



HAL
open science

Les ponts - Historique

Stéphane Multon

► **To cite this version:**

| Stéphane Multon. Les ponts - Historique. Licence. France. 2008. cel-02155327v2

HAL Id: cel-02155327

<https://hal.insa-toulouse.fr/cel-02155327v2>

Submitted on 18 Jun 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les Ponts

Historique



Passerelle sur la Verzasca (Suisse)



Viaduc de Millau (France)

S. Multon

Les Ponts

multon@insa-toulouse.fr

Bibliographie

Livres

- Bennett D., 'Les Ponts', Eyrolles
Calgaro J-A., 'Projet et construction des ponts', Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées
Bernard-Gély A., Calgaro J-A., 'Conception des ponts', Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées
Coppolani J., 'Les Ponts de Toulouse', Privat
Lotte R., 'Construction d'un pont sous la Renaissance : Le Pont Neuf de Toulouse' Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées
Sassi Perino A., Faraggiana G., 2004, 'Les Ponts', Gründ
Vittone R., 'Bâtir, Manuel de la construction', Presses Polytechniques et Universitaires Romandes

Sites Internet

- Structurae, Galerie et Base de données internationale d'ouvrages d'art
Wikipédia, encyclopédie libre
<http://www.studiodifferemment.com>

Les Ponts

2

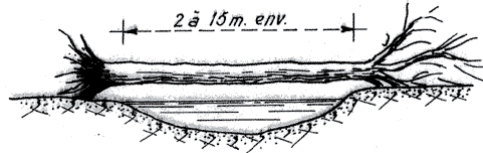
Historique

Les ponts primitifs

Les premiers ponts construits par l'homme :

- quelques pierres posées sur le lit d'un ruisseau
- un arbre jeté entre deux rives

→ Tronc = pont étroit



Le bois :

- Bonnes caractéristiques mécaniques
- Facile à travailler
- Assemblages simples de plusieurs éléments

Les Ponts

3

Historique

Les ponts primitifs

Multiples usages du pont :

- large et robuste pour passage du bétail
- plat pour transport de marchandises,
- mobile pour être retiré rapidement devant l'ennemi

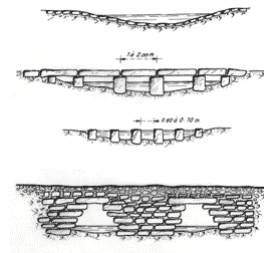
→ **Troncs servant de poutres** sur lesquels des rondins sont fixés

Piles = pierres entassées à même le fond des rivières

Dans les régions riches en pierre et pauvres en arbres
→ utilisation de dalle en pierre (portées faibles)



Pont de Dartmoon (XV^{ème} siècle)



Les Ponts

Historique

Les ponts de l'Antiquité

Age de Bronze (2500 à 1000 avant Jésus-Christ) :

- outils aiguisés ou haches
- Travées rabotées et interstices comblés par un mélange de branches et de terre

Durant la même époque

- **Ponts suspendus** constitués de cordes ou de lianes et de bambou (encore utilisé de nos jours dans les forêts péruviennes et les contreforts de l'Himalaya)

Historique

Les ponts de l'Antiquité

→ **Hérodote** (historien grec du V^e siècle avant Jésus-Christ) :

- **Plus ancienne description d'un pont** construit vers le VI^e siècle avant J-C.
 - **Pont** reliant les palais de **Babylone** d'une part et d'autre de l'Euphrate constitué de :
 - 100 piles en pierre,
 - reliées par des poutres en cèdre, cyprès et palmier
 - et formant une voie de 10 m de large et 180 m de long
 - le plancher était retiré chaque soir par crainte des ennemis
- Décrit également un **pont flottant** constitué de deux rangées de 360 bateaux fixés ensemble
 - construit par le souverain perse Xerxès
 - utilisé pour faire passer une armée de 2 millions d'hommes et de chevaux

Historique

Les ponts de l'Antiquité

→ Construction d'un grand nombre de **ponts en bois par les Romains** :

- César : des textes relatent la construction par ses armées d'un pont bois au-dessus du Rhin (55 avant J-C.) pour faire la guerre aux Germains
- Trajan : pont construit sur le Danube en 105 (**bas-reliefs de la colonne Trajane**) constitué d'arcs en bois reposant sur des piles de maçonnerie



(site internet **Bibliotheca Classica Selecta**)

Les Ponts

7

Historique

Les ponts de l'Antiquité

Construction en arc :

- quelques voutes construites en Egypte et au Moyen-Orient (entre 3000 et 1000 ans avant J-C.)
- généralisation dans la construction de ponts par les **Etrusques** (peuple vivant dans le centre de l'Italie durant le premier millénaire avant J-C.)
- développement de la technique par les **Romains**



Photo G. Métron - Structurae

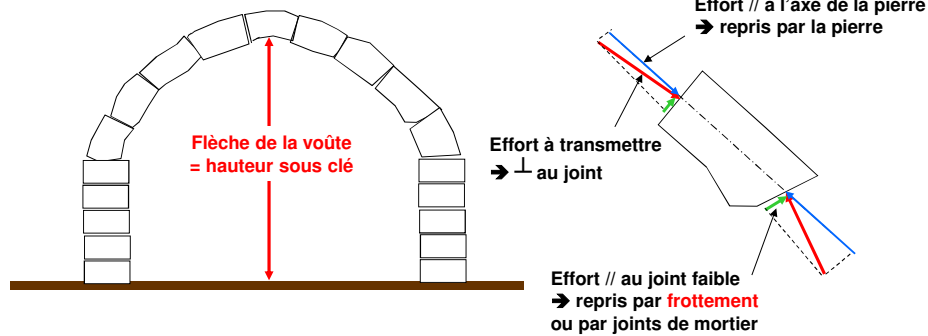
8

Historique : Ponts en arc

Matériau 'pierre' :

- Faible résistance en traction → **inutilisable en tant que poutre de grande portée**
- Bonne résistance en compression → **utilisable dans des voûtes**

Isolons une pierre de la voûte :

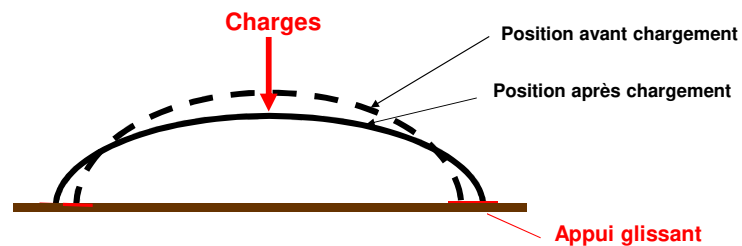


- Les pierres de cette voûte sont principalement soumises à de la compression

Historique : Ponts en arc

Structure 'voûte' :

- Sous chargement, la voûte se déforme
- Etudions une voûte dont **les appuis pourraient glisser** :

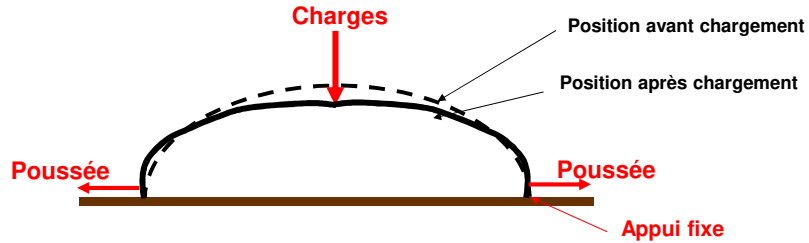


- Quand une voûte est chargée, les appuis 'veulent' glisser vers l'extérieur
- Dans un pont, ce glissement est impossible → apparition d'un effort horizontal en pied de voûte = c'est la **poussée**

Historique : Ponts en arc

Structure 'voûte' :

La poussée doit être reprise en pied de voûte



La poussée est reprise :

- par le sol s'il est de bonne qualité (roches)
- par les piles et les culées qui doivent être d'autant plus massives que la poussée est importante

→ Plus la flèche est faible, plus la poussée est importante

→ Plus la portée est importante, plus la poussée est importante

11

Historique

Les ponts de l'Antiquité

- Ponts en voûtes constituées de pierres taillées ou de briques
- Environs 70 ponts romains en pierres construits en Gaule (il en reste une dizaine)

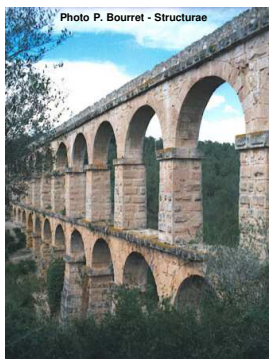


Photo P. Bourret - Structurae

Aqueduc de Tarragone
(100 ans après J-C.)

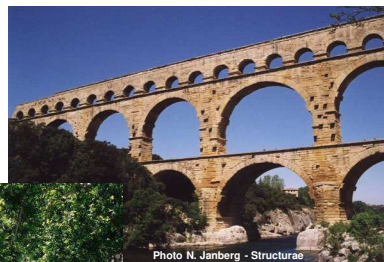


Photo N. Janberg - Structurae

Pont du Gard (1^{er}
siècle après J-C.)

Portée max = 24,4 m

Pont Fabricius à Rome (construit en 62 avant J-C.)

Portée = 24,5 m

12

Historique

Les ponts du Moyen Age

- Entre la fin de l'Empire Romain et le Moyen Age, peu de traces de construction de ponts
- Renouveau vers l'an 1000 par la puissance de l'Eglise
 - en 1244, construction d'un pont au-dessus de l'Arno par les moines de l'hospice Saint-Jacques en Italie du Nord
 - XIII^e siècle : fondation en France de l'ordre des **frères pontifes** qui travailla en France et en Grande-Bretagne pour aider les pèlerins en construisant des ponts sur les chemins de pèlerinage



Photo N. Janberg - Structurae

Pont d'Avignon (390 de long en 20 travées – portée max = **33,5 m**) : érigé par les frères de Saint-Jacques en 10 ans vers 1180

Les Ponts

13

Historique

Les ponts du Moyen Age

- Quand les frères pontifes ne furent plus assez nombreux
- Création de **guildes de maîtres-maçons**
- Beaucoup de ponts sont à péages
- Certains ponts furent fortifiés pour défendre les cités

Pont fortifié de Monnow (1270)

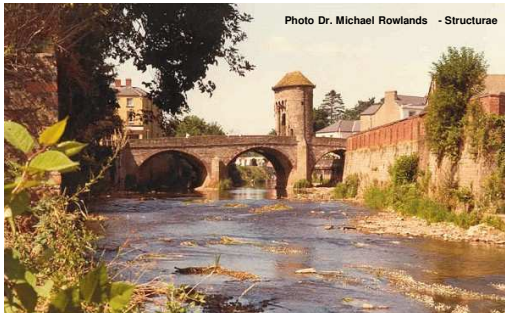


Photo Dr. Michael Rowlands - Structurae



Pont fortifié de Valentré (1308-1350)

Portée = 16,5 m

Historique

Les ponts du Moyen Age

- Au XIII^e siècle, manque d'espace dans les villes, limitées par une enceinte protectrice
- apparition de ponts habités, lieux de commerce et de passage à péage (souvent occupés par des marchands)

Ponte Vecchio – Florence (1335-1345) – portée max = 30 m



15

Historique

Les ponts de la Renaissance

- **Epoque de grandes découvertes en sciences, en mathématiques, en art et en architecture**
- La conception de ponts devient le fait d'architectes (Léonard de Vinci, Palladio...)
- Les lignes sont affinées

Ponte Santa Trinita – Florence (1566-1569)



portée = 32 m

Pont Neuf – Paris (1578-1607)



portée = 16,4 m

Ponts

16

Historique

Le XVIII^e siècle

- **Naissance du Génie Civil en tant que métier**
- Ouverture à Paris de l'Ecole des Ponts et Chaussées en 1747
- aspect technique de la construction prend le pas sur l'architecture
- recherche d'innovations (J-R. Perronet – France, J. Rennie – Ecosse)

Les Ponts

17

Historique

Le XVIII^e siècle

J-R. Perronet introduit des calculs à la méthode empirique :

- obtient des arches surbaissées de grande portée
- allège l'allure du pont et réduit la largeur des piles (intérêt esthétique et durabilité, les piles plus fines opposent moins de résistance au courant)

Pont de la Concorde – Paris (1787-1791) – portée = 31 m

Photo Inge Kanakaris-Wirtl - Structurae



18

Historique

Le XVIII^e siècle

- A la fin du siècle → **révolution industrielle en Grande-Bretagne**
- début de la production de **fonte** (alliage de fer et de carbone)
 - matériau **résistant en compression, peu en traction et fragile**
 - construction de ponts en arc plus légers que ceux en maçonnerie
- 1^{er} pont métallique : pont de Coalbrookdale en 1779 (**30 m de portée**)



Photo : M. Littrian - Structurae

- puis construction d'une 30^{aine} d'ouvrages mais Fonte = matériau fragile
- durée de vie de ces ouvrages faible

19

Historique

Le XIX^e siècle

- **Fin de l'utilisation** courante de la construction **bois** en Europe (sauf en Suisse)
- Au contraire, aux Etats-Unis, le bois est un matériau abondant et économique
 - pont à poutres-treillis et en arc en bois (jusqu'à **100 m de portée**)
- **Ultime stade d'évolution des ponts en maçonnerie**, réduction de la voûte à un arc mince + multiples voûtes secondaires (P. Séjourné)
- A partir de 1850, **développement des chemins de fer**
 - Construction d'un grand nombre de ponts en maçonnerie (les trains supportant de faibles pentes et de grands rayons de courbure)

Pont Adolphe – Luxembourg (1889-1904) – portée = 84 m

Photo P. Bourret - Structurae



Pont National – Paris (1852-1853) – portée = 35 m

Photo J. Mossot - Structurae



Historique

Le XIX^e siècle

Evolution des ponts suit les innovations en terme de matériaux

- Développement des ponts métalliques...

- production industrielle de **fer laminé** (bonne résistance à la traction et ductilité) puis de l'**acier** (caractéristiques mécaniques bien meilleures que celle du fer)

- ➔ allègement des structures

- ➔ nombreux ponts en arc de portée de l'ordre de **150 m**)

Les Ponts

21

Historique

Le XIX^e siècle

- ➔ Pont suspendu de Ménai (Pays de Galles)

- **1^{er} grand pont suspendu moderne achevé** en 1826 (construction dirigée par T. Telford)

- Suspension assurée par des chaînes ancrées dans la roche des rives



Pont du détroit de Ménai
(Pays de Galles – 1826) –
portée = 177 m

Les Ponts

22

Historique

Le XIX^e siècle

→ construction de **ponts suspendus**, de **ponts à poutres** métalliques (pleines ou treillis), des **ponts en arc-treillis**

Pont de Széchenyi – Budapest (1840-1849) – **port. = 202 m**



Milieu du XIX^e siècle :

Développement des théories de l'élasticité et de la résistance des matériaux

→ équations et calculs remplacent la méthode empirique et permettent la vérification des structures

Les Ponts

23

Historique

Le XIX^e siècle

Développement des ponts métalliques...

ponts à poutres métalliques, **ponts en arc-treillis en fer**

Pont Britannia – Pays de Galles (1850) – **port. = 146 m**



Viaduc de Garabit – Cantal (1881-1884) – **port. = 165 m** → G. Eiffel



Historique

Le XIX^e siècle

Innovations en terme de matériaux : les torons (obtenus par enroulement de fils d'acier) remplacent les barres

→ Pont des chutes du Niagara en 1855 (portée = 250 m) : 1^{er} pont à torons



25

Historique

Le XIX^e siècle

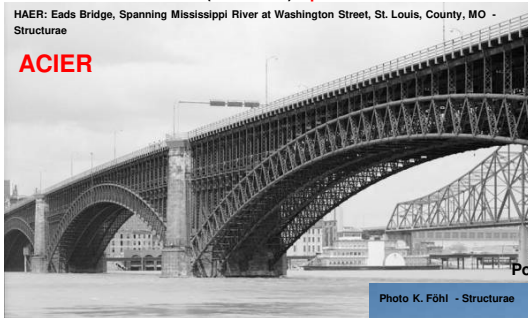
Développement des ponts métalliques...

ponts à poutres métalliques treillis, ponts en arc-treillis en acier

Pont Eads – Saint-Louis (1867-1874) – port. = 158 m

HAER: Eads Bridge, Spanning Mississippi River at Washington Street, St. Louis, County, MO - Structurae

ACIER



Pont sur le Forth – Ecosse (1882-1890) – port. = 521 m

Photo K. Föhl - Structurae

ACIER



Historique

Le XIX^e siècle

Innovations en terme de technique :

→ Pont de Brooklyn (1869-1883 – portée = 487 m) : pour obtenir un pont plus long, réalisation de fondations profondes, utilisation de caissons en bois dans lesquels les ouvriers travaillent dans une atmosphère sous pression (environ 30 morts)



27

Historique

Le XIX^e siècle

Evolution des matériaux

→ Apparition des ponts en béton armé :

- III^e siècle av. J-C. : les romains utilisent des ciments naturels de chaux et de cendres
 - redécouverte des ciments naturels au XVIII^e siècle,
 - élaboration de ciments artificiels au début du XIX^e siècle,
 - production industrielle de ciments artificiels à partir de 1850
- association du béton et d'armatures en acier, mis au point dans la seconde partie du XIX^e siècle
- à partir de 1890, construction des 1^{ers} ponts en béton armé

Viaduc de Glenfinnan (1898) –
portée de 15 m



Les Ponts

Photo R. Cortright - Structurae

Historique

Le XX^e siècle

Innovations en terme de technique :

→ **Golden Gate** (1933-1937 – portée = 1280 m) : pour obtenir un pont plus long, réalisation de pylônes plus hauts :

- solution en pierres trop lourde → réalisation de pylônes en plaques d'acier pour alléger la structure
- réflexion sur la sécurité des ouvriers, utilisation de casques, de cordes mais tout de même 11 morts



Photo N. Janberg - Structurae

29

Historique

Le XX^e siècle

• vers 1950 : **fin de la construction des ponts en maçonnerie**
(en revanche, un grand nombre est encore en fonctionnement et pose des problèmes d'entretien)

• développement des **ponts mixtes** à **poutres en acier** à âme pleine et à caisson avec **dalle en béton armé**

Pont Kennedy – Allemagne (1949) – portée = 196 m

Photo N. Janberg - Structurae



Viaduc d'Aiton – Savoie – portée = 52 m

Photo Jacques Mossot - Structurae



Historique

Le XX^e siècle

- développement des **ponts en béton armé**
 - structures massives, poids propre important → ne permet de faire des poutres que de portées réduites (au-delà de 20 m de portée, solution peu intéressante)
 - pour obtenir de grandes portées, **construction en arc**

Pont Risorgimento – Rome (1911) – portée = 100 m

Pont de Plougastel – France (1930) – portée = 188 m

Photo N. Halberg - Structurae

Photo P. Bourret - Structurae



Pont Krk – Croatie (1980) – portée = 390 m

Photo site web EPFL



31

Historique

Le XX^e siècle

- apparition et développement des **ponts en béton précontraint**
 - précontraindre (= exercer une compression à l'aide d'un câble) le béton constituant le pont avant la mise en fonctionnement (E. Freyssinet)
 - 1^{ères} constructions dans les années 1940
 - permet la conception de ponts plus fins à résistance égale

Pont de Luzancy – Seine et Marne (1940-1946)
– portée = 55 m

Pont de Sydney – Australie (1980-1986) – portée = 260 m

Photo P. Guard - Structurae



Photo Jacques Mossot - Structurae



Les Ponts

32

Historique

Le XX^e siècle

Développement des ponts à câbles (suspendus ou haubanés)

Innovations en terme de prise en compte du vent :

→ Effondrement du pont de Tacoma (1940 – portée = 854 m)



Les Ponts

33

Historique

Le XX^e siècle

Innovations en terme de prise en compte du vent :

→ Pont de Verrazano (1959-1964 – portée = 1298 m) : tablier en caisson à paroi verticale en treillis pour avoir légèreté et rigidité



Photos N. Janberg - Structurae

Les Ponts

34

Historique

Le XX^e siècle

→ Le plus grand pont suspendu actuel doit résister à la corrosion, aux vents, aux courants et aux séismes :

Pont Akashi-Kaikyo – Japon (1988-1998) – portée = 1991 m

Photo Niels Jakob Darger - Structurae



Pont Vasco de Gama – Portugal (1995-1998) –
portée = 420 m

Les Ponts

Historique

Le XXI^e siècle

• depuis les années 1980 :

→ évolutions des performances mécaniques des bétons :

- Bétons Hautes Performances (BHP)
- Bétons Fibrés Ultra-Hautes Performances (BFUHP)
- Bétons Auto-Plaçants (BAP)

→ nouvelles possibilités vis-à-vis de l'esthétisme (réduction des épaisseurs des tabliers, nouvelles formes...), de la durabilité (durée de vie jusqu'à 120 ans)


Pont du Bras de la Plaine – Ile de la Réunion (2001) – portée = 280 m





Historique

Le XXI^e siècle


Passage supérieur A75 – France (2000)
BAP



Pont de la Chabotte – France (2005) – portée = 48 m
BFUHP



Passerelle Seonyu – Corée (2002) – portée = 120 m
BFUHP



37

Historique

Le XXI^e siècle

→ et toujours des ponts à câbles utilisant aciers et bétons de plus en plus performants

Viaduc de Millau (2001-2004) – portée = 342 m
Photo Jacques Mossot - Structurae



Pont de Rion Antirion – Grèce (1999-2004) – port. = 560 m
Photo Inge Kanakaris-Wirtl - Structurae



38

Historique

Passerelles mouvantes du XX et XXI^e siècles

Passerelle de Kiel – Allemagne (1997) – portée = 25.5 m

Photos E. Markner - Structurae

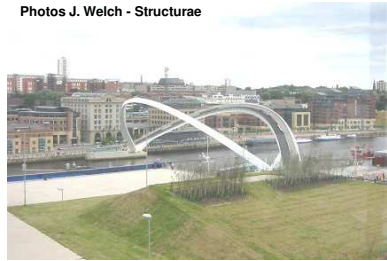


Passerelle Gateshead Millenium – Newcastle (2001) – portée = 105 m

Photos E. Markner - Structurae



Photos J. Welch - Structurae



Historique

Passerelles mouvantes du XX et XXI^e siècles

Passerelle de Puerto Madero – Buenos Aires (2002) – portée = 100 m

Photo Santiago Calatrava S.A



Photo Santiago Calatrava S.A

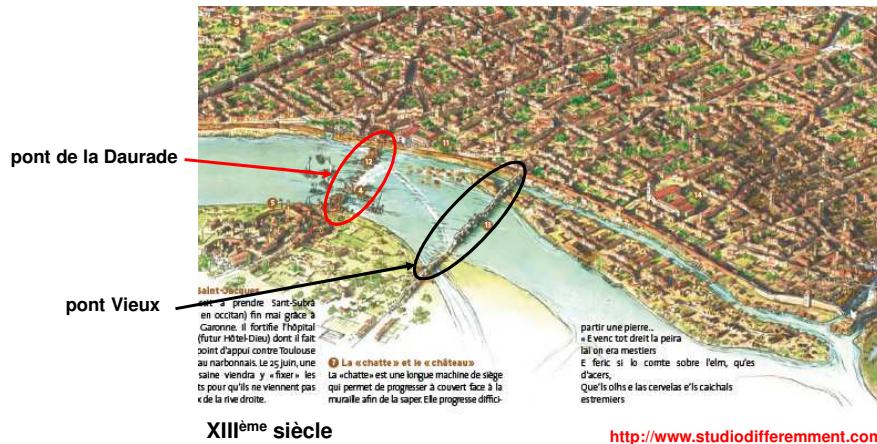


Photo Santiago Calatrava S.A



Les ponts à Toulouse

- à une époque inconnue, ce pont est remplacé par le **Pont Vieux médiéval**
- de 1130 à 1180, construction d'un 2nd pont (la plupart des villes n'avaient à l'époque qu'un seul pont) construit en **briques** par le **prieur** du couvent de la Daurade : le **Pont Neuf** dit **Pont de la Daurade**, réparé tout au long du Moyen Age, couvert d'un toit au XVI^{ème} siècle et abandonné après les crues de 1637.
- à la même époque, existence du **pont de Comminges** connue par des textes (un tronç était disposé à une extrémité pour recueillir des oboles pour l'entretien), il ne reste aucun vestige.



Les ponts à Toulouse

- **Pont de Tounis** sur la Garonne pour relier l'île du Tounis à la ville :
 - ➔ 1^{ère} mention dans un texte en 1380, il est en bois et emporté par chaque grande crue
 - ➔ en 1515, construction d'un pont de 3 arches en maçonnerie ➔ c'est le plus vieux pont de Toulouse
 - ➔ aujourd'hui, les 2 arches d'extrémité ont disparu (1 en 1854 lors de la construction du quai de Tounis, l'autre est à demi enterrée entre 2 immeubles du XIX^{ème} siècle), et celle du milieu est une arche sèche depuis le comblement de la Garonne en 1954.



Les ponts à Toulouse

- avant le Pont Neuf (pont de la Daurade couvert et pont vieux)



<http://www.studiodifferement.com/>

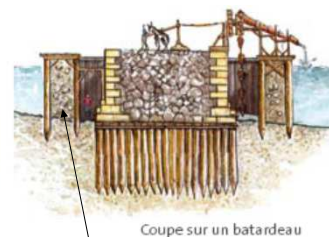
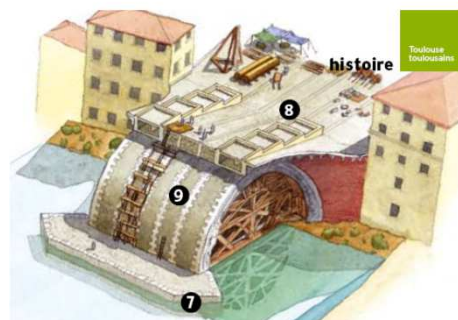
Les Ponts

45

Les ponts à Toulouse

La construction du Pont Neuf

- vers 1540, décision du roi François I^{er} de construire un pont permettant de faire passer ses armées vers l'Espagne, et fait lever des impôts pour le payer
- Chantier extrêmement complexe surtout à cause des crues fréquentes détruisant les batardeaux et de la méconnaissance du sol, certaines piles sont construites et reprises plusieurs fois (glissement, affouillement...)
- Chantier terminé sous Louis XIII vers 1630



même avec les batardeaux, il est impossible de travailler en hautes-eaux → chômage fréquent

46

Les ponts à Toulouse

- après le **Pont Neuf** (pont de la Daurade détruit et pont vieux remplacé par une passerelle en bois)



<http://www.studiodifferement.com/>

- Le **Pont Neuf** : pont en **maçonnerie** de 7 travées de **30 mètres de portée** (environ 200 m de long)
- Il est le seul pont pour passer la Garonne jusqu'en 1821 (pont à Bordeaux) et a résisté à toutes les crues, mais fait l'objet de nombreuses reprises à cause de nombreux affouillements
- Entre **1937 et 1949**, travaux de reprise en sous-œuvre (réfection des fondations d'origine) - René Lotte, 'Construction d'un pont sous la Renaissance : Le Pont Neuf de Toulouse' Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

Les Ponts

47

Les ponts à Toulouse

- 1667-1681 : **Construction du Canal du Midi** (P-P. Riquet) : le canal borde la ville et coupe 27 chemins. Sa largeur est de 20 m et peut donc être franchis par des ponts à arche unique
- A l'origine 6 ponts construits dont celui des Demoiselles ouvert à la circulation en 1683 → pont en briques en dos d'âne et 2m50 de large au milieu, élargissement à 6m50 au XIXème siècle, puis démolli et remplacé en 1970
- 1776 : Mise en service du **Canal de Brienne** et à la jonction des 2, les ponts Jumeaux :

Ponts Jumeaux en maçonnerie (1770-1775)



Photo P. Bourret - Structurae

48

Les ponts à Toulouse

Dessin par Léon Soulié, 1847, Musée Paul Dupuy



➤ Les ponts Saint-Michel

- 1830 : pétitions d'habitants pour la construction d'un nouveau pont sur la Garonne
- 1836 : décision de faire 2 ponts suspendus St-Michel et St-Pierre
- **1844** : Mise en service du 1^{er} pont Saint-Michel – pont suspendu – emporté par une crue en 1875
- 1890 : Mise en service du 2^{ème} pont Saint-Michel – pont à arc en tôles de fonte – démolé en 1962 pour augmenter le gabarit (passage de 7,5 à 20 m de large)
- **1962** : Mise en service du 3^{ème} pont Saint-Michel – pont à béquilles à tablier en béton précontraint, avec une portée principale de 65 m – et fut le dernier ouvrage conçu par Eugène Freyssinet



Photo J. Mossot - Structurae

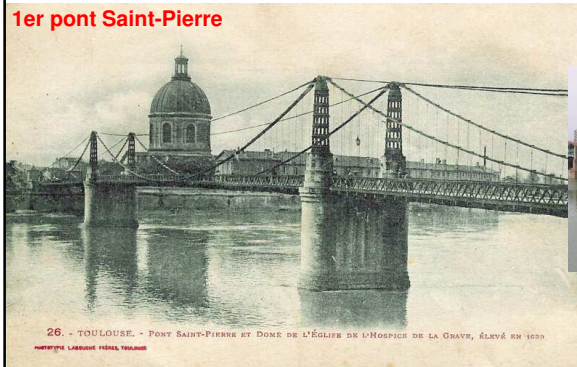
49

Les ponts à Toulouse

➤ Les ponts Saint-Pierre

- **1852** : Mise en service du 1^{er} pont Saint-Pierre – pont suspendu – entièrement refait après les crues de 1855 et 1875. Le passage est payant jusqu'en 1904. De 1904 à 1927, il est utilisé en passerelle pour piétons avant d'être détruit.
- 1931 : Mise en service du 4^{ème} pont Saint-Pierre – pont suspendu – à partir de 1983, le nombre et le poids des véhicules sont limités, il est démolé en 1986
- **1987** : Mise en service du 5^{ème} pont Saint-Pierre – pont à poutres métalliques en treillis, avec dalle en béton armé avec une portée principale de 55 m, «caractère 'rétro' pour s'accorder avec l'environnement»

1er pont Saint-Pierre



26. - TOULOUSE. - PONT SAINT-PIERRE ET DOME DE L'ÉGLISE DE L'HOSPICE DE LA GRAYE, ÉLEVÉ EN 1859
MATHIEU LABOURE PÉDEL TOULOUSE



Photo P. Bourret - Structurae

50

Les ponts à Toulouse

➤ Le Pont des Catalans

- 1911 : mise en service du **Pont des Catalans**, conçu par P. Séjourné :
- ➔ deux ponts **à arc en béton avec parement en pierres** de 3m25 de large et écartés de 9m90
- ➔ supportant une **dalle en béton armé** de 1m40 d'épaisseur et de **46 m de portée** principale
- ➔ Piles ancrées dans le fond de calcaire solide du gué du Bazacle



- Pour passer 1 fleuve (la Garonne), 3 canaux (Midi, Brienne et latéral), 2 rivières (l'Hers et le Touch) et leurs affluents ➔ Toulouse est la ville française possédant le plus de ponts (environ 70)