

# Évolution de la structure des ponts

## Pont à poutres



Les ponts à poutres reposent sur de lourds piliers massifs.

## Pont à arche



Contrairement aux ponts à poutres, les ponts à arche permettent de ne pas entraver les cours d'eau.

## Pont à arches multiples



Les ponts à arches multiples facilitent le franchissement de cours d'eau ou d'obstacles un peu plus lointains.

## Pont suspendu



La création des ponts suspendus a permis de repousser à nouveau les limites des ponts. Les deux rives peuvent ainsi être beaucoup plus éloignées et beaucoup plus hautes.

## Pont à haubans



Les ponts suspendus nécessitent des massifs d'ancrages pour « accrocher les câbles » afin de compenser les forces. Les ponts à haubans permettent de ne plus les utiliser et facilitent les changements des câbles grâce à l'absence des deux gros câbles porteurs.

# Historique

## Les ponts durant l'antiquité :

Les ponts antiques, construits en bois, ne résistaient pas aux intempéries. Ils étaient réservés au franchissement d'obstacles naturels comme les cours d'eau. Les ponts de pierre remontent à une très haute antiquité. Ils étaient constitués de travées droites en bois reposant sur des piles en maçonnerie faites de briques cuites.



## Les ponts durant l'empire romain :

Les Romains ont édifié de robustes ponts en plein cintre reposant sur des piles épaisses. Ils en ont construit beaucoup, notamment en Gaule. Certains subsistent comme le Pont du Gard. Beaucoup ont cependant été détruits à cause de la faiblesse de leurs fondations.

## Les ponts médiévaux :

Au Moyen-âge, un nombre considérable d'ouvrages aux formes variées et hardies apparaît, le plus célèbre étant le Pont d'Avignon. Certains sont encore en service et supportent de lourdes charges. Au lieu des larges dalles ajustées des Romains, on se sert de pierres plus petites, mais calibrées. Par la suite, les procédés de construction s'améliorent et notamment les fondations. Il reste de cette période le Pont Notre-Dame (1500-1507) et le Pont Neuf (1578-1606) à Paris.

## Aux 17 et 18ème siècles :

C'est au XVIIIème siècle que la construction des ponts en maçonnerie évolue le plus. Les piles sont plus légères, les voûtes plus nombreuses et les ponts plus bas, comme le Pont de la Concorde à Paris construit entre 1787 et 1792. A la fin du siècle apparaissent les premiers ponts en fonte.

## Aux 19 et 20ème siècles :

L'invention du chemin de fer a entraîné un développement sans précédent des transports. Les ponts se multiplient. Les ponts métalliques apparaissent, comme le Viaduc de Garabit de Gustave Eiffel, et les ponts suspendus. Le XXème est le siècle du béton. Les ingénieurs sont de plus en plus audacieux. Le plus spectaculaire est certainement le Pont de Normandie, c'est l'un des plus longs ponts à haubans du monde : 856m de portée centrale et 2km200 de longueur. Ses deux pylônes font 214 mètres, soit la hauteur de la Tour Montparnasse à Paris. Résultat de six ans de travaux, c'est un produit de haute technologie par ses méthodes de construction et ses matériaux, sophistiqué jusque dans la forme de son tablier en aile d'avion, lui permettant de défier les vents de plus de 250km/h.

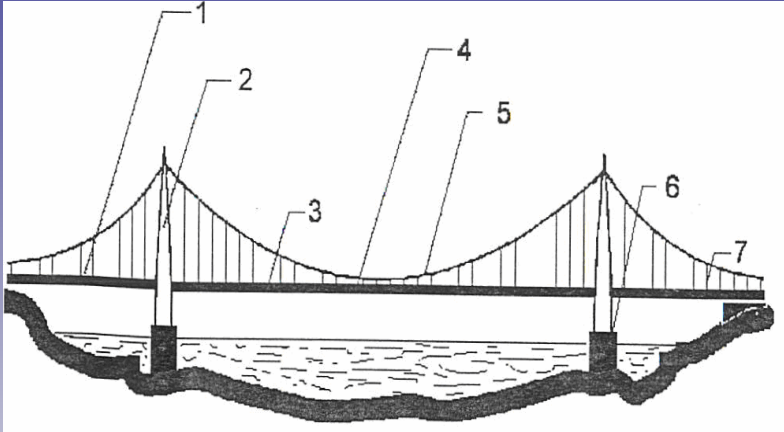


## Aujourd'hui :

Les grands ouvrages sont systématiquement étudiés avec l'aide d'un architecte spécialisé, aussi bien du point de vue esthétique que environnemental.

# Les ponts suspendus

## Structures



### 1 - Travée de rive :

Ces deux travées sont celles qui relient la côte au premier pylône.

### 2 - Pylône ou pilier :

Ils soutiennent le câble porteur.

### 3 - Tablier :

C'est sur lui que roulent les voitures.

### 4 - Travée centrale :

Plus longue partie du pont ,située entre les deux pylônes.

### 5 - Câble porteur :

Le câble porteur est étendu sur tout le long du pont, et passe par les sommets de deux piliers. Il maintient le pont et en particulier les multiples suspentes.

### 6 - Fondation :

C'est sur elles que les piliers reposent. Elles sont principalement composées de béton.

### 7 - Suspente :

Petits câbles reliant le câble porteur à la travée centrale tout le long du pont.

## Description

Un pont suspendu est un pont dont le tablier est littéralement suspendu aux piles (on parle alors de pylônes) par un système de câbles : les pylônes s'élèvent au-dessus du tablier et supportent deux câbles principaux qui partent d'une culée à l'autre, un de chaque côté du tablier. Ces câbles soutiennent le tablier par l'intermédiaire d'un ensemble de câbles verticaux. Le Golden Gate Bridge ou le Tacoma Narrows bridge sont des ponts de ce type.

## Records de longueur

- 2737 m : pont du Golden Gate (États-Unis)
- 3800 m : pont d'Akashi Kaikyo (Japon)
- 5300 m (en projet) : Pont de Messine (entre la Sicile et le continent italien)



# Les effets du vent sur les ponts

Des tourbillons d'air, ou « Vortex », peuvent apparaître juste derrière le pont sur lequel souffle le vent et peuvent faire entrer le pont en résonance.

On lie deux types de force au phénomène de résonance :

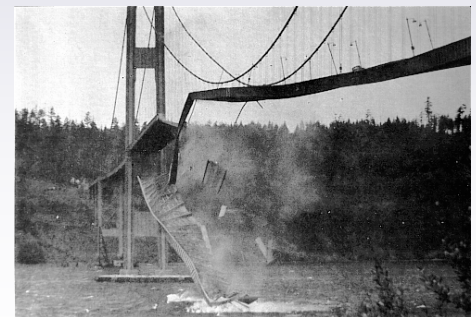
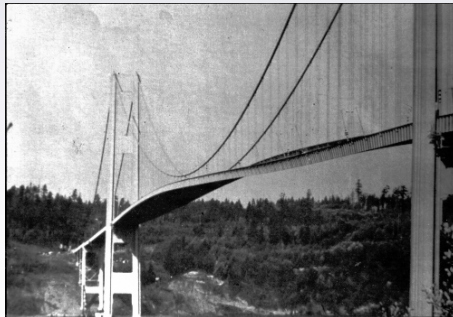
- les forces de traînées, dirigées suivant une horizontale parallèle au vent et dans le même sens que ce dernier,
- les forces de portance, dirigées suivant la verticale .

Ces forces entraînent des oscillations du tablier et du pont, ces oscillations pouvant se faire à une ou deux dimensions.

Cela entraîne divers types de déformations:

- la torsion du tablier,
- une flexion latérale, due au recul du tablier dans le sens du vent,
- une flexion verticale, due au soulèvement du tablier.

Le 7 novembre 1940, le pont Narrows de Tacoma dans l'état de Washington s'écroule sous l'effet d'un vent de 60 Km/h environ.



# ***Les différents éléments antisismiques d'un pont***

La protection parasismique des ponts peut être obtenue soit par la combinaison soit par l'adoption d'une des deux approches suivantes :

- La première approche est basée sur la capacité à résister des éléments des structures, notamment des appuis et des fondations, en mesure de supporter, sous l'effet d'un séisme, des déformations inélastiques sans atteindre la rupture; il est évident que ceci nécessite des interventions de réparation pour des dommages éventuels.
- la seconde approche se base sur l'équipement de dispositifs spéciaux, tels que des amortisseurs ou des dissipateurs d'énergie, disposés entre la structure portée et la structure porteuse; cette méthode est plus coûteuse à la conception et à l'entretien, mais permet de supporter des efforts importants sans que la structure ne soit endommagée.

On pourra donc utiliser des butées sismiques et différentes sortes d'amortisseurs :

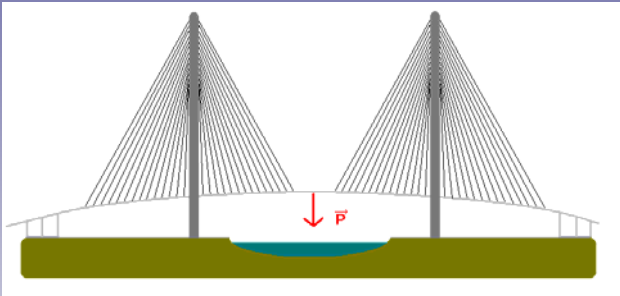
- amortisseurs élastoplastiques,
- amortisseurs par frottements,
- amortisseurs visqueux.

En outre, ces dispositifs spéciaux permettent :

- d'augmenter la période fondamentale de vibration (éventuellement l'amortissement) et de réduire, en conséquence, les efforts sismiques, en introduisant, entre la structure et ses appuis, des appuis élastiques flexibles. Cependant, cette réduction, en terme de sollicitation est accompagnée par une augmentation en déplacement,
- de dissiper de grandes quantités d'énergie en les introduisant dans la structure ou à la base de la structure. Dans ce cas, le problème de déplacement peut être résolu par l'augmentation substantielle de l'amortissement.

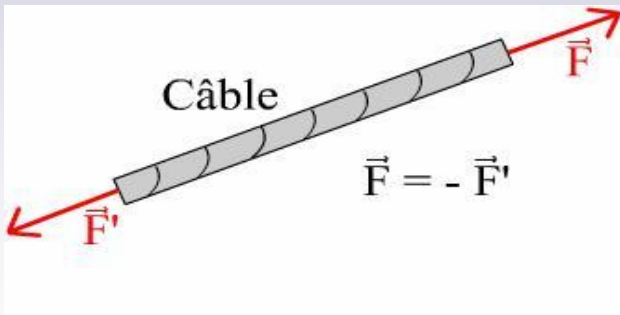
# Étude des forces

## Index des forces

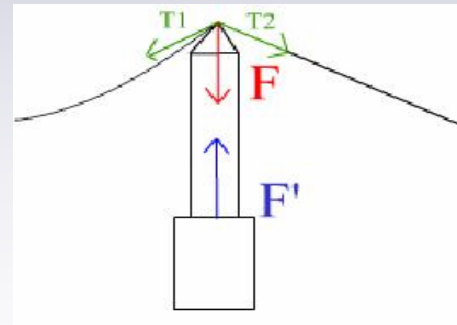


La construction d'un pont est une lutte contre le poids : poids du tablier, poids des voitures...

Ce poids est compensé par des forces de tensions au niveau des câbles et de compression au niveau des pylônes.



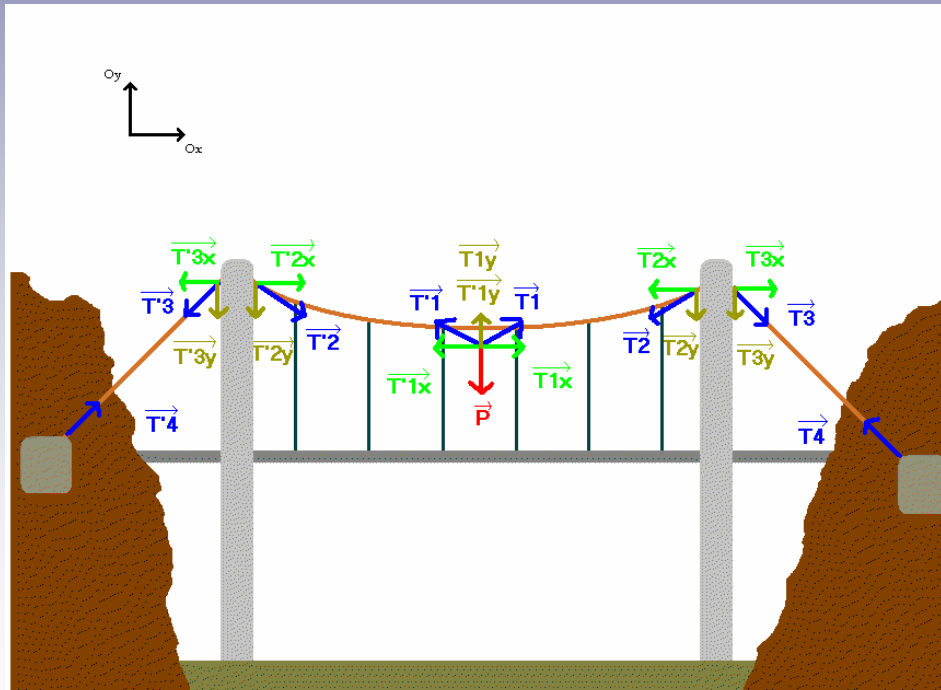
Un câble possède une résistance d'environ 50 millions de Newtons.



# Le pont suspendu

Le principe du pont suspendu est simple, il est de faire reposer le poids du tablier sur seulement deux piliers assez éloignés du centre de la rive pour permettre le passage des bateaux.

Les deux piliers soutiennent la travée centrale. Les pylônes sont donc à ce moment là en déséquilibre, la travée centrale étant plus lourde que les travées de rives. On équilibre alors les forces de tension en rajoutant un massif d'ancrage sur la rive.



Les composantes tangentielles des forces sont compensées  $T_{2x} = T_{3x} = T'_{2x} = T'_{3x}$ .

Les composantes verticales ( $T_{2y}, T_{3y}$ ) sont quant à elles absorbées par la compression du béton du pylône.

Tension au niveau d'un câble porteur:

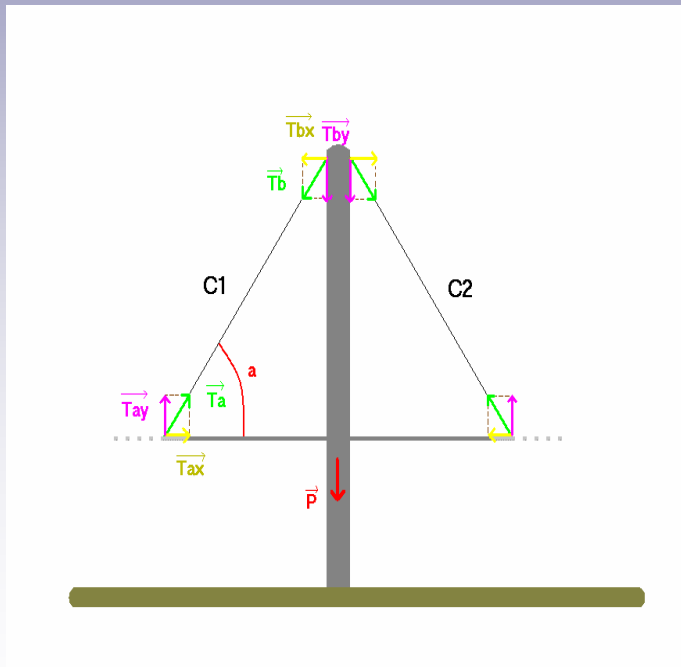
$$T = P / 2 \sin \alpha$$

$\alpha$  : Angle câble/pylône

# Le pont à haubans

L'évolution majeure du pont à haubans est qu'il ne nécessite pas de massif d'ancrage souvent très coûteux à produire et pas toujours adapté aux sols meubles.

Le principe du pont à haubans réside dans l'équilibre au niveau des pylônes. Les voussoirs sont distribués de chaque côté du pilier pour garder l'équilibre de celui-ci et ce sans ancrage.



Comme pour le pont suspendu les composantes verticales de la force de tension sont absorbées par la compression du béton du pylône.

Tension au niveau d'un hauban:

$$T = P / 2 \sin \alpha$$

$\alpha$  : Angle câble/pylône

On remarque que plus l'angle  $\alpha$  est grand plus la tension est forte.

On en déduit que les câbles les plus proches du pylônes sont les plus importants car ce sont ceux qui soutiennent le plus les voussoirs.