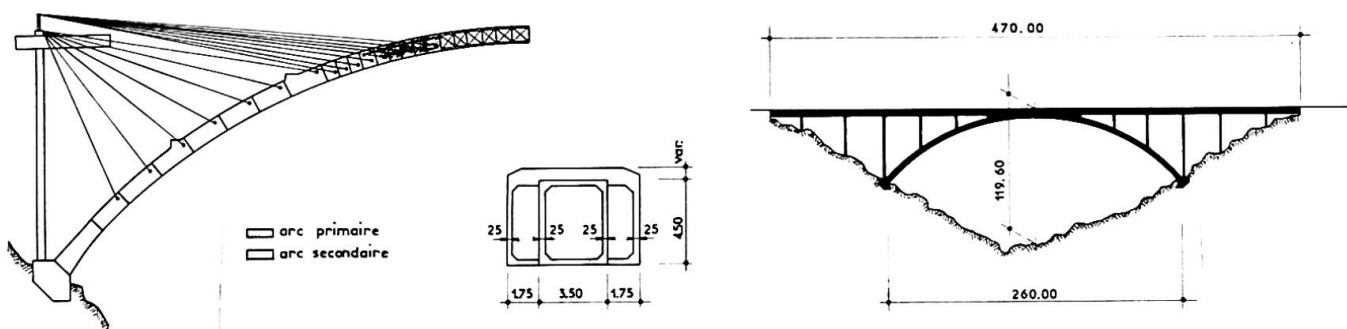


Fig. 19 - Construction du projet du viaduc du MAGNAN

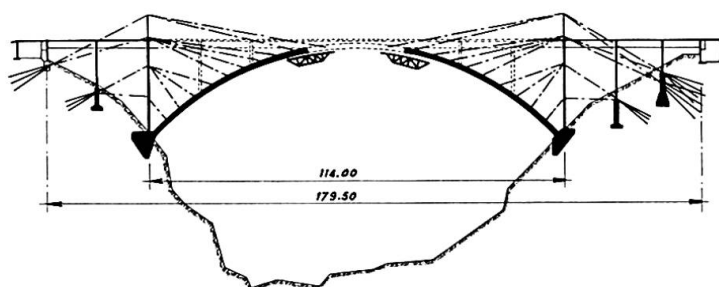


Fig. 20 - Construction du SCHWARZWASSERBRÜCKE

Pour d'autres ouvrages, les haubans sont disposés suivant les diagonales joignant les sommets des pilettes à la base des pilettes voisines, ce qui augmente leur efficacité (Fig. 21)

(2) la structure de l'arc

Pour les ouvrages de grande portée, il est généralement souhaitable de donner à l'arc une structure tubulaire qui peut être constituée d'un caisson multicellulaire ou de deux caissons monocellulaires. Dans le cas de portées moyennes, on peut se contenter d'un caisson monocellulaire ou de deux nervures parallèles.

(3) la structure du tablier supérieur

Les portées du tablier supérieur étant le plus souvent comprises entre 15 m et 30 m, sa structure transversale se compose soit d'une dalle, élégiée ou non, soit de poutres, rectangulaires ou en double té.

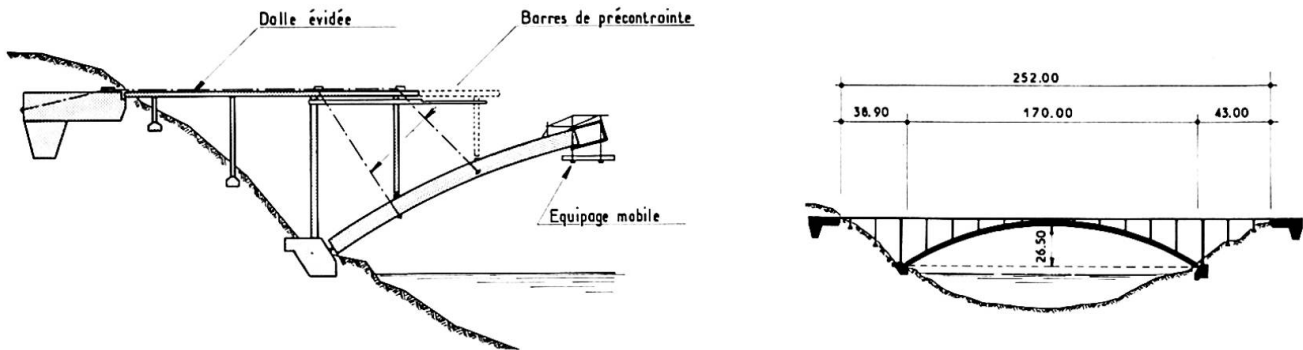


Fig. 21 - Construction du pont de HOKAWAZU (Japon)

3.3 - L'utilisation du béton léger

L'utilisation du béton léger dans la construction des tabliers permettra probablement dans les années à venir d'accroître le champ d'application de la construction par encorbellement et d'améliorer la compétitivité de certaines structures. Il est particulièrement intéressant pour la construction de grandes travées encadrées de travées d'équilibrage de portées plus faibles, où son emploi, combiné avec le maintien du béton traditionnel dans les travées d'équilibrage, permet de raccourcir et d'alléger ces dernières en réduisant les quantités de précontrainte à mettre en oeuvre.

Deux grands ouvrages ont été récemment construits, en France, suivant ce principe. Il s'agit du pont d'OTTMARSHEIM sur le Canal d'Alsace, qui comporte une travée de près de 172 m de portée, réalisée par voussoirs préfabriqués (Fig. 22) et du pont de TRICASTIN, sur le Canal de DONZERE-MONDRAGON, dont le tablier, bétonné en place, a une travée centrale de 142,5 m (Fig. 23).

Enfin, le béton léger doit permettre également de rendre encore plus compétitifs les arcs, construits par encorbellement, et les ponts à haubans multiples répartis, où son emploi entraîne une réduction très sensible de la section des haubans, qu'ils soient provisoires ou définitifs.

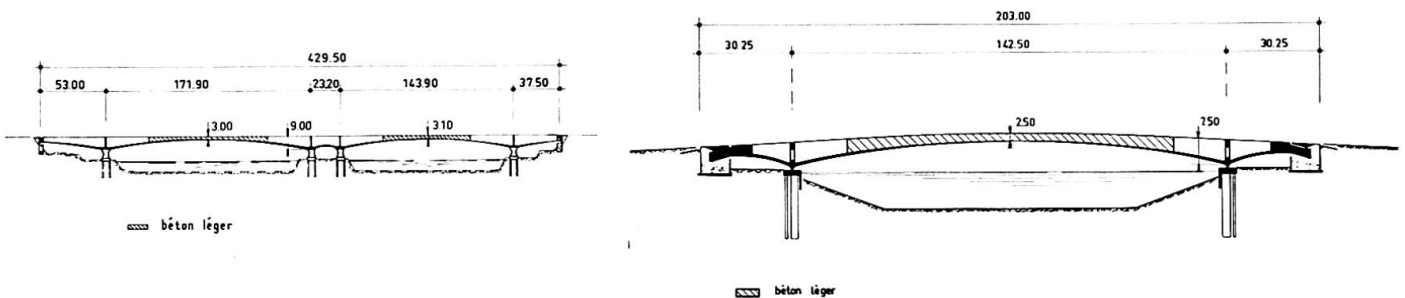


Fig. 22 et 23 - Pont d'OTTMARSHEIM et de TRICASTIN

Leere Seite  
Blank page  
Page vide