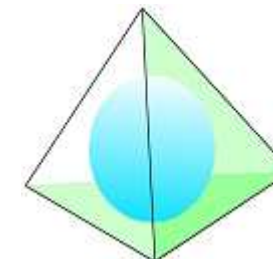


# JOURNEE TECHNIQUE

## Les ponts en maçonnerie

### Du diagnostic à la réparation



ADSTD

## Historique des ponts en maçonnerie

Jacques BILLON - Cerema / Direction Territoriale Ouest - DIMER / GOA

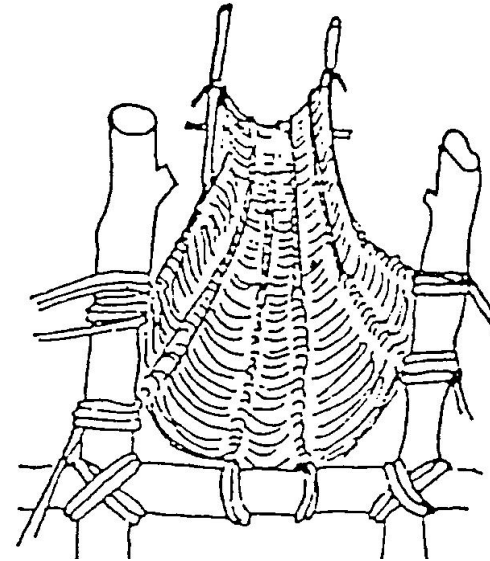
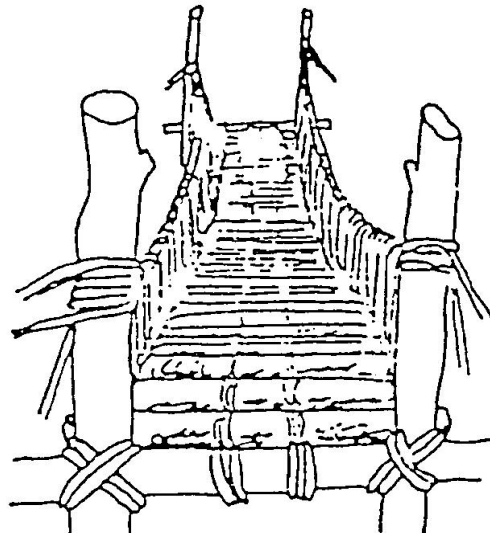
***De tout temps, le franchissement des brèches a été un problème majeur pour les constructeurs***

***Les premiers d'entre eux le résolvent en utilisant des matériaux naturels trouvés le plus souvent à proximité des zones à franchir :***

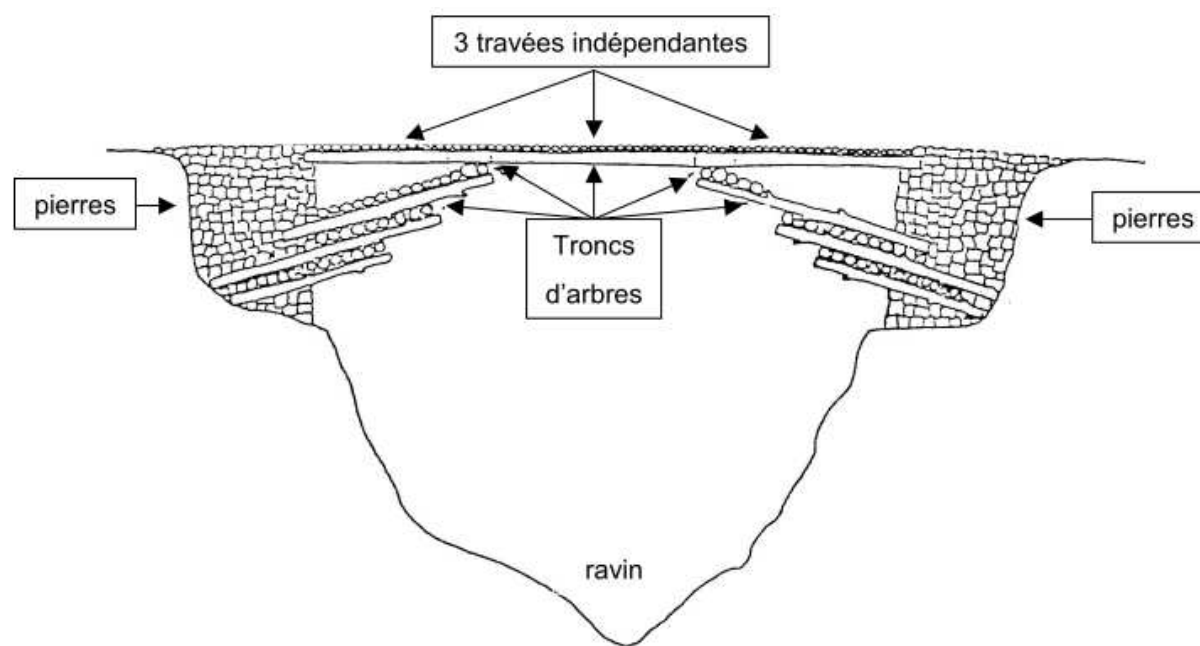
***Troncs d'arbres jetés en travers d'une rivière***



## *Lianes reliant opportunément deux bords d'un cours d'eau*



***Puis, on construira des ponts en bois aux appuis faits de l'empilage de rondins stabilisés par des blocs de pierre et dont les travées étaient constituées de troncs d'arbres juxtaposés***



***Passerelles en bois et en pierres***

***Plus tard, les troncs furent remplacés par des pierres parallélépipédiques, de grandes dimensions, disposées sur d'autres pierres espacées convenablement***



***Le Tarr Steps est un pont en dalle de pierre de l'époque préhistorique, situé en Grande-Bretagne dans le Somerset***

***Il a été édifié sur la rivière Bale 1 000 ans av.JC***

***Longueur totale : 55.00 m***



***L'idée d'un arc résulte probablement de l'observation de la nature et des arcs naturels façonnés par l'érosion ou suite à un amoncellement de matériaux pierreux placé en équilibre précaire***



*Arc naturel de Vallon Pont d'Arc en Ardèche*

***Les premières voûtes furent rudimentaires et seulement composées  
de gros blocs de pierres épaulés les uns sur les autres***

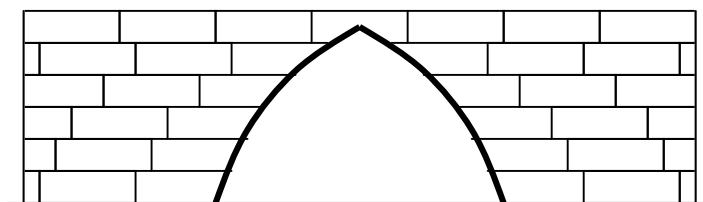
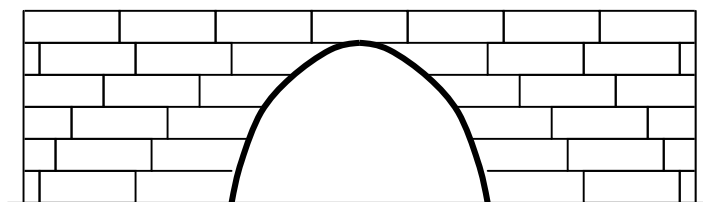
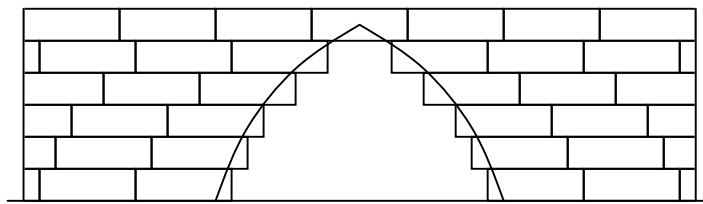


***Pont Mycénien de Kazarma ( Grèce ) 1300 av. JC***

***Ouvrage toujours en service***



## *Puis apparentent des blocs taillés*



*Fausses voûtes en pierres*

***Lorsque l'on découvrit la technique de la maçonnerie, on s'aperçut bien vite que le travail en poutre-linteau ou dalle classique avec d'autres matériaux comme le bois, devenait impossible en raison du peu de résistance qu'offrait la maçonnerie à la flexion***

***L'arc et la voûte clavée firent alors leur apparition***

***La Mésopotamie utilisa ce procédé avec des briques, matériau tout à fait fonctionnel dans ce pays où la pierre et le bois faisaient défaut***

***Des traces de voûtes en brique, de formes circulaire ou elliptique ont été découvertes, datant de 1800 avant JC***

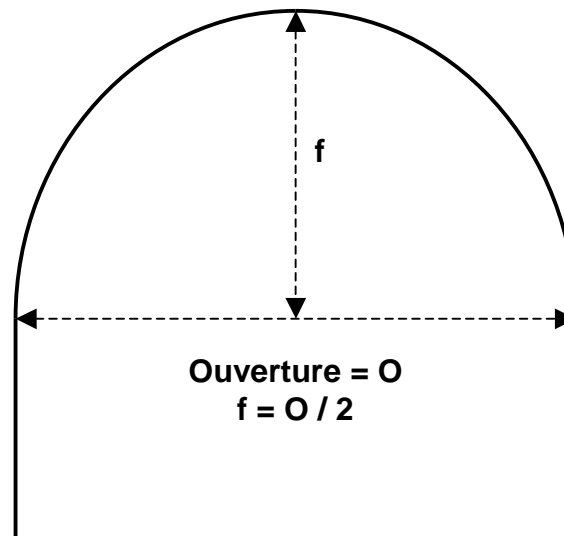


***Plus récent : Ishtar, Babylone, vers 575 av. J.C.***

# Les types de voûtes

## Les voûtes en plein cintre

***La flèche est égale à la demi-ouverture,  
l'intrados, en forme de demi-cercle, se raccorde tangentiuellement aux pénédroits***

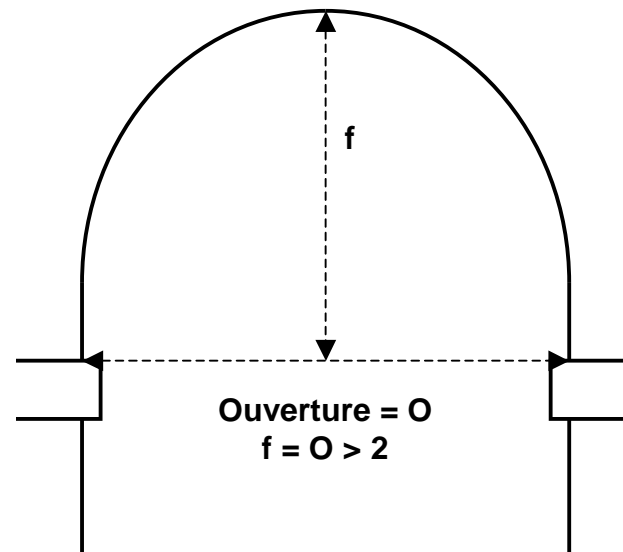


# Les voûtes

## Les voûtes surhaussées

***La flèche est plus grande que la demi-ouverture***

***Les courbes d'intrados sont des pleins cintres surhaussés, des anses de paniers surhaussés ou des ellipses à grand axe vertical***

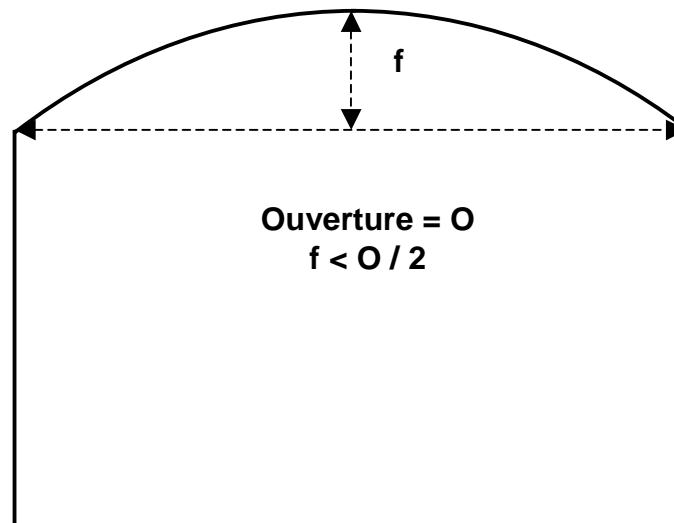


# Les types de voûtes

## Les voûtes surbaissées

***La flèche est plus petite que la demi-ouverture***

***Les courbes d'intrados sont alors des arcs de cercle, des anses de panier ou des ellipses à grand axe horizontal***

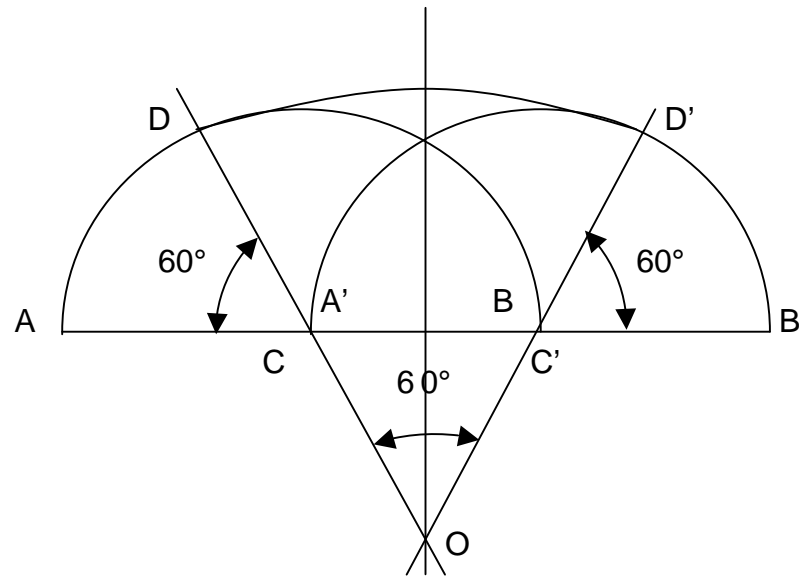


***Elles permettent d'obtenir des portées plus conséquentes et des débouchés superficiels plus avantageux que les voûtes en plein cintre, avec des surbaissements  $S = f / O$  compris entre 1/3 et 1/10***

# Les voûtes surbaissées

## Les voûtes en anse de panier

**A égalité de surbaissement avec les voûtes en arc de cercle, elles offrent un débouché encore plus grand et des poussées sur les piles et les culées plus faibles**

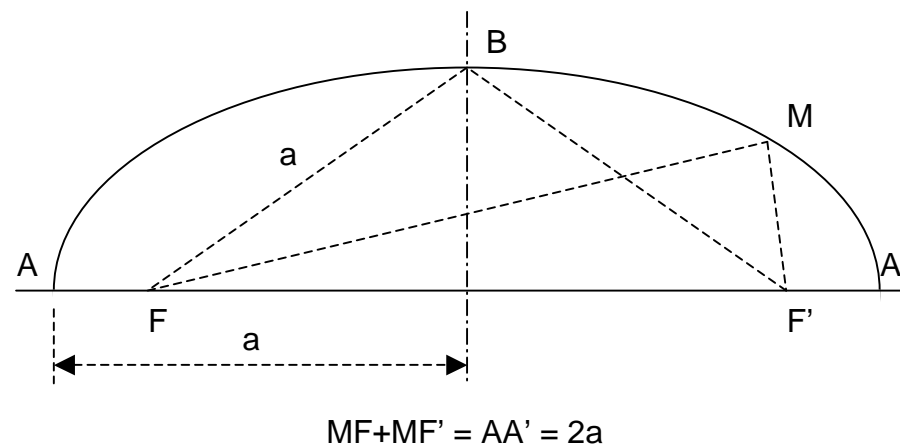


**Voûte en anse de panier à 3 centres**

# Les voûtes surbaissées

## Les voûtes elliptiques

**Plus élégantes et régulières que les voûtes en anse de panier ( absence de brisures ou jarrets ), jouissent des mêmes avantages fonctionnels que ces dernières**

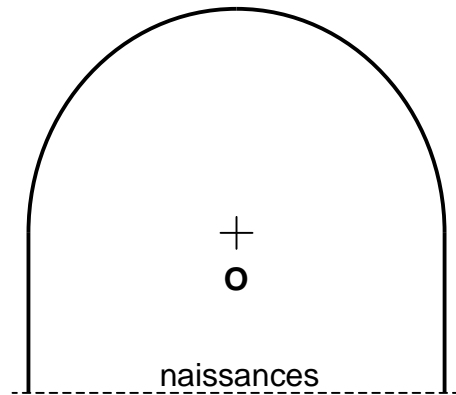




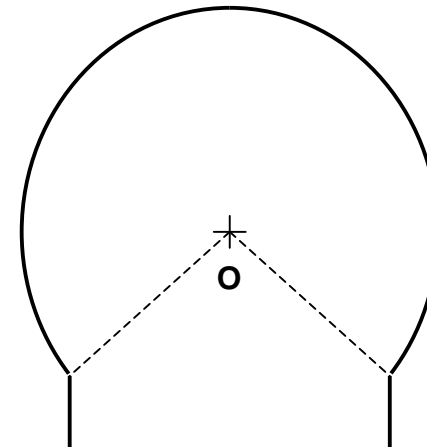
# Les voûtes surhaussées

## Les voûtes pleins cintres

**On distingue à ce sujet les pleins cintres surhaussés  
et des pleins cintres outrepassés**



**Voûte en plein cintre surhaussé**



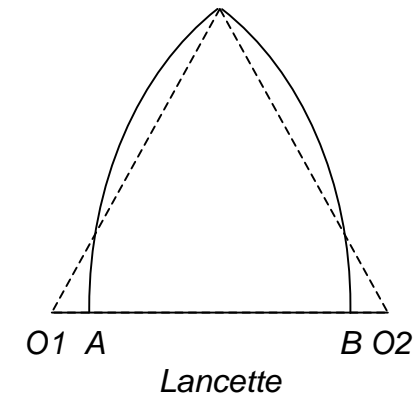
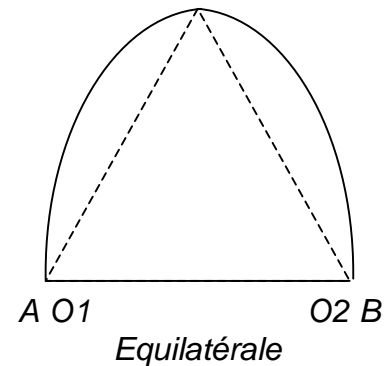
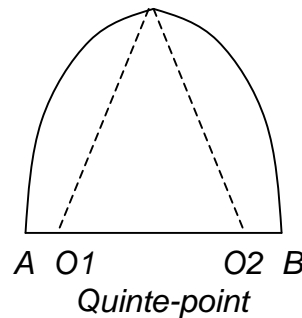
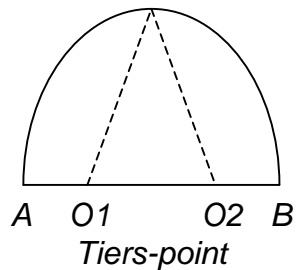
**Voûte en plein cintre  
outrepassé**

# Les voûtes surhaussées

## Les voûtes ogivales

**Elles résistent parfaitement aux charges concentrées à la clé et ne produisent que des poussées relativement faibles sur les piles ou culées**

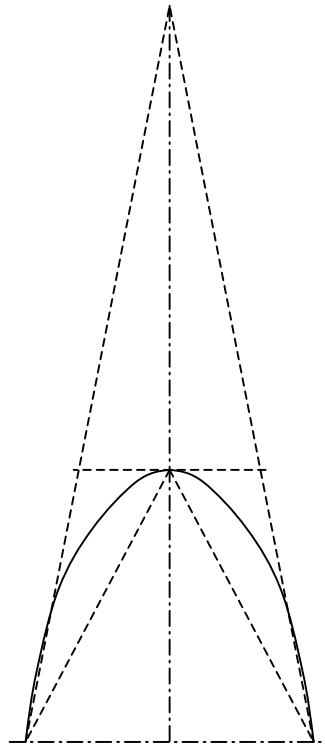
**Elles étaient très employées au moyen âge, en architecture et dans la construction des ponts, notamment en Europe entre le XI<sup>ème</sup> et le XVI<sup>ème</sup> siècle**



# Les voûtes surhaussées

## Les voûtes paraboliques

***La forme très rationnelle présente l'inconvénient d'avoir un appareillage délicat, comme l'ellipse, en raison de la continuité de la courbure et de la dissymétrie des voussoirs***



***Tracé de voûte parabolique***

# Les voûtes

***Il existe d'autres formes de voûtes que l'on peut citer pour mémoire :***

- les voûtes en plate bandes ( intrados horizontal ),***
  - les voûtes dissymétriques,***
  - les voûtes en arc rampant,***
- les arc-boutants, destinés à remédier aux insuffisances des murs supportant les voûtes,***
- les arcs de décharge servant à protéger certaines parties des maçonneries dans lesquelles ils sont généralement incorporés.***

# L'époque Romaine

***Les romains furent les premiers à utiliser couramment la voûte en pierre pour la construction des ponts. Le pont des sénateurs à Rome qui date de 177 avant JC était constitué d'arches en plein cintre de 24.40 m d'ouverture.***

***Les ambitions des romains et leur esprit de conquête se traduisirent par de nombreuses réalisations dans toutes leurs colonies***

***Les ponts construits durant l'époque romaine sont formés de piles très épaisses qui gênent l'écoulement des eaux***

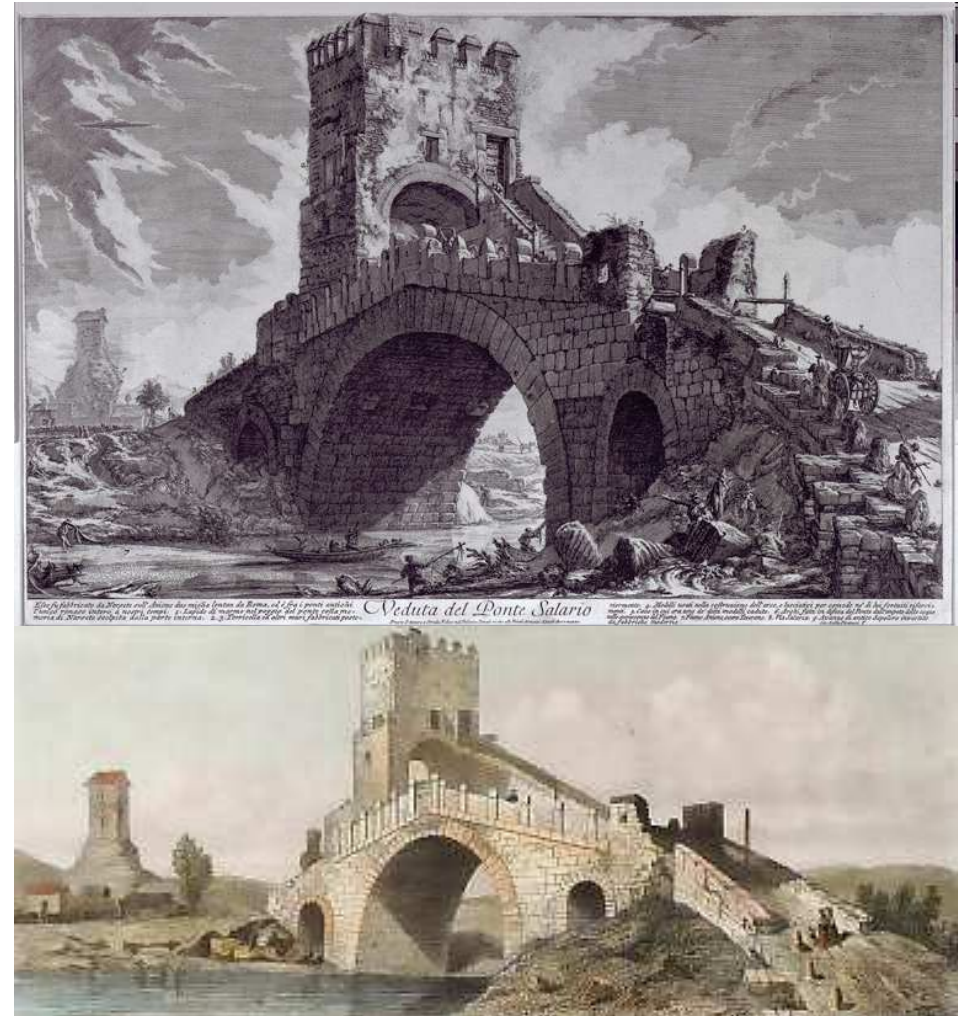
***Cette épaisseur était cependant nécessaire car les romains ne connaissaient pas de procédé pour atteindre à de grandes profondeurs un sol incompressible et étaient obligés de faire reposer leurs piles sur des massifs formés de gros blocs de pierres enchevêtrés et tassés***

***Durant cette époque on utilisait des arches en pleins cintres ou des arcs très peu surbaissés***

# L'époque Romaine

**Le premier pont maçonné a été construit en 600 av. JC à Rome sur l'Aniene**

**Il s'agit du pont Salario, long de 70.00 m avec une arche centrale de 24.86 m**



# L'époque Romaine

***Pont Salario, reconstruit en 1930***

***avec une arche centrale d'environ 30.00 m***



# L'époque Romaine

***Le pont Milvius ou pont de Molle, construit au II<sup>ème</sup> siècle av. JC, se situe à 3 km de Rome sur le Tibre***

***Ce pont était le seul accès à Rome par le Nord***

***Reconstruit en 1850, avec une longueur de 136.00 m et 5 arches dont les plus grandes ont 18.55 m d'ouverture***





# L'époque Romaine

*Le pont Fabricius a été bâti en 62 av. JC à Rome, sur le Tibre*

*Il est formé de 2 arches peu surbaissées d'une portée de 24.50 m environ*



# L'époque Romaine

***Le pont Cestius ( aujourd'hui appelé ponte di San Bartolomeo) ( 1892 )  
a été primitivement construit au milieu du 1<sup>er</sup> siècle av. JC  
et reconstruit au IV<sup>ème</sup> siècle à Rome sur le Tibre***



***Le Pont Cestius en 1880 avant sa démolition***



***Le Pont Cestius de nos jours avec 3 arches de 25.40 m***

# L'époque Romaine

***Le premier pont biais (pont dont l'axe longitudinal n'est pas perpendiculaire aux axes des appuis) est le pont de Tibère, bâti sur le Marecchia à Rimini à l'initiative d'Auguste et terminé par Tibère dans les années 14 - 21 après JC***

***Il est en pierre d'Istrie et il a cinq arches de 62.60 m***



# L'époque Romaine

*Les romains étaient passés maître dans la réalisation d'aqueducs*

*L'aqueduc de l'Aqua Appia est le premier aqueduc maçonné, il a été construit en 312 av. JC. Il mesure environ 16 km de long*

*Le deuxième aqueduc est l'Anio Vetus, sa construction a commencé en 272 av. JC et s'est terminée en 269 av. JC. Il mesure environ 63 km de longueur*

*Un des plus célèbres ouvrages de cette époque est le Pont du Gard construit par AGRIPPA et servant à alimenter la ville de Nîmes en eau*

# L'époque Romaine

## *Le Pont du Gard*

***C'est sûrement le pont-aqueduc romain le plus connu compte tenu de ses dimensions, notamment sa hauteur, et de l'amplitude de ses arches***

***Les deux étages inférieurs sont composés de voûtes dont les ouvertures vont jusqu'à 25.00 m, ils sont fait de pierres de taille sans mortier***

***L'ouverture des arcades supérieures est de 4.00 m ou 5.00 m pour rendre impossible tout tassement et éviter les fissures dues aux différences de température dans des grandes arches***

***La hauteur du pont est de 48.00 m et sa longueur est de 260.00 m à l'étage supérieur***

# L'époque Romaine

## *Le Pont du Gard*



# L'époque Romaine

***Le pont d'Alcantara en Espagne, construit sur le Tage dans les années 100 est un des ponts les plus remarquables par son élévation et l'amplitude de ses arches***

***Sa hauteur est de 48.00 m au-dessus du niveau ordinaire des eaux et de 60.00 m depuis le fond du lit. Il est composé de 6 arches en plein cintre dont 2 atteignent 28.00 m à 30.00 m d'ouverture***

***Les pierres sont de grandes dimensions et posées sans mortier***



# L'époque Romaine

***Le pont Aelius ou pont Saint-Ange, avec 5 arches de 18.00 m, fut érigé en 134 à Rome, sur le Tibre***



***Au IV<sup>ème</sup> et au début du V<sup>ème</sup> siècle, le pouvoir de Rome s'effondra, l'empire fut anéanti et de nombreux ouvrages furent détruits...***



# Le Moyen Age

***Les ponts construits au Moyen-âge, contrairement aux ouvrages romains, ne présentent pas une grande régularité dans les formes et dans les procédés de construction***

***Les voûtes atteignent parfois des dimensions considérables***

***Du V<sup>ème</sup> siècle au XI<sup>ème</sup> siècle, peu de ponts en maçonnerie de pierre furent construits en Europe Occidentale***

***A partir du règne de Louis VII ( 1137-1180 ) et surtout celui de Philippe Auguste ( 1180-1223 ), grâce à une sécurité de plus en plus grande dans le domaine royal, le pays a pu songer à intensifier la construction monumentale***

***L'absence d'influence des rois capétiens, qui ne régnaient que sur un royaume restreint, se traduit par une diversité architecturale propre à l'architecture romane***

# Le Moyen Age

***Le pont sur le Serchio près de Lucques est le plus ancien pont construit au Moyen-Age en Italie***

***Sa construction remonte au XI<sup>ème</sup> siècle. Il est formé d'une grande arche en plein cintre de 36.80 m d'ouverture et de 4 petites de 14.40 m à 5.50 m d'ouverture***



# Le Moyen Age

***Le pont d'Albi sur le Tarn est un des plus anciens. Construit en 1178, il est composé de 7 arches avec des ouvertures de 9.75 m à 15.00 m***

***L'épaisseur des piles varie de 5.50 m à 6.75 m***



# Le Moyen Age

***Certains ouvrages étaient fortifiés ( pont d'Orthez, pont Valentré à Cahors ) pour assurer une protection contre les invasions***



***Le Pont d'Orthez sur le Gave de Pau ( XII<sup>ème</sup> siècle )  
Longueur totale de 46.00 m - Ouverture de la grande travée : 14.87 m  
Ouvertures des deux arches adjacentes : 7.10 m et 7.65 m***

# Le Moyen Age

***Le pont d'Olargues sur la rivière le Jaur dans l'Hérault, érigé au début du XIII<sup>ème</sup> siècle, possède une arche principale dont l'ouverture est de 31.70 m alors que sa clé ne fait que 55 cm d'épaisseur***



# Le Moyen Age

***Le pont Spina Cavallu (dos de cheval en langue corse) sur le fleuve Rizzanese près de Sartène est un pont génois du XIII<sup>ème</sup> siècle, ce qui ferait de lui l'un des plus anciens de la Corse.***

***La hauteur de l'arche est voisine de 8.00 m et son ouverture, de 14.00 m.  
La qualité de sa construction lui a permis de résister à des crues, comme celle de 1993.***



# Le Moyen Age

***Le pont du Saint-Esprit sur le Rhône a été construit de 1265 à 1309  
à Pont-Saint-Esprit***

***Il est composé de 25 arches d'environ 35.00 m et mesure 919.00 m de long***



# Le Moyen Age

***Le pont de Montauban sur le Tarn, dont la construction a été terminée en 1335, est entièrement bâti en briques***

***Il est composé de 7 arches en ogive de 21.00 m d'ouverture***

***Ses piles font 8.30 m d'épaisseur***





# Le Moyen Age

***Le pont de Valentré (ou de Calandre) à Cahors est l'exemple le plus remarquable et le mieux conservé des ponts construits en France au XIV<sup>ème</sup> siècle ( 1308-1350 )***

***Il est formé de 6 arches de 16.50 m d'ouverture***



# Le Moyen Age

***Le Pont de Céret sur le Tech  
( XIV<sup>ème</sup> siècle ) a été  
construit de 1321 à 1341***

***Il est composé d'une seule  
arche de 45.00 m d'ouverture,  
les rampes de la chaussée  
sont fortes de part et d'autre  
de la clé***

***Cet ouvrage est imposant à  
cause de sa large ouverture  
et de l'élévation de sa voûte.***

***Cependant, le mode de  
construction est grossier,  
les pierres sont taillées  
imparfaitement.***



# Le Moyen Age

## Le Pont de Saint-Bénézet sur le Rhône en Avignon

***La légende raconte que Petit Benoît, connu sous le nom de Bénézet, berger à Burzet, dans le Vivarais, né en 1165, alors âgé de 12 ans, reçut l'ordre divin d'aller construire un pont à Avignon***

***Bénézet commença en 1177 la construction du pont sur des restes de culées romaines. Il fut achevé en 1185 et enjambait alors le Rhône sur 915 mètres avec un angle droit pour offrir moins de prise aux forts courants. Il comportait à l'origine 22 arches, il n'en reste que quatre. À l'origine seules les piles étaient en pierre et le tablier était alors en bois***

***L'ouvrage fut reconstruit en maçonnerie entre 1234 et 1237***

***En 1479, à cause des inondations, deux arches furent entièrement détruites. Aussi le roi de France Louis XI ordonna-t-il sa réparation par lettre patente royale datée le 10 octobre 1479***

***Puis, une première arche s'effondre en 1603, ensuite trois autres en 1605... enfin toutes quatre rebâties vers 1628. En 1633, juste après la réouverture du pont, deux nouvelles arches s'effondrent. En 1669, une nouvelle crue du Rhône emporta plusieurs autres arches pour ne laisser pratiquement que celles qu'on lui connaît de nos jours***

# Le Moyen Age

## *Le Pont de Saint-Bénézet sur le Rhône en Avignon*



# Le Moyen Age

*Le département de l'Aude est très riche en ouvrages moyenâgeux*

***Le pont Vieux de Carcassonne sur l'Aude fut érigé en 1320***

***Il comporte 12 arches en plein cintre d'environ 15.00 m et mesure 210.00 m de long***



# Le Moyen Age

*Le département de l'Aude est très riche  
en ouvrages moyenâgeux*

***Pont-Vieux de Rieux-en-Val  
sur l'Alsou  
érigé au XII<sup>ème</sup> siècle***

***Il comporte 3 arches en  
plein cintre  
de 5.00 m - 5.40 m - 5.00 m***



# Le Moyen Age

*Le département de l'Aude est très riche  
en ouvrages moyenâgeux*

***Pont-Vieux de Lagrasse sur  
l'Orbieu érigé au XIII<sup>ème</sup> siècle***

***Il comporte 3 arches en plein  
cintre  
de 5.00 m - 21.00 m - 5.00 m***



# Le Moyen Age

## Quelques records

***Le pont de Vieille Brioude sur l'Allier, bâti au XV<sup>ème</sup> siècle ( 1479 ), est composé d'une seule arche en maçonnerie de 54.20 m d'ouverture, la plus grande qui ait été exécutée en France jusqu'à cette époque***





# Le Moyen Age

## Quelques records

***Le pont de Trezzo sur l'Adda ( Italie ), construit en 1377 puis détruit par faits de guerre en 1416, dans une guerre locale, possédait la plus grande arche en maçonnerie***

***L'ouverture était de 72.25 m et la flèche de 20.70m***

***Seuls des vestige de l'enracinement de l'arc subsistent***



# La Renaissance

***Au XVI<sup>ème</sup> siècle, les règnes de Louis XII et de François 1<sup>er</sup> virent, en même temps que l'apogée du gothique flamboyant, le début en France de la Renaissance, avec un retour aux formes de l'art antique, sous l'inspiration de l'Italie.***

***Si les procédés d'exécution ne se différencient pas de ceux employés à l'époque romane, l'ornementation fit au contraire de grands progrès, et une recherche de l'équilibre, de l'élégance des lignes et des volumes devint la règle***

***Depuis la fin du moyen âge, le développement des transports avait rendu nécessaire la construction de nombreux ponts utilisables par les voitures.***

***C'est ce qui explique l'absence à peu près totale de Ponts en arcs brisés construit postérieurement au XV<sup>ème</sup> siècle, et l'apparition des voûtes surbaissées proches du plein cintre, sur lesquelles les dos d'âne étaient moins accentués que sur les pleins cintres***

# La Renaissance

- ***Pont de Chenonceaux construit en 1566***
- ***Pont Notre Dame à Paris reconstruit en 1507 puis 1919***
- ***Pont Neuf de Paris en 1578***
- ***Pont Neuf de Toulouse construit de 1552 à 1614***

# La Renaissance



***Pont de Chenonceaux sur le Cher ( 1566 )***

# La Renaissance



***Pont Notre Dame à Paris reconstruit en 1507***

***En 1919, les trois arches centrales d'origine, de 20.00 m, ont été remplacées par un arc en acier de 60.00 m***

# La Renaissance

***Le Pont-Neuf, construit de 1578 à 1604 à Paris sur la Seine, mesure 238.00 m de long, est formé de 2 ouvrages***

***Le petit ouvrage est composé de cinq arches d'ouvertures comprises entre 9.00 m et 16.70 m. Le grand ouvrage est composé de sept arches d'ouvertures comprises entre 16.40 m et 19.40 m***



# La Renaissance

***Le pont Neuf de Toulouse a été construit de 1552 à 1614***

***Sa longueur totale est de 220.00 m, il possède 7 arches et la plus grande ouverture est de 30.00 m***



# La Renaissance

***Le pont du Rialto à Venise, construit entre 1588 et 1591, présente aussi par son ornementation le caractère de la Renaissance***

***Longueur : 48.00 m - Largeur : 22.90 m - Hauteur : 7.32 m***





# La Renaissance

***Vieux Pont de Mostar en Bosnie fut construit en 1565. Il est constitué d'une seule arche en dos-d'âne de 27.00 m de portée, 4.00 m de largeur et 29.00 m de longueur. Il domine la Neretva d'une hauteur de 29 m.  
Le pont, détruit le 9 novembre 1993 pour interrompre les passages bosniaques.  
Il a été reconstruit de 2001 à 2004.  
Les 1 088 pierres ont été taillées selon les techniques originelles.***



# L'époque classique

***Le XVII<sup>ème</sup> et le début du XVIII<sup>ème</sup> siècle n'ont rien apporté de nouveau dans le domaine de la construction des ponts. Les techniques sont restées sensiblement les mêmes que dans la période précédente***

***Seuls ont changé le style et la décoration. A la grâce et à l'élégance de la renaissance ont succédé une certaine austérité et l'ordonnancement classique du grand siècle. Le style Louis XIV fut vraiment le reflet du règne***

***Sous l'impulsion du souverain, s'élèvent d'admirables monuments caractérisés par une grande ampleur et beaucoup de majesté***

***Le Pont Royal, construit de 1685 à 1689 par GABRIEL ( principal architecte du roi et premier Ingénieur des Ponts et Chaussées ) au moyen de crédits ouverts personnellement par Louis XIV témoigne de ce style : couronnement des piles, décoration des tympans et surtout symétrie et proportions de l'ensemble***

***Puis sous Louis XV, un arrêt de 1720 entame la décision de modernisation du réseau routier, et fixe la largeur des routes et définit leurs premières caractéristiques générales.***

# L'époque classique



***Pont Marie sur la Seine à Paris ( 1614-1635 )***

***Sa longueur totale est de 92.00 m pour 5 arches variant de 14.00 m à 18.00 m***

# L'époque classique



***Pont Royal ou des Tuileries sur la Seine à Paris ( 1685-1689 )***

***Sa longueur totale est de 130.00 m pour 5 arches de 24.00 m***

# L'époque classique

***Chantier du PONT ROYAL à PARIS :***

***Fondation d'une pile :***

- ***construction de la maçonnerie à l'intérieur d'un batardeau***
- ***sur le pourtour, chapelets inclinés pour épuiser l'eau***
- ***deux sonnettes à tiraudes pour battre les pieux***



# L'époque classique

## ***Chantier du PONT ROYAL à PARIS :***

- ***Les cintres sont en place ( avec appuis en rivière )***
- ***Les grues manipulent les voussoirs***
- ***Existence d'une passerelle de service externe***



# L'époque classique

## Le XVIIIe siècle

***Début des premiers calculs sur les voûtes en maçonneries par Philippe de La Hire puis Perronet\* qui détermine en 1777 les premières règles de calcul des épaisseurs des voûtes et piédroits***

***Détermination par Couplet de la notion de lignes de centres de pression et du mécanisme de rupture par rotation de blocs et par Charles Coulomb du mécanisme de ruine par glissement le long d'un joint***

***Evolution des techniques : Ouvrages plus larges, construction simultanée de plusieurs voûte permettant de réduire l'épaisseur des piles***

***\*Jean-Rodolphe PERRONET ( 1708-1794 ), Ingénieur architecte, qui devint en 1775 le fondateur et le premier directeur de l'Ecole Royale des Ponts et Chaussées***

# L'époque classique

*Les voûtes, profilées en anses de panier et surbaissées aux environs du 1/5, reposaient sur des piles dont les becs, à section triangulaire ou ogivale, parfois demi-circulaire en aval, se terminaient par des chaperons à gradins de forme pyramidale*

***Pont Cessart à Saumur sur  
la Loire  
( 1756-1764 )***

***Sa longueur totale est de  
293.00 m  
pour 12 arches de 19.50 m***

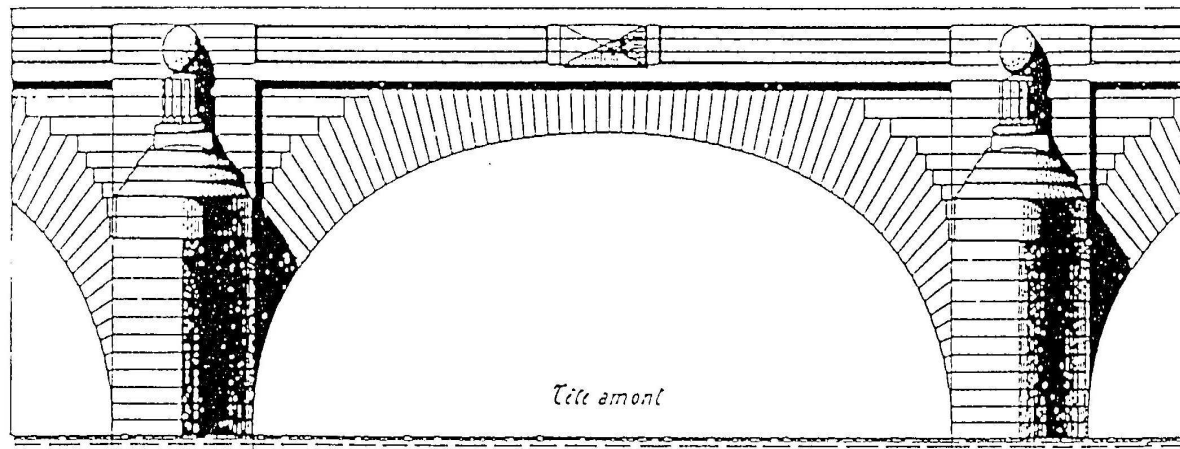




# L'époque classique

***Après l'expérience décisive du pont de Mantes, où l'une des piles, dont l'épaisseur était réduite au 1/5 de l'ouverture des arches et chargée par une des voûtes d'un seul côté, perdit son aplomb, PERRONET introduisit la construction simultanée de plusieurs voûtes.***

***Le rôle des piles n'étant plus alors que de porter le poids des voûtes, il remplaça les piles-culées par des piles minces, réglées en épaisseur au 1/10 environ de l'ouverture des arches***



***Une arche du Pont Wilson à Tours sur la Loire ( 1765-1777 )***

# L'époque classique

## ***Pont Wilson à Tours sur la Loire ( 1765-1777 )***

***Il est long de 434.00 m en 15 arches de 24.30 m, avec 14 piles que Perronet jugeait, dès la construction, trop larges et causant trop de tourbillons***

***Du 9 avril au 3 mai 1978, les arches 1 à 6 s'effondrent***

***Elles seront reconstruites en béton plaqué de pierres***

***Le nouveau pont a été remis en service en septembre 1982***



# L'époque classique

***Par ailleurs, pour obtenir le libre passage des eaux, même en période de crue, on haussa la naissance des voûtes jusqu'au niveau des Plus Hautes Eaux et pour ne pas avoir à trop relever la chaussée, on substitua les voûtes en anse de panier par des voûtes en arc de cercle très aplaties***

***Les proportions des ponts du Languedoc furent plus massives que celles des ponts de la région centrale. La recherche décorative y fut poussée plus loin***

***Elle se manifeste sous des formes plus variées dans le choix desquelles apparaissait davantage le goût personnel du constructeur***

***Les voûtes étaient, en général, bordées sur leurs têtes par des archivoltes, quelquefois par des bossages. Sur ces têtes étaient sculptées les armoiries de la province, dans des caissons parfois fastueusement développés***

# L'époque classique

***Le pont de Gignac sur l'Hérault a été construit de 1776 à 1810***

***Il est composé de 3 arches, 2 arches latérales de 21.80 m d'ouverture en plein cintre surhaussée et une arche centrale de 47.26 m d'ouverture***



# L'époque classique

***Au XVIII<sup>ème</sup> siècle on a construit peu de ponts en plein cintre avec de larges ouvertures***

***Un des principaux ponts composés d'arches en arc de cercle surbaissées est le pont Fouchard sur le Thouet à Saumur, construit en 1782, composé de 3 arches de 26.00 m d'ouverture surbaissées à 1/10***

***Ce surbaissement a entraîné des tassements à la clé***



# L'époque classique

***Le pont de Nemours ( 77 ) fut construit entre 1795 et 1804***

***Il est formé de 3 arches de 16.20 m d'ouverture avec un surbaissement de 1/15***

***Ce surbaissement considérable a exigé des précautions et présente des risques***



# XIX<sup>ième</sup> et XX<sup>ième</sup> siècles

**Avancée dans le calcul et la technologie des voûtes par :**

***Boistard (rupture de la voûte en 4 blocs par rotation 1810),***

***Navier (Notion de l'élasticité des matériaux et de la règle du tiers central),***

***Méry (vérification des voûtes par l'épure de Méry 1840),***

***Croisette-Desnoyer ( « cours de construction des ponts » 1885 )***

**Evolution des matériaux et des techniques :**

***Louis Vicat ( 1786-1861 ) invente le ciment***

***Séjourné remet à jour la construction par rouleaux successifs, perfectionne les cintres et le dédoublement des voûtes en arcs parallèles***

***Evolution de la demande par le développement du chemin de fer qui nécessite de grands viaducs***

# XIX<sup>ième</sup> et XX<sup>ième</sup> siècles

***Si, durant la première moitié du XIX<sup>ième</sup> siècle peu de ponts furent construits, avec la révolution industrielle et le développement des transports, on assistera dans la deuxième moitié à une prolifération des ponts***

## **Ponts routiers :**

***Par exemple, dix ponts en maçonnerie furent construits sur la Seine à Paris en huit ans, de 1855 à 1863, pour remplacer souvent des ponts vétustes, insuffisants pour le trafic ou gênants pour la navigation***

## **Ponts ferroviaires :**

***Les ouvrages construits sont :***

***soit des viaducs constitués d'une suite de voûtes en plein cintre de petites ouvertures ( jusqu'à 15.00m ) de manière à limiter les efforts horizontaux dans les piles, d'une hauteur parfois importante ( 73.00m au viaduc sur l'Allier ) afin de conserver, au profil en long des voies ferrées, une pente admissible pour ce genre de transport,***

***soit des viaducs constitués d'arches de grandes ouvertures avec des voûtes d'élégissement dans les tympans pour diminuer les charges et améliorer l'esthétique.***



# XIX<sup>ième</sup> et XX<sup>ième</sup> siècles



***Le viaduc de Chapeauroux ( 1870 ) (gorges de l'allier ) en courbe long de 433.00 m et composé de 28 arches de 12.00 m, hauteur 17.00 m***

# XIX<sup>ième</sup> et XX<sup>ième</sup> siècles

***Le XIX<sup>ième</sup> siècle n'est pas le siècle des ponts en maçonnerie, bien qu'on en construisit beaucoup, c'est celui de l'innovation et de la diversification***

***Il verra naître les ponts suspendus, les ponts métalliques aux formes diverses et les ponts en béton armé***



***Le pont d'Iéna, bâti en 1812, est formé de 5 arches de 28.00 m d'ouverture en arcs surbaissés à 1/8***

# XIX<sup>ième</sup> et XX<sup>ième</sup> siècles

***Le pont de l'Alleud ( 1863 )  
à Chalonnes sur la Loire est  
formé de 17 arches  
de 30.00 m d'ouverture, en  
ellipses surbaissées à 1/4***

***Il présente une longueur  
totale de 601.50 m et  
constitue un des plus  
importants ouvrages de  
cette nature existant en  
France***

***On n'a pas utilisé  
seulement des pierres de  
taille pour sa construction  
mais aussi des moellons  
pour diminuer le coût***



# XIX<sup>ième</sup> et XX<sup>ième</sup> siècles



***Le pont de l'Alma sur la Seine à Paris fut terminé en 1856.  
Il comporte 3 grandes arches dont la principale a 43.00 m d'ouverture  
Les voûtes sont des ellipses surbaissées à 1/5  
De 1970 à 1974, le pont est entièrement remplacé par un ouvrage en acier***

# XIX<sup>ième</sup> et XX<sup>ième</sup> siècles

***Le pont Napoléon à Luz Saint-Sauveur sur le Gave de Pau, construit entre 1859 et 1863 a une seule arche de 42.00 m d'ouverture***

***Les cintres ont été établis à 65.00 m au-dessus du Gave***



# XIX<sup>ième</sup> et XX<sup>ième</sup> siècles

***Le Göltzschtalbrücke, construit entre 1846 et 1851, est le plus grand pont en brique du monde. Situé dans le land de Saxe en Allemagne, sur la ligne de chemin de fer Dresde – Plauen, a une longueur de 574.00 m et une hauteur de 78.00 m, sur quatre étages et 81 arches***



# XIX<sup>ième</sup> et XX<sup>ième</sup> siècles

***Aboutissement de la technique fin XIX<sup>ième</sup> début XXI<sup>ème</sup> : \*Paul Séjourné publie entre 1913 et 1916 les six volumes de son ouvrage Grandes voûtes, traité qui rassemble toutes les connaissances sur les ponts en maçonnerie***

***Au début du XXI<sup>ème</sup> siècle, soumis à la concurrence des ponts métalliques et en béton armé, le domaine d'emploi des ponts en maçonnerie se restreignit de plus en plus***

***Le coût des matériaux et la disparition progressive des tailleurs de pierres les ont fait remplacer par d'autres types d'ouvrages***

***Après la libération de 1945, quelques voûtes ont encore été reconstruites en pierre, à cause du manque de ciment et d'acier ( pont de la BALME ), mais la plupart ont été reconstruites en béton avec quelquefois un parement en pierre***

***En France, depuis 1950, la construction des ponts en maçonnerie a complètement cessé***

***\*Paul Séjourné (1851-1939) Diplômé de l'École polytechnique en 1873 et de l'École nationale des ponts et chaussées en 1876 est, de 1901 à 1922, chargé du cours de ponts en maçonnerie à l'ENPC.***

# XIX<sup>ième</sup> et XX<sup>ième</sup> siècles



***Pont de Fondpédrouse  
Pyrénées orientales - ( 1908 )***

***On doit sa construction à l'architecte Paul Séjourné***

***Hauteur de 65.00 m - Longueur totale est de 237.00 m - Arc inférieur de 30.00 m***



# XIX<sup>ième</sup> et XX<sup>ième</sup> siècles



***Pont des Catalans à Toulouse***

***Pont en arc et pierre et béton armé inauguré en 1908***

***On doit sa construction à l'architecte Paul Séjourné***

***Sa longueur totale est de 257.00 m en 5 arches***

***Ouvertures des arches : 2 x 38.50 m – 46.00 m - 2 x 38.50 m***

# XIX<sup>ième</sup> et XX<sup>ième</sup> siècles



***Viaduc de la Recoumène - Haute Loire ( 1925 )***

***On doit sa construction à l'architecte Paul Séjourné***

***Hauteur de 65.00 m - Longueur totale est de 270.00 m - 8 arches de 25.00 m***

# XIX<sup>ième</sup> et XX<sup>ième</sup> siècles

***Pont de la Balme  
sur le Rhône en Savoie  
( 1946 )***

***Arc unique de 64.00 m***



# Ponts habités

***Autrefois construits en Europe pour échapper aux impôts (une trentaine à Paris du XII<sup>ème</sup> au XVIII<sup>ème</sup> siècle), les ponts habités ont peu à peu disparu des villes, victimes des incendies et des restructurations de centre villes***

***Très peu subsistent aujourd'hui en Europe et répondent encore à la définition du pont habité (habitations, rue passante)***

***Le pont des Marchands de Narbonne franchit le canal de la Robine***

***Le pont est construit entre l'ancienne cité romaine de Narbo Martius, sur la rive droite, et l'ancien bourg médiéval de la rive gauche***

***Il suit le tracé de l'ancien cardo maximus de la ville romaine, formé par la Via Domitia***



# Ponts habités



***Le Ponte Vecchio XIV<sup>ième</sup> siècle, est le plus célèbre et le plus touristique de la ville de Florence en Italie dont il est l'emblème***

***Haut lieu de la joaillerie et orfèvrerie de luxe de la ville et de l'Italie, il traverse le fleuve Arno***

***Longueur totale de 84.00m en 3 arches de 27.00 m – 30.00 m – 27.00 m***

# Ponts habités



***Pont de Rohan à Landerneau sur l'Elorn ( 1510 ) dans le Finistère***

***C'est l'un des plus vieux des quarante cinq ponts garnis de maisons d'Europe***

***Construit au fond de l'aber qui servait de port, il a l'originalité supplémentaire de subir la marée et de séparer l'eau douce de l'eau saumâtre***

# Ponts habités



***Le Pulteney Bridge, situé à Bath ( Angleterre ), traverse la rivière Avon  
Achévé en 1773, il est encore bordé de maisons des deux côtés  
3 arches de 15.00 m***

# XXI<sup>ème</sup> siècle - Le renouveau ?

## *Un record mondiale en Chine*

***Le pont de Dahne, mis en service en 2000, est constitué d'un tablier en béton appuyé sur un arc principal en pierre***

***D'une longueur totale de 356.00 m, il comporte une arche principale de 146.00 m de portée encadrée par deux arcs de 30.00 m de part et d'autre***

***Sa largeur est de 24.00 m***





# XXI<sup>ème</sup> siècle - Le renouveau ?

***En France, depuis la deuxième partie du XX<sup>ème</sup> siècle, pour la sauvegarde du patrimoine les ponts en maçonnerie ont fait l'objet d'entretien et de réparations importantes***

***L'intérêt architectural de ces structures a sensibilisé nombres de gestionnaires***

***En 2008, dans une commune du parc nationale des Cévennes, Saint-Andéol-de-Clerguemort, petit village de 80 habitants, suite à " un épisode cévenol ", un pont s'est écroulé***

***Le maire a fait appel à un bureau d'études pour concevoir et construire un nouveau pont en pierres « faiblement maçonnées » (plus exactement en schiste et chaux), architecture typique de la région ( de nombreux ponts ont été construits de cette façon dans les Cévennes jusqu'au XIX<sup>ème</sup> siècle )***

***De plus, un tel pont s'intègre plus aisément dans le site car réalisé avec les matériaux naturels de proximité***

***En 2010, le projet voit le jour et les travaux furent prévus pour le premier semestre 2011. Ce pont a pour nom le Pont de Chaldecoste***

# XXI<sup>ème</sup> siècle - Le renouveau ?



***Décintrement du pont de Chaldecoste  
en septembre 2011***

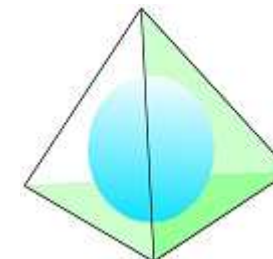
# XXI<sup>ème</sup> siècle - Le renouveau ?



***Le pont de Chaldecoste en 2014***

***Arc en plein cintre de 6.00 m d'ouverture***

# Merci



ADSTD

Jacques BILLON  
Chargé d'Etudes Ouvrages d'Art

Direction Territoriale Ouest  
DIMER / GOA

+33 (0)2 40 12 83 84  
jacques.billon@cerema.fr