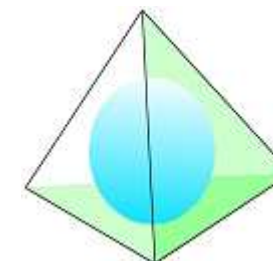


JOURNEE TECHNIQUE

Les ponts en maçonnerie

Du diagnostic à la réparation



ADSTD

*Fonctionnement des ouvrages en
maçonnerie*

Bernard JACQUIER - Cerema / Direction Territoriale Centre Est - DLL / OASMD/DOA

Constitution- Morphologie

Les ouvrages en maçonnerie se composent de :

- ***Fondations***
- ***Appuis (piles et culées).***
- ***Voûtes.***
- ***Murs (tympan, en retour ou en aile).***
- ***Remplissage.***
- ***Équipements (étanchéité, système de drainage, garde-corps, chaussée,)***

Constitution- Morphologie

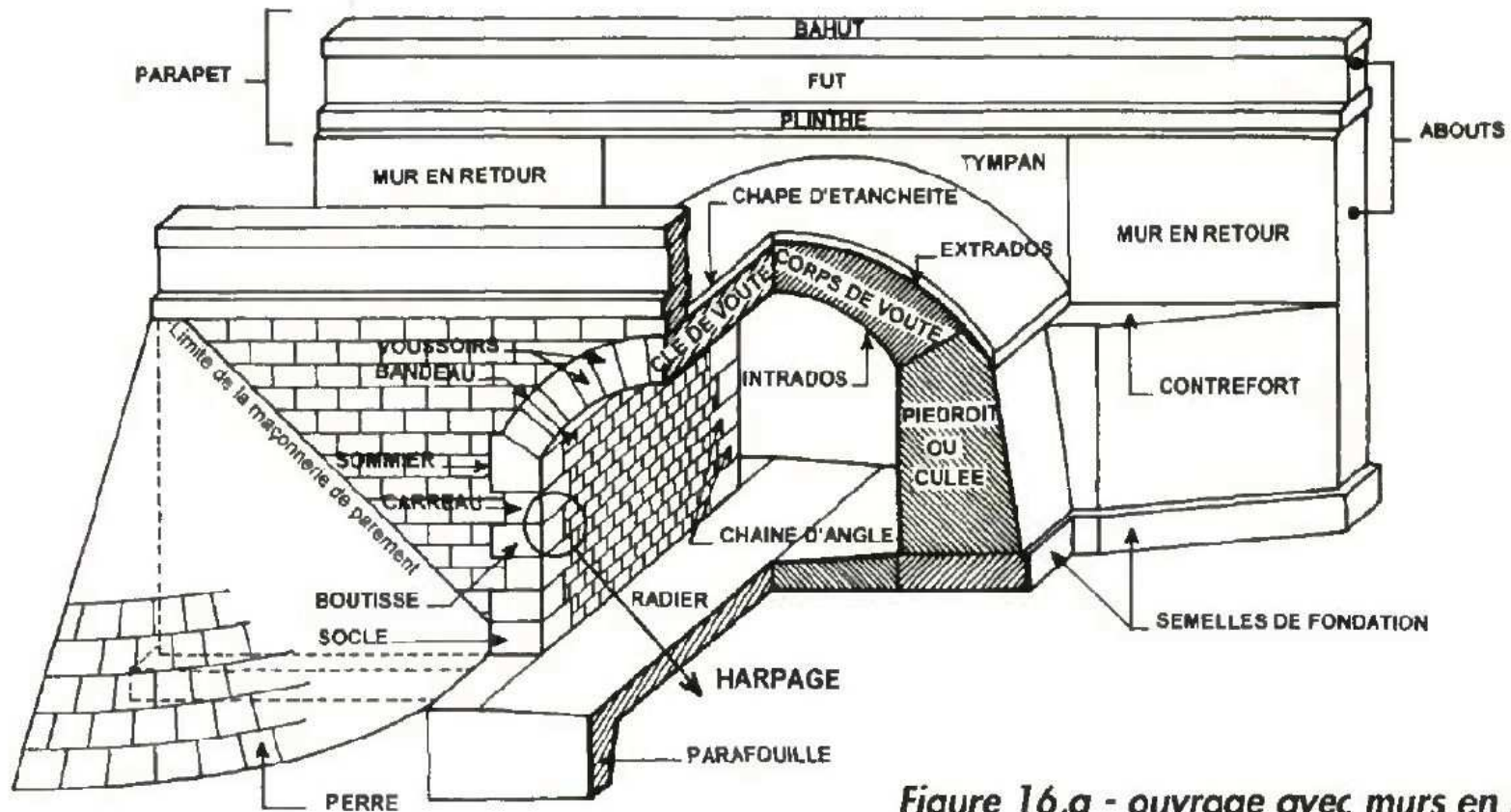


Figure 16,a - ouvrage avec murs en retour

Constitution - morphologie

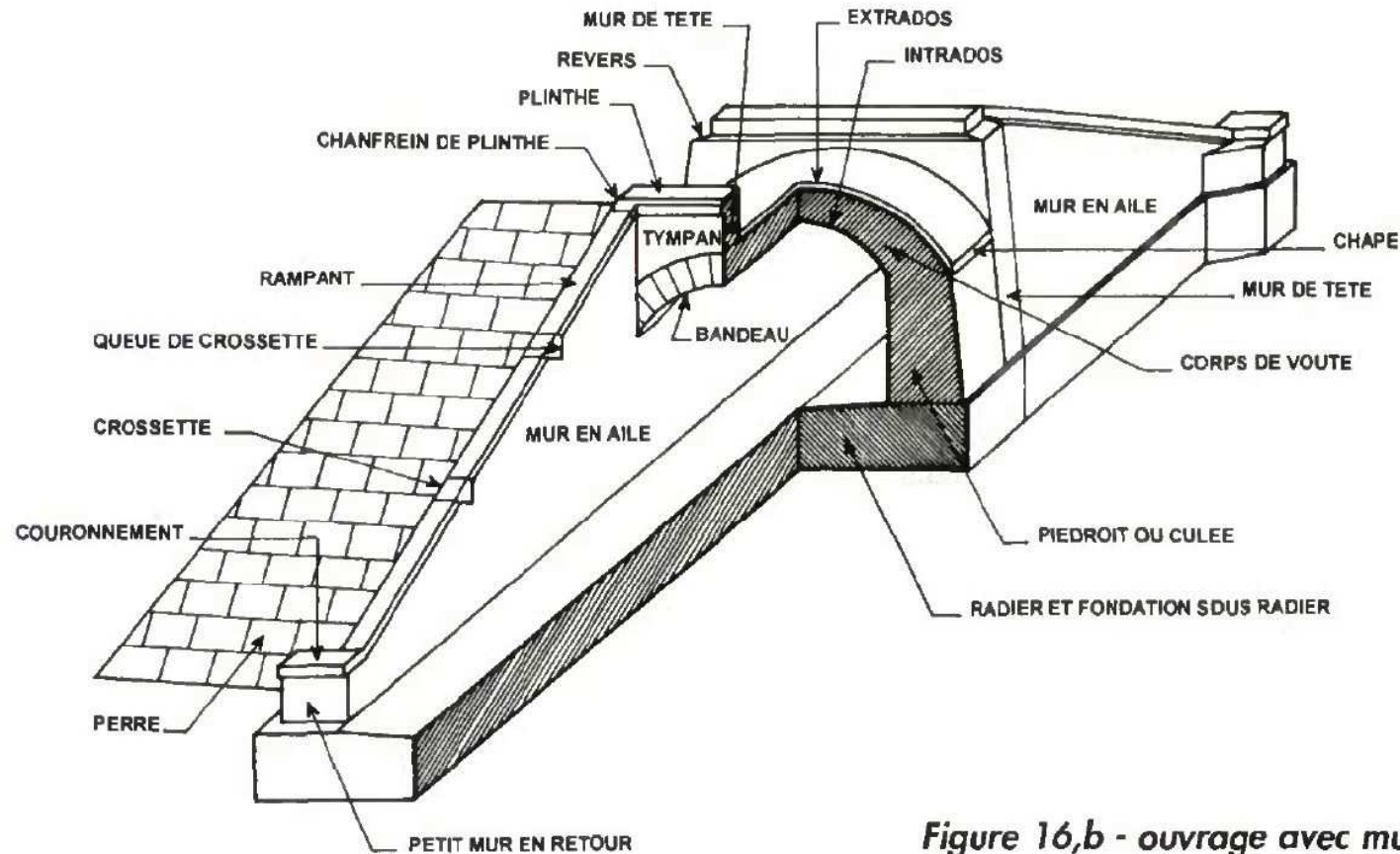
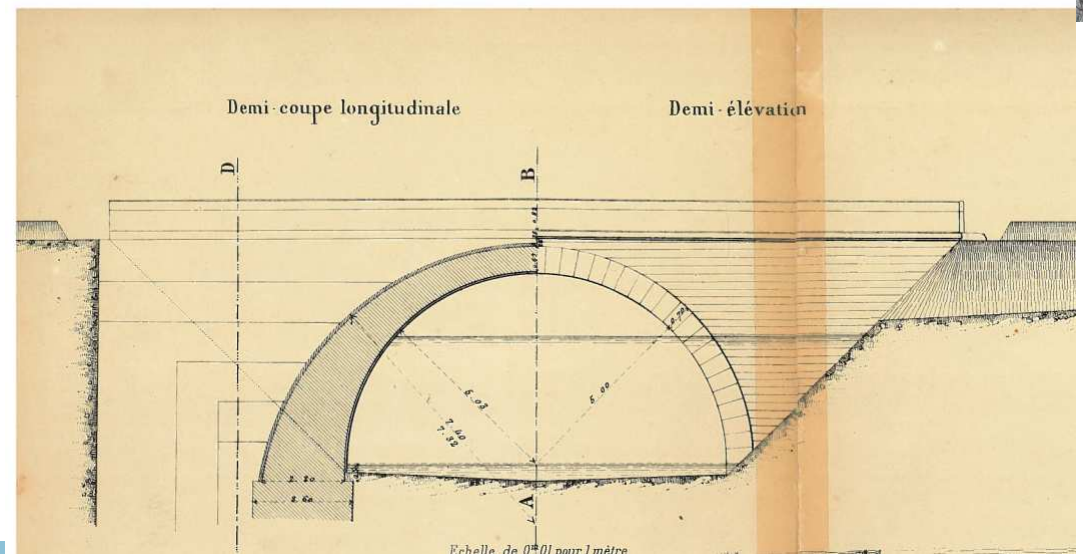
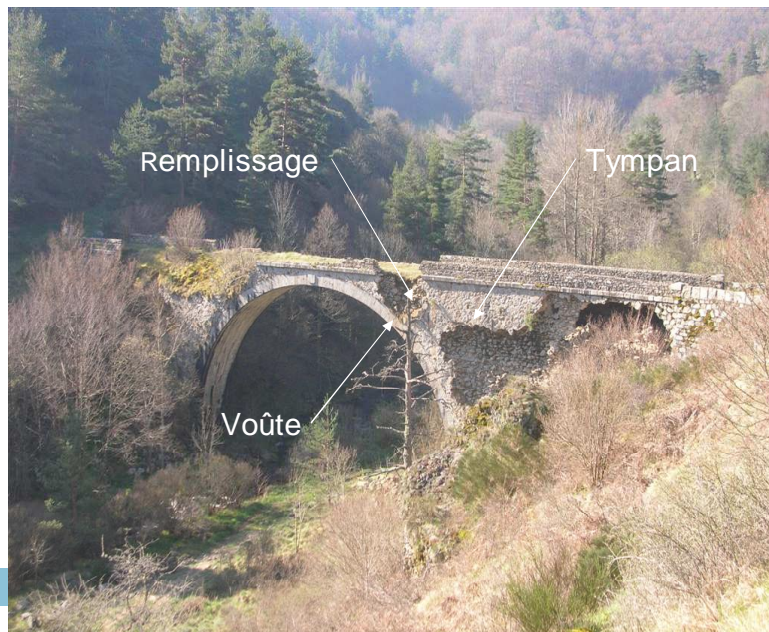
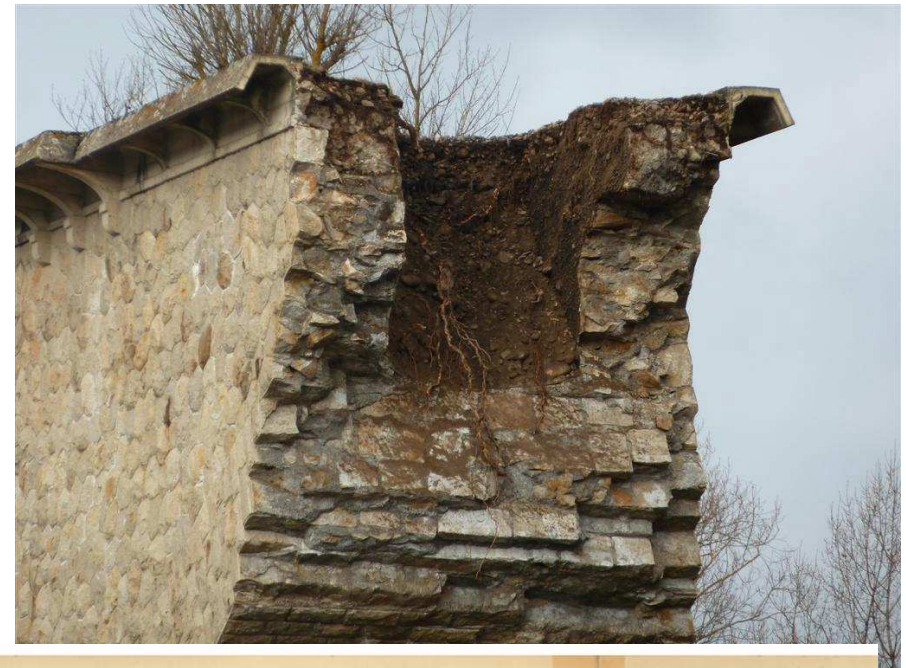
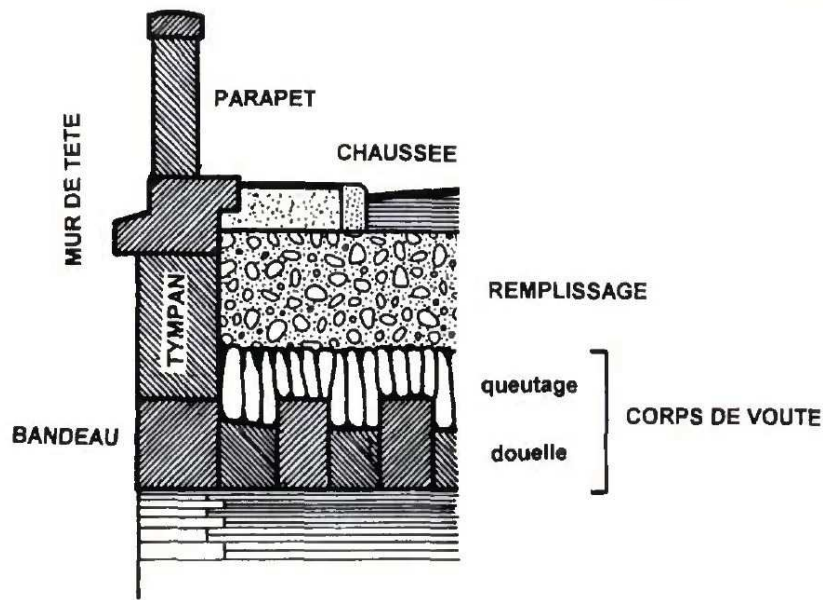


Figure 16,b - ouvrage avec murs en aile

Constitution - morphologie



Constitution - morphologie



Constitution - morphologie

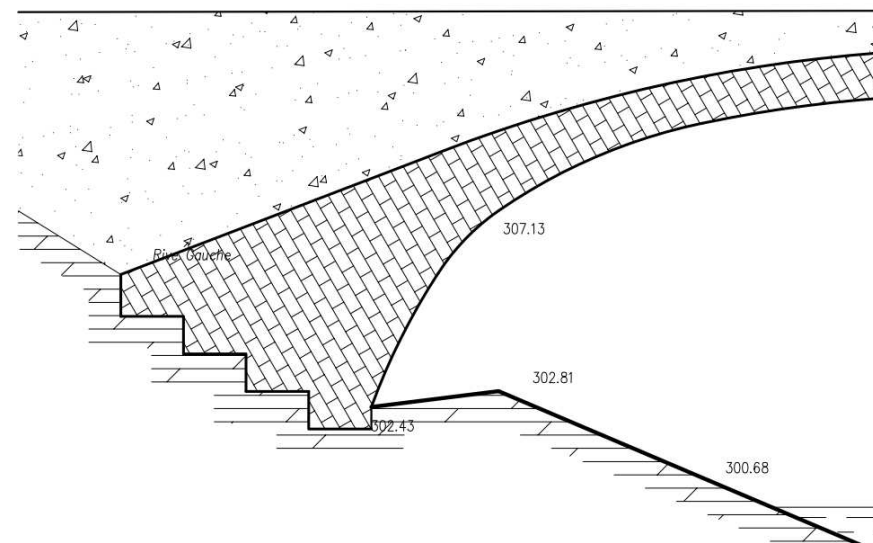
Les Fondations :

- *Fondations superficielles (bon sol à proximité de la surface).*
- *Fondations profondes (sol en surface de faible portance).*
- *Fondations en site terrestre.*
- *Fondations en site aquatique.*

Constitution - morphologie

Fondations superficielles en site terrestre

- **Quand le bon sol est à proximité de la surface il n'est fait qu'un décapage de la couche superficielle et réalisation de l'assise de la fondation dans le bon sol.**



Constitution - morphologie

Fondations superficielles en site aquatique

- *Ces fondations sont réalisées quand il n'y a pas de risques d'affouillements (faible vitesse de l'eau, sol non affouillable). Pour leur exécution, il était réalisé en général un simple décapage avec protection par un caisson sans fond, une enceinte de palplanches, un batardeau en terre ou après détournement du lit de la rivière, puis les maçonneries des appuis étaient montées sur le bon sol avec éventuellement l'interposition d'un petit massif en gros béton ou d'une grille et d'un platelage en bois.*



Renforcement de fondations superficielles
batardeau en terre

Constitution - morphologie

Fondations superficielles en site aquatique

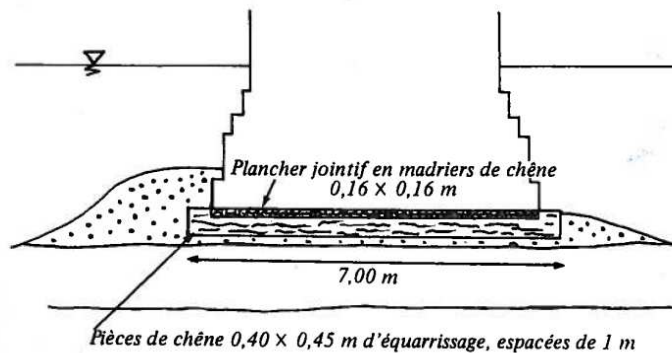
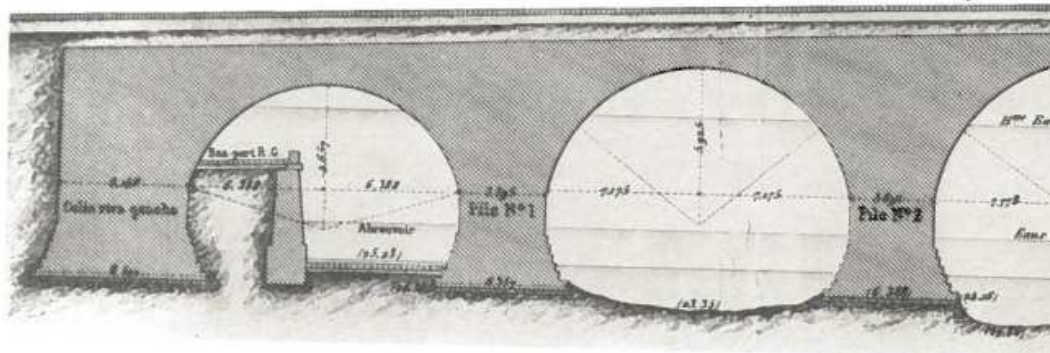


Fig. E.2. — Pont Neuf - Fondation d'une pile

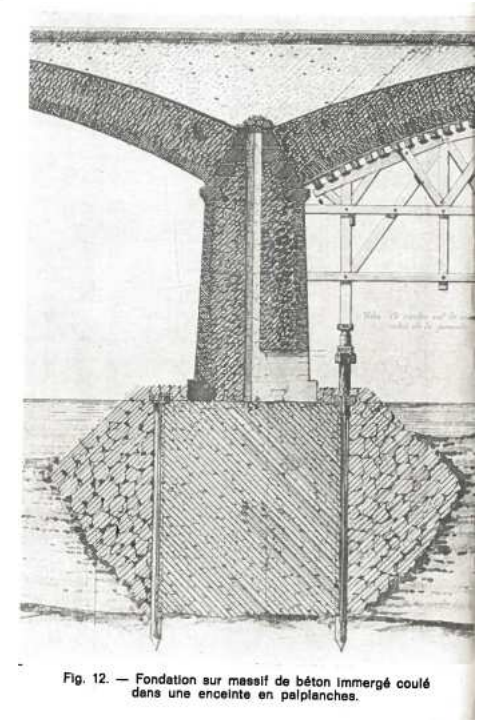
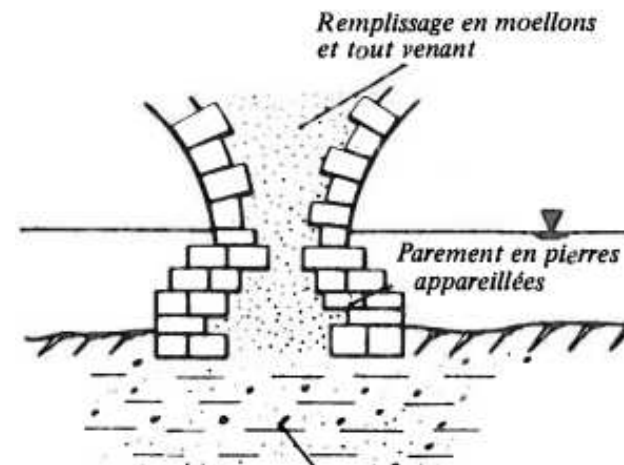


Fig. 12. — Fondation sur massif de béton immergé coulé dans une enceinte en palanques.



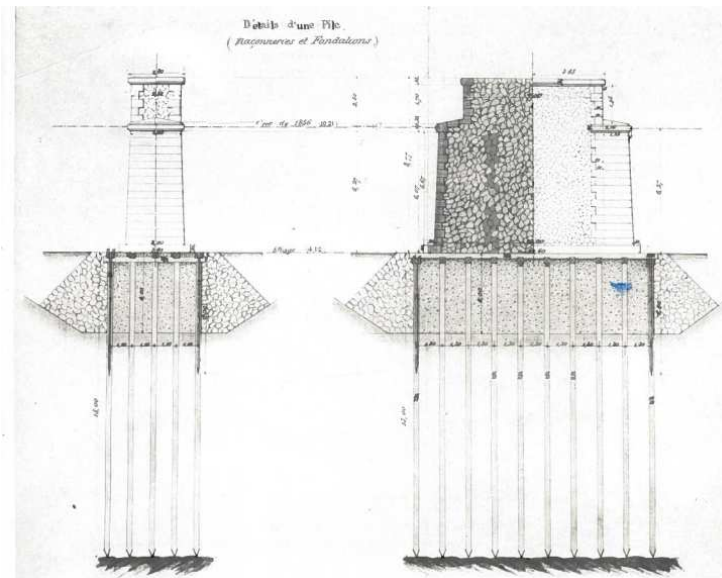
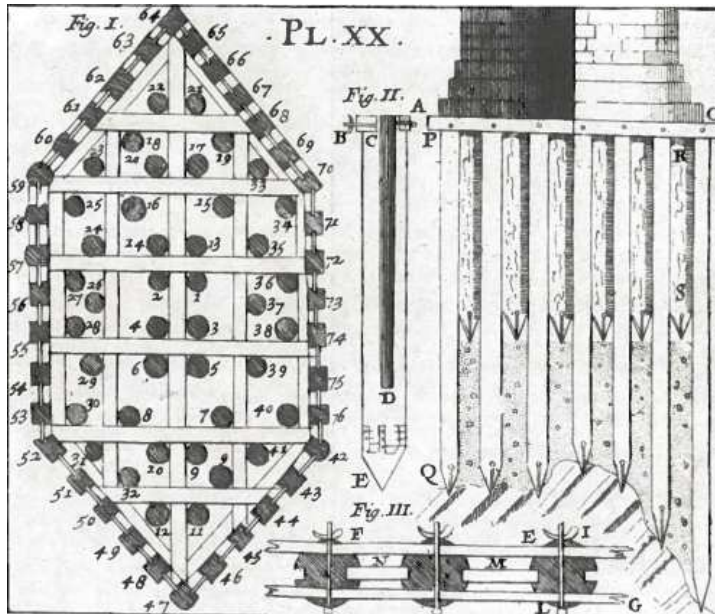
Constitution - morphologie

Fondations profondes

- *Quand le sol n'a pas une portance suffisante ou que le bon sol est à une profondeur trop importante pour réaliser un batardeau, les ouvrages étaient fondés sur ensemble de pieux en bois battus dans le sol.*
- *Ces pieux de diamètre 20 à 35 cm, dépassant rarement 10m de longueur, étaient munis d'une pointe métallique. Ils étaient recépés juste en-dessous du niveau d'étiage ou plus bas dans une enceinte de palplanches, puis les maçonneries des appuis étaient édifiées sur un platelage en bois reposant sur les têtes de pieux.*

Constitution - morphologie

Fondations profondes



Constitution - morphologie

Les Appuis - piles

- *Grande diversité de formes.*
- *Rapport entre épaisseur des piles et ouverture des voûtes diminuent avec les évolutions de la construction des ouvrages.*
- *En milieu aquatique, souvent munies d'avant et d'arrière becs pour faciliter l'écoulement des eaux.*
- *Remplissage souvent très différent du parement.*



Constitution - morphologie

Les Appuis - Culées

- *Les efforts stabilisateurs dus à leur poids s'opposent aux efforts horizontaux de poussée des voûtes.*
- *Remplissage souvent très différent des parties vues.*
- *Parfois des vides ou chambres d'élégissement non apparentes.*

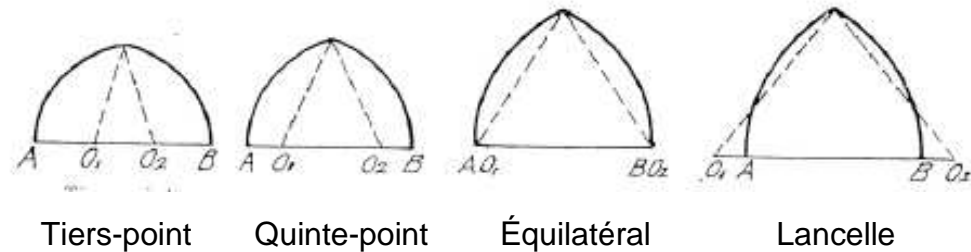


Constitution - morphologie

Les voûtes des ponts - différents types

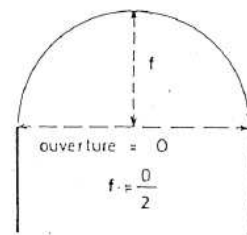
•Ogivale

- Tiers-point
- Quinte-point
- Équilatérale
- Lancelle

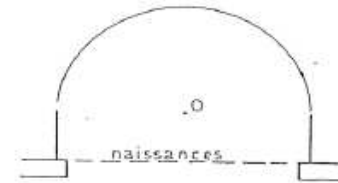


•Plein cintre

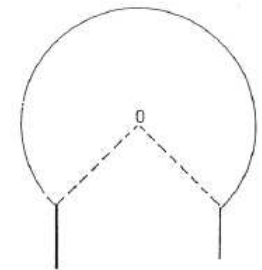
- Demi-cercle
- Surhaussé
- Outrepassé



Demi cercle



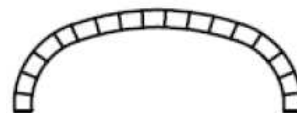
Surhaussé



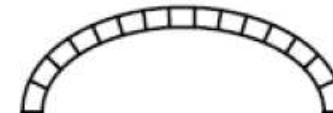
Outrepassé

•Surbaissées

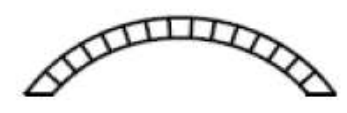
- Anse de panier
- Demi ellipse
- Arc



Anse de panier



Demi ellipse



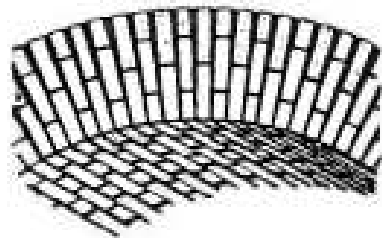
Arc de cercle

Constitution - morphologie

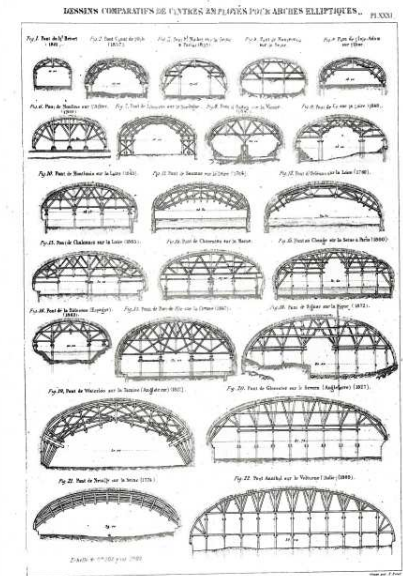
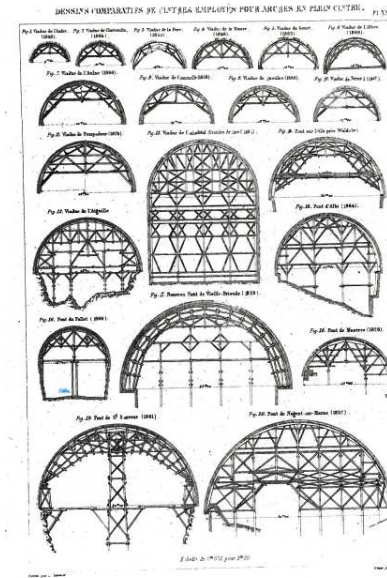
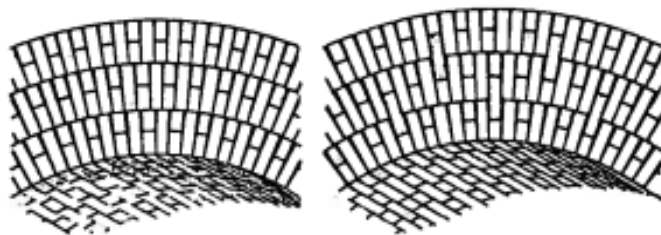
Les voûtes des ponts

• **Pour leur construction, les pierres taillées sont mises en places sur les cintres avec ou sans joints en mortier. Elles peuvent être mis en place en un seul rouleau (couche) ou plusieurs rouleaux. Les premiers participant à la résistance du cintre pour la mise en place des suivants.**

Voûte à un seul rouleau



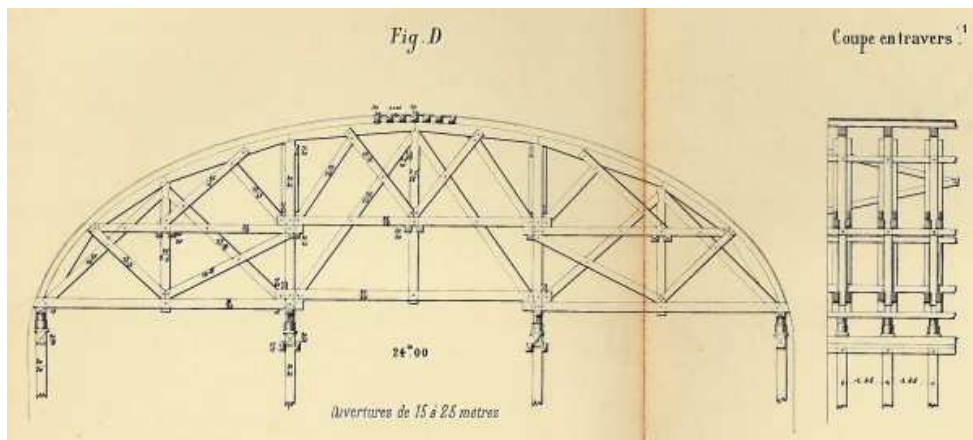
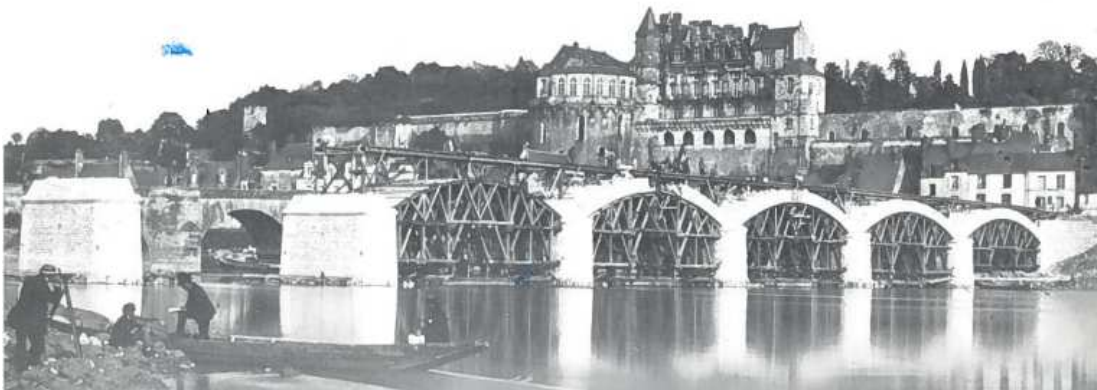
Voûte à plusieurs rouleaux



Les cintres sont déjà des ouvrages d'art.
Les techniques et formes sont très diverses.

Constitution - morphologie

Les voûtes - Construction



Matériaux

Les matériaux principaux des ponts en maçonneries sont :

- ***Pierres***
- ***Briques***
- ***Mortier***
- ***Béton***
- ***Bois***
- ***Acier***
- ***Remblais de remplissage***

Matériaux

Pierres

- *Calcaire*
- *Magmatiques (basalte, granite...)*
- *Métamorphiques (schistes,...)*



Briques



Matériaux

Mortier

- *Pour hourdage des pierres ou briques. Il sert à transmettre régulièrement les efforts entre les pierres. En général sur ouvrages anciens mortier de chaux et sur ouvrage plus récent mortier bâtard de chaux et de ciment (composition classique en volume: 5 volume de sable pour 1 de liant composé à 30 % de chaux et 70 % de ciment).*
- *Pour jointoiement. Il sert à étancher les maçonneries et est en général plus chargé en liant que le mortier de hourdage.*
- *Pour l'étanchéité en extrados de voûtes*

Matériaux

Les maçonneries

- **Assemblage de pierres ou de briques avec le mortier**
- **Divers appareillage**

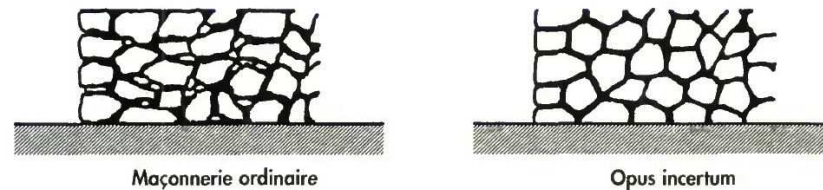


Figure 19 - appareillages de moellons bruts (réf. [8])

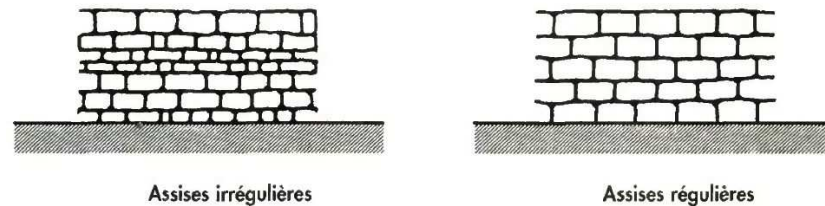


Figure 20 - appareillages de moellons assises

Matériaux

Le béton

- **Béton grossier, souvent à la chaux, utilisé parfois dans les massifs de fondation des appuis ou en remplissage**

Le bois

- **Rencontré dans les platelages et pieux de fondation des ouvrages sur terrain de faible portance**



Sondages carottés dans gros béton de fondation

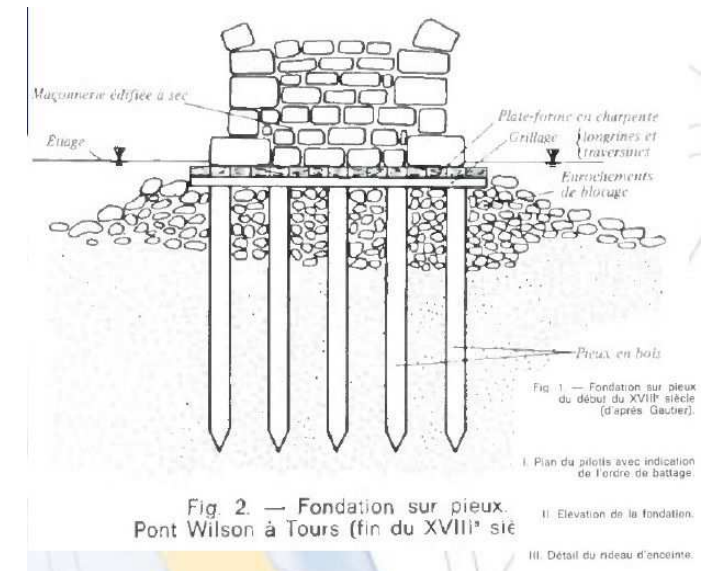
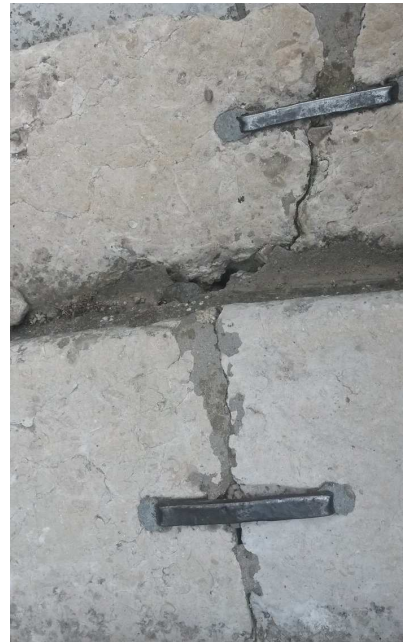
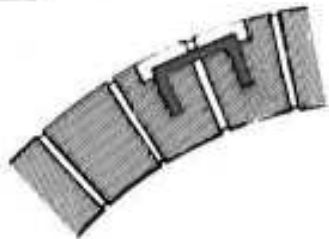


Fig. 2. — Fondation sur pieux.
Pont Wilson à Tours (fin du XVIII^e sié

Matériaux

L'acier

- *Pour tirants d'enserrement, épingles, agrafes entres pierres.*



Matériaux

Remblais de remplissage

- *Servent de support à la chaussée. Devraient être drainants, peu poussant et légers.*



Matériaux

Les équipements

- **Importance primordiales de l'étanchéité et des systèmes de drainage et d'évacuation des eaux qui empêchent les eaux arrivant sur l'ouvrage de percoler à travers les maçonneries et de dégrader les joints.**
- **Étanchéité initialement, chape en mortier sur extrados des voûte et face arrière des murs tympans. Maintenant étanchéité en feuilles préfabriquées, en position basse (sur extrados et contre murs), moyenne (dans remblais de remplissage) ou haute (juste sous la couche de chaussée).**

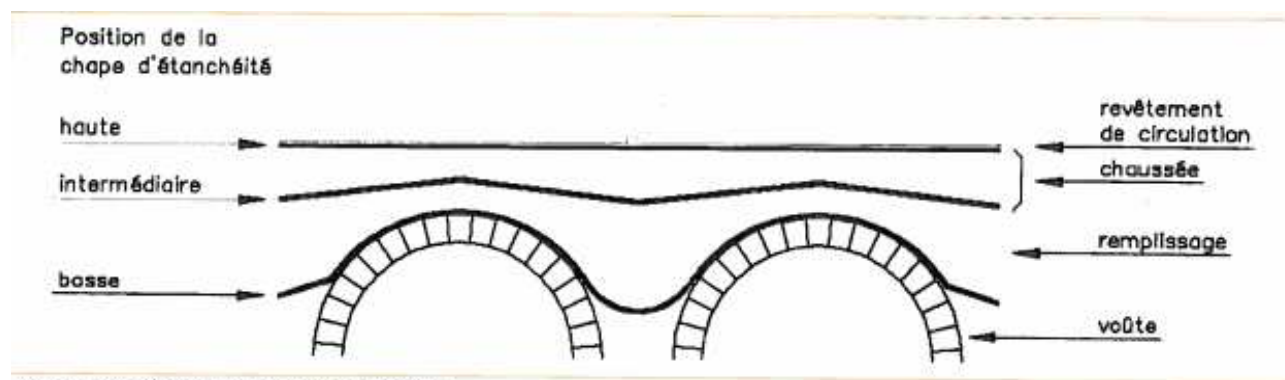
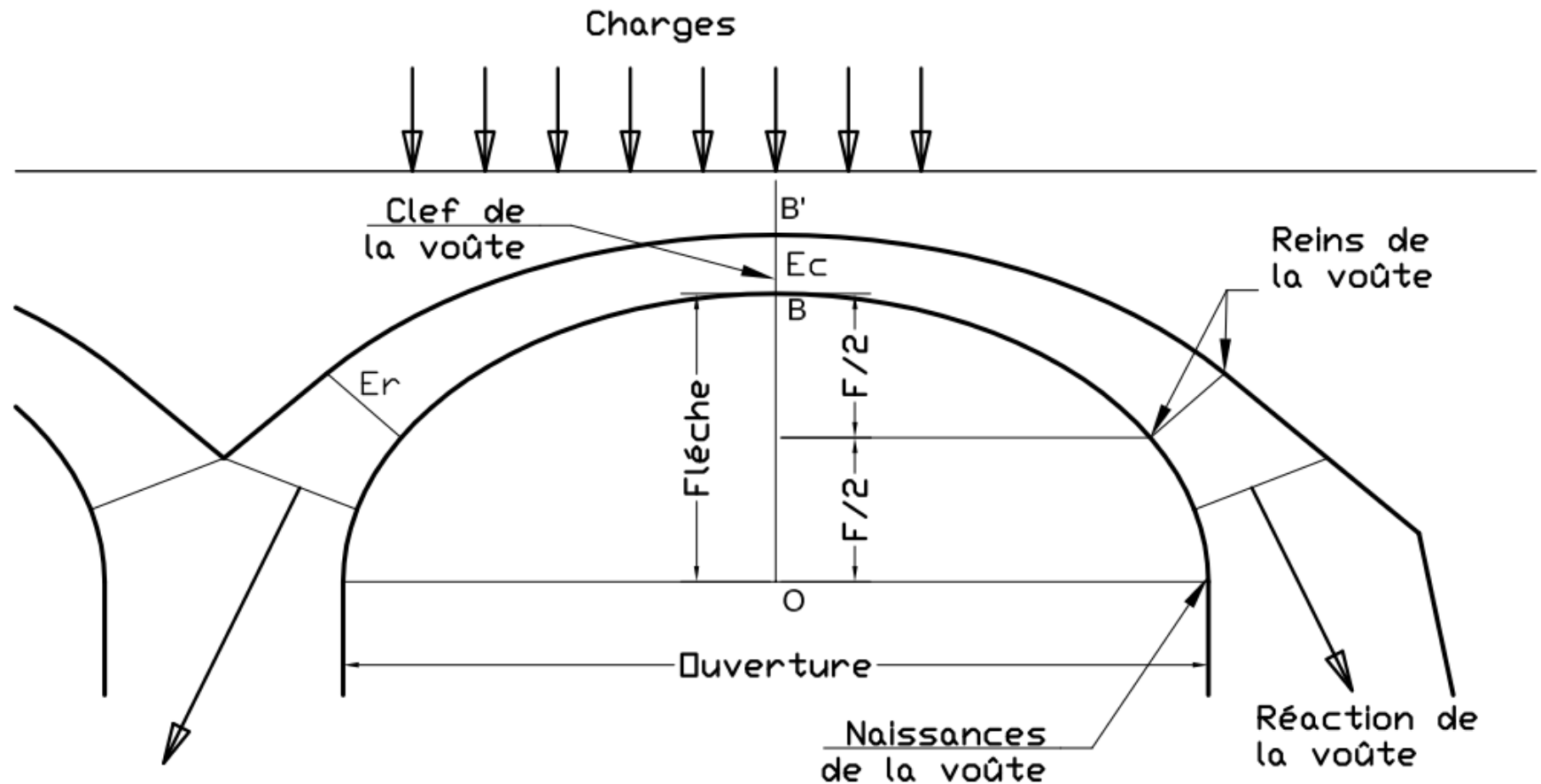


Figure 20 : les différentes positions d'une étanchéité.

Fonctionnement

Les charges verticales dues au poids de l'ouvrage et aux charges sur chaussée transitent par la voûte qui les transmet aux massifs d'appuis

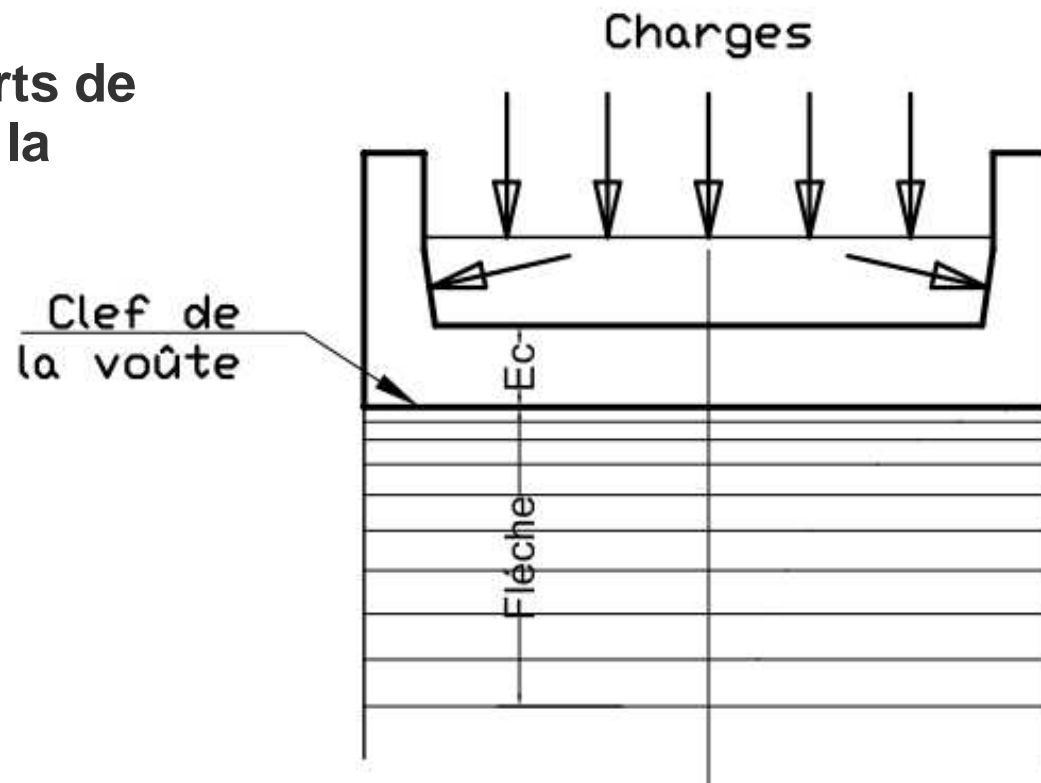


Fonctionnement

Les charges verticales dues aux charges sur chaussée et les remblais de remplissage amènent aussi des poussées sur les murs tympans, murs en retours ou murs en aile.

Ces murs fonctionnent comme des murs poids en maçonnerie.

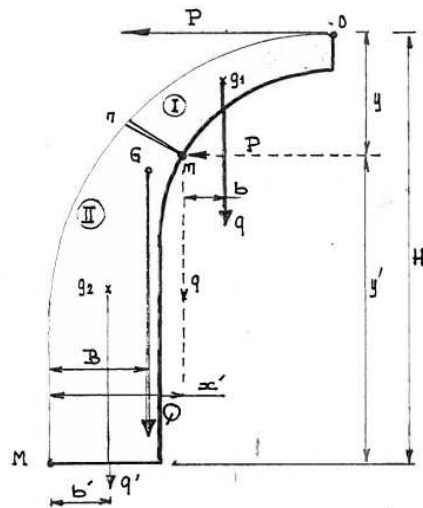
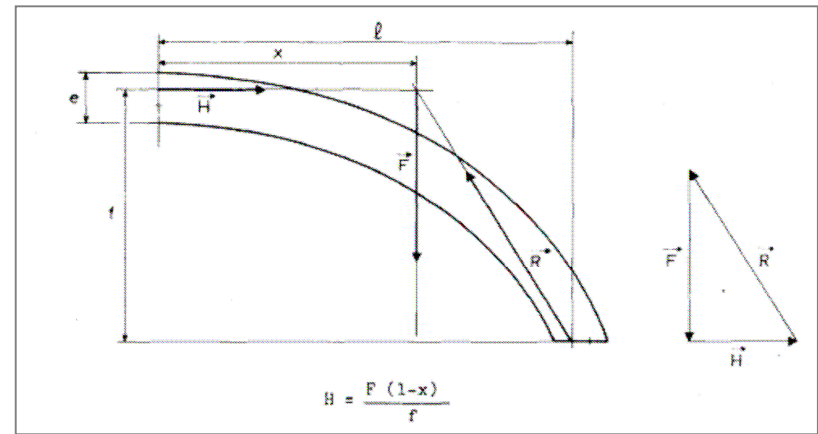
Les efforts stabilisateurs dus à leur poids s'opposent aux efforts de renversement dus à la poussée des terres.



Les calculs

Les calculs manuels

Permettent d'avoir facilement les poussées en clef et en pied de voûte et lignes des centre de pression (voir « Les ponts en maçonnerie », tome1, chapitre 4).



mn étant le joint de rupture et P la poussée produite par l'autre demi-voûte (P agit en 0) l'équation d'équilibre limite de I sur II autour du point de rotation n donne :

$$P y = q b \rightarrow P = \frac{b q}{y}$$

P et q étant les forces agissantes sur la partie inférieure II l'équation d'équilibre autour du point M est :

$$q x' + q' b' = P y' = b q \frac{y'}{y}$$

• Pour que la partie II soit stable il faut que :

$$q x' + q' b' > b q \frac{y'}{y}$$

• Soit pour l'ensemble du massif (I+II) avec $\Phi = q + q'$

$$\boxed{B\Phi > PH}$$

Règle : Le joint de rupture est celui pour lequel la valeur de la composante horizontale des pressions atteint son maximum et consiste dès lors la poussée.

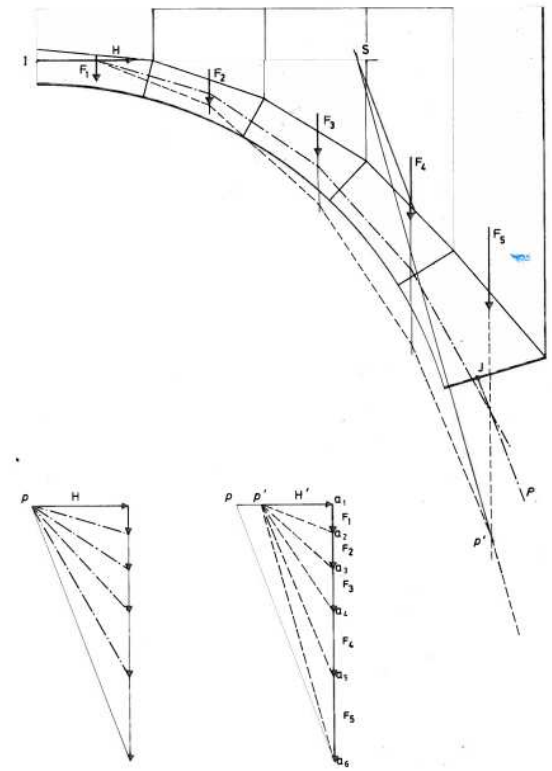


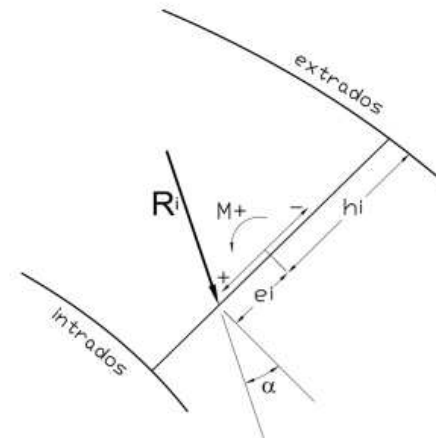
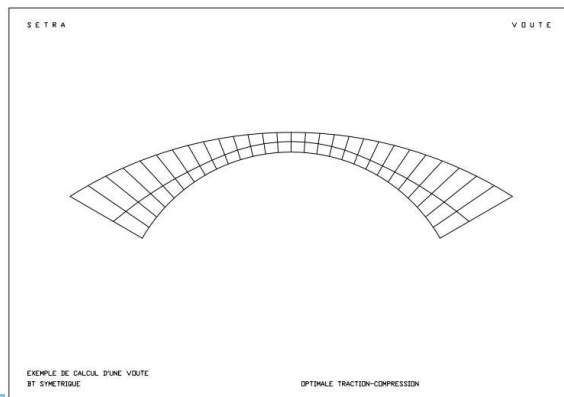
FIGURE 6 : Epure de Méry : Cas symétrique

Les calculs

Les calculs informatiques

Le programme « Voûte »

- *Disponible avec documentation et compléments sur <http://www.setra.developpement-durable.gouv.fr/html/logicielsOA/VOUTE/voute.html>*
- *Donne le coefficient de sécurité à la rupture d'une voûte , la résultante des efforts sur les joints de calcul et les réactions d'appuis sous un chargement donné.*
- *Fonctionne sur micro 32bits ou 64bits avec émulateur 32bits.*
- *Bien voir document sur recueil des données.*



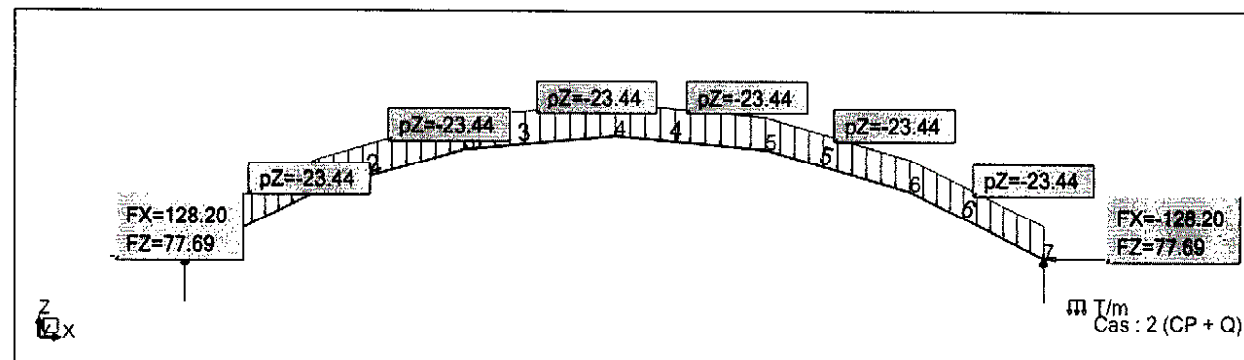
Les calculs

Les calculs informatiques

Programmes à barres

- *Peu adapté au calcul des petites voûtes dont les éléments massifs sont difficilement assimilables à des barres.*
- *Faire très attention aux données et hypothèses.*
- *Vérifier avec d'autres modes de calcul.*

Structure - Forces de réaction(T); Cas : 2 (CP + Q)

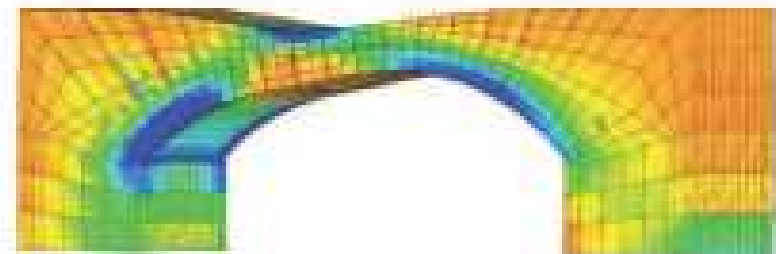
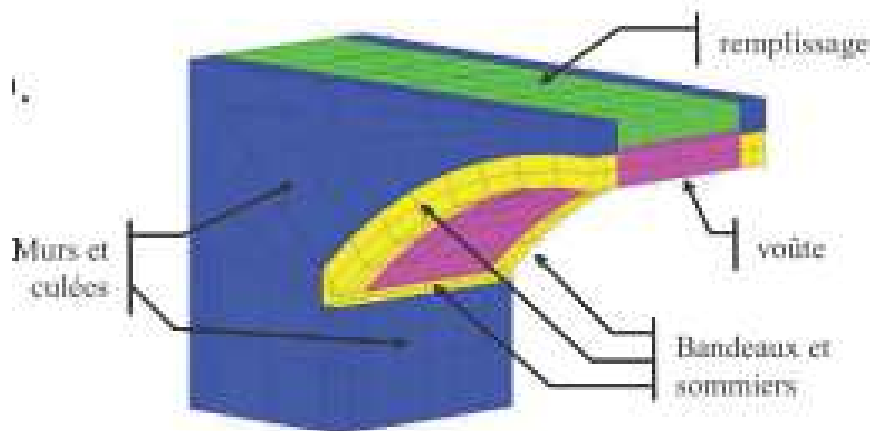


Les calculs

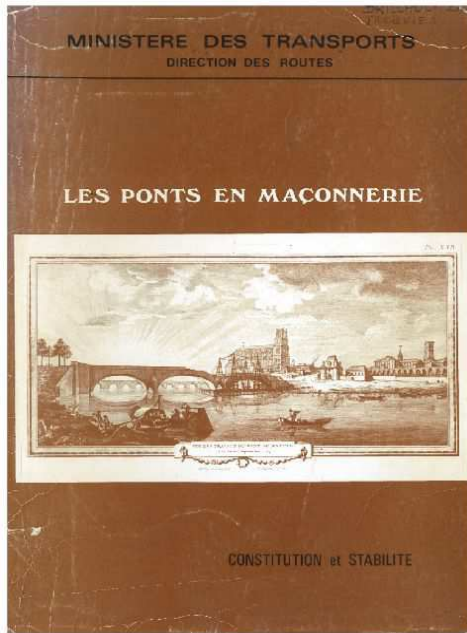
Les calculs informatiques

Programmes aux éléments finis

- ***Complicqués d'utilisation.***
- ***Permet de prendre en compte l'effet des tympans et murs en retours***
- ***Faire attention aux données et interactions entre éléments.***
- ***Pour plus de renseignements voir thèse Nathalie Domède (INSA Toulouse)***

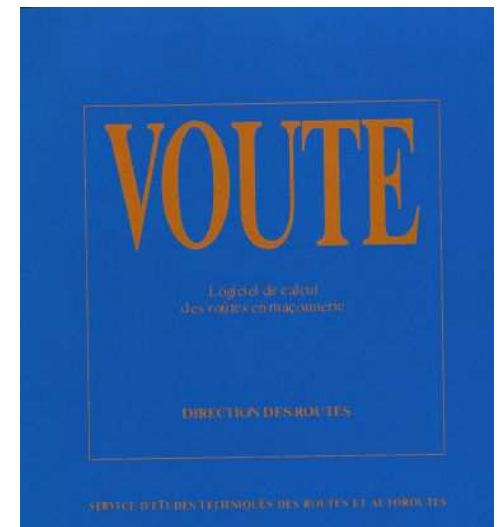
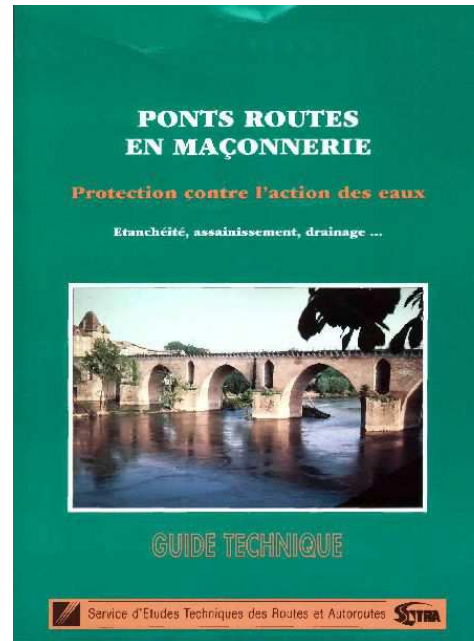


Bibliographie

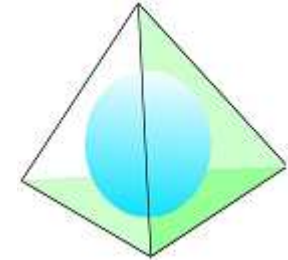


07.54

Technologie
des
maçonneries



Merci



ADSTD

Bernard JACQUIER
Chargé d'Affaires Ouvrages d'Art

Direction Territoriale Centre Est
DLL/OASMD/DOA

+33 (0)4 74 27 53 90
Bernard.jacquier@cerema.fr