

Evolution récente des ponts en béton précontraint

Autor(en): **Mathivat, Jacques**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE surveys = Revue AIPC = IVBH Berichte**

Band (Jahr): **12 (1988)**

Heft S-41: **New trends in prestressed concrete bridges**

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-51407>

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.

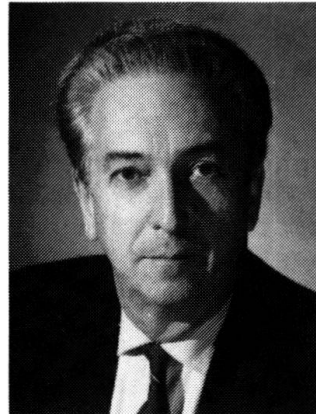
Evolution récente des ponts en béton précontraint

Neuere Tendenzen in der Entwicklung von Spannbetonbrücken

New Trends in Prestressed Concrete Bridges

Jacques MATHIVAT

Professeur
Ecole Nationale
des Ponts et Chaussées
Paris, France



Jacques Mathivat, né en 1932, a été jusqu'en 1977 Directeur des Études des Entreprises Campenon Bernard. Il est actuellement Ingénieur-Conseil à la SECOA (Société d'Études et de calculs en Ouvrages d'Art) qu'il a créée en 1978. Jacques Mathivat est Président de l'AFPC et Vice-Président de l'AIPC.

RÉSUMÉ

L'évolution des ponts en béton précontraint a été marquée, au cours de la dernière décennie par deux tendances nouvelles: l'allègement des structures transversales des tabliers et le recours à la précontrainte extérieures au béton, qui sont apparues plus particulièrement sous l'impulsion des ingénieurs français grâce auxquels elles ont connu des applications récentes. L'auteur fait le point sur ces tendances et les dernières réalisations auxquelles elles ont donné lieu.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Entwicklung im Betonbrückenbau war während der letzten 10 Jahren gekennzeichnet durch zwei neue Tendenzen, nämlich die leichtere Ausführung des Überbaus in Querrichtung und die Anwendung der äusseren Vorspannung auf den Beton. Diese haben dank französischen Ingenieuren neuere Anwendungen gefunden. Der Autor berichtet über diese Tendenzen und über entsprechende neuere Bauwerke.

SUMMARY

Progress made in the construction of prestressed concrete bridges over the past ten years has been marked by two recent trends, namely, employing lighter transverse structures for bridge decks and the use of external prestressing of the concrete. These techniques have found new applications thanks to French engineers. The author reports on these trends and on recent constructions applying these new methods.



Deux **tendances importantes** ont marqué dans les dernières années, plus particulièrement sous l'impulsion des ingénieurs français, la conception des tabliers de ponts en béton précontraint.

Il s'agit de :

- **l'allègement des structures transversales**, et de
- **l'utilisation d'une précontrainte longitudinale extérieure au béton.**

1 - ALLEGEMENT DES STRUCTURES TRANSVERSALES DES TABLIERS

Les seuls éléments de la structure transversale du tablier susceptibles d'amener un allègement sont les âmes et la membrure inférieure. (Fig. 1)

Depuis de nombreuses années les projeteurs ont cherché à réduire la section des **âmes**. Ces dernières, quand elles sont en béton, représentent en effet une part importante du poids propre du tablier (couramment entre 30 % et 40 %) et correspondent à une répartition inefficace de la matière diminuant le rendement géométrique de la section.

La limitation de l'importance des âmes dans la section transversale entraîne donc une double économie au niveau de la précontrainte longitudinale du tablier, par suite d'une part de la réduction du poids propre et d'autre part de l'amélioration du rendement géométrique de la section, économie à laquelle vient s'ajouter le gain sur les quantités de béton à mettre en oeuvre.

Cet objectif peut être atteint de différentes façons par l'**amincissement** proprement dit **des âmes** : (Fig. 2)

- en faisant **varier leur épaisseur** sur la hauteur du tablier de manière que cette épaisseur, à l'encastrement sur les membrures supérieure et inférieure, soit proportionnelle au moment statique S de la membrure adjacente,
- en ayant recours à la **précontrainte verticale des âmes**, associée généralement à une précontrainte longitudinale horizontale logée dans les membrures supérieure et inférieure,
- en plaçant la **précontrainte longitudinale du tablier à l'extérieur des âmes**, ce qui évite deux sujétions souvent prépondérantes pour leur dimensionnement, relatives l'une à leur bétonnage et l'autre à l'ancrage des câbles de précontrainte longitudinaux.

Cette disposition, appelée **précontrainte extérieure**, permet ainsi de profiter de l'épaisseur totale des âmes pour la résistance à l'effort tranchant - sans être obligé, comme dans certains pays tels la France, de déduire un demi-diamètre de gaine pour chaque câble de précontrainte intérieur au béton.

Un autre moyen d'obtenir l'allègement des âmes consiste à **réduire leur nombre**, en les écartant.

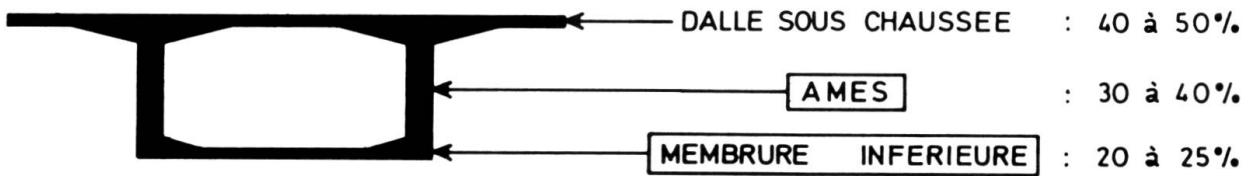


Fig. 1 - Poids relatif des éléments de la structure transversale

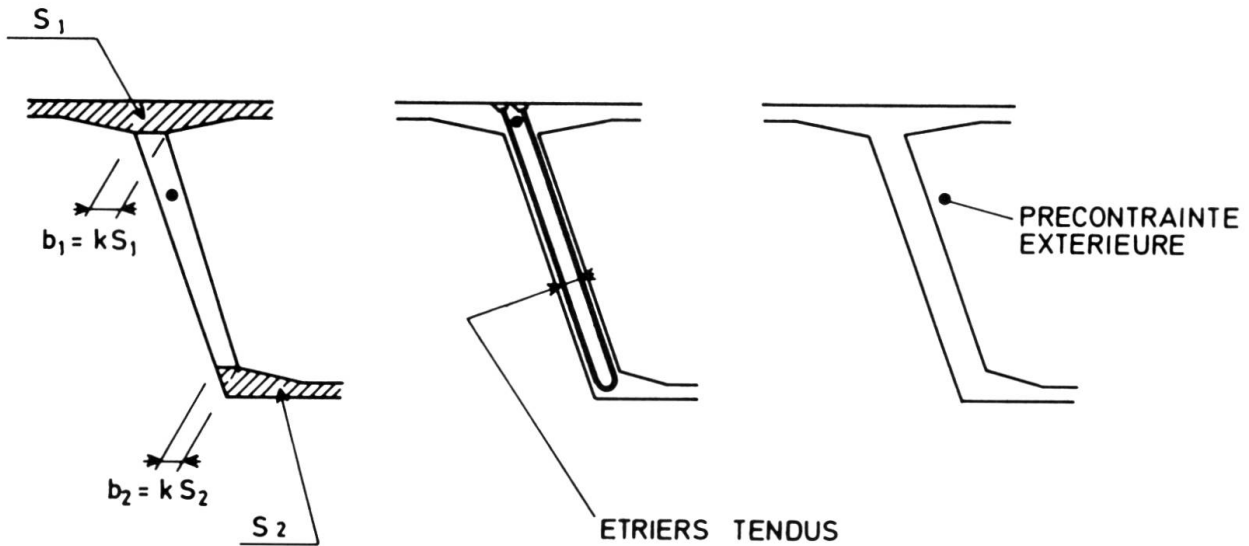


Fig. 2 - Amincissement des âmes

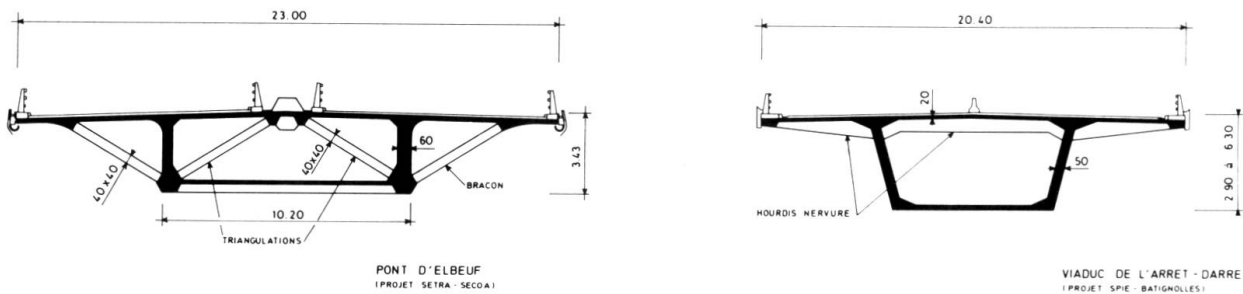


Fig. 3 - Coupes transversales de tabliers larges à deux âmes

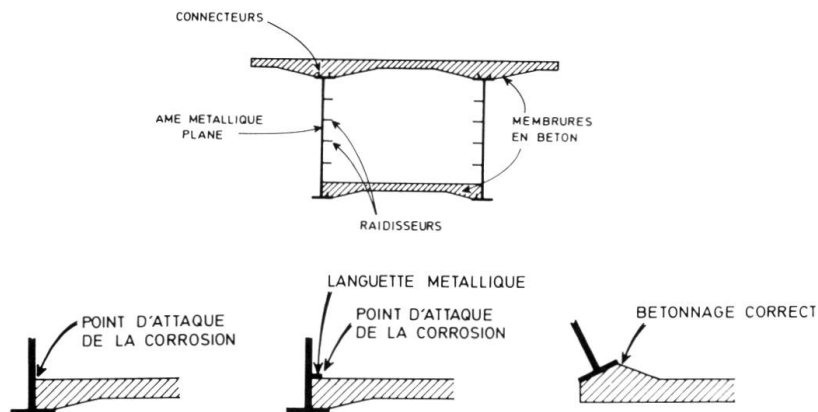


Fig. 4 - Ames métalliques planes raidies



Il est habituel aujourd'hui de réaliser des poutres tubulaires à deux âmes de plus de 20 m de largeur, en constituant la dalle sous chaussée soit d'un hourdis nervuré transversalement, soit d'un hourdis supporté par une triangulation, l'un et l'autre d'épaisseur sensiblement équivalente aux hourdis traditionnels de portées courantes. (Fig. 3).

Mais le moyen le plus efficace reste **la substitution de structures plus légères aux âmes traditionnelles en béton**. Ces structures peuvent être de différents types.

Une solution simple, car inspirée directement des ossatures mixtes acier-béton classiques, réside dans l'utilisation **d'âmes métalliques planes raidies** (Fig. 4). Elle pose toutefois deux problèmes spécifiques.

Le premier concerne la répartition des contraintes normales entre l'acier et le béton par suite du fluage qui, sous l'effet de la précontrainte longitudinale, transfère une part importante des efforts de compression des membrures en béton aux âmes métalliques. Ces compressions rendent nécessaire un coûteux raidissage des âmes, tant longitudinal que vertical.

Le second est relatif à la position de la membrure inférieure en béton par rapport aux semelles des âmes métalliques. Il est préférable du point de vue constructif de placer la membrure inférieure au-dessus des semelles, ce qui facilite le bétonnage et permet le lancement des âmes métalliques.

Mais il en résulte un point de contact triple : air, acier, béton, le long des âmes, constituant une zone d'attaque privilégiée de la corrosion. Cet inconvénient peut être évité en plaçant les semelles au-dessus de la membrure et en inclinant les âmes suffisamment de manière à rendre possible le bétonnage dans de bonnes conditions. On peut également déplacer le point d'attaque de la corrosion en l'écartant de l'âme par une languette métallique.

Un ouvrage expérimental, comportant une travée isostatique de 40 m de portée, a été réalisé sur l'Autoroute A 71, à Salbris, par l'Entreprise Fougerolle. (Fig. 5).

Une autre solution, imaginée par l'Entreprise Campenon Bernard, consiste à utiliser des **âmes métalliques en tôle plissée** que leur grande déformabilité longitudinale soustrait à l'effet des compressions induites par la précontrainte. (Fig. 6)

Un choix judicieux des dimensions des ondulations permet d'obtenir une rigidité de flexion transversale comparable à celle d'une âme traditionnelle en béton et d'assurer sa stabilité au voilement et sa résistance aux cisaillements. Les âmes plissées posent toutefois le même problème que les âmes planes raidies vis-à-vis de la corrosion à la jonction de la membrure inférieure. Cette solution a fait l'objet d'une première réalisation expérimentale à l'occasion de la construction du pont de Cognac par l'Entreprise Campenon Bernard. (Fig. 7 et 8).

Les âmes de la poutre peuvent être remplacées par un **treillis plan** ou par une **triangulation spatiale**, reliant les deux membrures et constitués d'éléments en béton ou en métal.

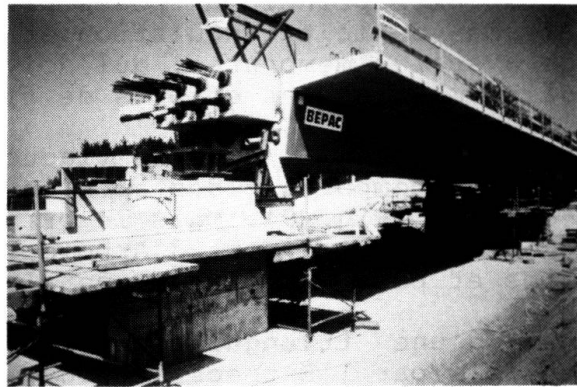
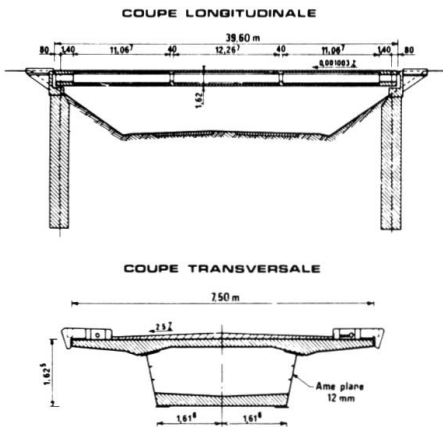


Fig. 5 - Pont de Salbris

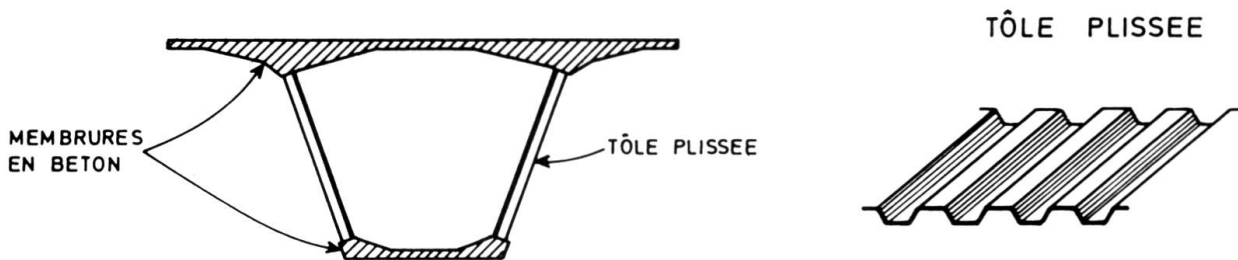


Fig. 6 - Ames métalliques en tôle plissée

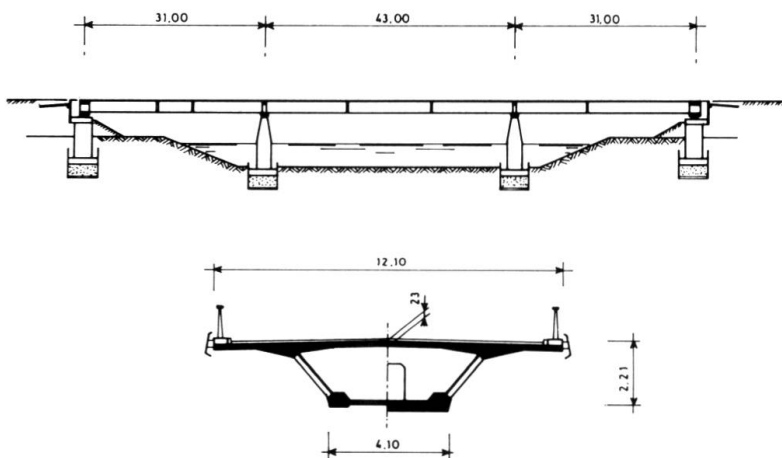


Fig. 7 - Pont de Cognac - Coupes longitudinale & transversale

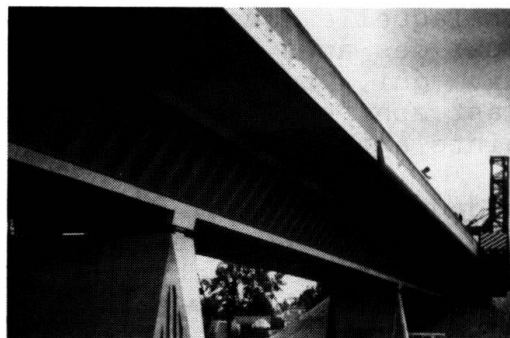


Fig. 8 - Pont de Cognac - Vue de l'Ouvrage



Les problèmes principaux posés par ce type de structure concernent la forme de la triangulation et la conception des noeuds d'assemblage avec les membrures, qui doivent pouvoir reprendre les efforts de glissement et les efforts de flexion locaux.

Nous avons établi, pour le Viaduc de Charolles, un projet de ce type, qui comportait des âmes en **treillis métallique** avec des profilés en H. (Fig. 9). Mais le premier ouvrage réalisé suivant ce principe est le pont d'Arbois, construit par Dragages et Travaux Publics et par la Société Générale d'Entreprises. (Fig. 10 et 11).

L'idée d'une **triangulation spatiale** a été développée pour la première fois par l'Entreprise Bouygues lors de la construction du Pont de Bubiyan au Koweït, au moyen de voussoirs préfabriqués à joints conjugués constitués par l'assemblage en cellule des membrures supérieure et inférieure avec des triangles préfabriqués en béton. (Fig. 12, 13 et 14). Un principe analogue a été repris par la même entreprise pour les Viaducs de Sylans et des Glacières avec une triangulation constituée d'**X** préfabriqués en béton disposés transversalement selon quatre plans formant un W. (Fig. 15 et 16).

Les solutions développées précédemment présentent cependant, comme nous l'avons vu, plusieurs inconvénients.

De plus, en ce qui concerne les **structures mixtes** acier - béton, leur intérêt économique n'a pas encore été prouvé, tout au moins dans les portées moyennes, la plupart des réalisations à ce jour étant des ouvrages expérimentaux confiés directement à des entreprises ou le résultat d'adjudications lancées dans un cadre étroit n'autorisant pas d'autres alternatives.

Dans le domaine des **structures en béton**, la triangulation spatiale est une solution économique au niveau de l'allègement du tablier et des quantités de matériaux à mettre en oeuvre. Mais le grand nombre d'assemblages, qui constituent toujours le talon d'Achille d'une construction, ainsi que la faible dimension des éléments de la triangulation, peuvent laisser subsister des doutes sur la durabilité de ce type de construction.

Enfin, toutes les solutions précédentes s'accompagnent généralement d'une précontrainte longitudinale partiellement extérieure au béton dont le tracé nécessite la mise en oeuvre de bossages, diaphragmes ou entretoises, assurant la déviation ou l'ancrage des armatures. Ces éléments en saillie par rapport à la section transversale courante alourdissent le tablier et leur exécution, souvent difficile, en renchérit le prix.

C'est la raison pour laquelle nous avons imaginé de remplacer les âmes traditionnelles par des **âmes évidées en béton** constituées de **montants trapézoïdaux**, qui, tout en diminuant le poids propre du tablier et en améliorant son rendement géométrique, facilitent le tracé de la précontrainte extérieure longitudinale. (Fig. 17)

Les montants trapézoïdaux sont disposés "pointe en bas", la grande base des montants réalisant ainsi un encastrement continu de la dalle sous-chaussée sous l'effet des charges d'exploitation, tandis que la pointe inférieure assure la déviation des câbles de précontrainte extérieure filants, sans bossages ni entretoises supplémentaires.

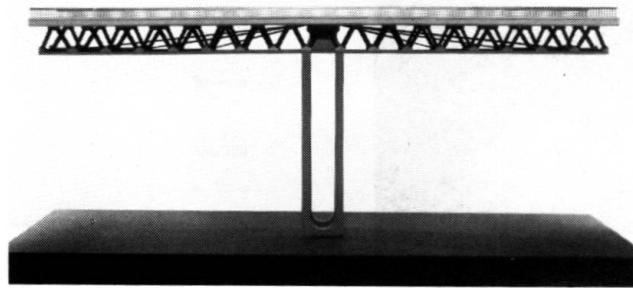


Fig. 9 - Maquette du Viaduc de Charolles - Projet SECOA

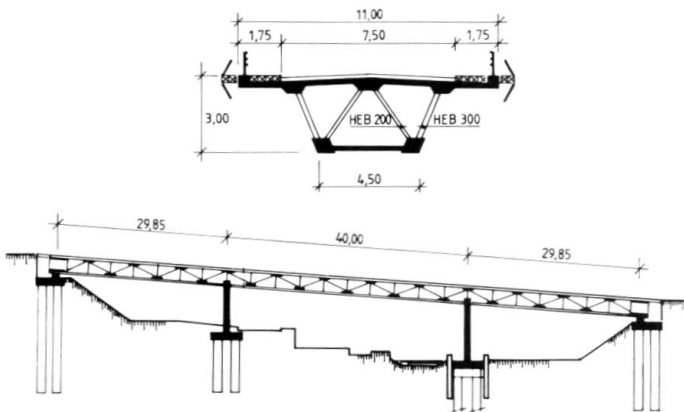


Fig. 10 - Pont d'Arbois - Coupes longitudinale & transversale



Fig. 11 - Pont d'Arbois - Vue de l'ouvrage

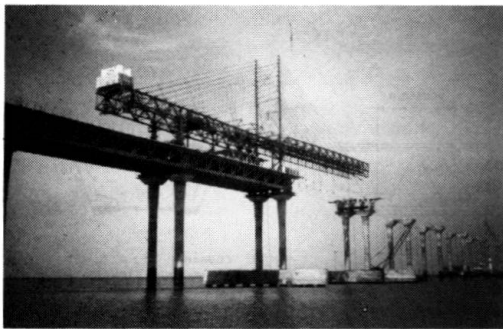


Fig. 12 - Vue du Pont de Bubiyan en construction

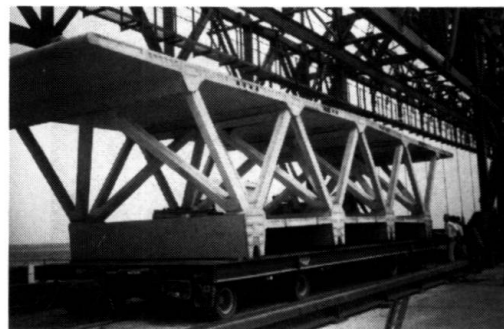


Fig. 13 - Voussoir du Pont de Bubiyan

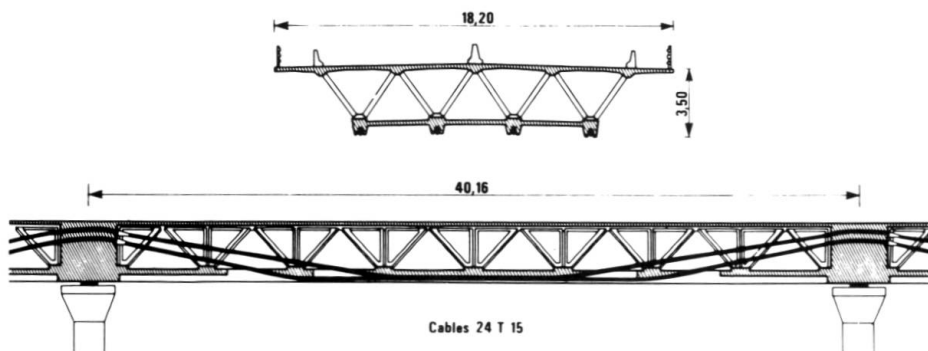


Fig. 14 - Schéma de câblage et coupe transversale du Pont de Bubiyan

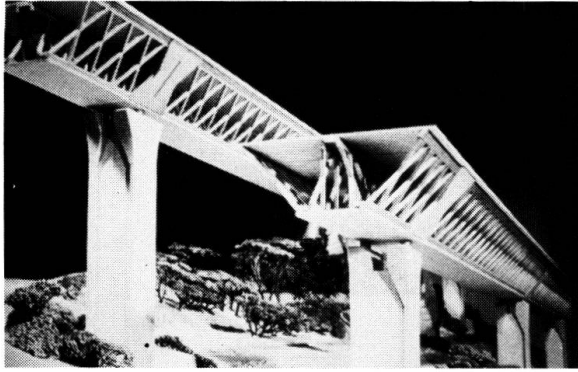


Fig. 15 - Maquette du Viaduc de Sylans

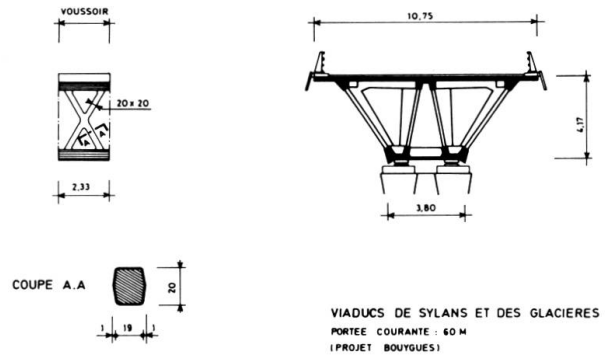
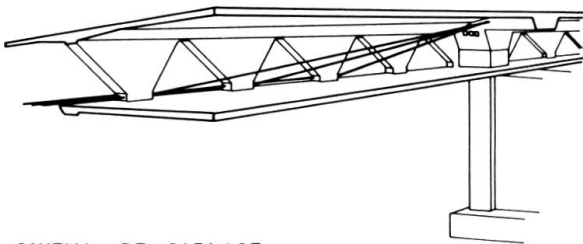


Fig. 16 - Triangulation spatiale en béton



SCHEMA DE CABLAGE

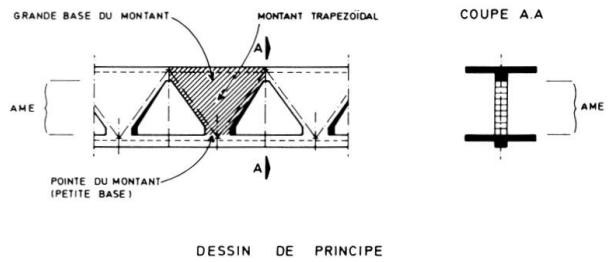


Fig. 17 - Ames évidées à montants trapézoïdaux

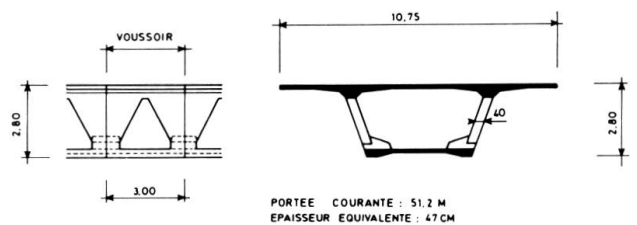
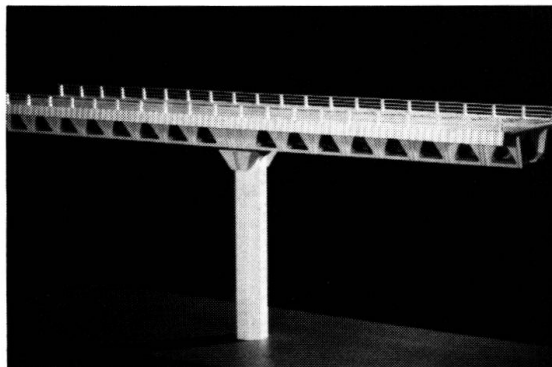


Fig. 18 - Viaduc de Sylans et des Glacières (projet SECOA) Maquette et voussoir type

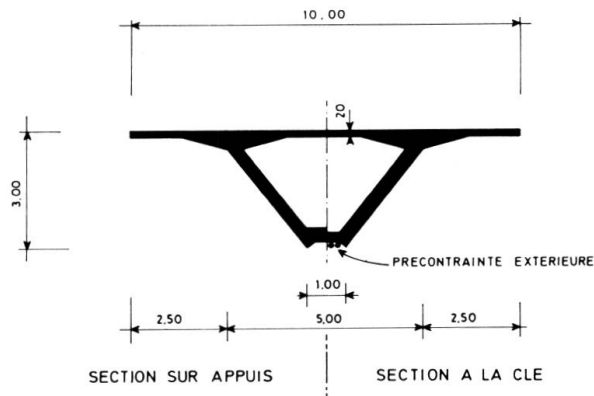


Fig. 19 - Utilisation de béton à hautes performances

Cette disposition permet d'autre part le bétonnage aisé des montants et l'ancrage sur leur tranche de câbles de précontrainte dont la mise en tension peut ainsi s'effectuer à n'importe quel moment et servir en particulier au montage du tablier.

Du point de vue des quantités de béton à mettre en oeuvre, les âmes évidées à montants trapézoïdaux se situent entre les âmes pleines et les âmes à triangulation plane. Elles représentent un gain d'environ 50 % sur le volume de béton d'âmes pleines de même épaisseur.

Elles offrent plusieurs autres avantages :

- utilisation d'éléments plans (plaques) plus robustes et moins exposés à la corrosion des armatures que les éléments linéaires d'une triangulation (barres), qui ont une plus grande surface de contact avec l'atmosphère extérieure.
- suppression par rapport aux structures triangulées des nombreux noeuds de jonction entre éléments, de conception et d'exécution difficile.

Nous avons étudié, pour les entreprises Quillery, un projet de ce type, à l'occasion de l'appel d'offre des Viaducs de Sylans et des Glacières. (Fig. 18). Cet appel d'offre comportait deux niveaux :

- un premier niveau, dit de préconsultation technique, destiné à sélectionner, en dehors de toute considération de prix, les variantes proposées par les entreprises. A ce stade de la consultation notre projet a été une des deux solutions retenues.
- un second niveau, de consultation proprement dite, dans lequel les entreprises devaient soumissionner à la fois le projet de base élaboré par le maître d'oeuvre Scetauroute et leur projet variante qui avait été accepté, en y incluant les modifications techniques demandées.

A l'issue de cette consultation et, bien que le projet des entreprises Quillery se soit révélé le plus économique, la Société des Autoroutes Paris-Rhin-Rhône a finalement choisi le projet de l'entreprise Bouygues, en raison de son caractère plus innovant.

L'allègement du tablier peut aussi s'obtenir en utilisant un **béton à hautes performances**, de résistance caractéristique comprise par exemple entre 50 et 60 MPa, et en adoptant une section transversale de forme triangulaire permettant de réduire l'épaisseur de la membrure inférieure dans la zone médiane des travées où elle est généralement surabondante. (Fig. 19)

Une idée proche consiste à réaliser la membrure inférieure au moyen d'un tube métallique rempli de béton, comme au Viaduc de Maupré, construit par l'entreprise Campenon-Bernard, avec des âmes métalliques en tôle plissée. (Fig. 20). L'esthétique des piles de cet ouvrage est particulièrement réussie. (Fig. 21)

Le recours au béton à hautes performances conduit également à un allègement notable de la section transversale du tablier des ponts à haubans où des ponts en arcs, qui sont soumis à des efforts de compression longitudinaux importants.

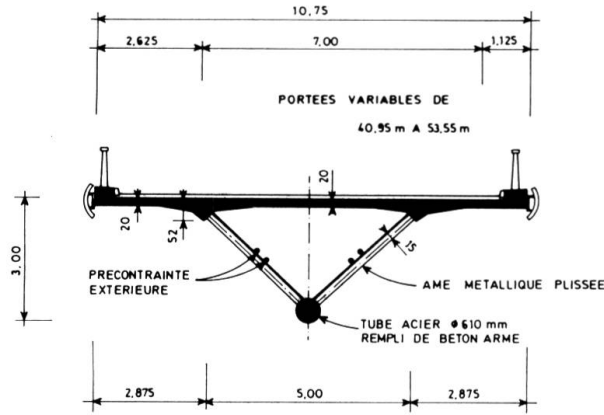


Fig. 20 - Utilisation d'un tube métallique rempli de béton Viaduc de Maupré

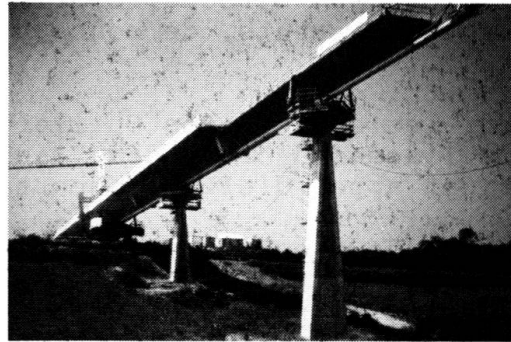


Fig. 21 - Viaduc de Maupré

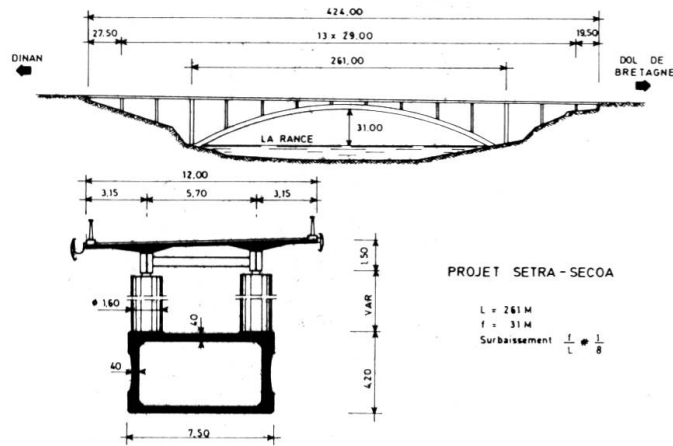


Fig. 22 - Pont en arc de la Rance

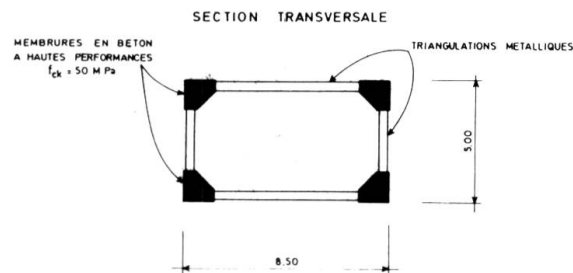


Fig. 23 - Arc triangulé en béton à hautes performances

Le projet du pont en arc de la Rance, (Fig. 22) actuellement en cours d'adjudication, aurait pu ainsi être conçu économiquement en béton à hautes performances, si les entreprises françaises avaient eu une expérience suffisante de ce matériau. Un béton de 50 MPa aurait ainsi permis de réduire la section de l'arc d'environ 20 %.

Si l'arc risque de subir des flexions importantes en cours de montage (efforts de haubanage dans le plan vertical, efforts du vent dans le plan horizontal), l'inertie de sa section peut être facilement augmentée en constituant cette dernière de quatre membrures en béton à hautes performances, suffisamment écartées et réunies entre elles par des triangulations métalliques constituant un arc à treillis. (Fig. 23)

2 - UTILISATION D'UNE PRECONTRAINTÉ LONGITUDINALE EXTERIEURE AU BETON

Une autre tendance marquante dans la conception des ponts est le recours à des câbles de précontrainte extérieurs au béton.

Depuis quelques années, sous l'impulsion du SETRA, en la personne de Michel Virlogeux, et de plusieurs entreprises, la **précontrainte extérieure** a connu en France un développement important.

Cette technique présente de nombreux avantages liés à la facilité d'exécution et à la qualité de la structure finie, sans toutefois qu'il en résulte généralement une économie significative dans les constructions courantes de portées moyennes. (Fig. 24)

Mais son principal intérêt réside dans la possibilité de remplacement des armatures corrodées ou rompues, moyennant une conception appropriée du câblage. Aussi nous semble-t-il souhaitable de prévoir systématiquement une précontrainte extérieure démontable, qui constitue une garantie supplémentaire pour la durabilité des ouvrages.

Les ouvrages à précontrainte totalement extérieure et intégralement **remplaçable** sont d'autre part particulièrement bien adaptés à l'utilisation d'une **précontrainte partielle**, la fissuration du béton tendu n'ayant aucune conséquence sur la conservation des aciers de précontrainte.

Les premières applications de la précontrainte extérieure ont eu lieu aux Etats-Unis avec les projets de "Figg and Muller", comme "Long Key Bridge". Il s'agit d'ouvrages de portées moyennes, réalisés par **travées entières** entre appuis et constitués de voussoirs préfabriqués assemblés sur cintres. (Fig. 25). La précontrainte, totalement extérieure et filante sur chaque travée, est ancrée dans les entretoises sur pile. Les câbles sont déviés au droit de petits bossages en béton armé, situés à la jonction des âmes avec la membrure inférieure. (Fig. 26). Cette solution est simple car ces déviateurs, même s'ils sont en saillie par rapport à la section courante, sont de faible poids et d'exécution facile.

Comme nous l'avons dit précédemment l'utilisation d'**âmes évidées à montants trapézoïdaux** apporte dans ce cas une autre solution élégante et économique à la déviation des câbles de précontrainte extérieure.



Fig. 24 - Viaduc de Poncin - Précontrainte extérieure

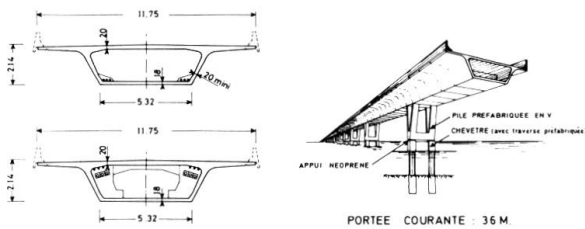


Fig. 25 - Long Key Bridge
Coupes longitudinale et transversale

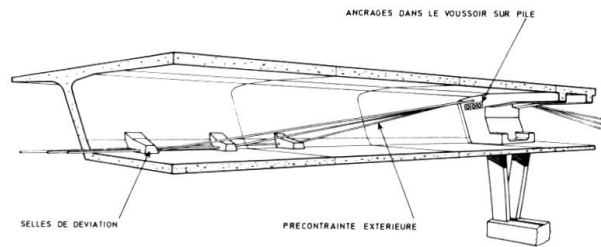
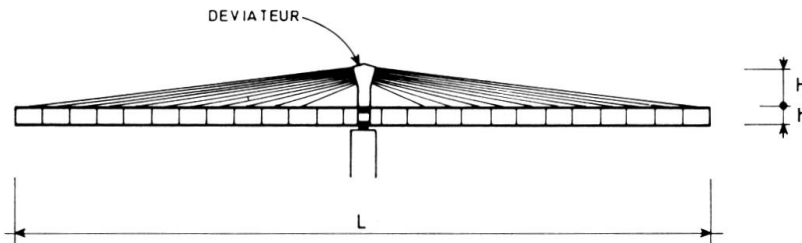


Fig. 26 - Long Key Bridge
Schéma de câblage



$$\frac{H}{L} \# \frac{1}{15}$$

$$\frac{h}{L} \# \frac{1}{30} \text{ à } \frac{1}{35}$$

Fig. 27 - Précontrainte extradossée

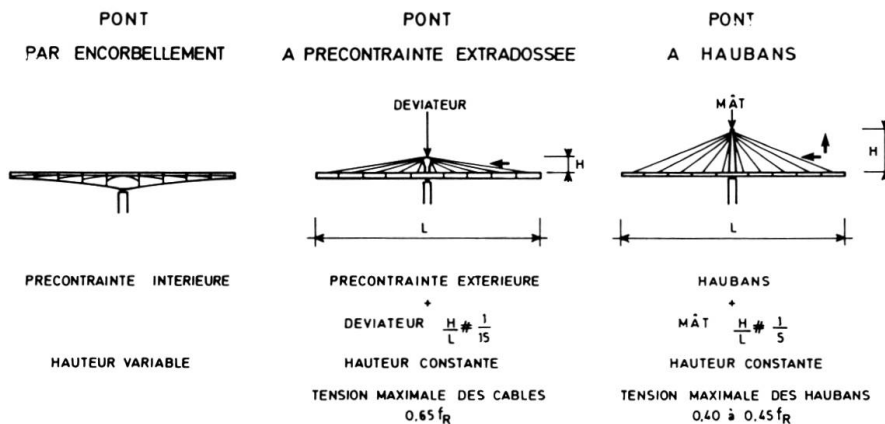


Fig. 28 - Comparasion entre les ponts par encorbellements traditionnels, les ponts haubanés et les ponts à précontrainte extradossée

La précontrainte extérieure a également conduit à un allègement des structures dans le domaine des **ponts poussés** où les âmes des sections tubulaires ont été réduites de façon sensible.

Les ponts construits par **encorbellements successifs** ont enfin fourni un nouveau champ d'application à la précontrainte extérieure mais n'ont pas permis, jusqu'à ce jour, la réalisation d'ouvrages à précontrainte totalement remplaçable.

Les projets les plus satisfaisants construits en France comportent généralement deux familles principales de câbles :

- des câbles de fléaux, semi-horizontaux, et intérieurs au béton, disposés au voisinage de la membrure supérieure du tablier et reprenant son poids propre en console.
- des câbles extérieurs au béton, mis en place après clavage des fléaux, filants d'une entretoise sur pile à l'autre et déviés à l'aide de dispositifs spéciaux.

Ce type de câblage, appelé **câblage mixte**, présente l'inconvénient de comporter un certain nombre de câbles intérieurs au béton, dont le remplacement est impossible.

Il nous semble donc préférable de substituer aux câbles de fléaux précédents des câbles extérieurs au béton disposés au-dessus de la dalle sous-chaussée et déviés à l'aplomb des piles par des voiles verticaux de faible hauteur. Nous avons donné à cette famille de câbles le nom de **précontrainte extradossée**. (Fig. 27).

Les ouvrages à précontrainte extradossée constituent ainsi une transition économique entre les ponts par encorbellement traditionnels et les ponts haubanés. (Fig. 28 et 29).

Les câbles extradossés sont en effet différents de haubans car leur rôle essentiel est d'assurer une précontrainte horizontale du tablier et non de développer des réactions élastiques verticales. D'autre part, contrairement aux haubans, ils sont peu sollicités à la fatigue (leur variation de tension sous charges variables demeurant faible) ce qui permet de les tendre à des valeurs proches de celles des armatures de précontrainte traditionnelles. Enfin, leur faible excentricité au droit des piles (de l'ordre du 1/15 de la portée) nécessite des déviateurs moins sollicités et de construction beaucoup plus facile que les mâts des ponts haubanés.

L'efficacité de ces câbles, qui équilibrent une fraction importante du poids propre, permet enfin de donner au tablier une **section constante**, qui facilite grandement son exécution.

La précontrainte extradossée est complétée par des câbles filants, mis en place après clavage des fléaux, déviés en travée et ancrés dans les entretoises sur piles. Tous les câbles constituant la précontrainte longitudinale de ce type d'ouvrage sont alors extérieurs au béton et remplaçables.

Nous avons développé cette idée pour la première fois à l'occasion du projet du pont de l'Arrêt Darré pour les entreprises Quillery en disposant les câbles **dans l'axe de l'ouvrage**, au droit du terre-plein central séparant les deux voies de circulation. (Fig. 30 et 31).



STRUCTURES TRANSVERSALES

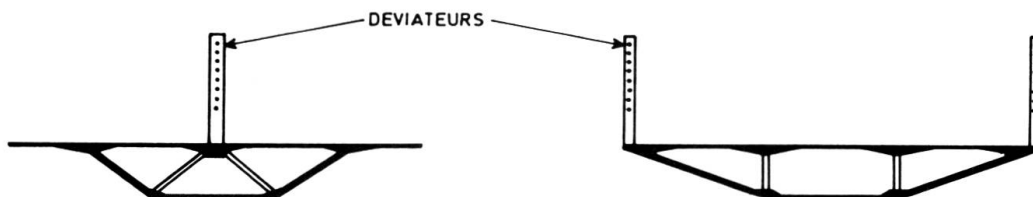


Fig. 29 - Précontrainte extradossée - Structures transversales

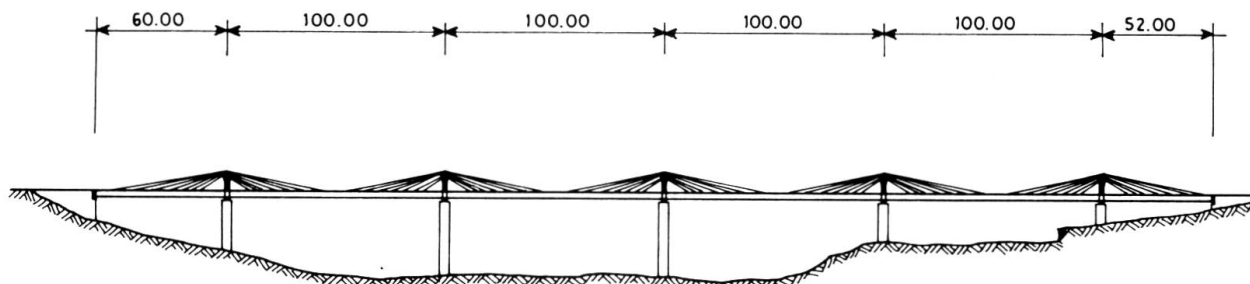


Fig. 30 - Viaduc de l'Arrêt Darré - Coupe longitudinale
Projet SECOA

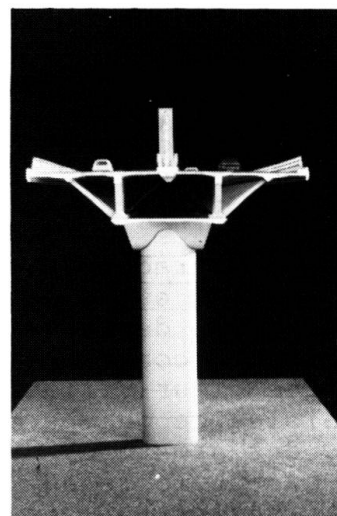
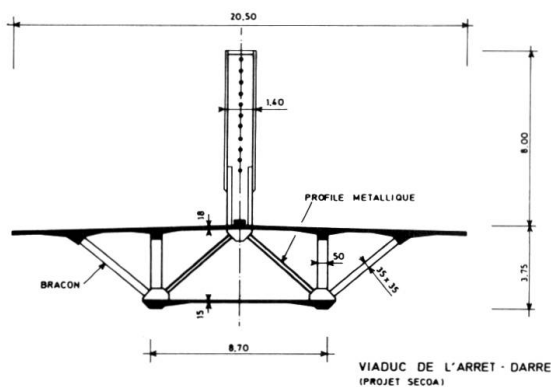


Fig. 31 - Viaduc de l'Arrêt Darré
Coupe transversale - Projet SECOA

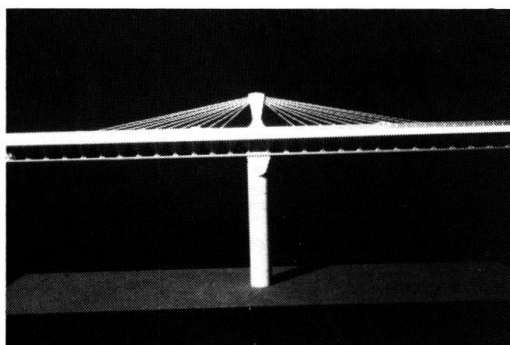


Fig. 32 - Maquette du Viaduc de l'Arrêt Darré - Projet SECOA

Les deux idées exposées précédemment : les âmes évidées à montants trapézoïdaux et la précontrainte extérieure extradossée, sont associées dans ce projet et ont conduit à une économie de matériaux de l'ordre de 30 % par rapport à la solution à deux caissons parallèles à deux âmes. (Fig. 32).

Deux autres ouvrages à **précontrainte extradossée**, dans lesquels les câbles sont disposés **latéralement**, sont actuellement à l'étude pour l'Administration, au stade de l'avant-projet.

Le premier, de faible largeur, le pont de Mirabeau sur la Durance, est destiné à remplacer un pont suspendu, parfaitement bien adapté au site, dont il devrait rappeler en plus moderne la silhouette. (Fig. 33 et 34)

Le second, le pont de Joinville, qui assurera le franchissement de la Marne par l'Autoroute A 86, est beaucoup plus large et doit comporter des écrans acoustiques latéraux de grande hauteur, dans l'emprise desquels peut être disposée la précontrainte extradossée, permettant ainsi de réaliser un ouvrage de hauteur constante sur toute sa longueur malgré la différence de portées des travées. (Fig. 35). La précontrainte extradossée apporte dans ce cas une économie importante par rapport à un ouvrage traditionnel de hauteur variable.

D'autres projets, bien que semblant s'inspirer d'une idée analogue, conduisent en fait à des structures différentes.

Il s'agit d'ouvrages dans lesquels la nappe de câbles constituant la précontrainte est **enrobée dans un voile en béton**. Si le voile est exécuté après mise en tension des câbles, comme au pont du Ganter, en Suisse, son béton est tendu sous l'effet des charges d'exploitation et devient un élément passif qui alourdit la structure. (Fig. 36)

Si le voile est bétonné au fur et à mesure de la mise en oeuvre des câbles et forme ainsi une épine dorsale participant à la section résistante du tablier, on obtient un autre type de structure, appelé **"Fin-back bridge"**, dont une première réalisation est le pont de Barton Creek, aux Etats Unis. (Fig. 37). Ces deux solutions s'écartent de la précontrainte extradossée à la fois par leur aspect architectural et leur schéma statique, ainsi que par l'impossibilité de remplacer les câbles.

3 - CONCLUSION

L'allègement des structures transversales et la précontrainte extérieure constituent deux idées complémentaires, dont l'intérêt est évident dans le domaine des grandes portées où le poids propre joue un rôle prépondérant.

Dans le domaine des portées moyennes, ces techniques sont également riches de promesses pour l'avenir, à condition d'imaginer des formes nouvelles et de faire évoluer les habitudes acquises dans la conception des ouvrages traditionnels.

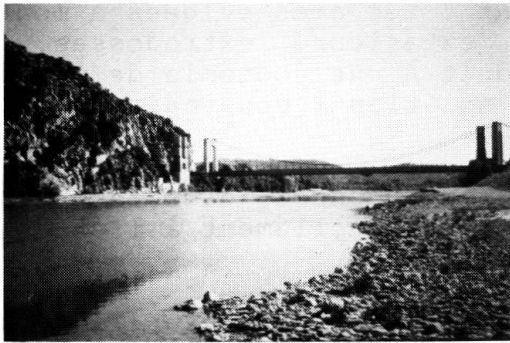


Fig. 33 - Pont de Mirabeau actuel

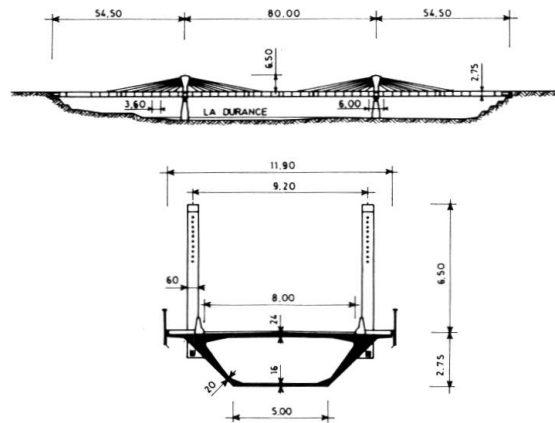


Fig. 34 - Pont de Mirabeau - Projet SECOA pour la D.D.E. des Bouches du Rhône

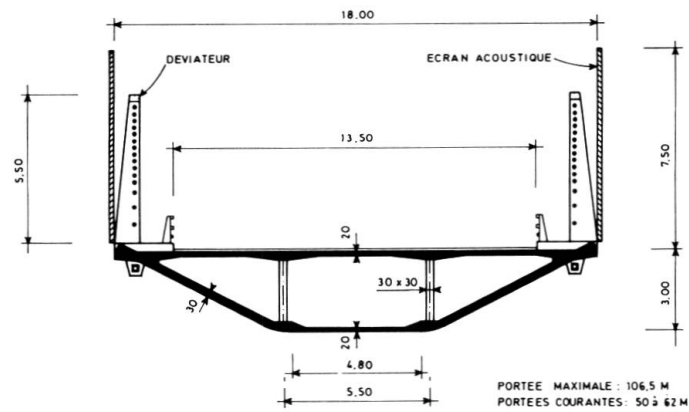


Fig. 35 - Pont de Joinville - Projet pour la D.D.E. du Val de Marne



Fig. 36 - Pont du Ganter

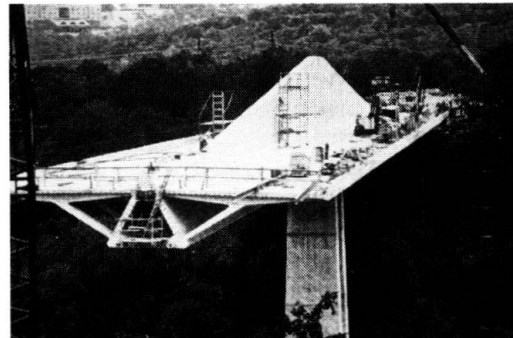


Fig. 37 - Pont de Barton Creek