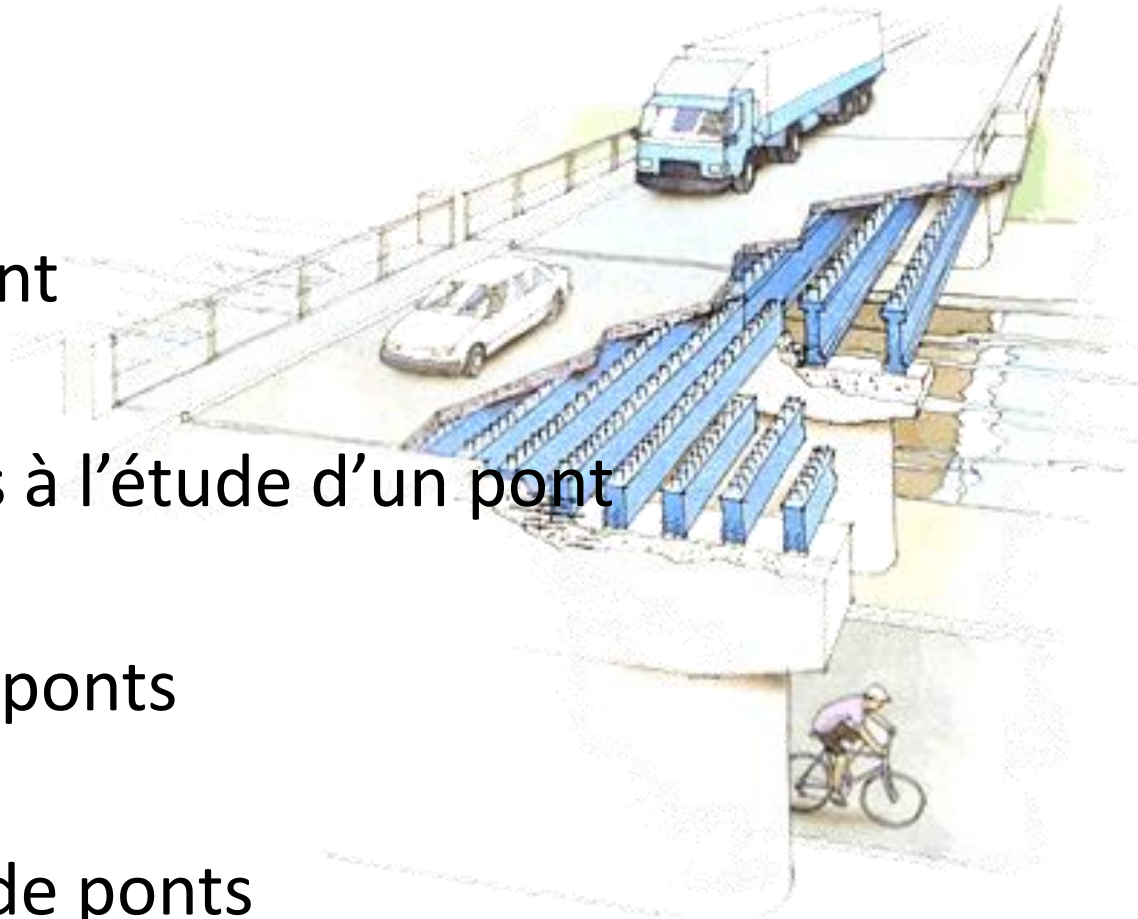


Chapitre 3 : Notions sur les ponts

1

1. Généralités
2. Éléments d'un pont
3. Données relatives à l'étude d'un pont
4. Classification des ponts
5. Principaux types de ponts



1. Généralités 1/2

2

➤ Définition

Les ponts sont des ouvrages d'art destinés à permettre le franchissement d'un obstacle en passant par-dessus.

Un pont peut supporter :

- Chaussée routière
- Canalisation
- Voie ferrée
- Canal (pont canal)

Pont de Rion-Antirion (Grèce, 2004)



1. Généralités 2/2

3

➤ Définition

Un pont est à l'origine une construction reliant les deux rives d'un cours d'eau. A partir du 19^{ème} siècle, la construction des ponts est devenue indispensable pour franchir de nouvelles voies de communication.

St-Martin (Torino, 25 avant JC)



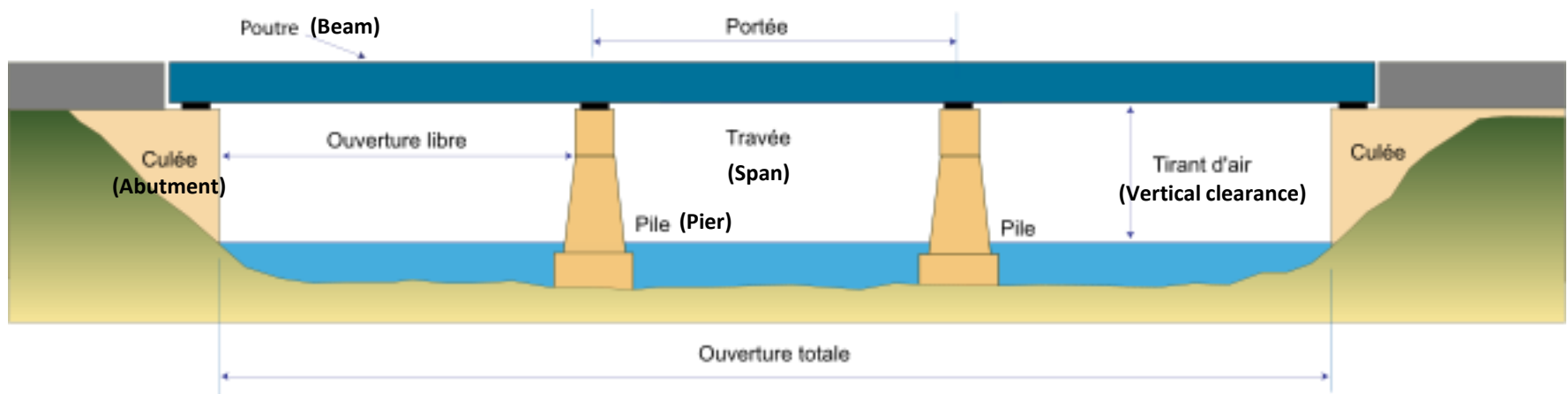
Pont du Balinghe (Chine, 2009)



2. Eléments d'un pont 1/4

4

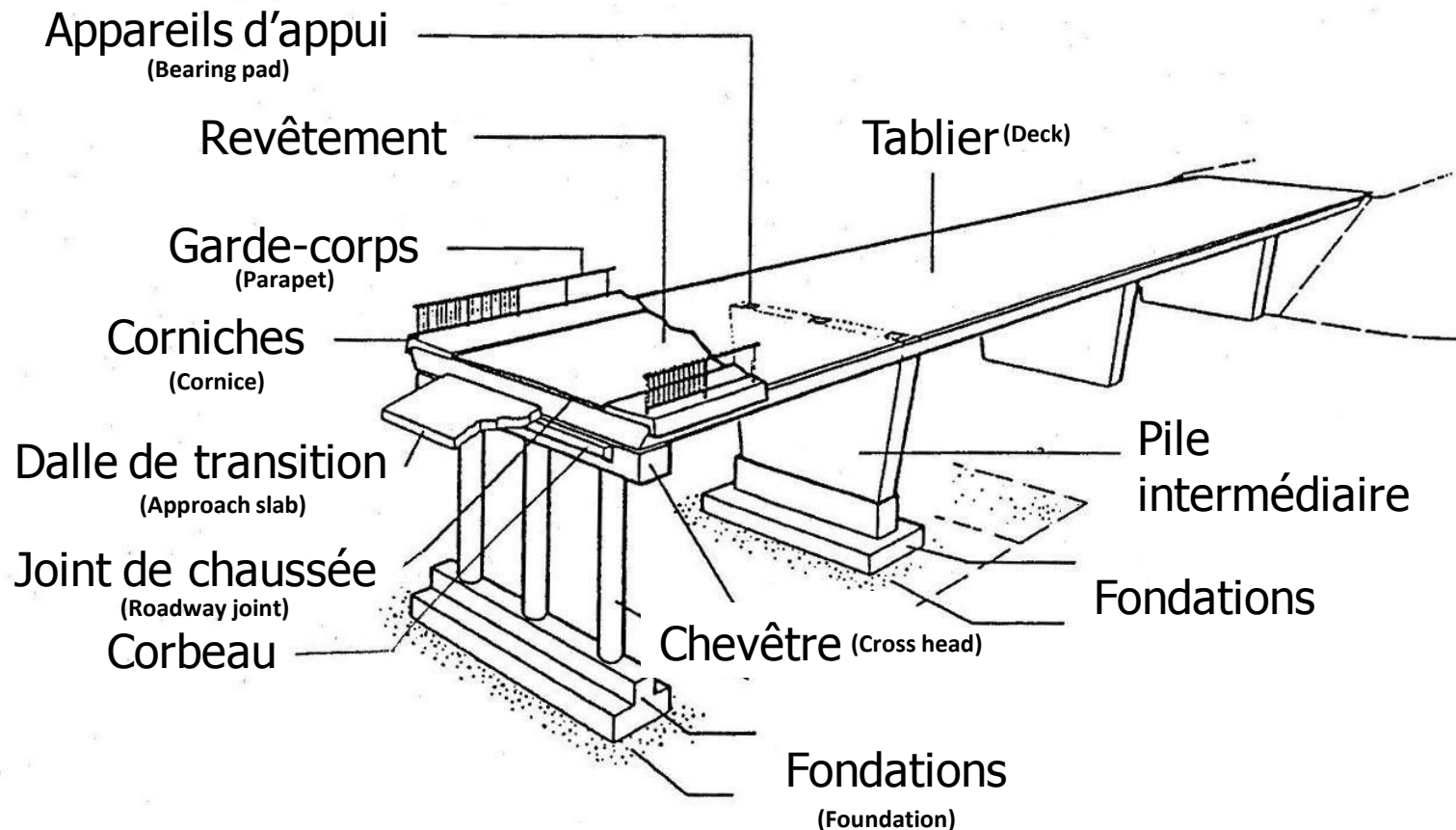
➤ Terminologie



2. Eléments d'un pont 2/4

5

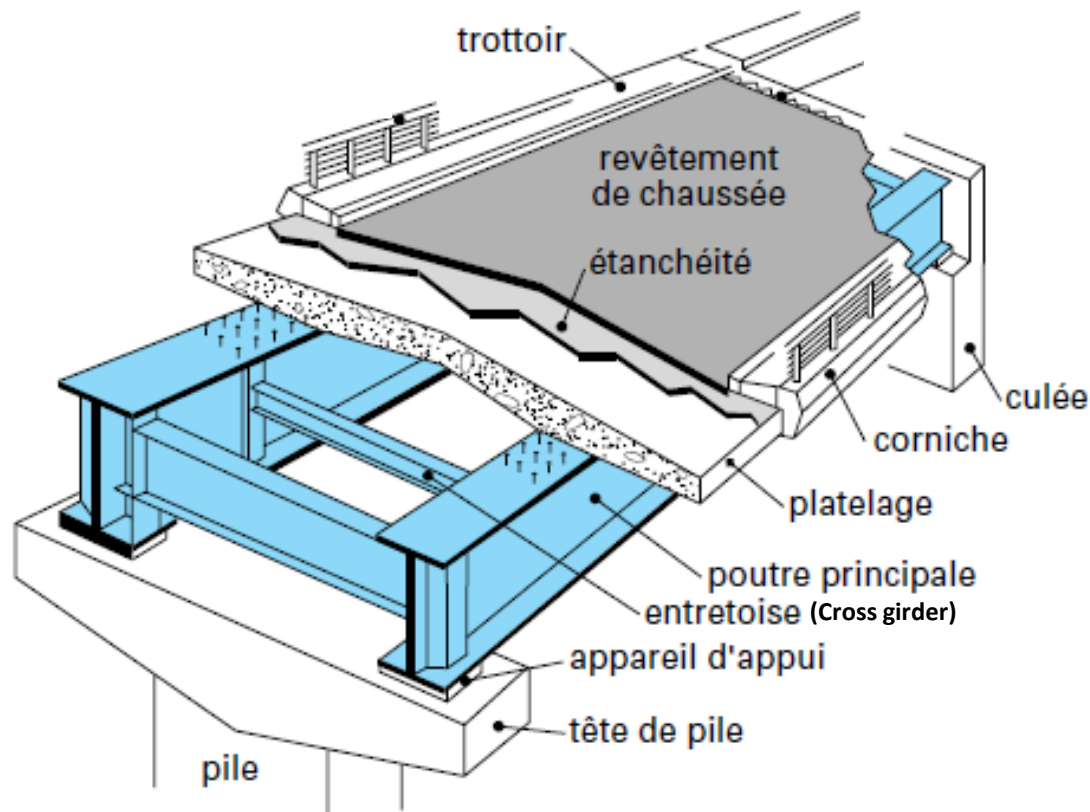
➤ Terminologie



2. Eléments d'un pont 3/4

6

➤ Terminologie (Pont métallique)



2. Éléments d'un pont 4/4

7

Exemple d'un pont à poutres



Exemple d'une culée



3. Données relatives à l'étude d'un pont 1/13

8

1. Différents intervenants

Maitre d'ouvrage est la personne morale pour laquelle l'ouvrage est construit (initiateur, propriétaire et gestionnaire).

Maitre d'œuvre monte l'opération aboutissant à la réalisation de l'ouvrage pour le compte du maître d'ouvrage. Il est responsable de son bon déroulement (conception, réalisation, réception), dans le respect de la commande du maître d'ouvrage, des normes, recommandations techniques et règles de l'art.

Chef de projet est la personne responsable de la *maitrise d'œuvre*. Il a un rôle primordial de chef d'orchestre de l'opération composée de plusieurs spécialiste du domaine : route, ouvrage d'art, architecte, géotechnicien, hydrologue, géologue, paysagiste, ...



3. Données relatives à l'étude d'un pont 2/13

Dans un projet de construction d'un pont, le maître de l'ouvrage doit définir **le programme** qui retrace les objectifs de l'opération, les besoins qu'elle doit satisfaire et **les contraintes** qui y sont attachées. Le maître d'œuvre l'aide à clarifier et à compléter ses attentes.

Les différentes **contraintes** ou **données** du projet d'ouvrage d'art (pont) sont classées selon les catégories suivantes :

- *les données administratives*, destinées à définir le cadre administratif et réglementaire dans lequel se situe le projet, en particulier les délais et les contraintes de financement de l'opération.
- **les données fonctionnelles** qui constituent l'ensemble des caractéristiques permettant au pont d'assurer ses fonctions de franchissement . Elles intègrent les données d'exploitation, en service et en construction.
- **les données naturelles** qui rassemblent les éléments techniques du terrain influant directement sur sa conception.
- **les données d'environnement** qui rassemblent les spécificités écologiques du site.
- *les données architecturales et paysagères* qui mettent en évidence la qualité du site.
- *les données de gestion* qui traduisent la sensibilité de l'ouvrage aux opérations de surveillance, d'entretien ou de réparation.

3. Données relatives à l'étude d'un pont 3/13

10

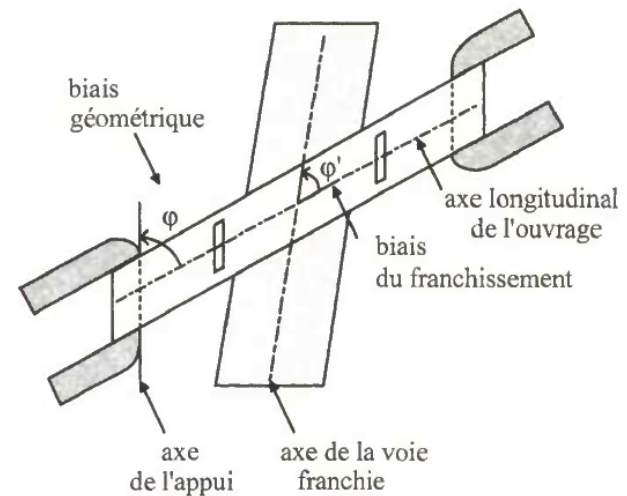
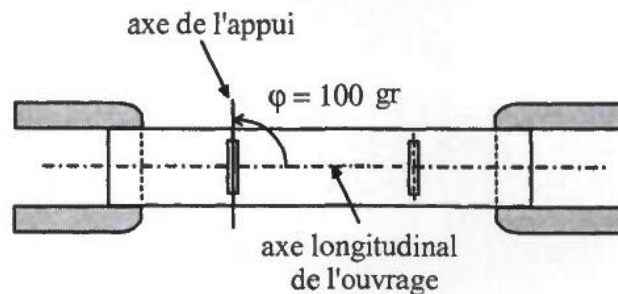
2. Données fonctionnelles

Les données fonctionnelles rassemblent l'ensemble des caractéristiques permettant au pont d'assurer sa fonction d'ouvrage de franchissement à sa mise en service. Pour cela, il est nécessaire de définir les données relatives à la **voie portée** et la **voie** ou l'**obstacle franchi**.

2.1. Données relatives à la voie portée

a) Tracé en plan :

La projection de l'axe de la route sur un plan horizontal (plan topographique). En plan, le tablier d'un pont peut être **droit**, **biais** (suivant l'inclinaison de la ligne d'appuis par rapport à l'axe longitudinal du pont « angle de biais φ »), ou **courbe**.



3. Données relatives à l'étude d'un pont 4/13

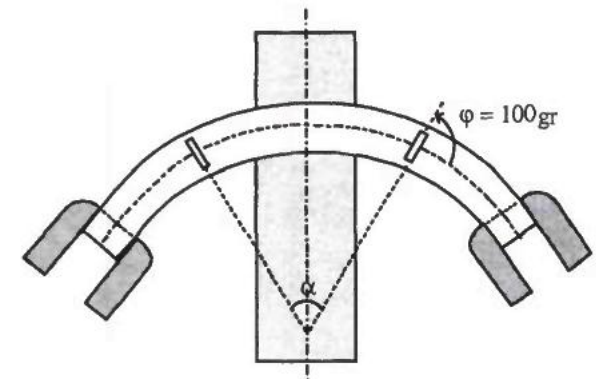
11

Les biais trop marqués (en dessous de 60 grades) doivent être évités le plus possible compte tenu du surcoût et des difficultés qu'ils engendrent au moment de la réalisation de l'ouvrage .

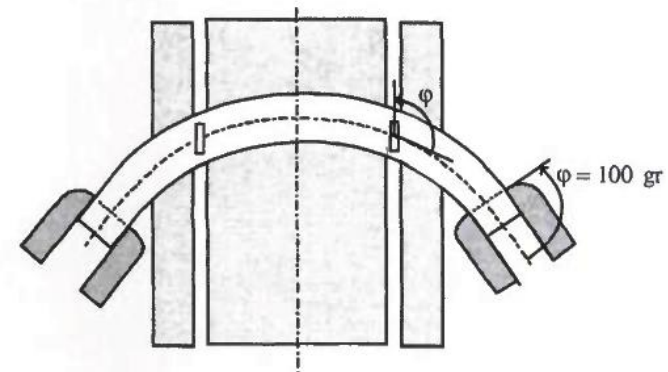
Les ponts courbes sont des ouvrages plus difficiles à réaliser et en général plus coûteux que les ponts droits.



Pont sur l'autoroute Est –Ouest (Bouira)



a) appuis radiaux



b) appuis biais

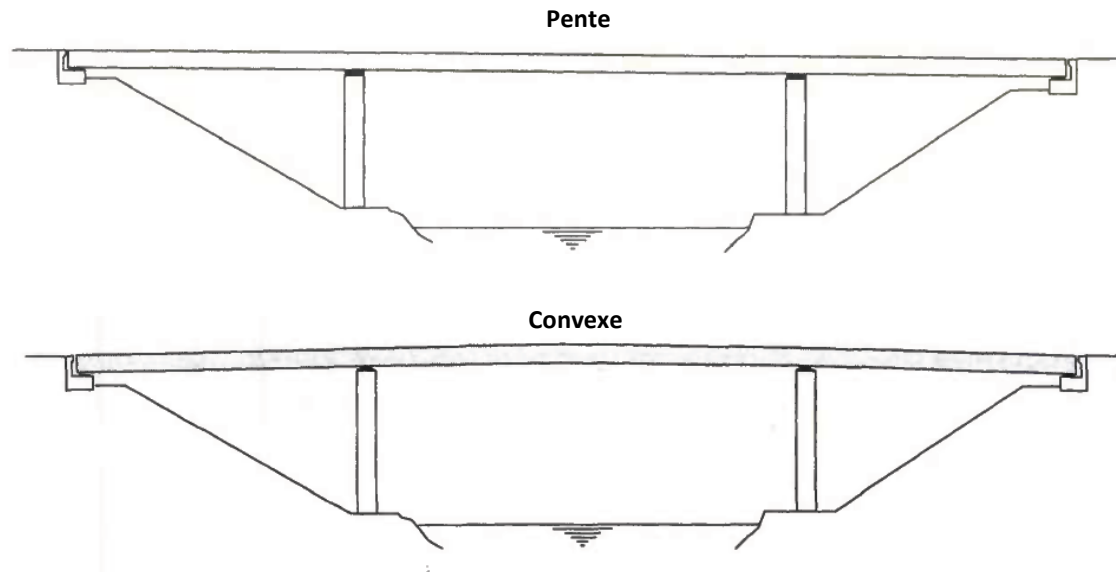
3. Données relatives à l'étude d'un pont 5/13

12

b) Profil en long :

Le profil en long permet de définir l'altitude (cote) de l'axe du projet en fonction de l'abscisse curviligne du projet dans le plan topographique.

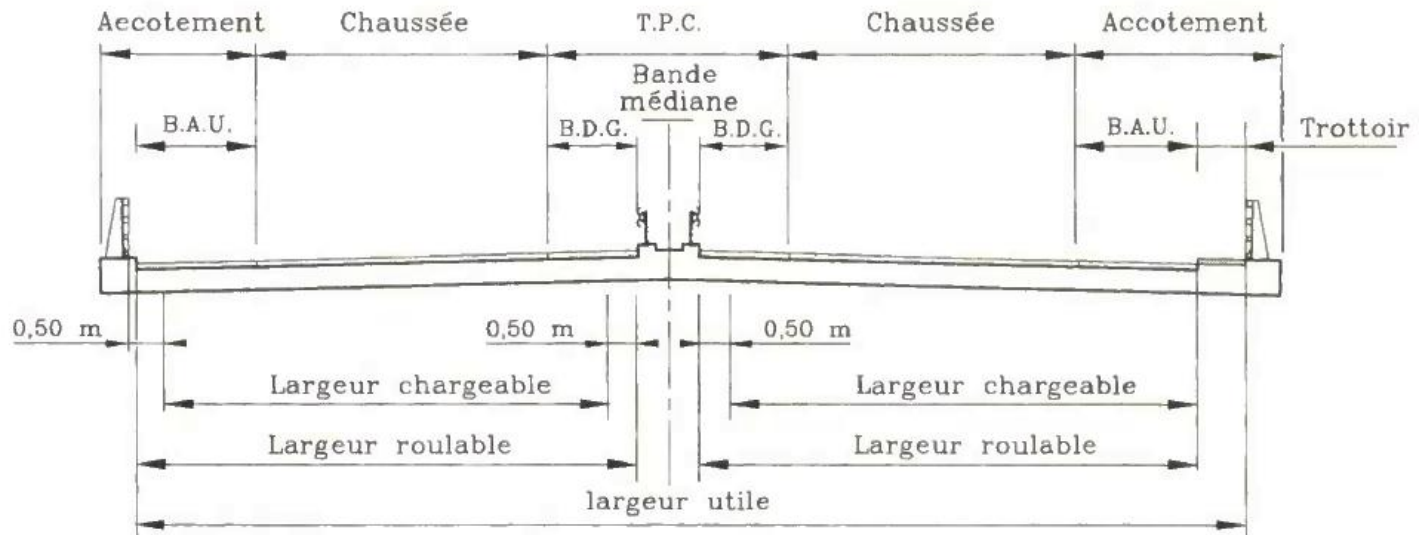
En règle générale, il convient d'éviter de concevoir des **segments horizontaux** de profil en long pour permettre un écoulement correct des eaux (pente minimale de 1%).



3. Données relatives à l'étude d'un pont 6/13

13

c) Profil en travers sur ouvrage :



La largeur utile du tablier (L_U) : la distance entre nus intérieurs des dispositifs de retenue extrêmes.

La largeur roulable (L_R) : la largeur comprise entre dispositifs de retenue ou bordures (chaussée + bandes dérasées + bandes d'arrêt, etc) .

La largeur chargeable (L_C) : la largeur roulable en retranchant une bande de 0,50 m le long de chaque dispositif de retenue de type barrière lorsqu'ils existent.

3. Données relatives à l'étude d'un pont 7/13

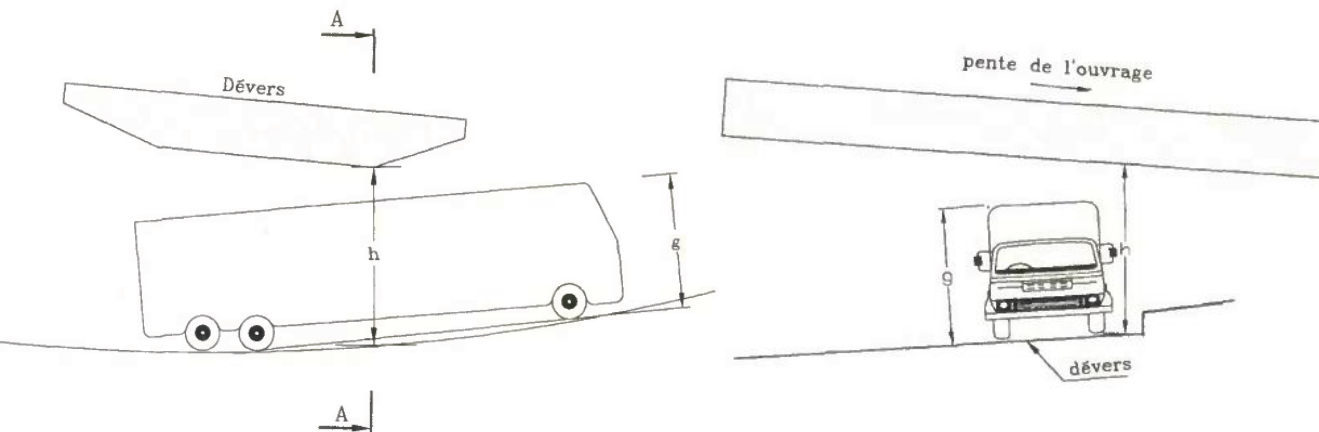
14

2.2. Données relatives à la voie ou l'obstacle franchi

Le pont projeté franchit généralement des voies de communication (route, voie ferrée ou voie navigable), il convient de respecter les données fonctionnelles relatives à cette voie à savoir le ***gabarit*** et la ***hauteur libre*** :

Le ***gabarit*** (g) caractérise la hauteur statique maximale d'un véhicule, chargement compris, dont le passage peut être accepté, dans les conditions normales de circulation, sous un ouvrage. Cette grandeur est associée au véhicule.

La ***hauteur libre*** (h) représente la distance minimale entre tous points de la partie roulable de la voie franchie par le pont et de la sous face de l'ouvrage. Cette grandeur est associée à l'ouvrage (1,9 – 7m). Elle est égale à ($g +$ revanche 0,6m).



3. Données relatives à l'étude d'un pont 8/13

15

3. Données naturelles

Les données naturelles rassemblent l'ensemble des éléments techniques du terrain influant directement sur l'ouvrage :

- données relatives au terrain naturel (topographie),
- données relatives au sol (données géologiques, géotechniques et hydrogéologiques),
- données ou caractéristiques hydrauliques (écoulements des eaux,...),
- données climatiques (température, neige, vent,...),
- données sismiques.

a) Topographie du terrain naturel

L'analyse de la topographie du site permet d'implanter correctement l'ouvrage en tenant compte ***des courbes de niveau***, des accès possibles pour les différentes parties de l'ouvrage, des mouvements de terre nécessaires, des possibilités d'implantation des installations de chantier ou d'aires de préfabrication...



3. Données relatives à l'étude d'un pont 9/13

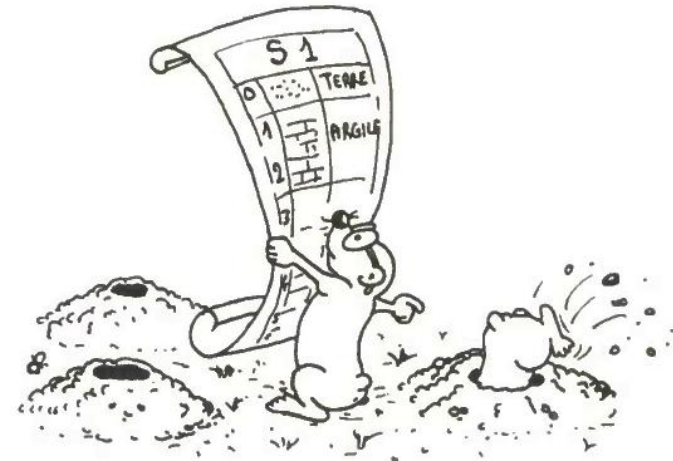
16

b) Données géologiques, géotechniques et hydrogéologiques

Une bonne connaissance des caractéristiques du terrain est indispensable dans un projet de construction d'un pont car elle constitue l'un des éléments du choix de la solution pour le franchissement et pour les fondations des appuis.

Les caractéristiques généralement nécessaires sont les suivantes :

- la position, l'épaisseur et l'homogénéité de toutes les couches de sols,
- la présence éventuelle d'accidents géologiques (karsts, vides de dissolution de gypses, ...),
- les paramètres de résistance (paramètres mécaniques) des sols,
- les paramètres rhéologiques des sols (tassements, déplacements latéraux),
- les niveaux de nappes, venues d'eaux, perméabilités du sol,
- autres paramètres liés à des contextes particuliers : les failles, zones d'instabilités (éboulis, affaissements,...), phénomènes d'affouillements et d'érosion, zone sismique (liquéfaction),...



3. Données relatives à l'étude d'un pont 10/13

17

c) Données hydrauliques

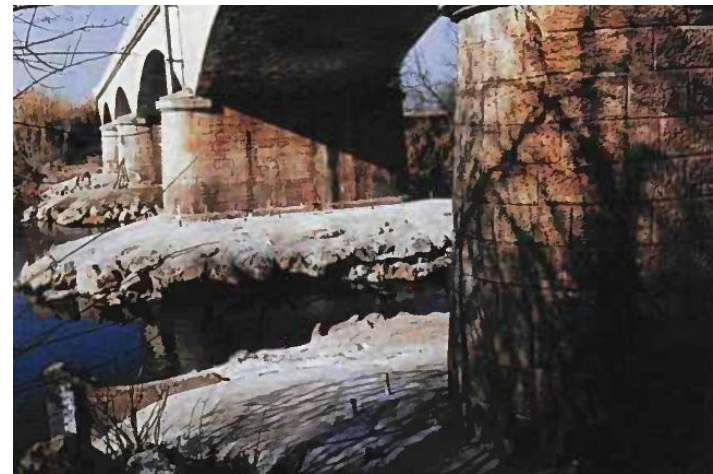
Lorsqu'un ouvrage franchit un cours d'eau, il est nécessaire de recenser les informations sur :

- la topographie du lit,
- le régime du cours d'eau (crues, navigation,...)
- risques d'affouillements par l'effet de la sédimentation (comblement) ou l'érosion (creusement) qui peut mettre en péril la stabilité du pont par déchaussement de ses fondations.

Crue



Creusement autour des piles



3. Données relatives à l'étude d'un pont 11/13

18

d) Données climatiques

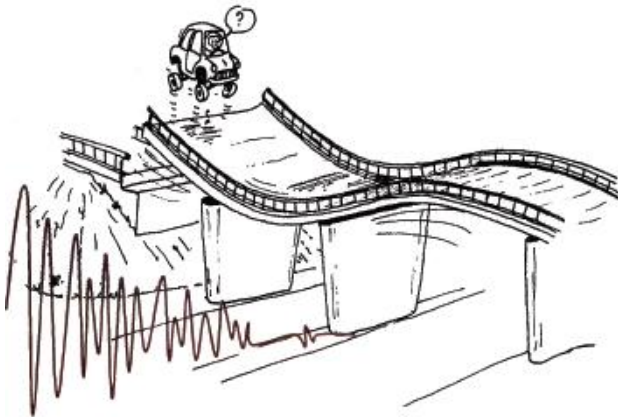
La température, le vent, la neige, le gel-dégel,... sont des paramètres qui ont des répercussions sur la conception et le dimensionnement des ponts.

Exemple vidéo : Pont de Tacoma (États-Unis en 1940)



e) Données sismiques

Les ponts situés en zone sismique doivent être justifier selon la réglementation technique en vigueur (RPOA 2008).



3. Données relatives à l'étude d'un pont 12/13

19

4. Données d'environnement

Ces données permettent de mesurer l'impact du projet sur l'environnement (étude d'impact) pour mieux le protéger.

Cette étude d'environnement permet d'évaluer les conséquences du projet sur ***l'eau, le bruit*** et la ***faune*** et la ***flore***.

a) Protection de l'eau

L'eau peut être présente de différentes façons sur un site : les cours d'eau, les fleuves, les nappes d'eaux superficielles, les nappes phréatiques, les sources d'alimentation en eau potable.

La pollution de cette eau peut provenir de plusieurs sources à savoir :

- pollution en phase de réalisation,
- pollution chronique causée par la circulation des véhicules,
- pollution accidentelle suite à un accident de la route.

3. Données relatives à l'étude d'un pont 13/13

20

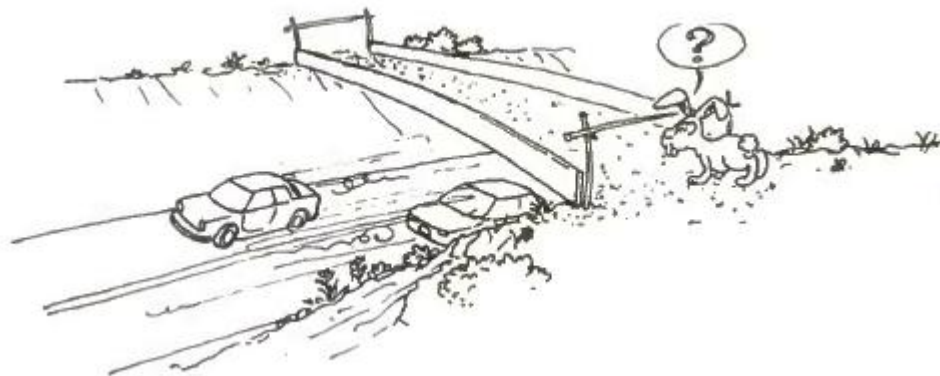
b) Protection contre le bruit

Le niveau maximal des nuisances sonores ne doit pas dépassé un seuil fixée par la réglementation de chaque pays (65 dB(A)) .



c) Protection de la faune et la flore

Eviter d'implanter le pont dans les voies préférentielles de déplacement des animaux sauvages et domestiques, ***ou dans le cas échéant***, aménager des passages supérieures ou inférieures adaptés aux espèces animaux et végétaux présents dans la zone de l'ouvrage.



4. Classification des ponts 1/1

21

Les ponts sont classés de différentes manières :

1. Suivant le matériau principal dont ils sont constitués :

En bois, en maçonnerie, en fonte, en fer, en acier, en alliages d'aluminium (Canada), en béton armé, en béton précontraint...

2. Suivant la nature de la voie portée :

Ponts routes, ponts rails, ponts pour canaux, passerelles pour piétons...

3. Suivant leur fonctionnement mécanique :

Ponts à poutres, ponts en arc, ponts à câbles (suspendus, haubans), ponts mobiles...

5. Principaux types de ponts 1/22

22

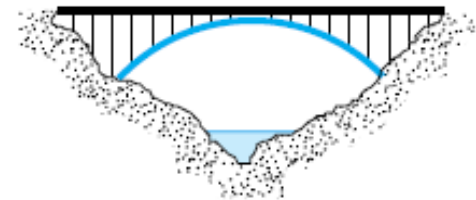
Il y a trois modes de fonctionnement mécanique des structures : Flexion, compression et traction). Cela donne 3 types de ponts :

- **Les ponts à poutres** (girder bridge) : caractérisés par leur simplicité et facilité de réalisation. Fonctionnement mécanique en flexion.



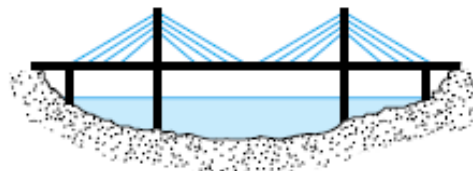
Ⓐ à poutre

- **Les ponts en arc** (arched bridge) : associe la compression et la flexion

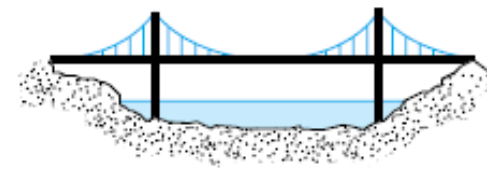


Ⓑ en arc

- **Les ponts à câbles** (cable bridge) : de type *haubané* et *suspendu*, combinent la traction, la compression et la flexion (fonctionnement complexe).



Ⓒ haubané



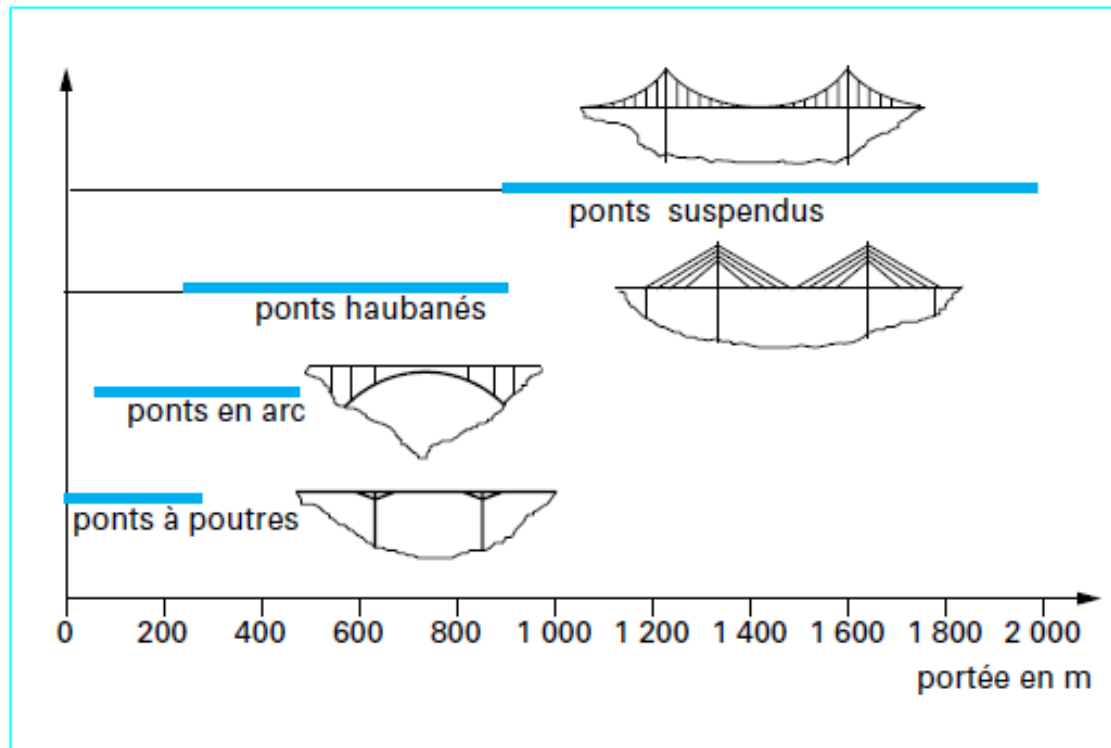
Ⓓ suspendu

5. Principaux types de ponts 2/22

23

➤ Domaines d'application de chaque types de ponts

Le choix du type de ponts se fait en fonction de la portée principale de l'ouvrage.



Les grands systèmes de pont en fonction de la portée

5. Principaux types de ponts 3/22

24

1. Les ponts à poutres

C'est la technique la plus utilisée et la plus développée pour des raisons de coût (très économique) et de simplicité de réalisation.

On distingue trois types :



Poutres à âme plein

Poutres en caisson

Poutres en treillis



5. Principaux types de ponts 4/22

25

➤ Exemples de ponts à poutres

- **Viaduc Oued Rekham** (2008, Bouira) :

longueur 745m, hauteur 110m,
portée principale 200m, largeur 28m.



- **Pont de Niteroi (Costa e Silva)** (1974, Brésil) :

Longueur 13,3 km dont 8,8 km sur l'eau, portée principale de 300 m.

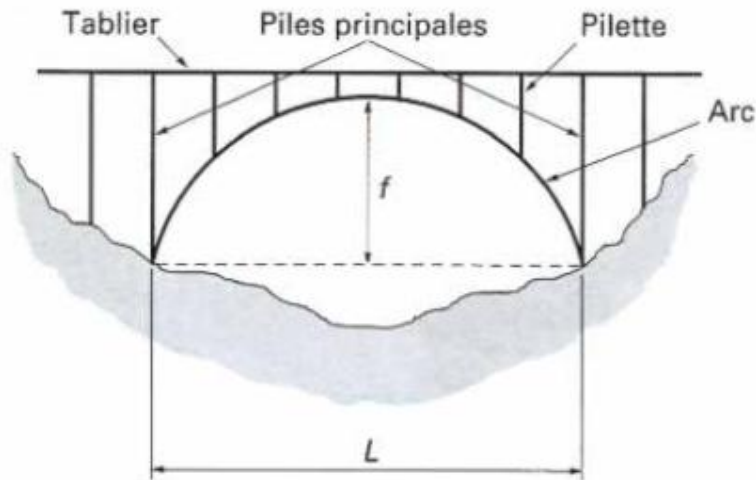


5. Principaux types de ponts 5/22

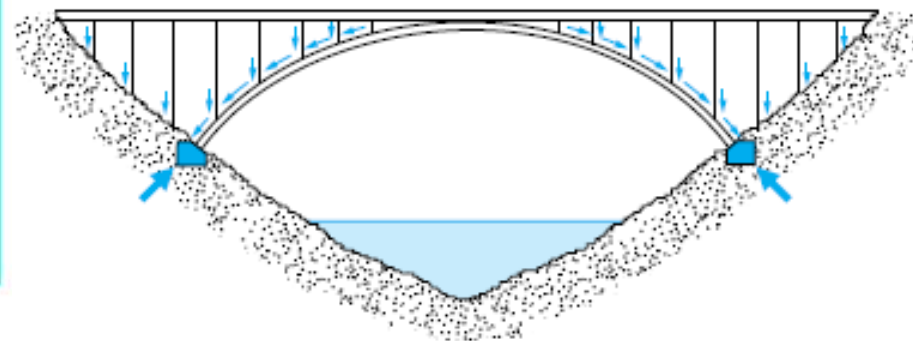
26

2. Les ponts en arc

Pour franchir des brèches encaissée, large, profonde avec des accès de chantier difficiles sur ses flancs. Les piles du tablier reposent sur une structure en arc.



Représentation schématique d'un arc à tablier supérieur

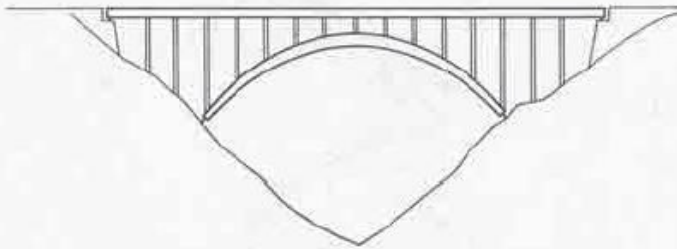


« Travail » de l'arc

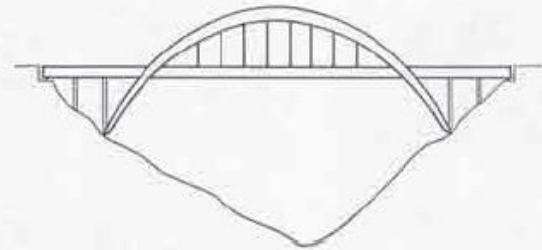
5. Principaux types de ponts 6/22

27

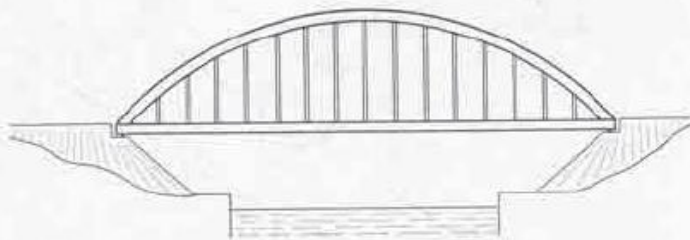
Les ponts en arc peuvent avoir plusieurs formes :



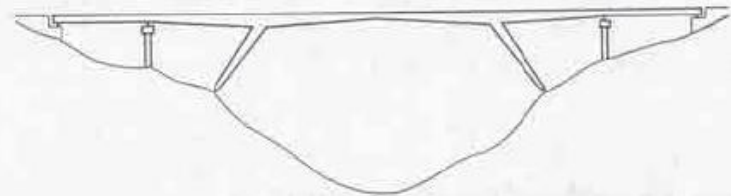
Pont à tablier supérieur



Pont à tablier intermédiaire



Pont à tablier inférieur (bow-string)



Pont à béquilles inclinées

5. Principaux types de ponts 7/22

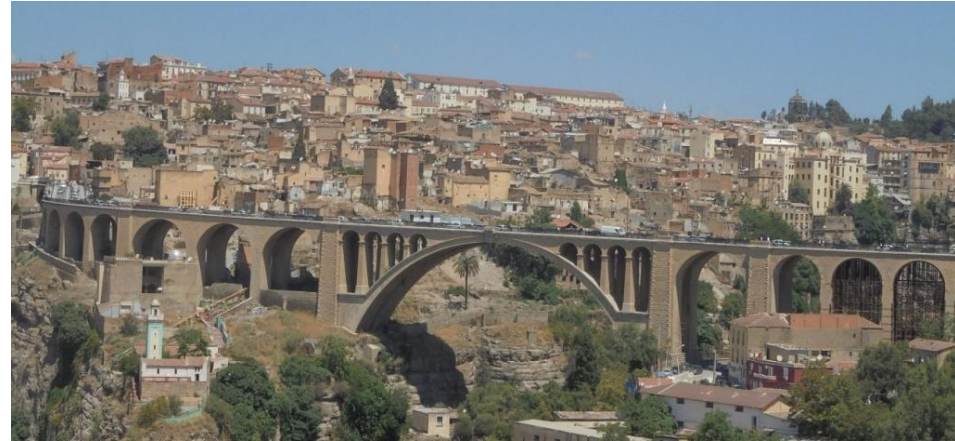
28

➤ Exemples de ponts en arc

- **Pont Sidi Rached** (1912, Constantine) :

Longueur 447 m avec 27 arches ,
hauteur 107 m.

(Travaux de confortement en cours)



- **Pont de Souk Ahras** (2010) :

Pont métallique de type Bow-string,
Longueur 244m, hauteur 20m, largeur 9m.
Entreprise de réalisation SAPTA.



5. Principaux types de ponts 8/22

29

➤ Exemples de ponts en arc

- **Pont de Chaotianmen** (Chine, 2009) :

Pont mixte acier-béton en double étage (route, ferroviaire), Longueur 932 m, hauteur 142 m, portée principale 552 m.



- **Pont de l'île de Krk** (Croatie, 1980) :

Pont route en béton armé, longueur totale 1430m, hauteur de l'arc 67m. Portée principale du 1^{er} arc 390m, portée principale du 2^{ème} arc 244m.



5. Principaux types de ponts 9/22

30

➤ *Exemples de ponts à béquilles*

Offre une vision dégagée à la voie franchi pour avoir plus de visibilité surtout sur autoroute.

Il existe deux types de béquilles : simples et doubles



Viaduc de Martigues (France, 1972)
Longueur 300m, portée principale 130m.



Pont Grande-Duchesse Charlotte (Luxembourg, 1965)
Longueur 355m, hauteur 74m, portée principale 234m.



5. Principaux types de ponts 10/22

31

3. Les ponts à câbles

Intérêt et domaine d'application :

- la libération totale de l'espace inférieur,
- les franchissements de très grandes portées,
- les tabliers élancés,
- le montage facilité par la suspension elle-même.



Grand pont sur la Loire (France, 2008)

Il existe deux types :

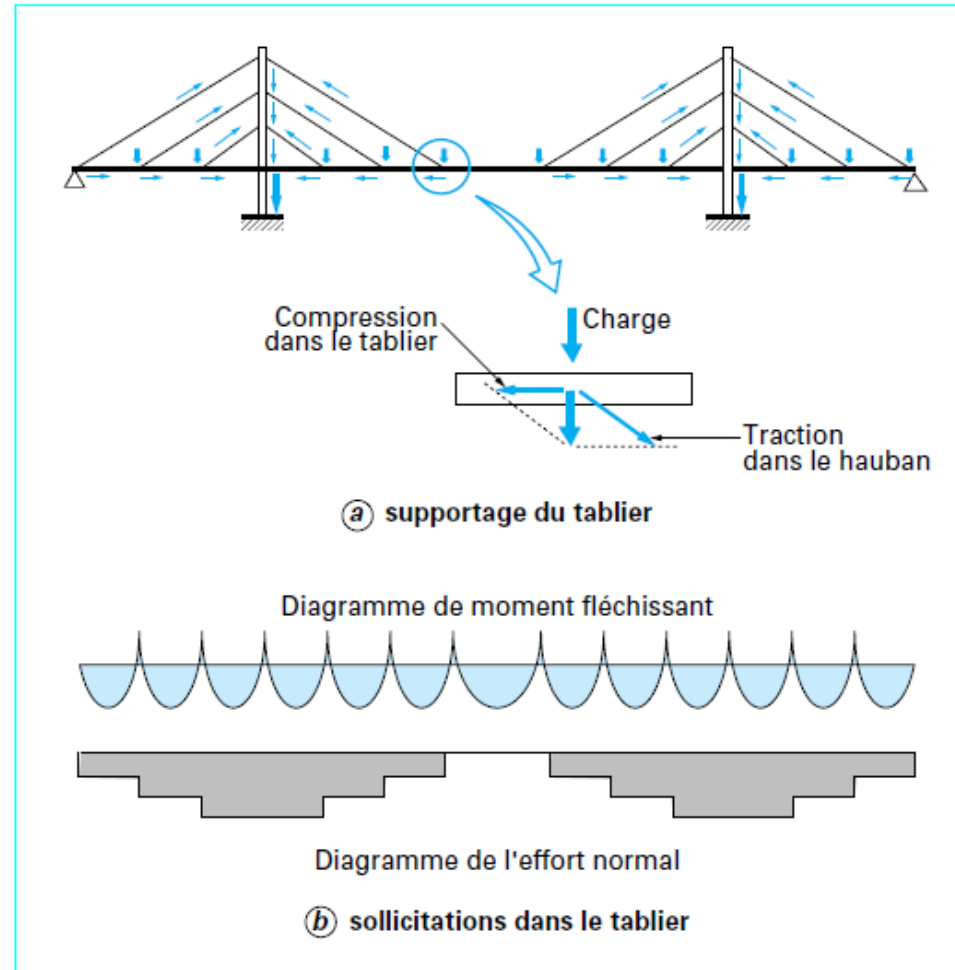
- **Ponts haubanés** : le tablier est supporté par un système de câbles obliques (haubans)
- **Ponts suspendus** : Le tablier est tenu par à un système de câbles porteurs.

5. Principaux types de ponts 11/22

32

3.1. Ponts haubanés :

Le tablier est supporté par des câbles obliques (**haubans**) qui reportent les charges verticales en tête des **pylônes** prolongeant les **piles principales** de l'ouvrage.



Principe de fonctionnement du pont haubané

5. Principaux types de ponts 12/22

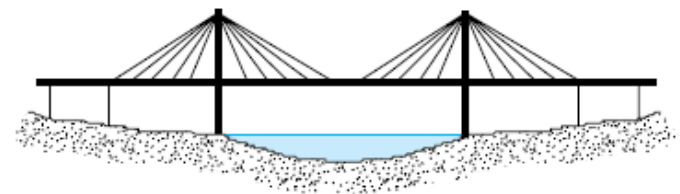
33

La configuration de l'**haubanage** est influencée par la méthode de montage du tablier.

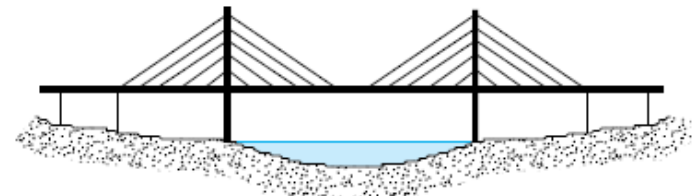
➤ **Longitudinalement :**

il y a trois façons de fixer les haubans sur le pylône :

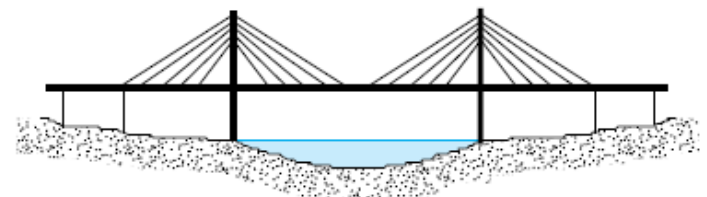
- en éventail : les haubans convergent en tête de pylône,
- en harpe : les haubans sont parallèles et répartis sur la hauteur du pylône,
- en semi-éventail, combinaison des deux dispositions précédentes.



Haubanage en éventail



Haubanage en harpe



Haubanage en semi-éventail

Haubanage dans le plan longitudinal

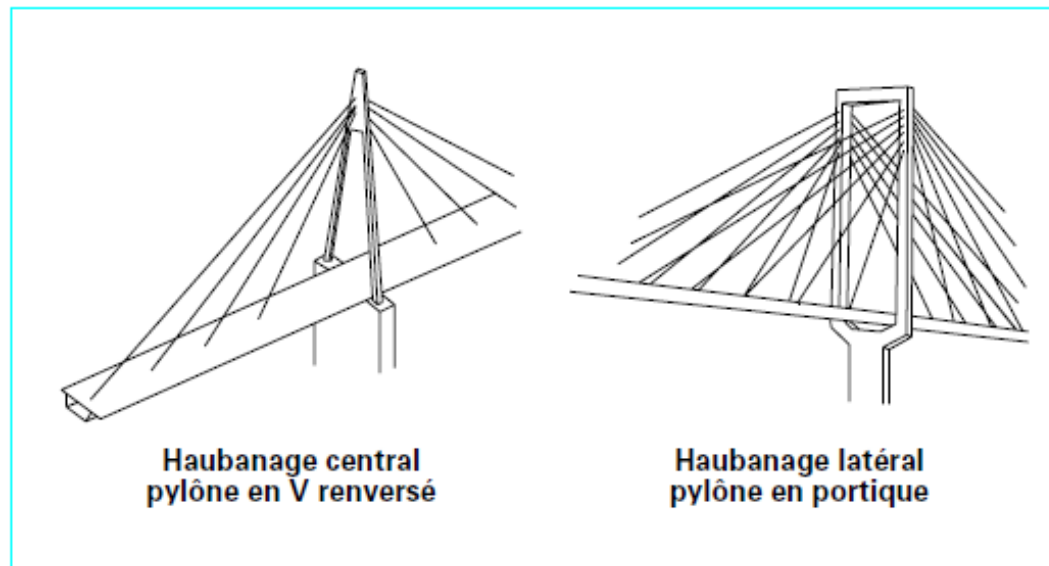
5. Principaux types de ponts 13/22

34

➤ **Transversalement :**

La suspension peut occuper deux positions :

- soit dans le plan médian de l'ouvrage en nappe centrale unique et elle est souvent associée à une disposition en harpe,
- soit à l'extérieur de la chaussée en double nappe latérale.



Disposition transversale des nappes de haubanage

5. Principaux types de ponts 14/22

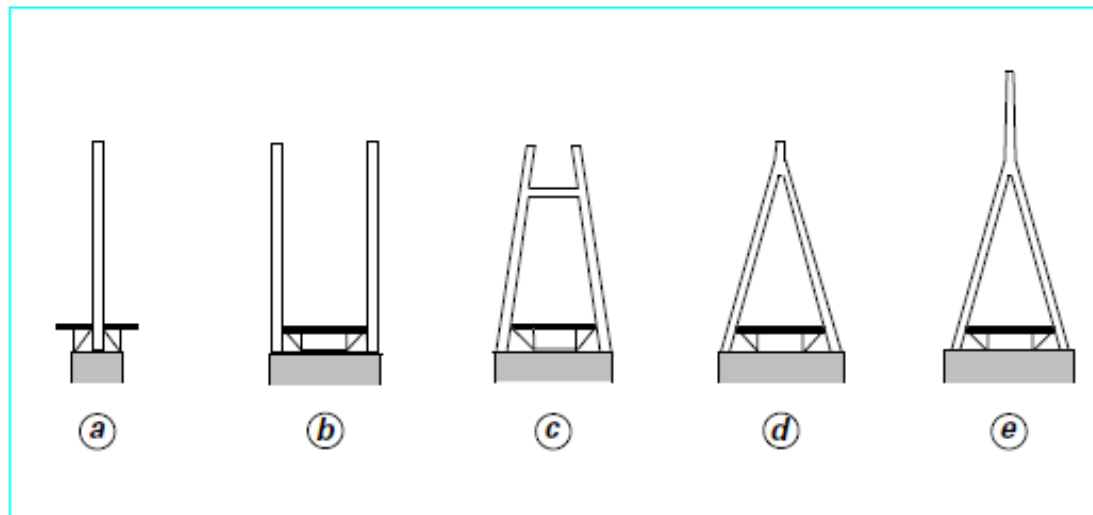
35

➤ **Pylônes**

Ils supportent toutes les charges affectant le tablier et les conduisent aux fondations.

Plusieurs formes se combinent avec le schéma de haubanage et le type de tablier :

- Mât central unique (a),
- Double mât latéral indépendant (b) ou entretoisé (c),
- Pylône en V renversé (d) ou en Y renversé (e).



Formes de pylône

5. Principaux types de ponts 15/22

36

➤ *Exemples de ponts haubanés*

- **Pont Salah Bey** (Constantine, 2014) :

longueur 749 m, portée principale 245 m,
hauteur pylônes 70 m, largeur 27m.



- **Viaduc Beni-Haroun** (Mila, 1998) :

Longueur 502m, portée principale 280 m,
Largeur 13 m.



5. Principaux types de ponts 16/22

37

➤ Exemples de ponts haubanés

- **Viaduc de Millau** (France - 2004) :

Longueur : 2 460 m

Largeur : 32 m

Hauteur maximale : 343 m

Hauteur de la plus haute pile (P2) : 245 m

Hauteur des pylônes : 87 m

Nombre de piles : 7

portée principale : 342 m

Nombre de haubans : 154

Poids du tablier d'acier : 36 000 t, soit 5 fois la Tour Eiffel

Volume de béton : 85 000 m³, soit 206 000 t

Coût de la construction : 400 M€

Garantie de l'ouvrage : 120 ans



5. Principaux types de ponts 17/22

38

➤ Exemples de ponts haubanés

- **Pont de l'île Roussky** (Russie, 2012) :

Longueur 3100m, portée principale 1104 m,
hauteur pylônes 321m, largeur 29,5m.



- **Pont de Normandie** (France, 1995) :

Longueur 2,14 km, portée principale 856 m,
Largeur 24m, hauteur 215m

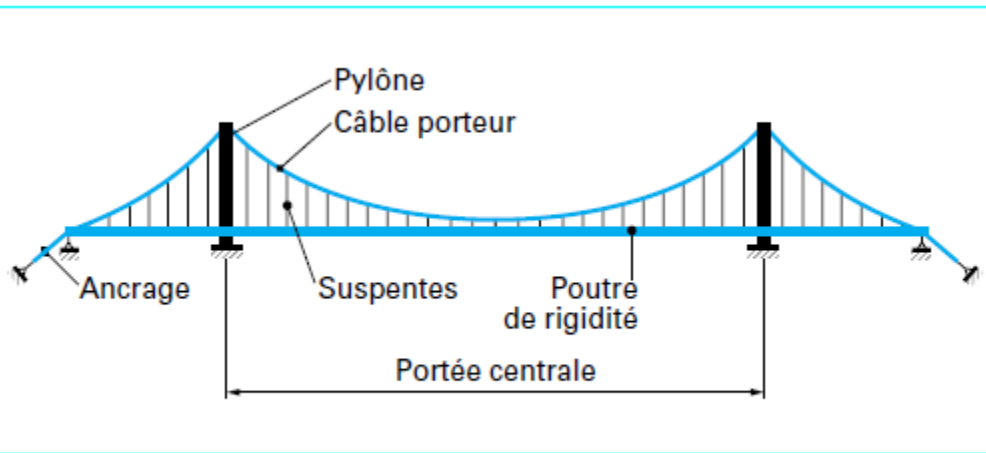


5. Principaux types de ponts 18/22

39

3.2. Ponts suspendus :

Le tablier est tenu de proche en proche par des suspentes accrochées à un système de câbles porteurs paraboliques et continus, prenant appui sur les têtes des pylônes et ancrés dans le rocher ou dans de puissants massifs poids.



Suspension du tablier sur un câble porteur

Pont Sidi M'Cid, Constantine (1908)



168 m de long, 175 m au-dessus du Rhummel

5. Principaux types de ponts 19/22

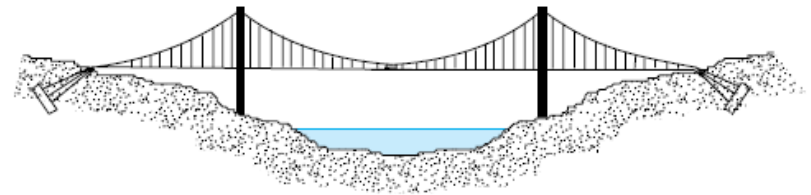
40

La partie de tablier suspendu est :

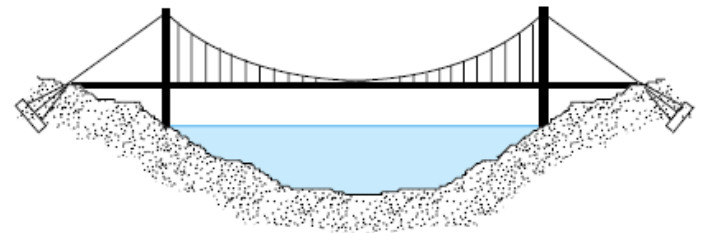
- soit totale et concerne à la fois la travée centrale et les deux travées latérales,
- soit partielle et limitée à la travée centrale, les travées latérales étant indépendantes.



Suspension à double nappe



Suspension totale



Suspension centrale

· **Formes de suspension des ponts suspendus**

5. Principaux types de ponts 20/22

41

➤ *Exemples de ponts suspendus*

La limite de portée principale maximale atteinte aujourd'hui est de **1 990 m** avec le pont d'**Akashi-Kaikyo** construit au Japon en 1998.

Les dix plus grands ponts suspendus construits :

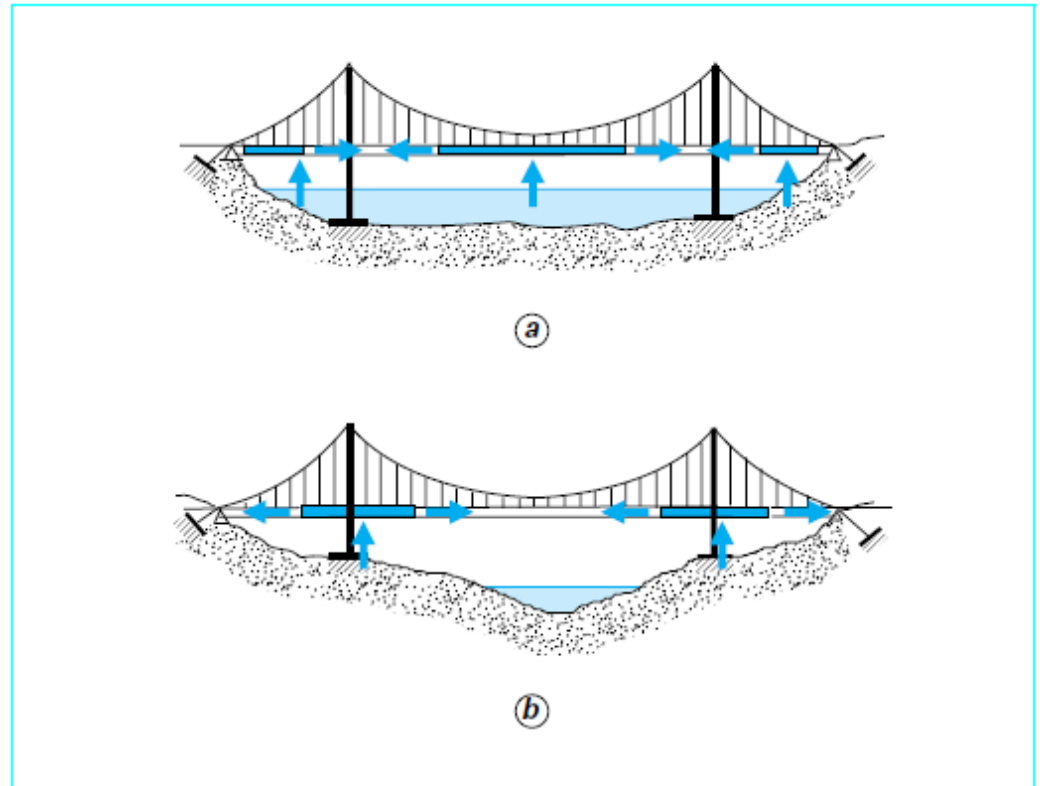
- Pont de Xihoumen (2009), Chine, 1650m
- Pont Est du Storebaelt (1998), Danemark, 1624m
- Pont Yi Sun-Sin (2012), Corée du Sud, 1545m
- Pont Nan-Cha (2005), Chine, 1490m
- Pont de Humber (1981), Royaume-Uni, 1410m
- Pont de Jiangyin (1999), Chine, 1385m
- Pont Tsing Ma (1997), Chine, 1377 m
- Pont sur le fjord de Hardanger (2013), Norvège, 1310m
- Pont du détroit de Verrazano (1964), Etats-Unis, 1298m



5. Principaux types de ponts 21/22

42

➤ Montage des ponts suspendus



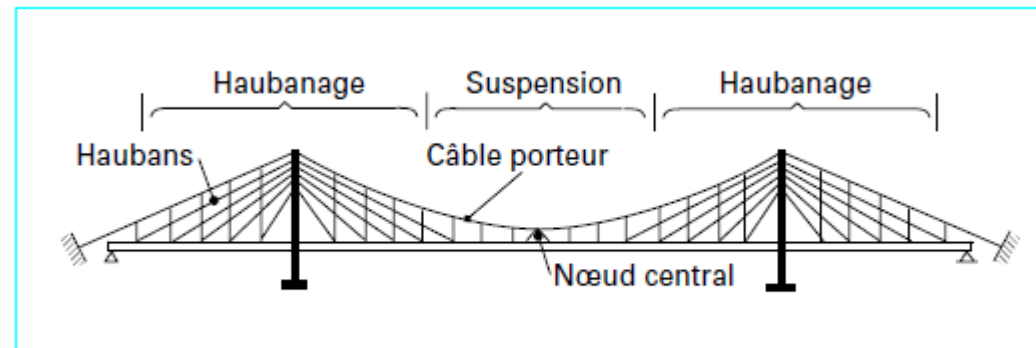
Méthodes de montage classiques du tablier d'un pont suspendu

5. Principaux types de ponts 22/22

43

➤ Formes de demain

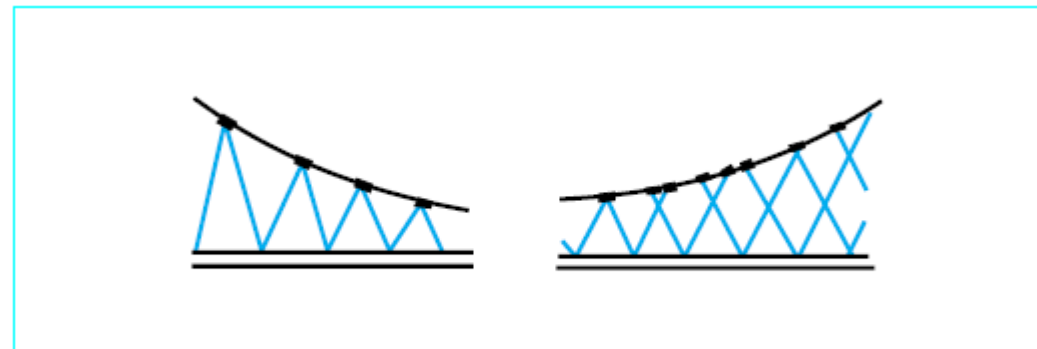
Pour aller vers les portées de 2 500 à 3 000 m, il faut assurer une certaine stabilité aérodynamique au vent (l'effet pendule des câbles).



Pont à suspension mixte

Différentes solutions sont imaginées :

- ajouter des haubans au système porteur, on obtient une suspension mixte haubanée-suspendue,
- mettre des suspentes inclinées en V ou croisées en X.



Suspentes inclinées et croisées

Références bibliographiques

44

1. Ponts en acier : traité de génie civil volume 12 (2009).
2. Conception des ponts : LCPC (1994).
3. Ponts métalliques : applications spécifiques. Techniques de l'ingénieur (1997).
4. Ponts métalliques : conception générale. Techniques de l'ingénieur (1997).
5. Guide du projeteur ouvrages d'art : ponts courants. Document SETRA (1999).
6. Site internet : structurae.info
7.