Les piles s’ancrent dans la rivière ; Les haubans éperonnent les nuages

Encyclopédie des voies d’eau d’Europe

Histoire – Techniques – Monuments des canaux et rivières

Tome 4
Paris - 2008

Jacques de La Garde et Marie Perrichon

Plantations 434
Canaux anciens 434
Pépinières 435
Interdit ! 440

TABLE des MATIERES - tome 4

Cyclistes 444
Ecologie
navigation libre 446
méandres 446
épis 446
digues 447
dragage, dérochement 447
Interventions de l'ingénieur :
Barrages éclusés, centrales hydroélectriques 459
leur histoire 460
anti-crues 473
remaniements hydrauliques 474
rivière canalisée, canaux latéraux, de jonction, de dérivation, les racles 474
passage à niveau: Briare, le Doubs, Sip, le Libron 482
lagunes et marais: Venise, Polésie, Solovki 492
Canaux maritimes , rivières côtières, des Pays bas au Portugal 501
Les souterrains perdus 518, souterrains au travail 515
Canaux souterrains des villes 534
Sous les ponts , romains 539, de bois 542, habités, couverts 549 , fortifiés 549, 553, régulateurs, médiévaux 556 , classiques 561 de pierre 563, en fonte 569, suspendus573, tubulaires 577 en fer 585 , en acier 587 , cantilever 588, arcs à triple articulation 589, à béquilles 594, en béton armé 596,en béton précontraint 599 à haubans 603, Comment tombent les ponts 562 Eaux potables, égouts 572 , le rail 585 Les ponts canaux 620

Tome quatrième

PONTS SUSPENDUS

A qui revient l'idée du « pont suspendu » qui, dès le début du XIX°s. apporte une note nouvelle dans le paysage ? En 1753, un marchand de vin de Bristol (GB) offre un prix de 1000 livres à qui lancera un pont sur l'Avon, entre les falaises de Clifton. Le montant reste disponible pendant longtemps puis, un jour, les Brunel s'y intéressent : le père, Marc Isambard a déjà dessiné des ponts suspendus pour l'île de la Réunion à la demande du gouvernement français, mais c'est le fils, Isambard, qui pose la première pierre du pont de Clifton, en 1831.

Curieusement, il doit lutter pour imposer des piles « égyptiennes » contre un projet de piles « gothiques ». De toute façon, il n'y a plus d'argent : les 1000 livres du marchand de vin ne suffiront pas ! Le projet est ajourné. Le pont sera terminé par ses successeurs et inauguré... en 1864, comme un mémorial au plus génial des ingénieurs.
A propos, je ne sais pas s'il y a une plaque à la mémoire d'Isambard au lycée Henri IV à Paris où il a fait ses études.
Les ponts suspendus sont caractérisés par deux câbles porteurs accrochés à des pylônes et soutenant le tablier. Le poids leur donne une forme parabolique. Les pylônes - véritable thème d'architecture - peuvent prendre la forme d'arc de triomphe, de forteresse crénelée, de chapelle, de pyramide ou de colonne galbée…
Au début, on reprochait à ces ponts d'être déformables, instables. Les américains eurent l'idée de remplacer les câbles par des poutres articulées rendues solidaires par des barres de triangulation et d'ajouter quelques haubans - ainsi, les ponts flexibles, rigides ou demi-rigides eurent leur place sur les routes et les rivières.
Le pont de Fourques, à Arques (F-13) sur le Petit Rhône date de 1830. Il est classé « très flexible ». Sa charge utile est limitée à 1t5.La passerelle Saint Georges (1853) sur la Saône à Lyon, a pour pylônes des colonnes galbées en fonte « oscillantes », c'est-à-dire articulées à la base.



Pile du pont-fer de Bordeaux (F-33)



Le pont de Clifton, à Bristol (GB)



Pont suspendu à Fourques, sur le petit Rhône (F-30)



Pont suspendu à Tournon (F-07) sur le Rhône



Pont suspendu de Tonnay-Charente (F-17)



Pont suspendu de La Voulte sur Rhône (F-07)

Le premier pont suspendu est, peut-être, celui de Berwick (1819) sur la Tweed, frontière entre l'Ecosse et l'Angleterre, long de 110 m. En France, à la même époque, les frères Séguin - Marc et Camille - inventent eux aussi les ponts suspendus dans leur région : la vallée du Rhône. Du plus ancien, construit sur l'Eyrieu (F-07) en 1821, il ne reste que les pylônes. Les ouvrages de la première génération ont été 'modernisés ou supprimés pour des raisons de sécurité.
Sur le Rhône, il y a un pont Séguin de 1847 à Tournon (F-07). Le pont faussement « médiéval » de Rochemaure (F-07) a été plusieurs fois refait. Donzère (F-26) est de 1847.
Il est amusant de comparer un petit pont « à fils de fer » intact, sur le canal de Chalifert, à Esbly (F-77) avec les plus spectaculaires. Le pont lancé à Tonnay-Charente (F-16) par Louis Dor en 1840 a déjà 26 m de haut. Une curiosité : à Laon, un pont suspendu en béton a été conçu par Freyssinet. Les câbles et les suspentes sont enrobés de béton.
En 1893, Köpcke a lancé sur l'Elbe, à Loschwitz, près de Dresde (D) un colossal pont suspendu en acier laminé, pesant 3000 tonnes. On le nomme le « pont bleu » pour sa peinture, mélange de cobalt et de chrome. Loschwitz a connu, à la même époque, un chemin de fer suspendu, comme Wuppertal.
Le pont aux chaînes (1849) de Budapest n'est plus soutenu par des chaînes mais par des barres de métal. Il est venu d'Angleterre en pièces détachées, en suivant les canaux. Il est aussi célèbre que le pont de Tancarville (F-76) de 1959 qui marque à peu près la fin des ponts suspendus, avec une portée de 608 m. Les records restent à la Grande Bretagne : Humber, 1410 m en 1981.

PONTS TUBULAIRES

Robert Stephenson, qui a mis au point la première locomotive à vapeur vraiment efficace, en 1825 et créé la première ligne de chemin de fer en 1838, n'osait pas étendre ses lignes et lancer des convois de plus en plus lourds sur des ponts de type "suspendu ",



Pont des roizes à Mareuil-les-Meaux (F-77) Canal de Chalifert



Détail du câble dit « fil de fer »



Pont de la Vierge, à Seyssel (F-74) sur le haut Rhône



Le pont bleu, à Loschwitz, sur l'Elbe (D)



Pont suspendu de Havratunet (N)



Passerelle de la « Weser promenade » à Minden (D)

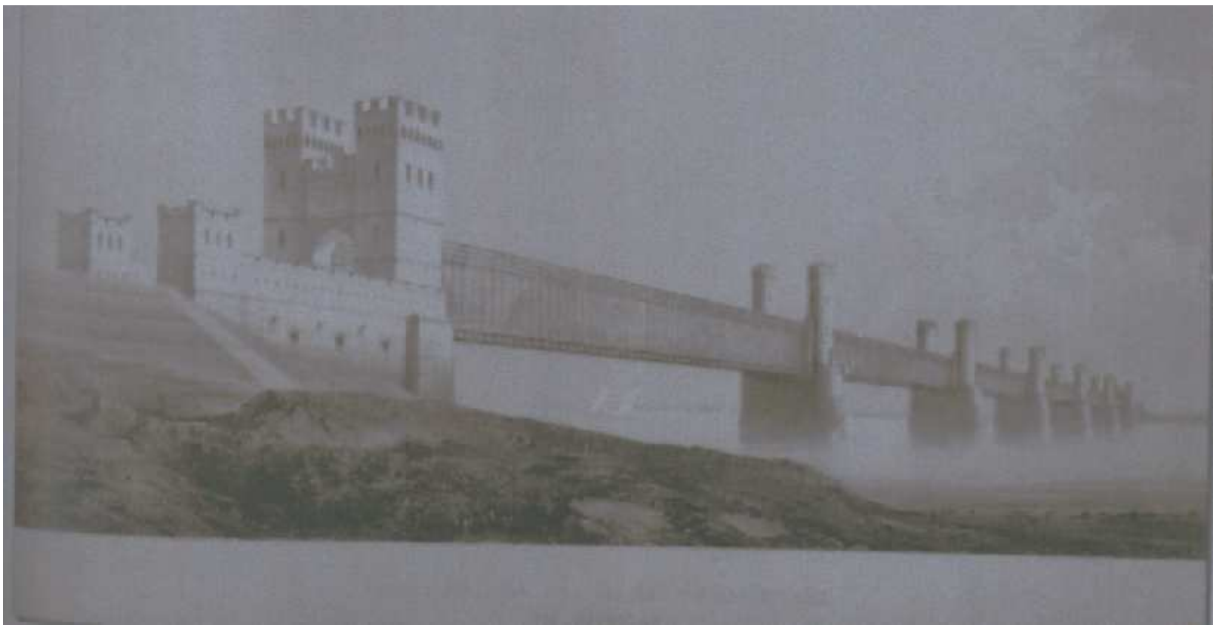


Les ponts suspendus portent aussi des tuyaux. Feeder de Smederevo, sur le Danube (Serbie)



Elégance d'un petit pont suspendu, à Oich, sur le Caledonian canal (Ecosse)

malgré l'exemple de Thomas Telford reliant l'île d'Anglesey au pays de Galles, sur le détroit de Menai, en 1826-par un pont suspendu long de 176 m. Un autre pont à Convay castle, atteignait à peine 100 m.
Stephenson reprit une autre technique : Kaye avait lancé en 1845, sur le Royal canal, près de Dublin, une travée de 42 m composée de poutres maîtresses raidies par un fin maillage de lattes de fer. C'était, disait- on, une transposition des anciens ponts de bois d'Amérique.
Stephenson ouvrit au chemin de fer le pont « tubulaire », nommé Britannia, long de 46 m, sur le détroit de Menai, à côté du pont routier de Telford.
On imagine les difficultés pour calculer, à cette époque, ces structures complexes. Il fut obligé de recourir à un pont suspendu provisoire. Le premier train passa en 1850.
L'allemand Lentze, chargé de relier Berlin à Königsberg par-dessus la Vistule, à Tczew, réalisa, de 1850 à 1858, un tubulaire de 6 travées, long de 837 m.
La difficulté étant toujours de caler les éléments pour éviter le gauchissement, les déformations. Jamais on n'avait lancé de poutres de cette longueur. Henri Navier avait commencé, vers 1830, à étudier les lois de flexion des poutres. Les premiers traités de la résistance des matériaux paraissaient à peine. On manquait de connaissances théoriques pour le dimensionnement des structures.
Après avoir essayé d'enfoncer des coins de bois pour régler les joints on réussit avec des tiges de fer forgé terminées par un filetage. Des écrous permettaient un réglage précis.
Les « tubes » étaient rivetés au sol, puis élevés avec des vérins hydrauliques. De puissantes tours de maçonnerie calant les extrémités de chaque travée. La mode voulait, au XIX° s., en Angleterre comme en Allemagne, qu'on leur donne un aspect médiéval, avec des créneaux.
Ces ponts tubulaires ont un aspect gigantesque. Celui de Tczew a été doublé par un pont à poutres courbes en



Aspect initial du pont de Tczew (Pol)



Pont de Salstash (GB)



Pont tubulaire de Tczew, sur la Vistule (Pol)



forme de poissons (1891). Ils ont été, l'un et l'autre, dynamités plusieurs fois, réparés, reconstitués avec des techniques différentes, offrant un des sites les plus passionnants parmi les ponts d'Europe. Lentze a construit un deuxième tubulaire, à Marbrok (Pol) sur le Nogat (1891). D'autres ont été lancés à Offenburg (D) (1858), à Cologne (1859), à Waldshut (1859) à Kehl (1861). Celui-ci ayant pour particularité: des portiques en fonte.
La technique du fer puddlé - méthode qui consiste à affiner la fonte en la décarburant - fut catastrophique pour les ponts : 200 s'effondrèrent de par le monde.
A propos de fer puddlé... il faut mentionner les rails :

Le RAIL SORT de l'ORNIERE

En vieux français la « rèle » était l'ornière laissée par le passage d'une voiture (On parle aussi, au moyen âge, de « chemin ferré » pour indiquer la solidité d'une route pavée).
Les anglais nous ont renvoyé le mot « rèle » en l'écrivant autrement mais avec la même signification :
Ils réalisaient, dans les mines, des voies de guidage en déposant des planches dans les ornières. Le système est décrit par Désaguliers, avec des wagons à roues, dans son « Cours de physique expérimentale » publié à Londres, 1734.
Il est perfectionné quand on recouvre le bois d'une lame de fonte. Il y a une voie de cette sorte aux forges d'Indret (F-44) en 1780. Le rail en fer n'arrive en Angleterre qu'en 1820.

En FER

Le pont de Neuvial sur la Sioule (F-03) est le premier construit par Eiffel. Le tablier métallique est porté par des colonnes creuses en fonte (1871). Il faut remarquer la prudence d'Eiffel: il a réalisé le viaduc de Garabit (1888) en fer parce qu'il avait des doutes sur la régularité de fabrication de l'acier. Le premier pont d'acier a été bâti sur le Mississipi en 1874. En France, les grands viaducs en acier ne datent que de 1902 (le Viaur) 1909 (les Fades).



Le pont « à semelles inversées » de Hambourg (D)



Pont sur le chenal d'Amsterdam

L'Angleterre est marquée par les travaux du génial Isambard Brunel - cet anglais bien français - dont le chef d'œuvre est le Royal Albert bridge, à Saltash, près de Plymouth - 1859. Deux poutres courbes, une dessus, une dessous dessinent une forme de poisson.
Le même dessin, à Hambourg est dit « à semelles inversées » (1872).
Les systèmes réticulés sont d'inspiration américaine, avec des barres triangulées, en fers plats ou profilés, formant treillis.
Les premiers ponts en fer français sont près de Paris : Clichy et Asnières, par Flachat en 1852. Le pont d'Arcole est de 1856, avec une arche d'une portée de 80 m.
La distinction n'est pas si nette entre « fer » et « acier ». Qui sait que la Tour Eiffel est en fer ? Un maître de forges à qui on posait la question : « Depuis quand fait-on de l'acier ? » a répondu : « Depuis l'âge du fer. ». Les hollandais disent qu'ils ont été les premiers à construire en acier. Il a fallu attendre l'invention du convertisseur de Bessemer (1856).

En ACIER

Le pont de Langon (F-35) sur la Vilaine est le premier pont français en acier. Il a été construit en 1867, au Champ de Mars, à Paris pour une Exposition universelle et remonté à Port de roche où il est toujours en service.

Le pont Alexandre III (1900) est un des plus décorés. La première pierre a été posée par le tsar Nicolas II. Celle du pont de la Trinité (semblable mais un peu plus grand) à Saint Petersburg a été posée par le Président Félix Faure. Les voussoirs sont en acier moulé, car on ne savait pas, à l'époque, faire de l'acier laminé d'une épaisseur suffisante. La portée (107 m) est très surbaissée ; ce qui donne une poussée considérable aux culées.

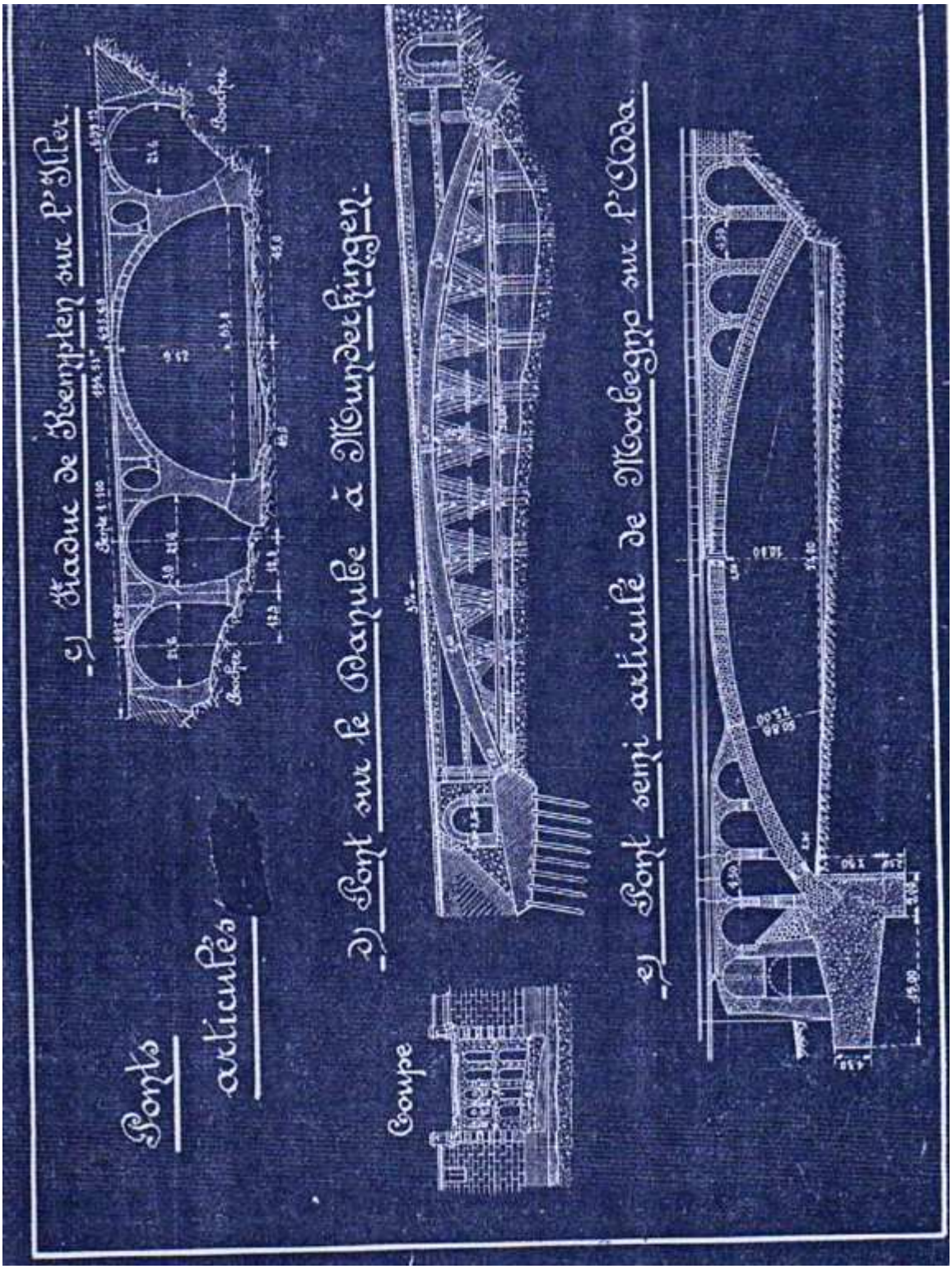
La lourde silhouette, avec triangulation en V inversé du pont de la Mulatière, à Lyon, se retrouve à Moissac (F-82) et en Indochine, à Hanoï (pont Paul Doumer sur le fleuve rouge).

Les ingénieurs ferroviaires ont une prédilection pour les ouvrages métalliques qui leur permettent quelquefois l'utilisation d'aciers de peu d'épaisseur, un montage rapide, un entretien facile (une couche de peinture tous les dix ans !). Ils citent l'exemple du pont de l'Yerres, à son confluent dans la Seine (Villeneuve Saint Georges (F-94)) : La circulation n'a été interrompue que 48 heures, le temps de changer deux tabliers.

L'ACIER SOUDÉ se voit souvent dans les ponts russes, développant les techniques qui ont permis, pendant la guerre, de multiplier... à l'infini ...les chars T 34.
A Zaporoje (aujourd'hui en Ukraine) les russes ont lancé, vers 1980, un grand viaduc circulaire monté sur de fins poteaux métalliques soutenant une poutre flanquée d'encorbellements.
En France, l'acier soudé était utilisé à Ourscamp (F-95) sur le canal latéral de l'Oise) en 1936. Le pont de Neuilly (F-92) en acier soudé – 1946 - supporte une ligne de métro.
Au XX° s. il n'est plus possible de classer les ponts uniquement suivant leur matériau (fonte, fer, acier...). Ils sont souvent mixtes (acier-béton par exemple). Ils sont caractérisés par leur forme, par les techniques de leur ingénieur :

ACIER-BETON : Un tablier composite à poutre ou bipoutre ou multi poutres accepte des dalles en béton.

CANTILEVER ou en porte-à-faux ou à consoles : les grandes masses de l'ouvrage sont réparties sur les piles de manière à s'y équilibrer et à ne produire sur elles que des efforts verticaux. Un cantilever travaille comme un pont à poutre. Le plus célèbre est le pont du Firth of Forth (1890) en Ecosse. Malgré sa masse énorme, les aviateurs allemands n'ont jamais réussi à l'abattre. A Paris, le pont de Bir Hakeim (1906) et le pont Mirabeau (1896) sont des cantilever, conception voisine des


Ponts
articulés
1) Viaduc de Kempten sur l'Iller.
2) Pont sur le Danube à Mündelfingen.
Coupe
3) Pont semi articulé de Morcegno sur l'Adda.

ARCS à TRIPLE ARTICULATION où des coupures permettent un mouvement relatif des éléments, technique américaine qui évite les effets de la chaleur.
Sur les dessins d'architectes ci-contre, on voit bien les points d'articulation. Le pont d'Austerlitz, à Paris est de 1904.

ARC TENDU ou Bow string : Les ponts retrouvent une silhouette aérienne avec cette membrure supérieure courbe dont les poussées sont équilibrées par un tirant. Le tout maintenu par des suspentes. Le plus ancien, en France, est à Aulnoye (F-59) sur la Sambre .Cette forme s'est généralisée, vulgarisée. Il y a des bow strings partout...

Mais certains architectes ont cherché des variantes, par exemple en plaçant le tablier au-dessus et l'arc en dessous... en jouant avec deux arcs ou avec les suspentes... qui peuvent être parallèles ou rayonnantes. Exemple, le pont Saint Gilles sur le petit Rhône (F-30) offre une portée de 120 m du meilleur effet : l'arc est double, les suspentes sont inclinées (1999).
La passerelle (2006) qui relie Huningue (F-68) à Weil am Rhein (D) pèse mille tonnes d'acier pour une portée de 230 m.
Le pont T.G.V. à Pierrelatte (F-26) sur le Rhône a deux travées métalliques qui n'en paraissent qu'une seule : Les deux arcs sont réunis par un jeu de contreventements - 2000.

PONT à BEQUILLES
Le tablier est soutenu par deux béquilles inclinées ; elles peuvent être en caisson d'acier ou en béton précontraint. Sur le canal de Caronte, à Martigues (F-13) où passent de gros bateaux (hauteur libre : 50 m) le tablier long de 110 m et les consoles de soutien sont tombés dans le chenal pendant le montage (1971).

PONTS en BETON ARMÉ : Monier inventeur du béton armé, a laissé le plus ancien exemple connu (1875) au château de Chazelet, à Saint Benoit du sault (F-36).



Pont de Saint Gilles (F-30) sur le petit Rhône



Pont T.G.V. de Donzère (F-26) sur le Rhône



Pont de Port-de-roche à Langon (F-35) autrefois à Paris



Séville (E) Pont Isabelle II (ou de Triana) sur le Guadalquivir
Copie du pont parisien du Carrousel en fonte, de Polonceau (1834)



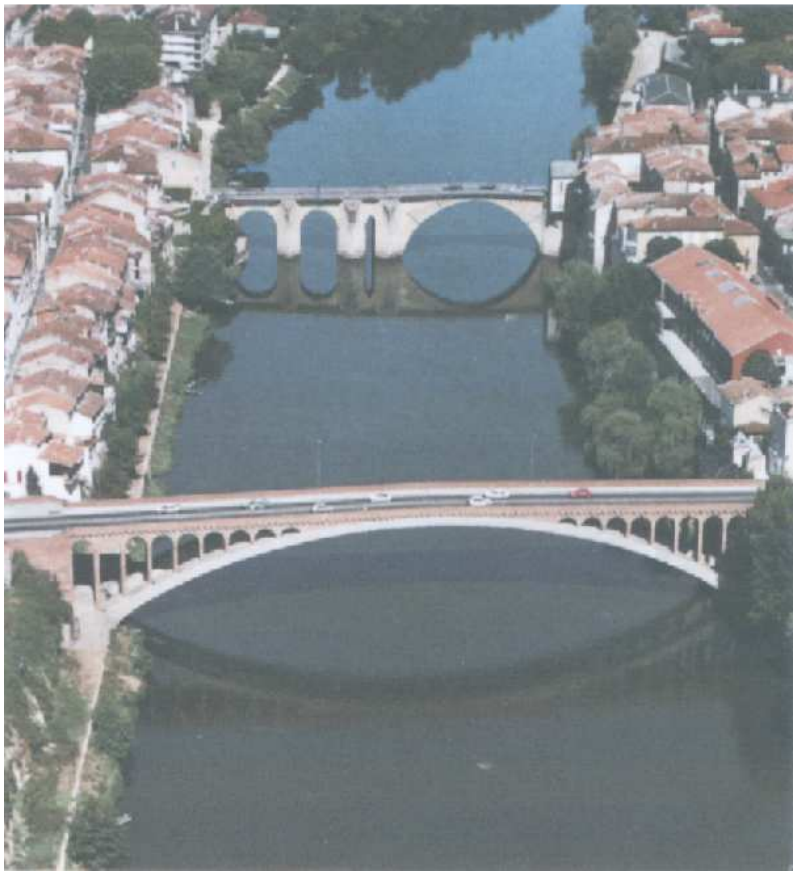
« Pont-chameau » de Zehdenik (1882) sur l'Havel (D)



Pont cantilever (1890) du Firth of Forth (Ecosse)



Pont à béquilles (1971) de l'autoroute A55 sur le canal de Caronte (F-13)



Pont Freyssinet de Villeneuve s/ Lot (F-46)

Passerelle de Huningue (F-68) à Weil am Rhein 2006





Passerelle du millenium au N de Magdebourg (D)

Il y a des ponts en arc en béton non armé. Freyssinet, pendant la première guerre, a lancé une arche non armée à Villeneuve sur Lot (F-46). Elle est toute habillée de briques. Il y en a une autre à Bellegarde (F-01) sur le Rhône.
Le XX° s. a apporté une révolution dans l'art de bâtir : Les constructeurs ont réuni l'acier et le béton de ciment dont les coefficients de dilatation - et par suite les déformations - sont en parfaite concordance.
Le ciment résiste bien à la compression et mal à la tension. Le fer résiste très bien à la tension et à la compression quand il est empêché de fléchir par flambement. Les efforts de tension sont supportés par le fer et les efforts de compression par le béton. Un monolithe en béton armé supporte d'importants allongements.
Le béton armé peut être mis en œuvre sous les formes les plus variées : pont en arc, ou en bow string ou en poutres consoles ou tout simplement en poutres. Il a été très utilisé pour réparer les dommages de guerre Le premier pont français en ciment armé est à Châtellerault (F-86) en 1900.

Les ingénieurs ferroviaires ont longtemps hésité devant cette technique nouvelle : le premier pont rail en béton armé n'a été lancé qu'en 1923 dans la vallée de la Sambre près de Charleroi (B) sur un projet d'Eugène Freyssinet.
Le pont de Plougastel sur l'Elorn maritime (1930) est un monument « énorme » de Freyssinet conçu pour route et rail superposés, comme son semblable à Zaporoje sur le Dnieper (Ukr).
L'ouvrage le plus curieux est le pont Lafayette, à Paris (1928). Deux travées avec poutres en treillis enjambent la Gare de l'Est. C'est la silhouette classique d'un pont métallique mais celui-ci est traité en ciment armé. Cette masse énorme a été soulevée de 71 cm en 1961 pour permettre le passage des caténaires.
A Paris, les ponts bien connus de la Tournelle (1928) et du Carrousel (1939) sont en béton armé. Un cintre en bois est nécessaire pour lancer un arc en béton armé, mais il peut être construit, dans les sites difficiles, par moitié de chaque côté et rabattu en place pour le bétonnage.



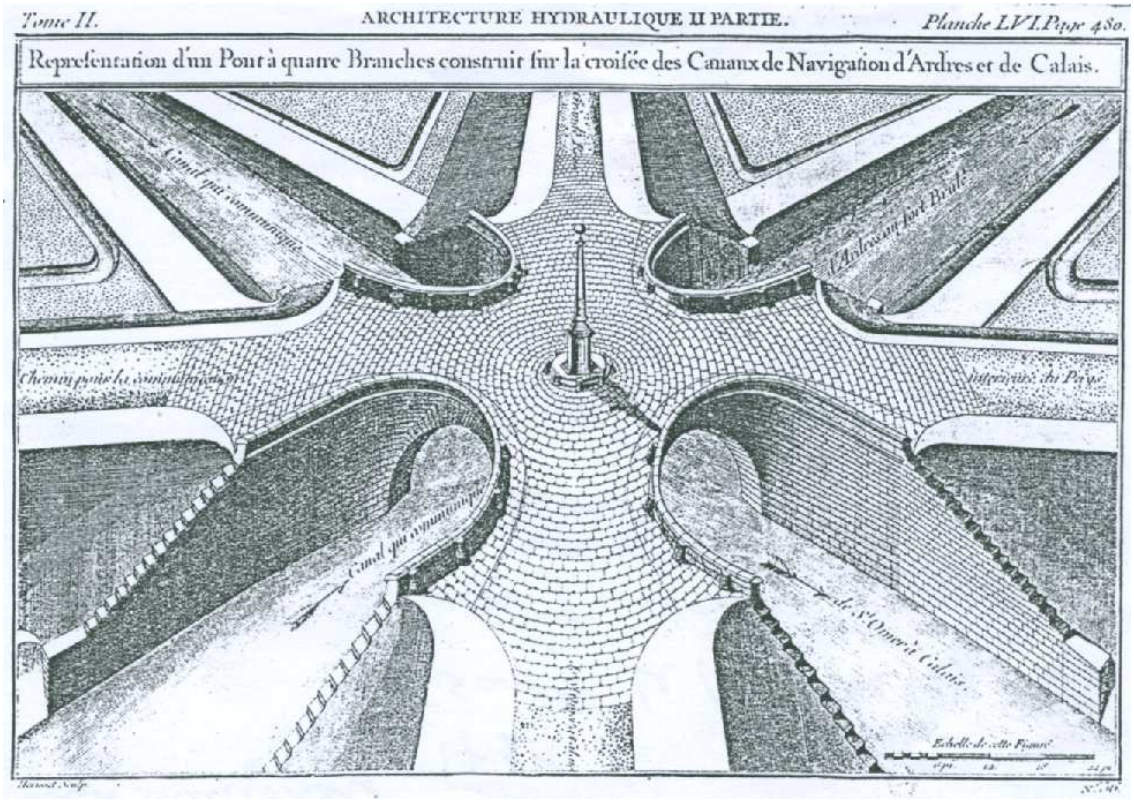
Pont fer et route de Zaporoje (Ukr)



Périphérique de l'écluse de Zaporoje (Ukr)



Le « Pont sans pareil » à Ardres (F-62) le plus savant de tous, selon Belidor – 1749, dynamité par les allemands en mai 44, reconstruit en précontraint, en 1970. Etat actuel…



PONTS en BETON PRECONTRAINT

« Précontrainte » et « postcontrainte » sont des techniques audacieuses qui méritent quelques précisions. Elles découlent des brevets pris, à partir de 1928, par Eugène Freyssinet (1879 -1962) qui a été vite célèbre par ses hangars à dirigeables d'Orly, la halle de Reims, le « Sernam » du quai d'Austerlitz, mais qui a rénové « l'art des ponts ».

Le but est de réaliser un monolithe ou à assembler - par précontrainte - des éléments préfabriqués pour retrouver le monolithisme. Comparaison avec des morceaux de sucre : si on les met bout à bout, on peut les lever d'un bloc en serrant les extrémités. Suffisamment pour que les morceaux ne tombent pas mais suffisamment pour éviter l'écrasement ou la dislocation de l'ensemble.
Pour éviter qu'une poutre en béton ne travaille en traction lorsqu'on la charge- elle a tendance à se fissurer- il faut la comprimer au préalable au moyen d'un câble, créer des contraintes inverses à celles qui seront naturellement subies pendant la mise en service. C'est la **précontrainte.**

Si on veut la charger davantage, il faut mettre plus de précontrainte, mais si on en met trop, on risque de voir la poutre éclater par le haut.

Quand une pièce de béton subit une compression, outre le raccourcissement élastique immédiat, elle se raccourcit également au cours du temps. C'est le phénomène du **fluage** qui ne dure que quelques mois. Ainsi quand on précontraint le béton par des câbles, il est important d'utiliser des aciers de grand allongement pour qu'après fluage ces câbles restent encore suffisamment tendus pour exercer la contrainte nécessaire.

Les armatures sont tendues avant coulage. Le dispositif qui tendait les armatures est ensuite supprimé. La tension existant alors dans les armatures est en sens inverse des contraintes qui aboutissent à la fissuration.

La méthode de **postcontrainte** : Une fois le béton coulé en coffrages sur cintres les câbles sont enfilés dans des gaines vides noyées dans le béton selon des cheminements (généralement paraboliques) propres à reprendre les efforts. Après blocage des câbles à une extrémité, on exerce une traction à l'autre extrémité en prenant appui sur le béton pour les allonger d'une valeur donnée à l'aide de vérins permettant de connaître l'effort. Les frottements des câbles dans leur gaine permettant de déterminer la valeur exacte de la précontrainte mise dans la poutre. Un coulis de mortier est injecté dans les gaines pour bloquer les câbles.

Les ingénieurs aménagent des passages à travers les caissons qui permettent, s'il le faut, d'ajouter des câbles de précontrainte extérieure. Ces ouvrages se construisent sur cintres. Sous l'action de la précontrainte, l'ouvrage se cambre et se décintre tout seul Bien souvent, depuis 1968, le tablier avance par poussage longitudinal. Certains sont construits avec un cintre auto-lanceur qui se déplace en s'appuyant de pile en pile. On voit aussi des tabliers avancer en encorbellement avec des poussoirs préfabriqués.

Freyssinet a construit, de 1946 à 1950, les ponts élégants, sur la Marne, d'Ussy, Annet, Esbly, Trilbardou, Luzancy. Les tabliers comportent plus de mille éléments assemblés par précontrainte. Le béton est précontraint dans les trois directions.
La SNCF a tardé à appliquer cette technique. Elle n'a fait, avant les années 70, qu'un seul grand viaduc précontraint (1953) à La Voulte sur Rhône.
La courbe du viaduc T.G.V. de Chalifert (F-77) long de 1175 m, survole la Marne, l'écluse du canal de Chalifert et deux tunnels. L'ouvrage a pris sa place, en 1993, dans un pittoresque carrefour de communications. Ici il a fallu pousser 32.000 tonnes. Dans un virage.
On apprécie aussi le pittoresque viaduc Jules Verne -1987 - à Amiens (F-80) : porté par des colonnes dédoublées, coiffées de chapiteaux, dans le calme décor du canal de la Somme.

Le précontraint a ses propres qualités esthétiques. Cependant on ne saurait le mettre à toutes les sauces : Le « Pont sans pareil » bâti en 1749 à Ardres (F-62) était un ouvrage exceptionnel, à quatre voies convergeant au-dessus du bassin de croisement du canal Calais-Saint Omer et du canal d'Ardres aux trois cornets. Belidor a donné un dessin précis de ce chef d'œuvre. Les allemands l'ont fait sauter (en dehors de toute action militaire) le 11 mai 1944. Sa reconstruction en 1968 a peut-être été un jeu amusant pour les ingénieurs du précontraint. Le résultat est assez vilain. Il y a des monuments historiques qu'on ne peut reconstruire qu'en pierre...



Trilbardou (F-77) l'un des cinq ponts « précontraints » construits sur la Marne par Freyssinet. Noter la triangulation sur la pile.



Le pont courbe du TGV d'interconnexion de Paris domine l'écluse de Lesches (F-77) sur le canal de Chalifert.



Les ponts TGV d'Avignon (F-84)



Le viaduc Jules Verne – 1987 – traverse, près d'Amiens (F-80), la vallée de la Somme.

Sur le Rhône, les deux viaducs TGV parallèles d'Avignon (F-84) longs de 1520 m, portant chacun deux voies, sont spectaculaires.

Le XIX° s. a multiplié les grands viaducs traversant de larges vallées. Au XX° s les ponts franchissent des bras de mer : Les 46 travées du pont d'Oléron, long de 2862 m, datent de 1966. Le pont de l'île de Ré, long de 2927 m est de 1988.

PONTS à HAUBANS

La technique du haubanage est ancienne. On classe parmi les ponts haubanés :
- celui qui portait « le tacot des côtes du nord » sur l'estuaire du Trieux à Lézardrieux (F-24) depuis 1924.
- celui de Tampul, sur le Guadalete (E) 1928.

Mais cette technique se développera à partir des années soixante. Les ponts à haubans se composent de câbles inclinés qui compriment le tablier et s'accrochent à un ou à des pylônes. Les architectes ont su varier à l'infini des silhouettes surprenantes. C'est la disposition des câbles qui offre le plus d'originalité : ils sont « en harpe » quand ils sont parallèles entre eux. Ils sont « en éventail » s'ils partent tous du même point au sommet du pylône. Les câbles peuvent être arrimés de chaque côté du tablier ou dans son axe. Parfois, il n'y en a que deux. Mais, plus souvent, des dizaines.
Un pylône - ou plusieurs pylônes - peuvent être en forme d'obélisques, de lyre, de « V » renversé, d'« Y », de portique...



Pont sur le Waal (NL) 2 pylônes – voies doubles fer et route



Le Danube à Bratislava (SK) Pont de 400m sur un seul pylône (80m) portant un café – 1972



Au pont-route de Koblenz-Nord, il y a deux poutres en béton. La voie est entre les deux (D)



Pont sur le canal Albert (B) Harpe d'un côté, éventail de l'autre



Pont de Weissenthurm (D) La poutre – caissons en acier – soutient des bracons





Pont Erasme, à Rotterdam



Viaduc de Millau (F-12) – 2005



Bonn (D) haubans en éventail soutenant une dalle de béton



Le tablier peut-être une poutre à treillis en fer ou en acier, formée de pièces entrecroisées- en croix ou en « N », rivetées ou soudées. Le treillis, simple ou multiple, se trouve dans le traité d'architecture de Palladio.

Le tablier peut être une poutre à caissons préfabriqués (acier ou précontraints) collés bout à bout.

Le pont de Brotonne (F-76) sur la Seine a étonné par sa perfection, son élégance, dès 1977. Sa portée centrale est de 320 m. Sa longueur totale : 1278. Tablier en caissons de béton. Haubans en une seule nappe. Il ouvre l'ère des records. Où sera le plus long pont à haubans ? La Chine et le Japon prendront la première place pour longtemps.

Le pont de Normandie (1995). Quatre voies. Une portée centrale de 856 m, à 53 mètres au-dessus de la Seine. Les deux pylônes creux sont hauts de 215 m. De plus, le pont descend, par ses pieux de fondation à 50 m sous terre.
Les éléments précontraints du tablier ont été construits en fléau, c'est-à-dire en consoles à partir des piles. Elles se rejoignent avec la partie centrale en acier. Il y a 186 haubans à 51 torons (le plus long mesure 450 m). Le concepteur du pont de Normandie est Virlojeux.

A Lisbonne, le pont Vasco de Gama a demandé 18 mois de travaux: 6 voies de circulation, 44 piles, 4 pylônes de 150 m plantés dans une zone sismique, 1998.

Le pont de Saint Nazaire (F-44) 3356 m. Ouvert en 1975 offre une hauteur libre de 61 m.

Le pont de Zélande, sur l'Escaut - Est (NL) 1965 - mesure 6 kms.

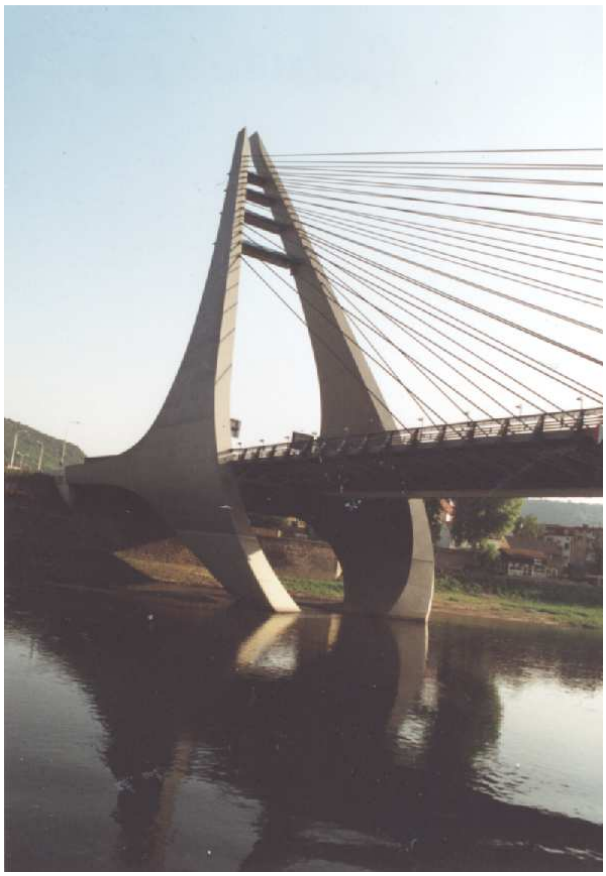
Le Grand Belt, qui relie le Danemark à la Suède, en 13 kms, y compris la travée suspendue, est le plus long de tous les ponts à haubans.



Pont de Rheindorf (D) Deux pylônes – câbles en harpe



Pont Severins à Koln (D) Premier grand pylône en « A ». Haubans en éventail – 1959



Usti sur l'Elbe (CZ) sans haubans de retenue

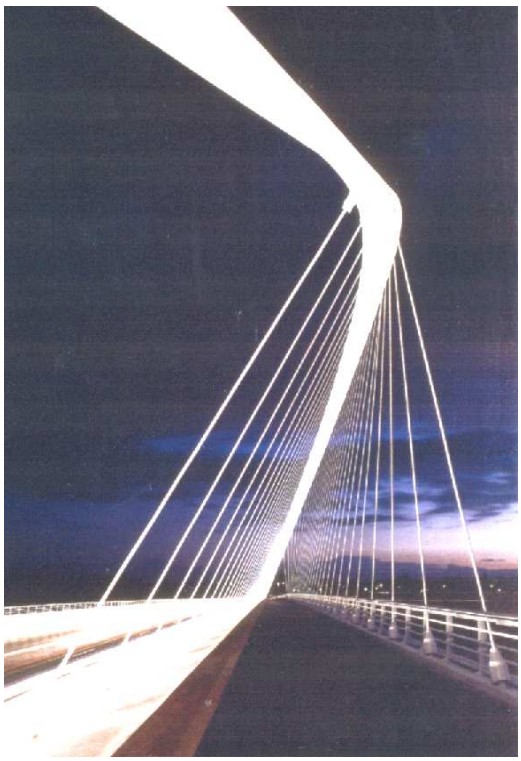




Pont de Plankstetten – Main – Donau Kanal (D)



Canal Rhein-Herne (D)



Pont de l'Europe à Saint Jean de la Ruelle (F-45)



Pont sur la Sava, à Belgrade (SR 1956). Poutre-caissons en acier. Pendant la guerre de Yougoslavie, la foule se portait sur les ponts pour dissuader les américains de les bombarder



Les haubans d'un pont à Kiev (Ukr)



Pylône en « A » renversé : Düsseldorf (D)



Pylône en forme de lyre, à Tarascon (F-13)





Les architectes rivalisent pour alléger les lignes des ponts :

La route E31 sur la Moselle (D) près de l'écluse de Lehmen

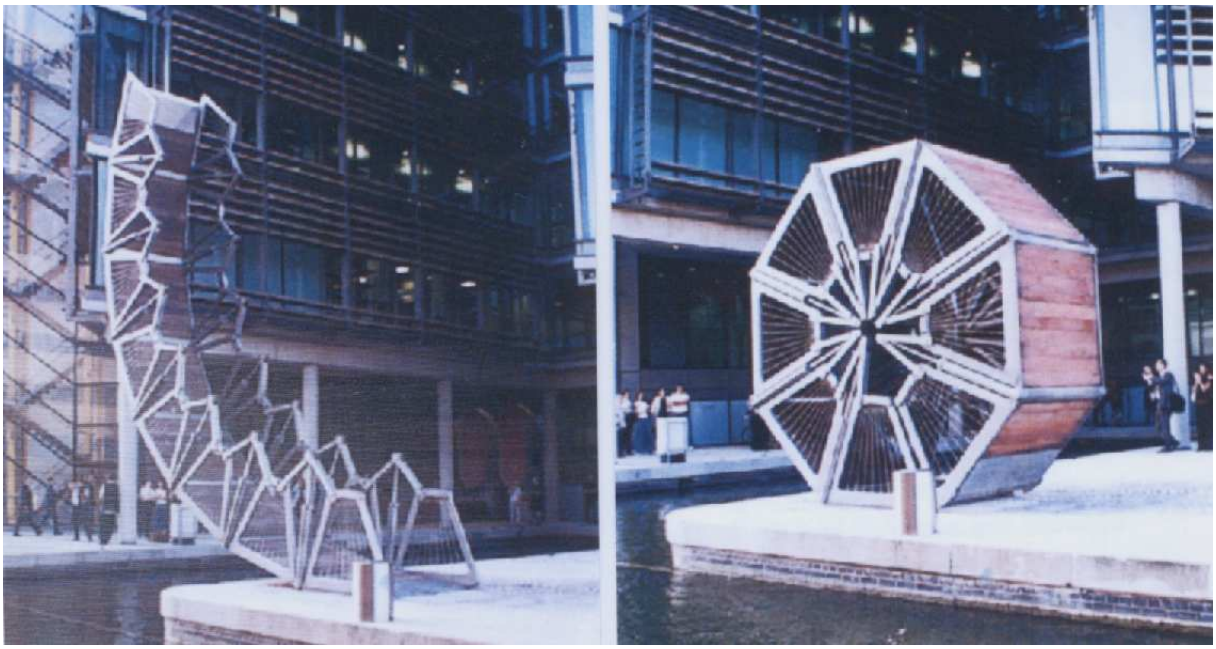
Le pont d'Alamillo à Séville (E) Un seul pylône. Aucun câble de retenue



Elégance d'un pont entièrement habillé de faïence blanche, à Brandebourg, sur l'Havel (D)



Passerelle-escargot de Marx & Spencer au Bassin de Paddington, à Londres
Passerelle ouverte
Passerelle en cours de fermeture





Une passerelle desservie par ascenseurs. Victoria docks, à Londres



Pont routier flanqué d'un ascenseur, à Puumala, sur le lac de Saimaa (Fin)

Le pont de Millau (F-81) dû à Norman Poster, long de 2470 m, haut de... 343 m, a été ouvert en 2004.
Tous ces ponts immenses sont conçus pour résister aux vents violents. Les ingénieurs ont tous en mémoire la chute du pont de Tacoma (US) en 1940 qui se tortilla sous un vent de 70 km/h. Ils ont recours à des pièces profilées selon l'aérodynamique, à des joints télescopiques, à des amortisseurs. On dit que le pont de Normandie peut s'élever de 30 cm et s'abaisser d'un mètre.
Les ingénieurs se défient également des tremblements de terre qui ont détruit un pont à San Francisco en 1989, un autre à Kobe, au Japon, en 1995 :
Pour le nouveau pont de Rion - Antirion ouvert en 2004 dans le golfe de Corinthe (GR) ils ont mis au point une technique qui permettrait de sauver le pont en cas de séisme atteignant le 7 sur l'échelle de Richter.
De plus, le sol marin était mauvais : Ils l'ont renforcé avec 200 tubes d'acier descendant jusqu'à 30 mètres. Sur ce fond, ils ont simplement posé 4 embases d'un diamètre de 90 m, qui peuvent glisser en cas de sinistre. Au-dessus de ces semelles, 4 pylônes portent 368 haubans et dominent les flots à une hauteur de 163 m. L'ouvrage a une longueur totale de 2883 m.

PASSERELLE ESCARGOT

Une passerelle tout à fait originale se voit à Londres: Le quartier général de Marx & Spencer est établi autour d'une pièce d'eau alimentée par un petit canal dépendant du nouveau bassin de Paddington. Une passerelle rétablit la continuité du chemin de halage. Quand un bateau doit entrer dans le bassin, la passerelle se lève, se replie sur elle-même, à plusieurs reprises - tel un escargot - jusqu'à dessiner un parfait octogone

PONTS - ASCENSEURS

Des architectes, ayant à résoudre le problème posé par un pont desservant deux niveaux, ont complété leur ouvrage par un ascenseur. A Londres, dans les anciens docks comme en Finlande, sur le lac Saimaa.



Décor rostral du pont-canal de Briare, par Gasne (1896) Canal latéral à la Loire



(1867) à Sarralbe (F-57) Canal de la Sarre

Les PONTS-CANAUX

Quand l'ingénieur qui trace un canal rencontre une montagne - ou un simple accident de terrain - il peut éviter l'obstacle en le contournant, en passant en tranchée ou en forant un souterrain. Mais quand il doit franchir une vallée, croiser une rivière ou simplement changer de rive, il n'a souvent pas d'autre solution que de passer par-dessus l'obstacle, de lancer un pont-canal. Le plus ancien pont-canal, toujours en eau et navigable (pour des canoës) est le Pont des Arvaux, à Noiron sous Gevrey (F-21) à 4 kms du canal de Bourgogne. Il a été construit, au début du XIII° s., par les moines de l'abbaye toute proche de Citeaux qui ont fait passer la Sans-Fond par-dessus la Varaude. On ne sait pas comment les moines naviguaient mais leur premier but était de réunir toutes les eaux leur appartenant, de les isoler des eaux des voisins pour faire tourner à plein leurs moulins, moteurs de toute industrie. L'ouvrage, reconstruit en 1746, est très lisible. Les pierres anciennes se distinguent parmi les pierres neuves. La présentation du monument est soignée.

En Italie, le premier pont-canal aurait été construit en 1470 sur le canal Martesana pour franchir le Molgora... Il y a bien, aujourd'hui, à Bussero, un pont-canal - en ciment -bien décevant, sans aucune indication... mais ces environs de Gorgonzola sont délicieux avec le pont-couvert en bois du palais Serbelloni... le pont de pierre Napoléon...
En France, au canal du midi, Riquet a jeté une arche en anse de panier sur le Répudre en 1676 (F-11) Vauban a prescrit les ponts-canaux de la Cesse et de l'Orbiel - 1686 - considérés comme des chefs d'œuvre d'architecture classique.
Au milieu du XVIII° s., en Espagne, Pignatelli a construit la gigantesque « muraille de Grisen » sur le rio Jalon, au canal impérial d'Aragon. C'est peut-être le plus long de tous les ponts canaux.
Le canal de Castille compte 69 ponts-canaux. Lemaur a lancé le plus beau : les cinq arches de pierre blonde du pont-canal de San Carlos de Abanades sur le rio Valdavia.



Pont-canal des Arvaux, à Noiron sous Gevrey (F-21) XIII° s. et 1746



Canal du Midi : Pont-canal sur la Cesse (F-11) 1686



Canal impérial d'Aragon (E) Pont-canal de Grisen, à Alagon sur le rio Jalon, par Pignatelli, XVIII° s.



Canal de Castille (E) Pont canal de San Carlos de Abanades, par Lemaur, XVIII° s.



Kennet & Avon canal (GB) Pont-canal d'Avoncliff – 1804 – par Rennie



Canal de Berry, sur le Cher (F-18) Pont canal de la Tranchasse – 1832. Après son élargissement – 1872 – des tirants maintiennent la cohésion de l'ensemble.