

8.9 Les ponts en béton



Pont de l'Iroise.

C'est dans le domaine des ponts, ouvrages d'art par excellence, que les ingénieurs et architectes ont appliqué leurs connaissances avec la plus grande créativité, en développant des techniques audacieuses, originales, qui ont permis la réalisation d'ouvrages exceptionnels par leurs portées, leurs hauteurs ou leurs procédés de construction. C'est aussi dans ce domaine que les architectes et les ingénieurs ont pu le mieux exprimer leurs complémentarités.

Au fil des années, les progrès des matériaux et notamment le béton armé et le béton précontraint, l'évolution des exigences et des moyens de calcul, les nouvelles méthodes de mise en œuvre ont apporté des changements profonds auxquels les constructeurs français ont largement contribué.

Le pont, ouvrage de franchissement

Pour un pont, il existe trois structures fondamentales :

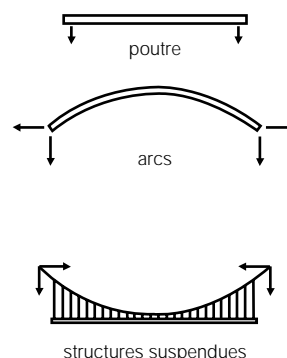
- la POUTRE, structure à réactions sur appuis verticales,
- l'ARC, structure à poussées dans laquelle les mécanismes en jeu sont des compressions.
- la SUSPENSION, structure à poussées aux appuis dans laquelle les mécanismes en jeu sont des tractions.

A ces structures fondamentales dont le principe de fonctionnement est simple, il faut ajouter les structures mixtes ou composées :

- le BOW-STRING ou arc sous-tendu
- le pont suspendu raidi par haubanage
- le pont à HAUBANS

Pour un ouvrage donné, le choix d'un type de structure est lié à de nombreuses contraintes dont les plus évidentes sont souvent la recherche esthétique d'intégration dans un site et les portées possibles entre deux appuis.

Les trois structures fondamentales



Structures composées

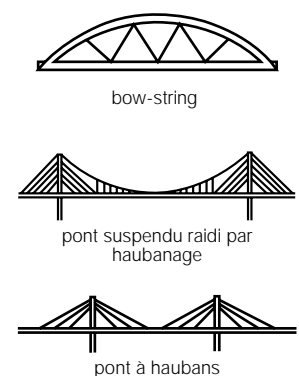
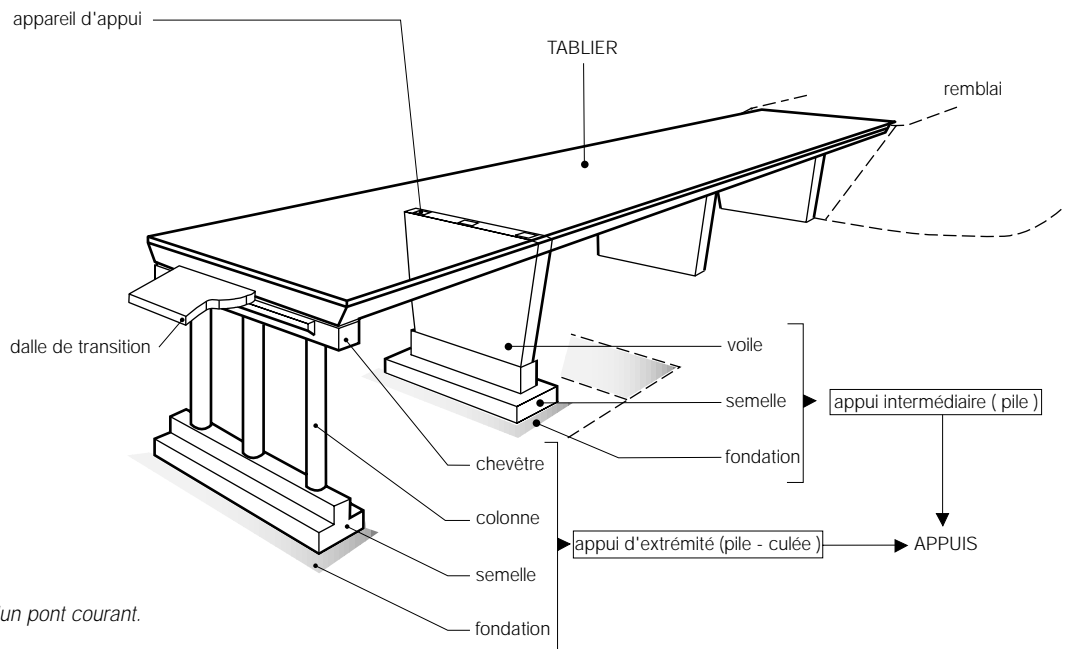


Schéma des structures.



Les éléments constitutifs du pont

Quelle que soit leur application : pont-route, pont-rail, pont-canal, passerelle piéton, ou autre, les ponts sont constitués de deux éléments principaux :

- le **TABLIER** : partie sensiblement horizontale de l'ouvrage qui assure le franchissement,

- les **APPUIS** qui peuvent avoir des configurations très variées : voiles, poteaux et chevêtres, piles, pylônes, culées, piles-culées, piédroits...

Conception des ouvrages en béton

Dans les ouvrages bien conçus, l'harmonie résulte d'un équilibre entre l'expression de leur fonction, la logique de leur schéma statique, la relation avec le paysage environnant et le soin apporté au traitement des moindres détails.

Le béton est le matériau utilisé systématiquement pour la réalisation des fondations et des appuis de tous les ponts modernes. Il est aussi très largement appliqué pour l'exécution des tabliers, soit sous la forme de béton armé, soit sous la forme de béton précontraint.

Tous les types de béton peuvent être envisagés dans le cadre de la construction d'un ouvrage d'art. Pour les ouvrages moyens et importants, les conditions de formulation, de préparation, de transport et de mise en place du béton sont définies dans un des fascicules du cahier des clauses techniques générales (CCTG) applicable aux marchés publics de travaux : le fascicule 65A : « exécution des ouvrages de génie civil en béton armé et précontraint ». Pour les ouvrages de faible importance, c'est le fascicule 65B du CCTG qui s'applique.

Dans les deux cas, les calculs justificatifs de la conception des structures sont effectués conformément aux règles BAEL et BPEL, complétées le cas échéant de justifications relevant par exemple de calculs dynamiques en relation avec des dispositions antisismiques et des vérifications de la stabilité au vent.



Viaduc de Rogerville.



Pont de Normandie en construction.

Une exigence constante de bétons de qualité appuyée sur un plan d'assurance qualité

Généralement, la composition des bétons est justifiée par vérification de la résistance en 2 étapes : une épreuve d'étude et une épreuve de convenance.

Pour la formulation des bétons, outre les exigences mécaniques et esthétiques, deux aspects importants sont pris en compte :

- l'adaptation de la maniabilité du béton frais aux conditions et moyens de mise en œuvre,
- le respect des exigences et recommandations du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées en matière de prévention du risque d'alcali-réaction.

Dans certains cas, la variation des conditions climatiques au cours des travaux peut justifier de plusieurs formulations de béton pour un même ouvrage, par exemple bétonnage par temps chaud, bétonnage par temps froid.

Les différents types de ponts

■ Ponts cadres, portiques et ouvrages voûtés

De forme très simple, ces ouvrages donnent la possibilité de préfabrication partielle ou totale en usine ou sur chantier, lorsque les dimensions le permettent.

■ Ponts à poutres

Les poutres en béton armé ou en béton précontraint peuvent être préfabriquées. Elles sont rendues solides d'une dalle de béton armé qui assure la répartition transversale des sollicitations.

■ Ponts dalles

Réalisés sur le chantier, les tabliers de ponts dalles sont en béton armé ou en béton précontraint. Généralement de faible épaisseur, les dalles donnent aux franchissements un aspect harmonieux très élancé pour des portées importantes.

■ Ponts en arc en béton armé

Les arcs sont, avec les ponts à béquilles, les structures les mieux adaptées au franchissement de vallées encaissées ou de gorges profondes. L'arc, poutre courbe à réactions d'appuis obliques, à fibre moyenne circulaire ou parabolique, ne peut être envisagé que sur un sol de fondation de bonne résistance (rocher sain). Il porte un tablier qui peut être placé au-dessus de l'arc (pont en arc à tablier supérieur) ou au-dessous (pont en arc à tablier suspendu ou intermédiaire).

L'arc proprement dit peut être :

- un caisson mono ou multicellulaire pour les grandes ouvertures
- des poutres pleines entretoisées pour les ouvertures moyennes.
- une dalle à nervures latérales pour les faibles ouvertures.

Le tablier peut être une dalle armée ou précontrainte avec ou sans nervures, une structure mixte, un tablier à poutres précontraintes ou une poutre caisson.



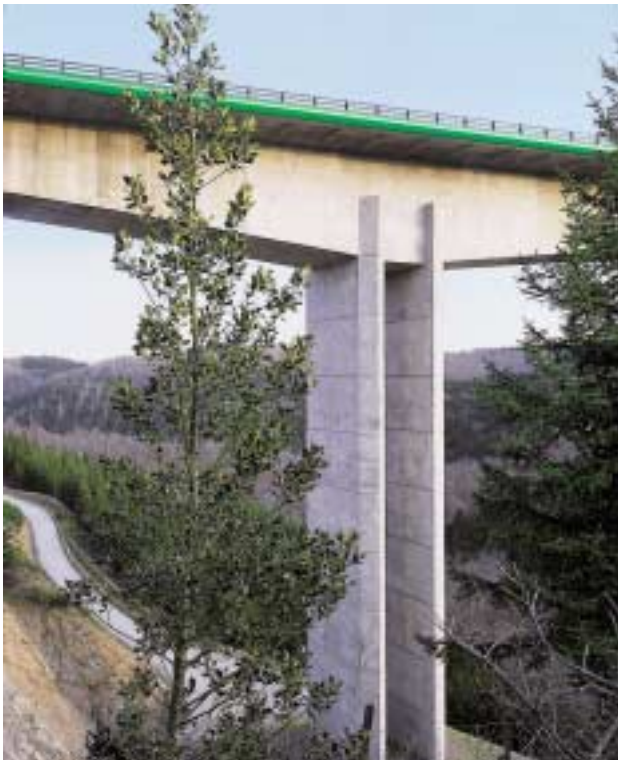
Viaduc du Crozet (A 51).



Pont de la Pyrénéenne (A 64).



Construction en encorbellement.



Viaduc de la Barricade.



Viaduc des Bergères.

■ **Ponts en béton précontraint construits en encorbellement**

L'encorbellement consiste à construire le tablier de pont par tronçons à partir des piles. Les tronçons successifs sont exécutés symétriquement de part et d'autre de la pile. Ils peuvent être coulés en place dans des coffrages portés par des équipages mobiles ou préfabriqués par voussoirs. Ils sont assemblés par des câbles de précontrainte.

Pour des portées supérieures à 70 m, on a recours à un tablier de hauteur variable plus délicat à construire mais, plus économique et plus esthétique. Il peut être encasté sur les piles (encastrement total) ou simplement posé sur une file d'appareils d'appui (appuis simples).

Transversalement le tablier est souvent un caisson unicellulaire, le hourdis supérieur débordant en console de part et d'autre peut être raidi par des nervures transversales éventuellement précontraintes ou par des bracons. Il est possible d'atteindre des largeurs de l'ordre de 30 m.

■ **Ponts en béton précontraint construits par poussage**

La méthode de construction d'un pont par poussage consiste à confectionner un tablier sur une ou sur les deux rives de la brèche à franchir puis à le mettre en place sur ses appuis définitifs par déplacement longitudinal. Cette technique a été utilisée pour la première fois vers 1965, elle nécessite l'utilisation de plaques d'appui permettant le glissement avec un faible frottement (revêtement téflon ou similaire).

Pour cette technique le tablier doit être de hauteur constante, il faut pouvoir disposer en arrière des culées d'une longueur suffisante pour aménager l'aire de fabrication du tablier (au moins longueur d'une travée).

Le tablier peut être une dalle, une dalle nervurée, un caisson.

Le poussage est facilité par des moyens techniques appropriés tels que palées provisoires en béton armé ou métalliques, avant-bec, mâts de haubanage ou des dispositifs combinés.

Le poussage permet de construire des tronçons de grande longueur (20 à 40 m) et nécessite de mettre en œuvre un béton de bonne résistance à court terme (25 à 30 MPa à 24h) et qui progresse assez vite dans les premiers jours.

La force de poussage est appliquée par des systèmes brevetés ; le système Eberspächer est le plus connu.

■ Ponts à haubans

Le principe de ce type d'ouvrage est ancien, mais il a eu beaucoup de difficultés pour sortir du domaine marginal. Albert CAQUOT en 1950 à Pierrelatte, Jean MULLER en 1975 au pont de Brotonne ont contribué au développement de cette technique qui a abouti avec Michel VIRLOGEUX à la réalisation du pont de la Normandie dont la portée entre pylônes est de 856 m.

En quelques années, le domaine d'emploi des ponts à haubans s'est largement étendu pour des raisons esthétiques de bonne intégration à des sites sensibles. C'est une technique qui donne une très grande liberté de conception architecturale.



Pont Vasco de Gama.



Pont de Normandie.



Pont de l'Iroise.

■ Ponts suspendus

Cette technique a été quelque peu supplantée par celle des ponts à haubans et semble limitée aux très grandes brèches à franchir d'une seule portée. Il existe toutefois en France un patrimoine de quelque deux cents ponts de ce type, dont la plus grande partie est équipée de tabliers à structures métalliques relativement flexibles.

Pour les ouvrages importants de Tancarville et de Bordeaux (Pont d'Aquitaine), une dalle mince en béton armé solidaire d'une tôle en acier au moyen de connecteurs a permis d'associer le platelage à la structure du tablier pour en améliorer la rigidité.

Dans une conception plus récente adoptée pour le Viaduc de Chavanon, trois raisons fondamentales ont nécessité l'exécution d'un tablier à grande rigidité propre de torsion :

- le choix pour des raisons esthétiques d'une suspension axiale,
- une grande largeur de tablier : 22 m,
- absence de connexion entre les pylônes et le tablier qui file sur 360 m entre les culées sur lesquelles il est encastré vis à vis de la torsion.

Le niveau de rigidité requis est obtenu par la solidification d'une dalle-hourdis en béton B40 de 0,22 m d'épaisseur et de 22 m de largeur précontrainte transversalement et d'un caisson métallique central de 9 m de largeur en fibre supérieure, complété par des bracons supportant les très larges encorbellements du hourdis béton (encorbellement de 6,50 m).

■ Ponts à béquilles

Bien adaptés aux vallées encaissées et aux grandes portées, cette variante d'ouvrages en arc, permet d'éviter les lignes verticales des pylônes de ponts à câbles qui peuvent s'avérer inesthétiques dans certains sites. Tablier et béquilles sont souvent exécutés en béton précontraint.



Pont sur la Truyère.



Viaduc du Chavanon.

Préfabrication d'ouvrages d'art

La préfabrication est une méthode de construction traditionnelle des ouvrages d'art. En la matière, il y a lieu de distinguer trois échelles très différentes de la notion de préfabrication :

- l'échelle de la préfabrication transportable par voie routière qui correspond à la fabrication de pièces dont la masse est limitée à 25 tonnes voire 30 tonnes : préfabrication concevable en usine,
 - l'échelle de la préfabrication manipulable sur chantier au moyen d'engins spécifiques (par exemple fardiers) qui correspond à des éléments dont la masse peut atteindre 100 à 150 tonnes : préfabrication foraine,
 - l'échelle du gigantisme où les éléments préfabriqués peuvent atteindre plusieurs milliers de tonnes, jusqu'à 10 000 tonnes et qui ne sont transportables que par voie maritime soit par mise en flottaison des éléments préfabriqués eux-mêmes soit au moyen d'engins de levage et de transports exceptionnels.
- Pour des portées allant jusqu'à 20 mètres entre appuis, il est possible d'utiliser des poutres en béton précontraint par fils adhérents préfabriquées en



Poutres préfabriquées précontraintes.

usines. Sur chantier, elles sont rendues solitaires d'un hourdis en béton armé coulé en place de 25 cm d'épaisseur pour constituer le tablier. La continuité d'une travée à l'autre peut être assurée par une entretoise en béton armé, ce qui permet de réduire le nombre de pièces d'appui et de concevoir des appuis de faible largeur.

Fréquemment, la préfabrication sur le chantier de pièces de grandes dimensions, les voussoirs, permet de simplifier largement les conditions de mise en œuvre, c'est une solution applicable aux ouvrages construits par encorbellements.

Dans le cas de très grands ouvrages réalisés en site marin, la préfabrication sur le rivage d'éléments de très grande dimension, transportables par engins flottants, est possible. C'est ainsi que, pour le pont de la Confédération reliant l'île du Prince Edouard au Canada, un gigantesque catamaran a été utilisé pour transporter et poser des fûts de piles et des fléaux : énormes éléments béton de 200 m de longueur, de 9000 tonnes posés à 70 mètres de hauteur.



Viaduc des Barrails.



Pont de la Confédération.

Ouvrages innovants

La recherche permanente de progrès dans les matériaux, dans les moyens de calcul, dans les méthodes de mise en œuvre, dans les équipements de chantier donne à chaque ouvrage significatif une originalité par rapport aux précédents. La précontrainte extérieure, les bétons de haute performance, l'application de ciment blanc pour la réalisation des tabliers, les bétons auto-plaçants, les adjuvants de nouvelle génération, les possibilités de préfabrication, les modes de traitement de surface sont des moyens à la disposition des maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre et entreprises dans lesquels il est largement possible de trouver les sources raisonnables d'originalité et de réussite technique.



Viaduc de Vernègues (TGV Sud-Est Méditerranée).



Pont sur le Vecchio (Corse).



Viaduc de la Clidane (A 89).