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

Band: 11 (1980)

Artikel: Evolution dans la construction de grands ponts (3e partie: montage et entretien)

Autor: Muller, Jean

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-11210

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: 12.12.2025

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

VIIIc

Evolution dans la construction de grands ponts (3e partie: montage et entretien)

Tendenzen im Grossbrückenbau (3. Teil: Errichtung und Unterhalt)

Trends in Big Bridge Engineering (Part 3: Erection and Maintenance)

JEAN MULLER
Directeur
Campenon Bernard Cetra
Paris, France

RESUME
Cette communication rappelle les progrès accomplis dans les procédés de construction de grands ouvrages en béton précontraint et décrit les solutions qui se révèlent être les plus économiques actuellement. Il est fait mention de méthodes telles que la préfabrication de travées entières, la construction par avancement ou par encorbellement au moyen de voussoirs préfabriqués ou coulés sur place, et les ponts haubannés pour les portées de 250 à 450 m.

ZUSAMMENFASSUNG
Dieser Bericht handelt vom erreichten Entwicklungsstand in der Bauausführung von Grossbrücken in Spannbeton. Er beschreibt die Bauverfahren, die sich zur Zeit als die wirtschaftlichsten erweisen. Im weiteren werden die folgenden Baumöglichkeiten aufgezählt und umschrieben. Vorfabrikation der ganzen Brückenfelder, Freivorbau mittels vorfabrizierter Elemente oder in am Ort betonierten Etappen, seilverspannte Tragwerke für Spannweiten zwischen 250 m und 450 m.

SUMMARY
This paper recalls the progress accomplished in the construction procedures of big bridges and describes the solutions that are the most economic at present. Various methods are discussed, such as: prefabrication of whole spans, incremental and cantilever construction using prefabricated or cast-in-place segments, and cable-stayed bridges for spans of 250 to 450 m.

1 - APPUIS ET FONDATIONS

On note l'utilisation très fréquente de pieux préfabriqués en acier ou en béton de grande capacité (300 à 400 t) ainsi que de pieux moulés de gros diamètre (1.50 à 2.00 m) ou de parois moulées porteuses coulées sous bentonite.

L'étude attentive de l'implantation des pieux permet des économies intéressantes. C'est ainsi qu'au Pont de Sallingsund, au Danemark, le nombre des pieux par appui a pu être ramené de 56 à 24 sans augmentation de la force portante en remplaçant la semelle rectangulaire traditionnelle avec pieux verticaux et pieux inclinés dans les deux directions longitudinale et transversale par une semelle annulaire portée par deux séries de pieux convergents implantés sur deux cones concentriques (fig. 1).

En fondations massives, les caissons à l'air comprimé disparaissent à cause des législations sociales draconniennes, au profit des caissons havés à l'air libre ou des fondations réalisées à l'abri de parois moulées constituant batardeau (fondations principales du Pont de Brotonne, fig. 2).

Les piles ont généralement des sections soit en H soit en caisson et sont coulées économiquement en coffrage glissant dès que la hauteur dépasse 20 m. Pour les grandes portées construites par encorbellements symétriques, des piles dédoublées (Viaduc de Magnan à Nice) permettent une stabilité provisoire très satisfaisante, tout en maintenant la souplesse vis-à-vis des déformations linéaires du tablier.

2 - PONTS A VOUSSOIRS PREFABRIQUES. CARACTERISTIQUES ET METHODES DE FABRICATION

L'évolution constante vers des voussoirs de dimensions et de poids unitaires croissants depuis le Pont de Choisy-le-Roi (25 t) jusqu'au Pont de Saint-Cloud (130 t) semble ralentie en Europe Occidentale, mais se poursuit maintenant à un rythme accéléré aux USA ; ce qui correspond bien à la mentalité d'un pays très industrialisé disposant de moyens de levage puissants. Au Pont de Zilwaukee (tablier de 108.000 m2 de superficie avec des portées maximales de 120 m) sont prévus des voussoirs de 22 m de largeur pesant au maximum 160 t (fig. 3). Le Pont sur la rivière Columbia fait appel de même à des voussoirs de 200 t pour une portée maximale de 180 m (fig. 4).

La coordination s'est progressivement réalisée entre la conception des projets, les détails technologiques et les conditions de réalisation pour améliorer la qualité globale des ouvrages. On note dans ce domaine les points suivants :

a - les clés multiples permettent la meilleure transmission des efforts de cisaillement dans les âmes quelle que soit la qualité réelle de l'époxy mise en oeuvre;

b - des dispositions sont prises pour assurer en toute sécurité les transferts des efforts tangents dans les membrures, particulièrement pour les tabliers de hauteur variable ;

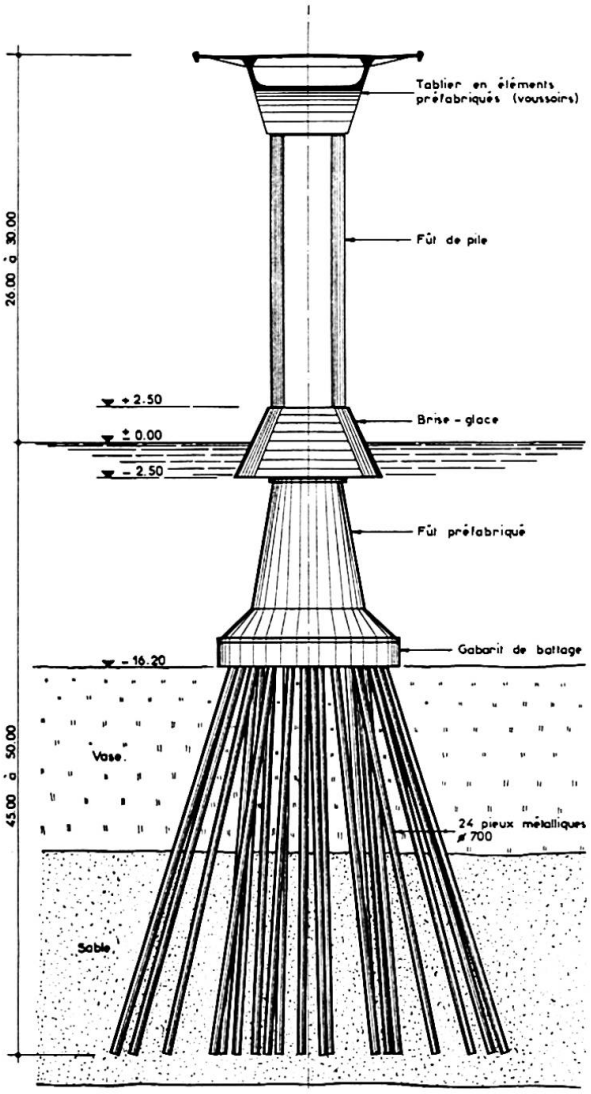
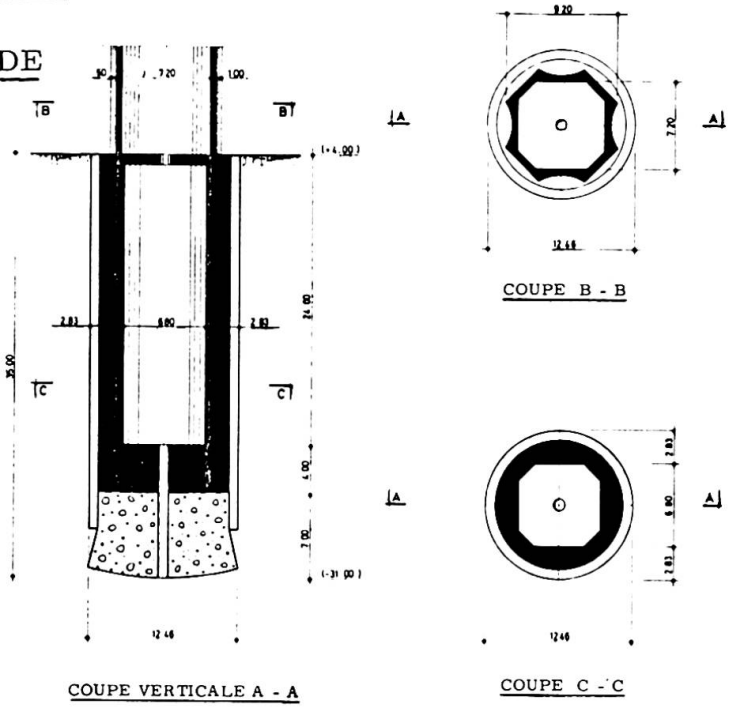


fig. 1 - FONDATIONS DU PONT DE SALLINGSUND

fig. 2 - FONDATIONS PRINCIPALES DU PONT DE BROTONNE



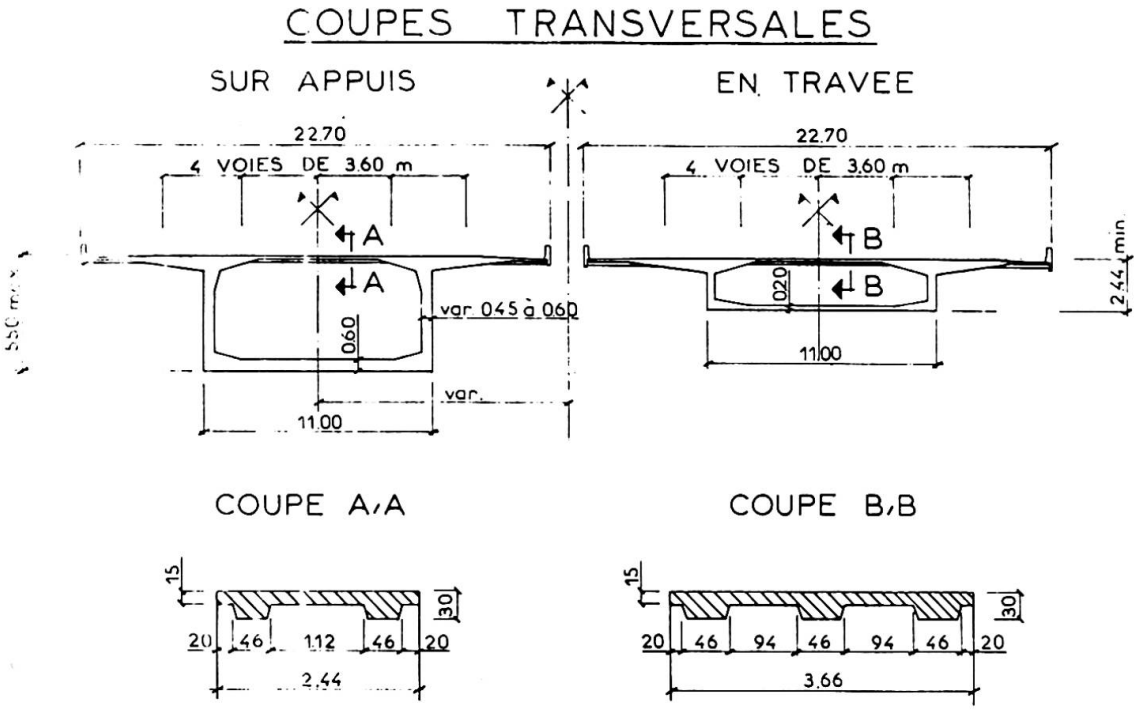


fig. 3 - PONT DE ZILWAUKEE

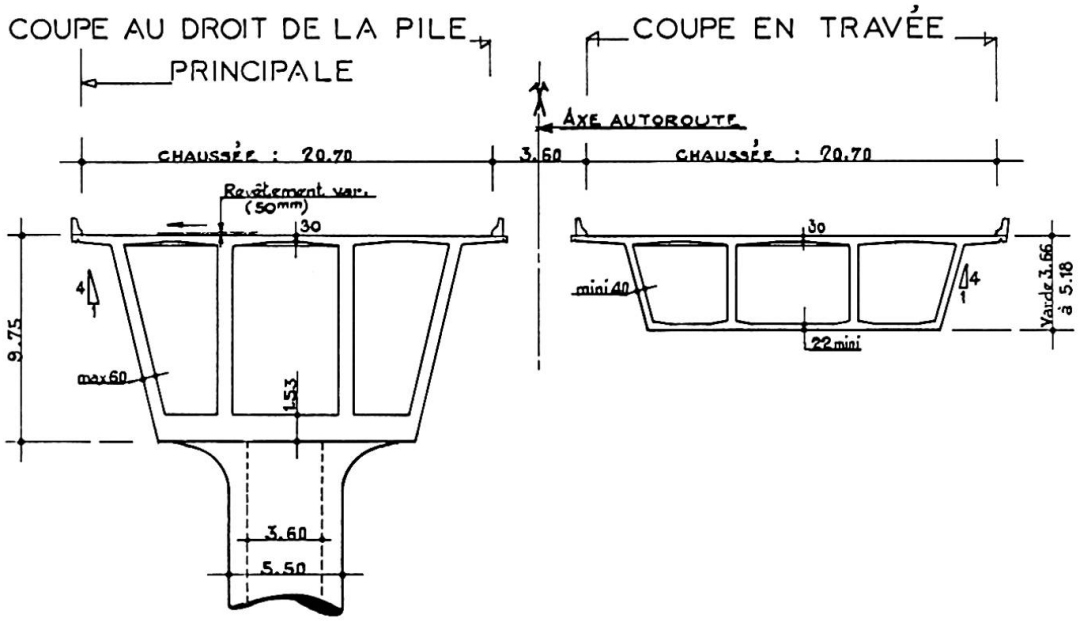


fig. 4 - PONT SUR LA RIVIERE COLUMBIA

c - une attention particulière doit être portée au risque de poussée au vide et de défaut d'alignement des gaînes pour les armatures de précontrainte longitudinale;

d - les injections de ces armatures sont maintenues effectuées avec des coulis de ciment retardés et par familles entières ;

e - l'étude de la redistribution des efforts due aux déformations différées ainsi que la prévision précise des déformations en cours de construction sont rendues possibles grâce à des programmes électroniques perfectionnés prenant en compte tous les phénomènes connus;

f - les gradients thermiques dans les tabliers en caissons constituent une forme de sollicitation importante trop souvent négligée et devant être prise en compte dans l'élaboration des projets.

Sur le plan de la fabrication des voussoirs, les deux méthodes du long banc et de la cellule poursuivent leur évolution. Cette dernière solution a connu un essor plus rapide que la première et s'adapte particulièrement à la réalisation d'ouvrages à géométrie tourmentée (ponts courbes à devers variable)à condition de surveiller très attentivement le réglage des cellules.

L'influence des gradients thermiques au cours de l'étuvage d'un voussoir et de son contre-moule (fig. 5) a été mise en évidence expérimentalement et conduit à préconiser maintenant l'étuvage simultané des deux voussoirs dans chaque cellule.

3 - CONSTRUCTION A L'AVANCEMENT

Selon cette méthode, le tablier est construit par étapes dans une même direction et par encorbellements successifs toujours du même côté des appuis. Utilisée initialement en Allemagne, conjointement avec le coulage en place sur un équipage mobile la méthode a été étendue en France à la pose d'éléments préfabriqués (Ponts de Rombas, de Woippy, de Pierre la Trèche et de Fontenoy). Les voussoirs sont acheminés sur la partie déjà construite du tablier et mis en place à l'extrémité de celui-ci à l'aide d'un engin de pose simple (fig. 6). La stabilité provisoire d'une travée est assurée par des haubans mis en place à chaque étape s'infléchissant sur un mât disposé au droit de l'appui précédent et ancrés dans la dernière travée construite. Lorsque la pile suivante est atteinte on s'appuie sur elle par les appareils d'appui définitifs et on continue la pose des voussoirs d'une nouvelle travée.

La méthode présente des caractéristiques analogues à celles du poussage des tabliers et s'applique dans les mêmes domaines. Elle offre sur cette dernière la supériorité de pouvoir s'adapter à des ouvrages de trajection évolutive quelconque.
Une application digne d'intérêt concerne le Viaduc de Linn Cové, USA (fig. 7). Situé dans un parc national soumis à des contraintes de protection de l'environnement draconniennes, l'ouvrage sera constitué de voussoirs préfabriqués à joints conjugués mis en place à l'avancement à la fois pour la réalisation des appuis et du tablier ; les seules parties d'ouvrages construites sur place étant

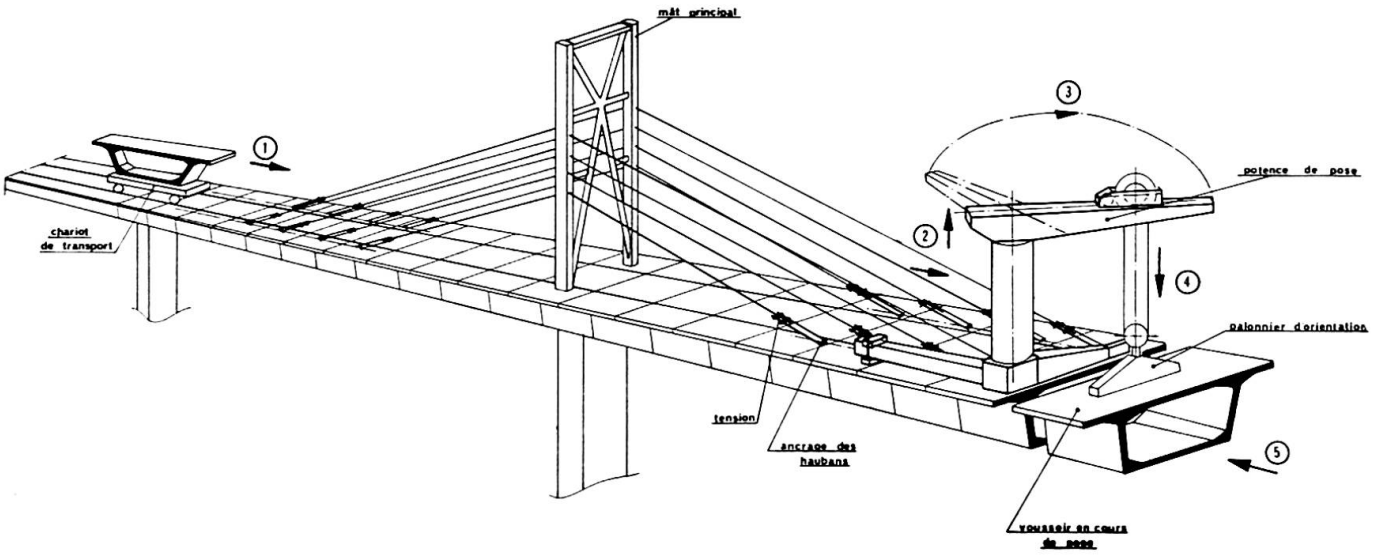


fig. 6 - CONSTRUCTION A L'AVANCEMENT

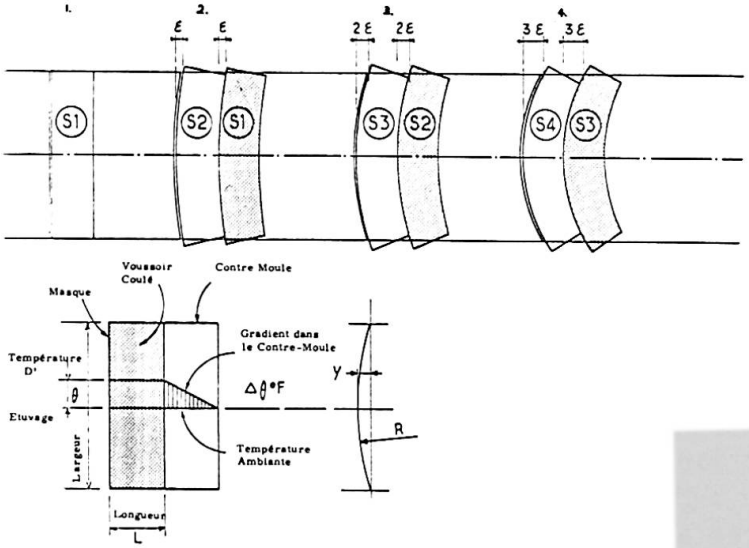


fig. 5 - EFFET DES GRADIENTS THERMIQUES DANS UNE CELLULE DE PREFABRICATION

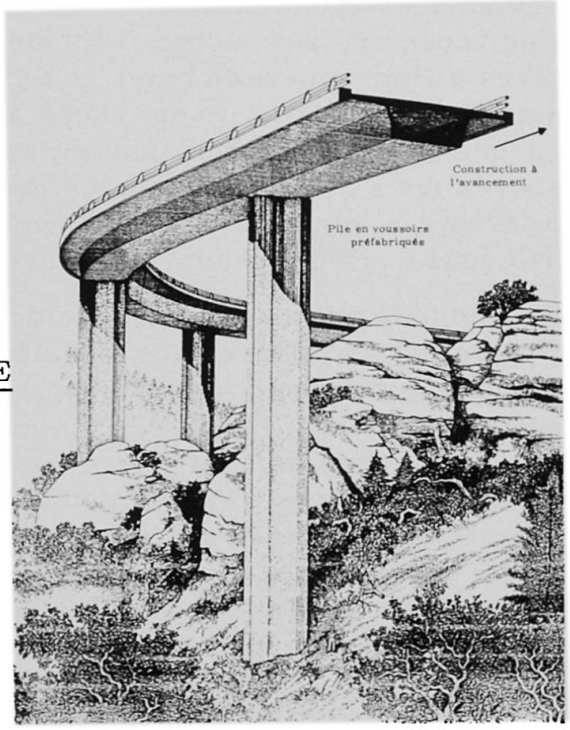


fig. 7 - VIADUC DE LINN COVE USA.

les micro pieux et les semelles de fondation.

Le même principe de construction selon lequel les appuis de l'ouvrage sont réalisés à partir du tablier permet de résoudre élégamment et économiquement le problème de la construction de ponts de faible portée dans des zones autrement inaccessibles. Aux USA, de très nombreux ouvrages sont à réaliser au-dessus de marais ou de larges étendues d'eau pour lesquels la construction d'une digue ou la réalisation de dragages importants, amènent une perturbation inacceptable à la faune et à la flore locales. La construction à l'avancement de tabliers en béton précontraint de faible portée (10 à 20 m par exemple) s'adapte parfaitement à tels sites.

4 - PREFABRICATION D'OUVRAGES PAR TRAVEES ENTIERES

L'exemple le plus remarquable a été la construction des ponts sur le Lac de Pontchartrain, en Louisiane où 2240 dalles de 200 t et de 17 m de portée ont été placées bout à bout sur des pieux circulaires précontraints battus pour constituer un tablier de 38 km de longueur.

L'investissement considérable pour la préfabrication, le transport et la pose d'éléments très lourds ne se justifie évidemment que pour de très grands ouvrages disposant de moyens d'accès faciles. L'ouvrage définitif (tablier et fondations) ne pouvant pas en général supporter le passage de charges aussi lourdes que le poids d'une travée entière, la solution n'est possible que pour les ouvrages sur l'eau ou lorsque le dragage d'un chenal d'accès pour le matériel flottant est possible.

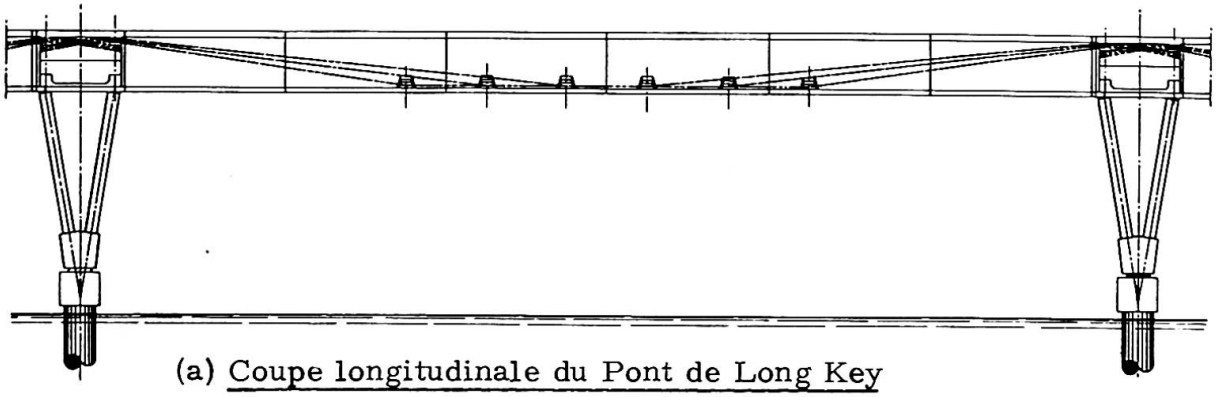
A une toute autre échelle, la solution avait été proposé par Eugène Freyssinet tout à la fin de sa vie, pour la traversée de la Manche avec utilisation de travées complètes de 600 m de portée réalisées en béton pré - éteint ; le projet n'a jamais vu le jour. Peut-être les générations futures auront-elles l'occasion de mettre l'idée en oeuvre ?

5 - OUVRAGES PREFABRIQUES DE FAIBLE PORTEE

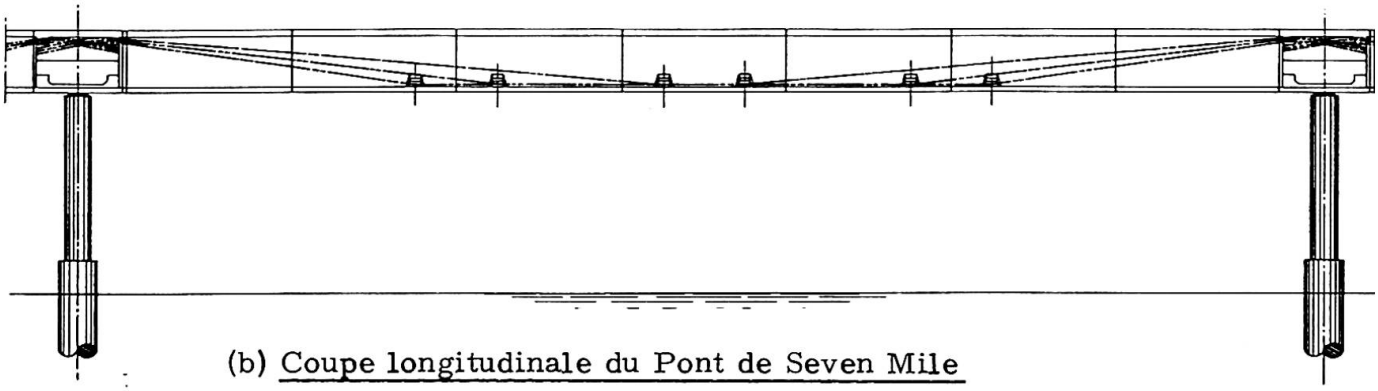
L'utilisation de voussoirs préfabriqués dans des ouvrages de portée moyenne (35 à 45 m) vient de s'imposer sur le plan économique dans deux grands ouvrages de l'Etat de Floride, USA : le Pont de Long Key constitué de 100 travées de 36 m de portée et le Pont de Seven Mile constituée de 270 travées de 42 m de portée.

Le projet initial de ces ouvrages faisait appel à des poutres préfabriquées à torons adhérents supportant une dalle de chaussée en béton armé coulée en place. Dans les deux cas, une solution avec voussoirs préfabriqués s'est révélée sensiblement plus économique (15 à 20 %) et plus rapide d'exécution.

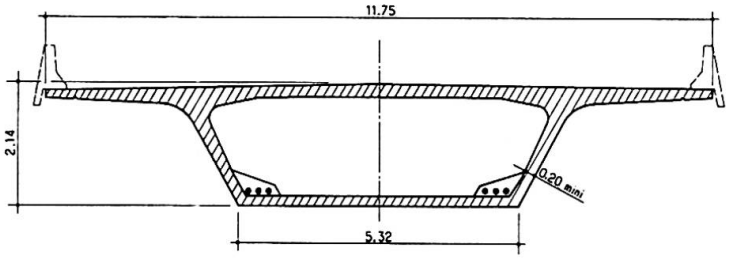
Le projet (fig. 8) fait appel à un caisson unique formant le tablier complet de l'ouvrage et constitué par des voussoirs préfabriqués de 5.60 m de longueur assemblés longitudinalement par une précontrainte extérieure au béton jouant



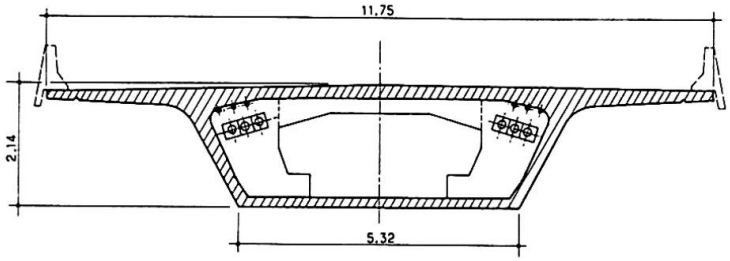
(a) Coupe longitudinale du Pont de Long Key



(b) Coupe longitudinale du Pont de Seven Mile



(c) Coupe transversale en travée



(d) Coupe transversale près d'un appui

(e) Principe de pose sur cintre d'assemblage

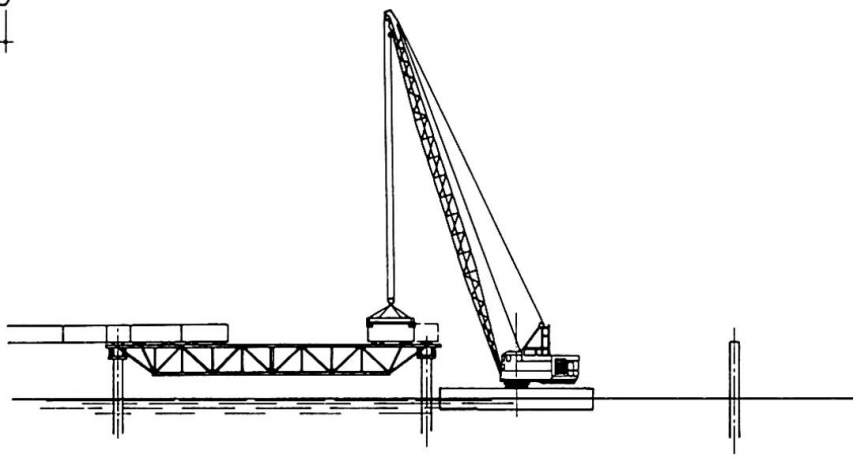


fig. 8 - PONTS DE LONG KEY et DE SEVEN MILE, USA

en fait le rôle de haubans intérieurs. Des selles de déviation et des blocs d'ancrage au droit des appuis assurent à la précontrainte le tracé optimal et permettent une mise en oeuvre extrêmement simple. Les armatures de précontrainte sont placés à l'intérieur de gaînes en polyéthylène injectées au ciment de sorte que la protection contre la corrosion - problème majeur dans cet environnement marin au climat chaud - est parfaitement assurée.

Le projet envisageait la pose des voussoirs soit par encorbellements successifs à l'aide d'une poutre de lancement, soit sur un cintre d'assemblage par travées complètes. Cette dernière solution a été retenue pour les deux ouvrages. Les voussoirs sont acheminés par eau et posés à la grue flottante sur une poutre métallique fixée provisoirement à ses extrêmités sur les appuis définitifs de l'ouvrage ; après assemblage des voussoirs d'une travée par précontrainte, le cintre de pose est lui-même transféré à la travée suivante par la grue flottante. Ce procédé ne nécessite pas d'investissements très élevés en matériel spécial et permet des cadences de poses rapides (2 travées de 36 à 42 m par semaine), comparables à celles qu'autorisent les poutres de lancement opérant au niveau du tablier.

6 - OUVRAGES PREFABRIQUES DE GRANDE PORTEE

La méthode de construction par encorbellements successifs est actuellement la solution la plus économique et la plus répandue dès que les portées dépassent 50 à 60 m, le poids et le prix d'un cintre d'assemblage tel que décrit au paragraphe précedent devenant prohibitif.

Parmi les méthodes de pose des voussoirs préfabriqués qui ont la sanction de l'expérience et qui doivent continuer à connaître un développement dans l'avenir on peut citer : le levage à partir du tablier et les poutres de lancement.

6.1. - Levage à partir du tablier :

Les voussoirs sont acheminés au droit de leur position dans l'ouvrage à terre ou sur l'eau, puis levés à leur emplacement par des treuils portés par une charpente ancré au tablier déjà posé.
Au Pont de Saint André de Cubzac, il a été possible de mettre en place sur la pile les voussoirs préfabriqués constituant l'amorce de chaque travée qui était coulée en place dans les ouvrages antérieurs (fig. 9).

Cette méthode de levage à partir du tablier a fait appel initialement à des treuils électriques. Pour des charges très lourdes (voussoirs de 300 t pour le Pont de Pasco-Kennewick, USA) des sytèmes mécaniques dérivés de procédés de levage des planchers dans les bâtiments à étages multiples se sont révèlés plus économiques mais par contre sensiblement plus lents.

6.2. - Poutre de lancement :

Utilisée pour la première fois au Viaduc d'Oléron, la méthode a été perfectionnée au fur et à mesure de son utilisation dans de nombreux ouvrages (Viaducs de Chillon, Pont de Rio Niteroi, Viaducs de l'Autoroute B3, Pont de Saint-Cloud, etc...).

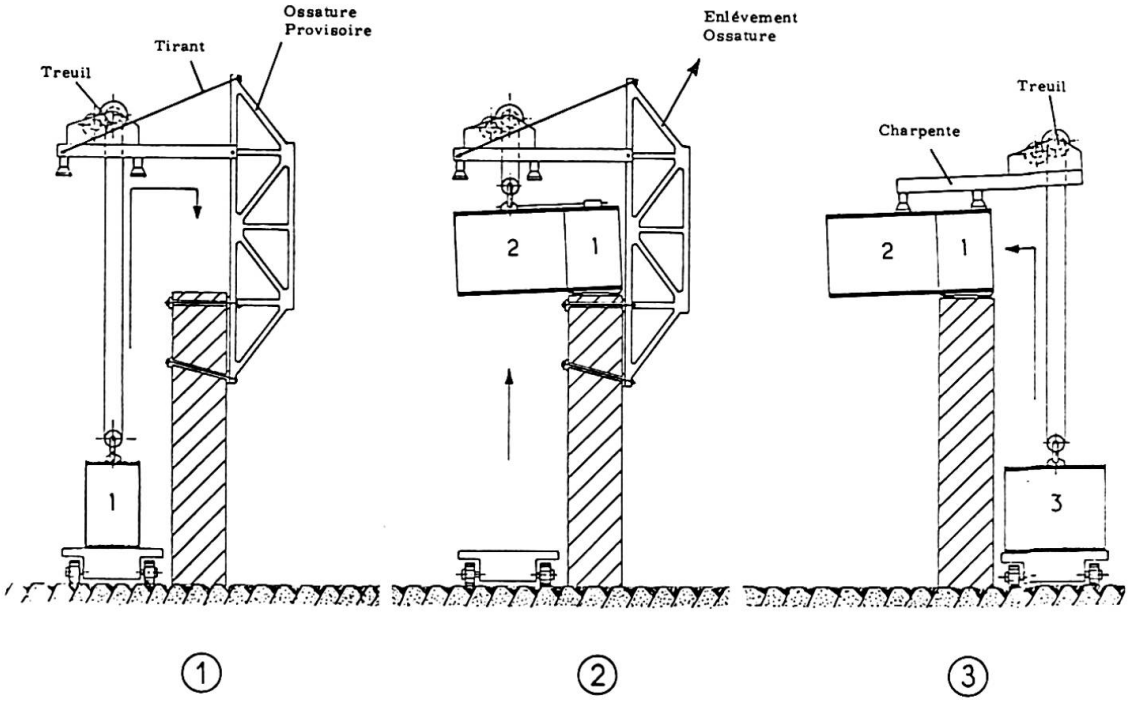


fig. 9 - POSE DU VOUSSOIR DE PILE DANS LE LEVAGE PAR TREUILS

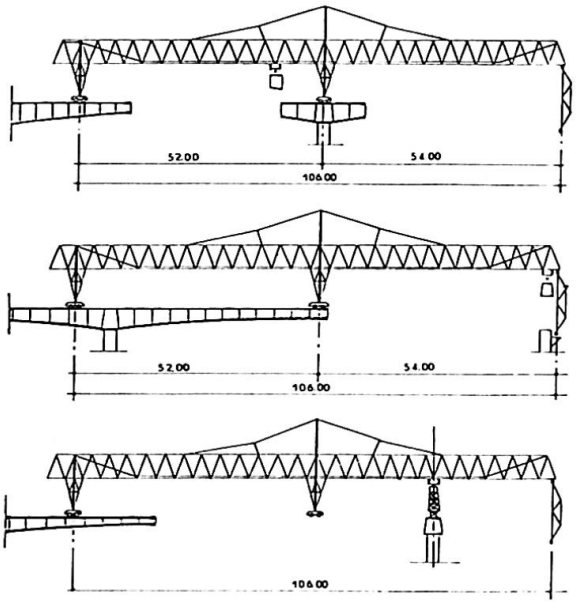


fig. 10a - POUTRE DE LANCEMENT (Première famille)

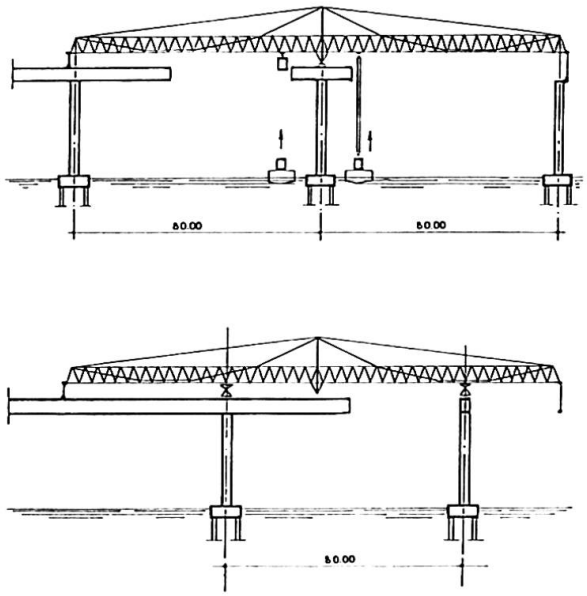


fig. 10b - POUTRE DE LANCEMENT (Deuxième famille)

Le principe d'utilisation, maintenant bien connu, permet de classer les poutres de lancement dans les deux catégories figurées schématiquement sur les fig.10a et 10b.
La poutre la plus puissante utilisée à ce jour est celle du Pont de Saint Cloud (portée de 110 m et voussoirs de 130 t) utilisée aussi au Pont de Sallingsund. Une étude détaillée faite pour le Pont de Zilwaukee (portée de 120 m et voussoirs de 160 t) montre que le principe est parfaitement viable dans cette gamme de portée et de poids unitaires. On saurait aujourd'hui étendre le procédé à des portées de 140 à 150 m. Au-delà des dispositions nouvelles seraient à developper.
De grands progrés ont été accomplis récemment pour simplifier les transport, le montage et le démontage de ce type de matériel en vue d'utilisations multiples rapides et économiques (poutre des viaducs de l'Area par exemple).

7 - OUVRAGES INDUSTRIALISES ET VIADUCS URBAINS

Le domaine d'application est immense, eu égard aux besoins de réalisation des infrastructures des transports urbains en site propre ou des autoroutes de dégagement des grandes villes.

Les méthodes mises en oeuvre pour la construction des passages supérieurs et des viaducs des autoroutes alpines ont pleinement justifié l'intérêt technique et économique de la préfabrication et de la standardisation (fig. 11) la répétition étant un facteur d'économie et de sécurité dans le contrôle de qualité.

Parallèlement, la construction des viaducs de l'Autoroute B3 Sud près de Paris a permis de résoudre des problèmes difficiles de réalisation d'ouvrages au-dessus de multiples obstacles (routes et voies ferrées en service). Les mêmes méthodes sont actuellement adoptées pour la réalisation des viaducs surélevés du West Gate Freeway à Melbourne, Australie et devraient connaître de nombreuses applications dans d'autres pays.

8 - PONTS - RAILS EN BETON PRECONTRAINT

L'emploi du béton précontraint se développe régulièrement en Europe Occidentale dans le domaine des ponts rails à l'occasion de la construction de lignes nouvelles (ligne TGV de Paris à Lyon par exemple) ou de l'extension de réseaux urbains (réseau express régional de Paris).

La construction du viaduc surélevé de Marne-la-Vallée (Est de Paris) a fait appel à la technique des voussoirs préfabriqués posés avec une poutre de lancement (fig. 12). La traversée de la Marne (portée 75 m) et la réalisation d'une station de voyageurs complète ont pu être traitées par les mêmes procédés que le viaduc courant. La mise en place d'écrans phoniques esthétiquement satisfaisants a donné lieu à des études poussées compte tenu de l'urbanisation extrême du site.

Au Pont-Rail sur la Seine à Clichy, une combinaison inédite de voussoirs préfabriqués et de dalles de jonction coulés en place a permis la réalisation d'un ouvrage important

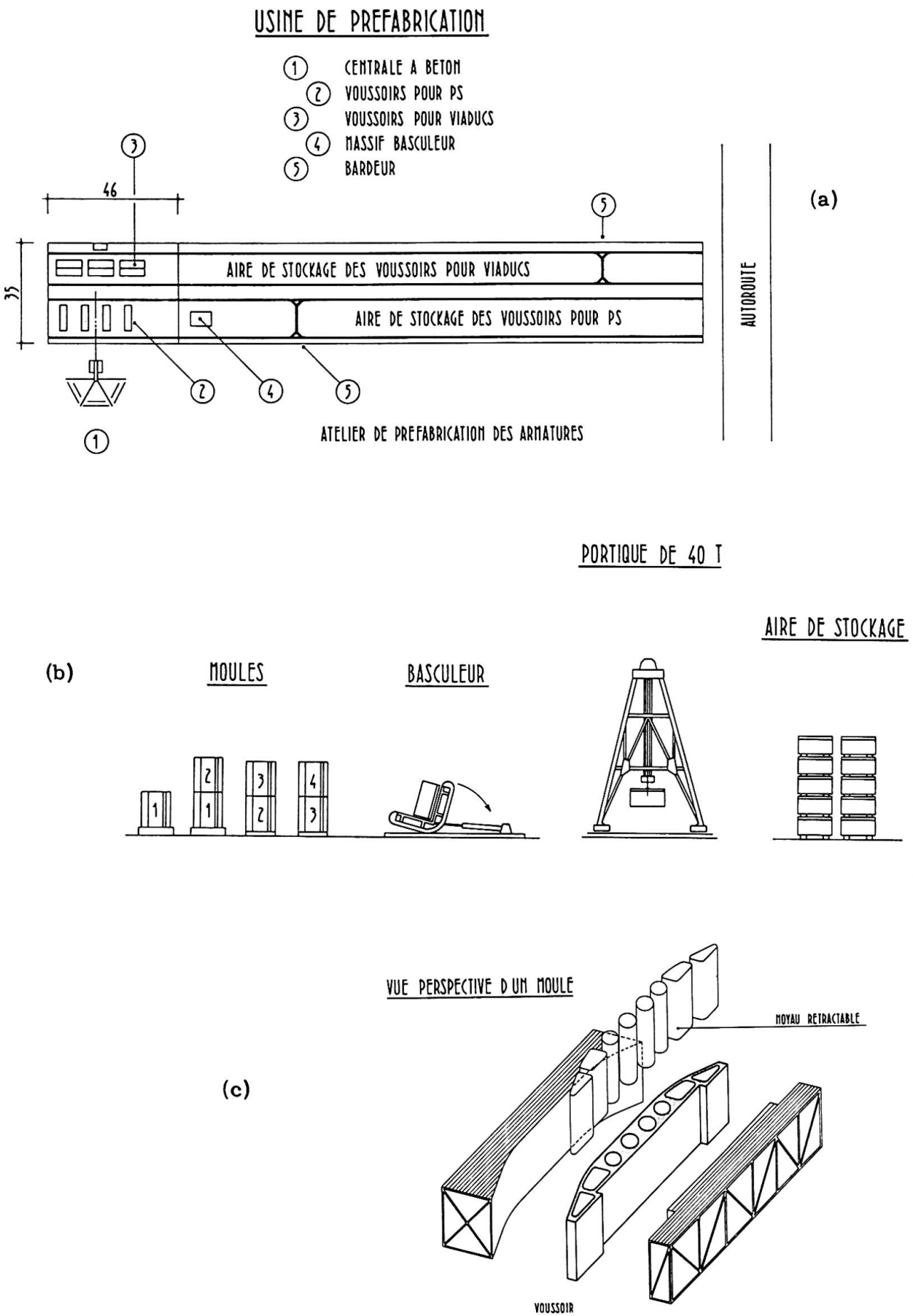
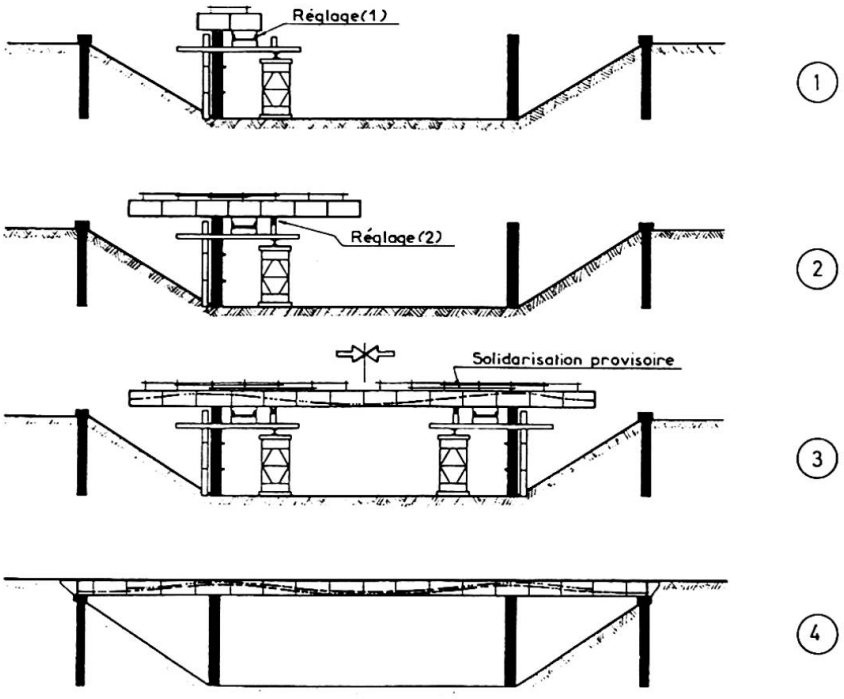
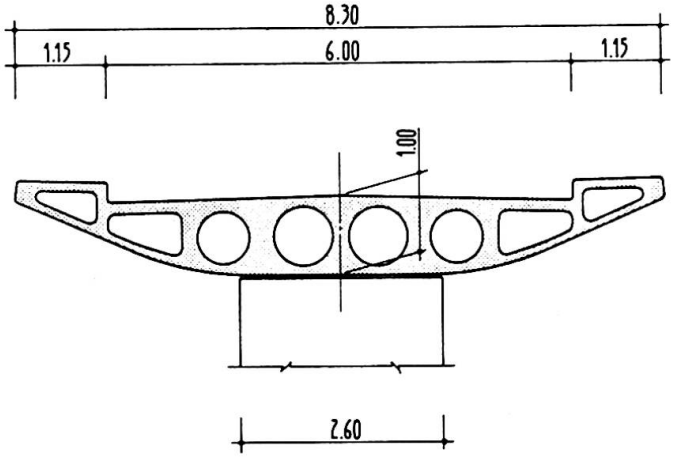


fig. 11 (a)-(b)-(c) - OUVRAGES PREFABRIQUES DES AUTOROUTES ALPINES

(d) Principe de montage



TYPE II



(e) Coupe type

TYPE III

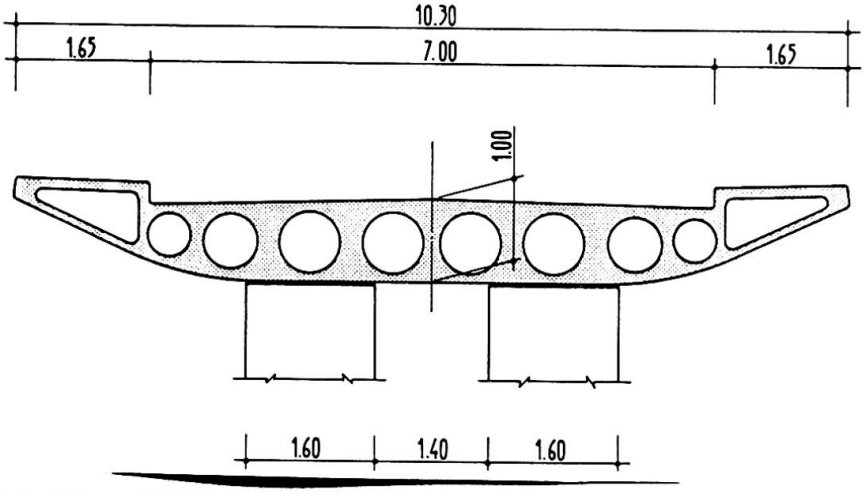
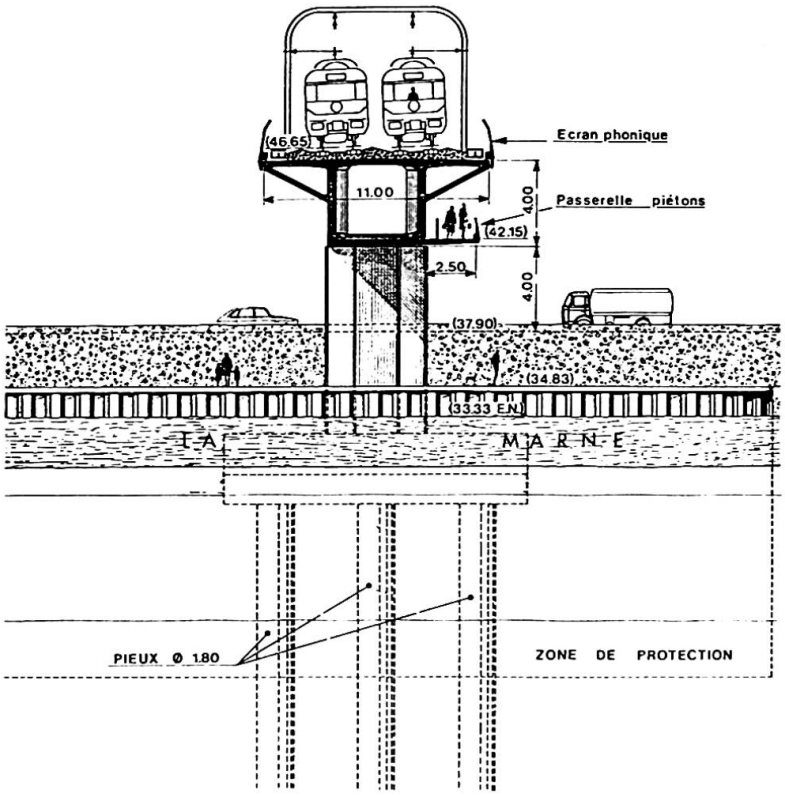
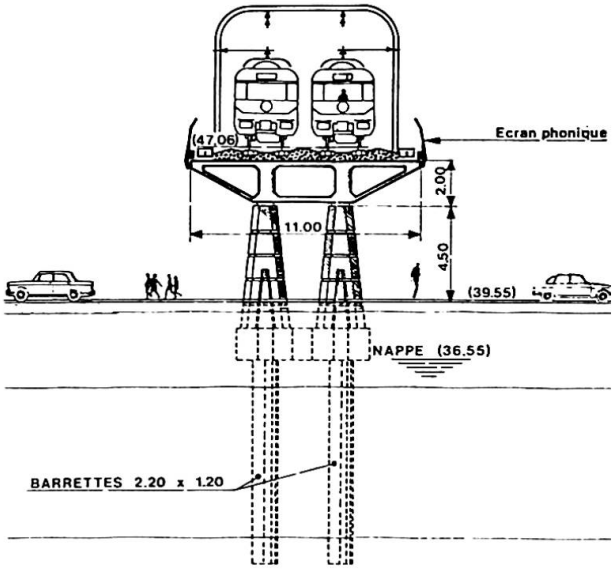


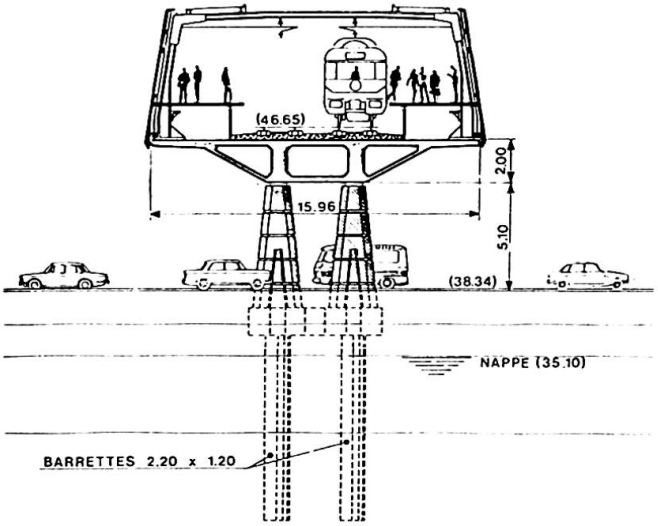
fig. 11-(d)-(e)-(f) - OUVRAGES PREFABRIQUES DES AUTOROUTES ALPINES



(a) Pont sur la Marne



(b) Viaduc courant



(c) Station de voyageurs

fig. 12 (a)-(b)-(c) VIADUC DE MARNE-LA-VALLEE

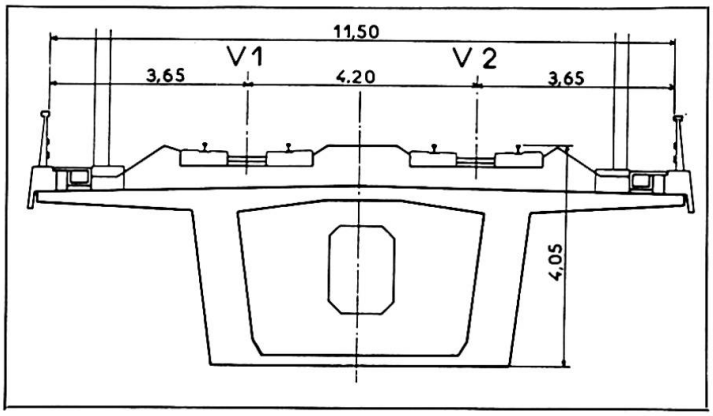


fig. 13 - COUPE TRANSVERSALE DES VIADUCS TGV PARIS-LYON

Compte tenu de l'importance des surcharges de service vis-à-vis du poids propre de l'ouvrage, les ponts-rails présentent des caractéristiques mécaniques qui se prêtent bien à l'utilisation du poussage : c'est le procédé adopté pour plusieurs viaducs de la ligne TGV Paris-Lyon tandis que le viaduc-rail de l'Olifant's River en Afrique du Sud détient avec 1040 m le record de longueur des ouvrages poussés. (fig. 13).

9 - OUVRAGES DE GRANDE PORTEE COULES EN PLACE

En France, les ouvrages coulés en place de portée supérieure à 100 m sont beaucoup plus nombreux que les ouvrages à voussoirs préfabriqués. Sans être l'effet du hasard, cette circonstance ne dénote pas toutefois une tendance durable et irréversible.

Le désir a été naturellement ressenti de mettre à profit l'expérience acquise dans les ouvrages préfabriqués à la réalisation d'ouvrages coulés en place, cherchant la synthèse d'une sorte de préfabrication en place.
Parallèlement, l'attention s'est concentrée sur les conditions de sécurité des ouvrages réalisés en encorbellement pendant leur phase de construction (fig. 14).

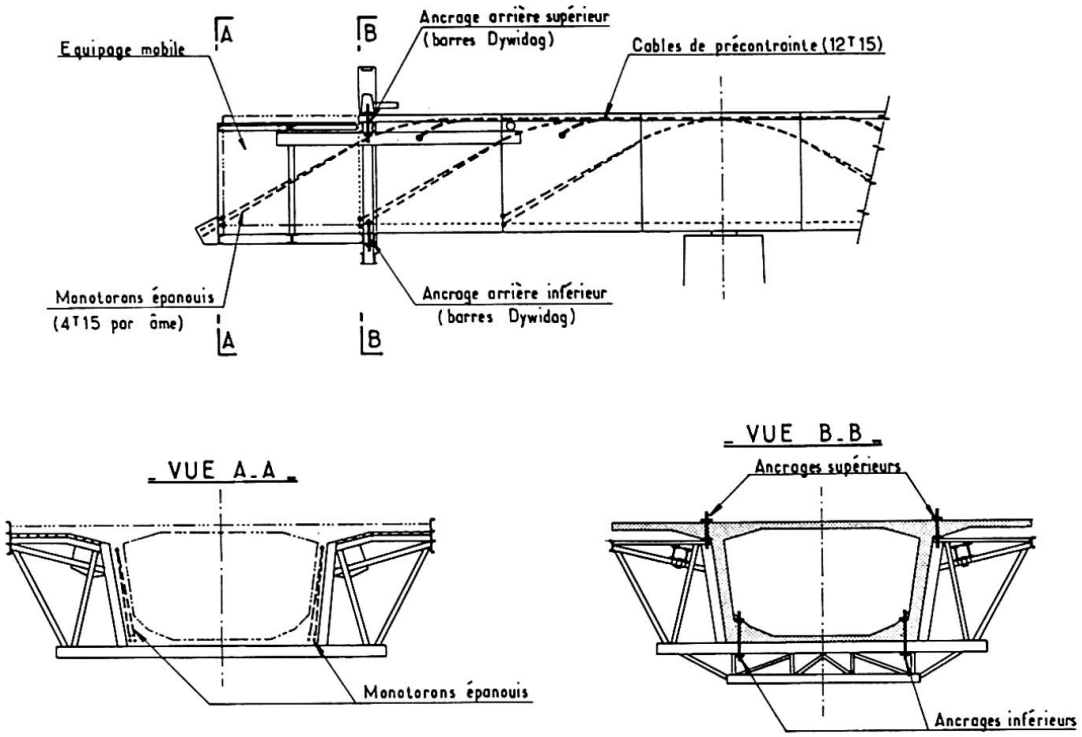
Du point de vue des investissements en matériel spécial et rendements de main d'oeuvre, le procédé de coulage ne se révèle toutefois pas à ce jour systématiquement plus intéressant que la préfabrication, même sur un nombre réduit de travées. Dans les ouvrages longs (10 travées ou plus) la rapidité de construction autorisée par la préfabrication place celle-ci sans concurrence sérieuse.

10 - PONTS A HAUBANS EN BETON

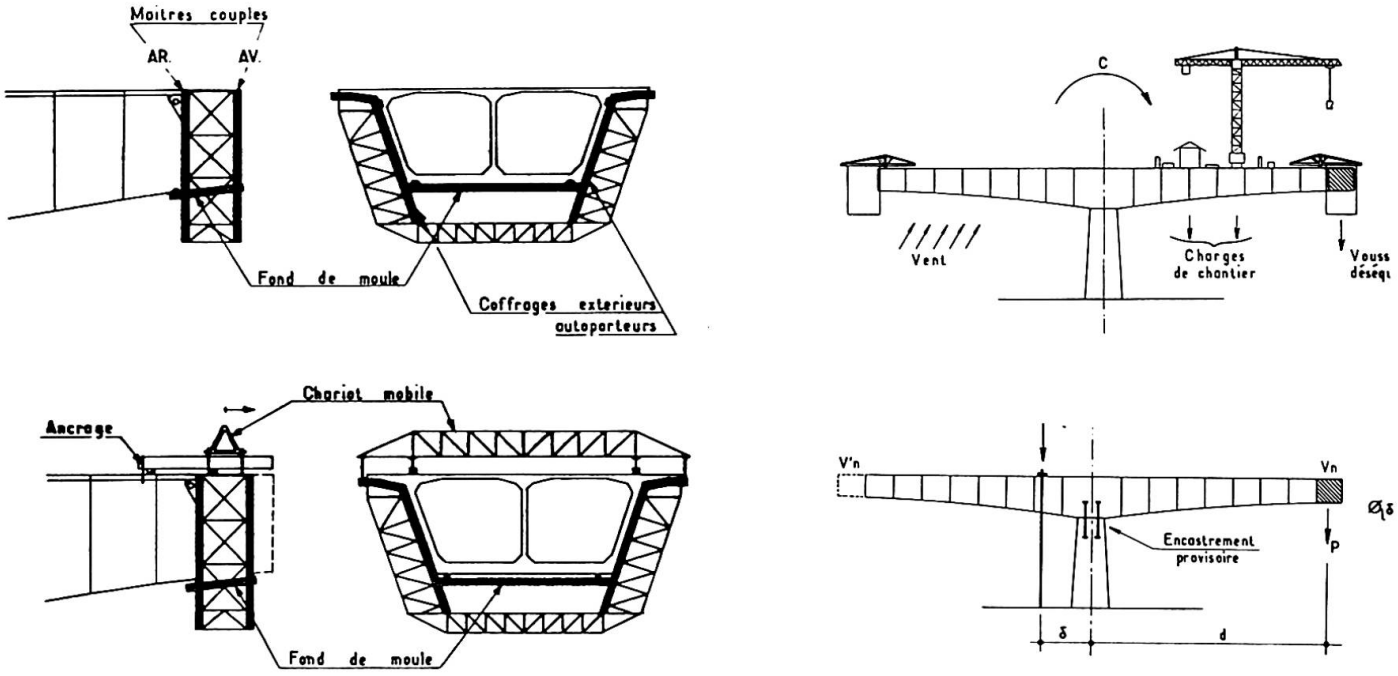
Plusieurs projets sont en cours d'étude avec des portées libres supérieures à celle du Pont de Brotonne (320 m) et une section transversale radicalement différente de celle des ouvrages antérieurs (Brotonne avec caisson unique ou Pasco avec caissons latéraux triangulaires et poutraison transversale). A titre indicatif, la fig. 15 donne les caractéristiques de principe du projet de Dames Point en Floride, USA avec une portée libre de près de 400 m et une structure de tablier ayant une rigidité de flexion longitudinale particulièrement faible, à la limite de la stabilité élastique.

Tous ces projets sont de réalisation commode parce que les principes de la construction par encorbellements symétriques developpés pour les ponts à poutres leur sont appliqués.

Parallèlement à la mise au point de ces procédés constructifs, l'attention s'est concentrée sur la constitution des haubans eux-mêmes, particulièrement pour les projets à haubans multiples répartis. Aux premières solutions comportant soit une membrure en béton précontraint soit des câbles clos galvanisés, on préfère maintenant les haubans constitués d'armatures de précontrainte (fils lisses ou torons) disposées à l'intérieur d'un tube de protection (acier protégé par peinture ou gaine de polyéthylène) et injectées au mortier de ciment. Ces haubans peuvent être fabriqués en usine ou assemblés sur place, tandis que



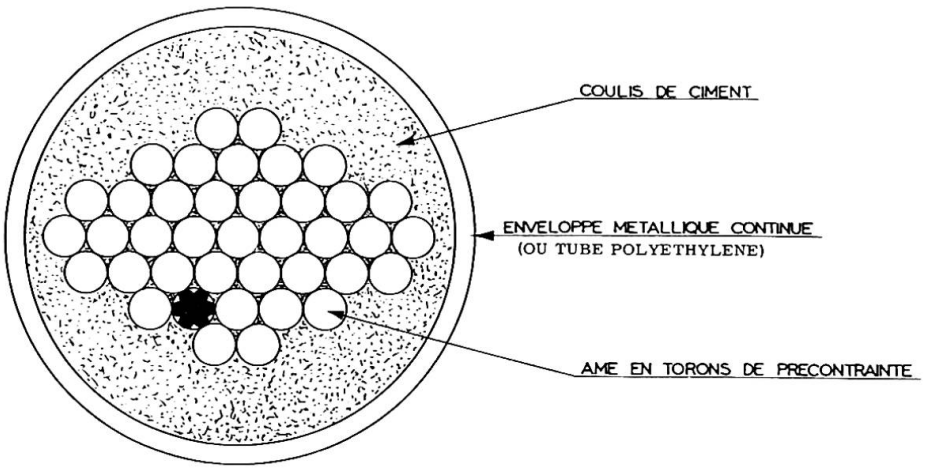
(a) Solidarisation de l'équipage au tablier par précontrainte



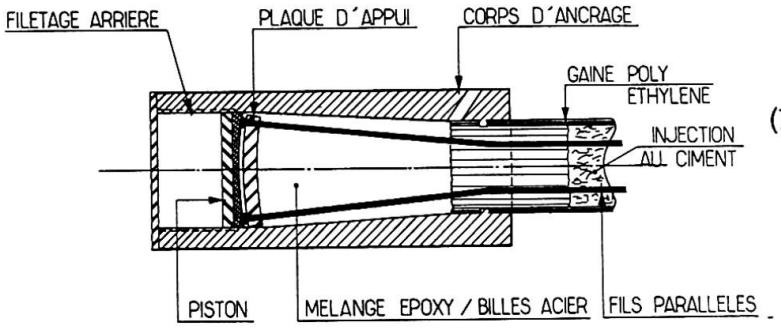
(b) Equipage mobile auto-portant

(c) Conditions de stabilité des fléaux pendant la construction

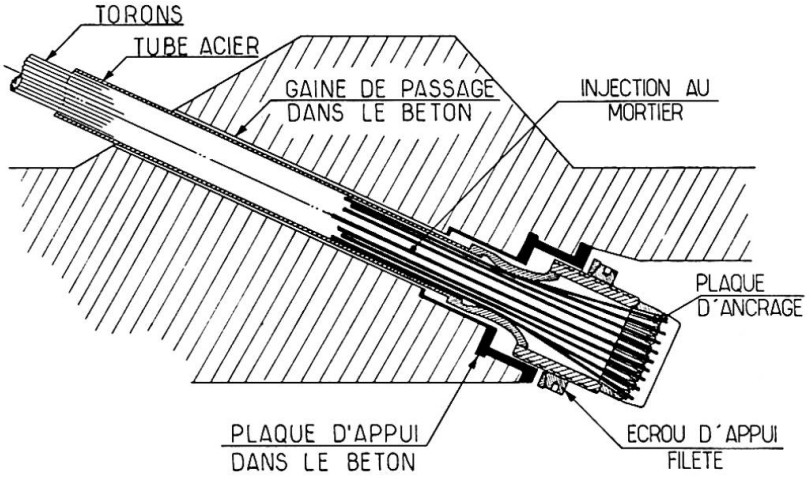
fig. 14 - PONTS EN ENCORBELLEMENT COULES EN PLACE



(a) Coupe courante d'un hauban avec armatures de précontrainte

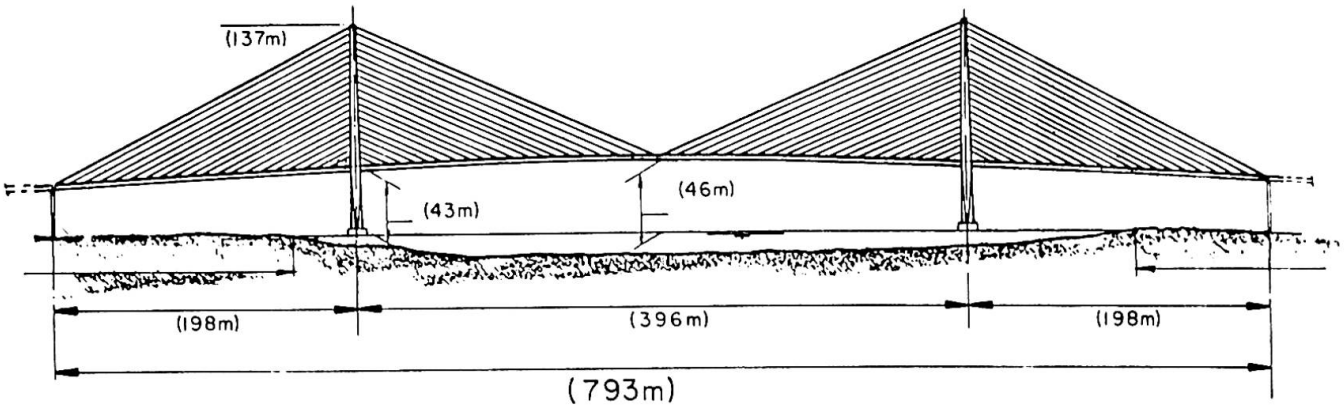


(b) Ancrage "High Amp"

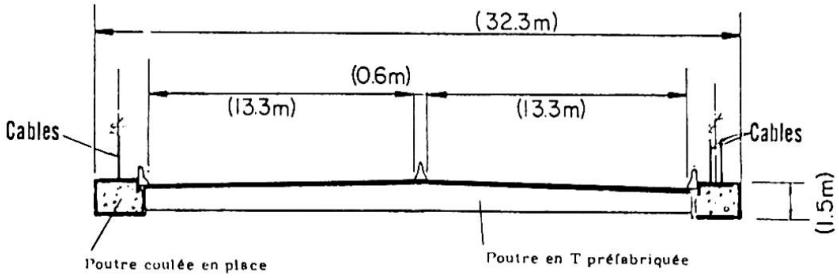


(c) Ancrage de précontrainte de grande capacité

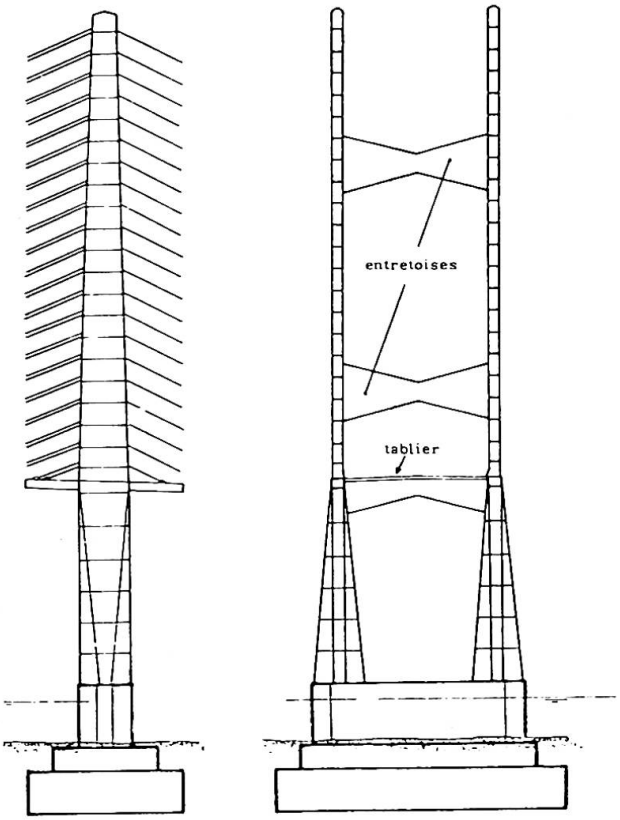
fig. 15 - HAUBANS POUR PONTS A HAUBANS



(a) Elévation



(b) Coupe transversale



(c) Pylône

fig. 16 - PONT DE DAMES POINT, Floride, USA.

leurs ancrages d'extrêmité appartiennent à deux familles :

- "high am" (grande amplitude vis-à-vis de la fatigue) (fig.16). Les fils sont ancrés par boutonnage sur une plaque disposée à l'intérieur d'un corps d'ancrage conique rempli d'un mélange de billes d'acier et de résine époxyde.

- ancrage de précontrainte de grande capacité dérivés des ancrages traditionnels avec plaque d'ancrage et clavettes ancrant individuellement chaque toron.

L'attention a été attirée sur plusieurs ouvrages de ce genre sur les possibilités de mise en vibration de certains haubans ou même de la nappe entière pour certaines incidences et vitesses de vent. Des systèmes d'amortissement ou d'asservissement ont été mis en oeuvre pour régler efficacement ce problème. Dans le contexte économique de la plupart des pays, les ponts à haubans en béton devraient maintenant connaître un essor important dans le domaine des portées libres de 250 à 400 m ou même 500 m.

Leere Seite
Blank page
Page vide