

CHAPITRE 1

GENERALITES SUR LES PONTS

1 DEFINITION

Le pont est un ouvrage qui permet de franchir un obstacle naturel tel que un cours d'eau, ou artificiel tel que un canal, une route, ou une voie ferrée.

2 ELEMENTS CONSTITUTIFS D'UN PONT

Le pont est constitué essentiellement de 2 parties principales :

- 1- **Le tablier** : C'est la partie horizontale du pont qui supporte directement les charges roulantes.
- 2- **Les appuis** : Ils transmettent les charges du tablier vers les fondations. On distingue les appuis intermédiaires qui sont les piles et les appuis de rive qui sont les culées.

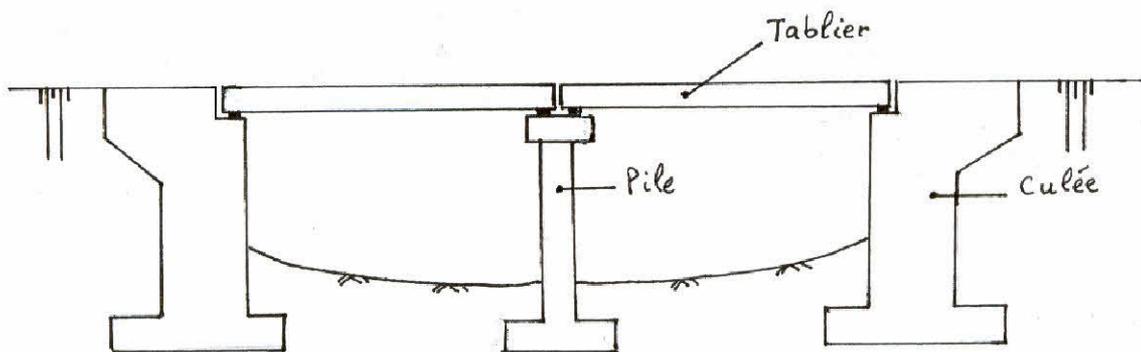


Fig. 1 Schéma général d'un pont.

3 QUELQUES NOTIONS GEOMETRIQUES

La travée est la partie du pont qui se trouve entre 2 appuis consécutifs. Dans l'exemple de la figure 1, le pont est constitué de 2 travées.

Les caractéristiques géométriques d'une travée sont :

- **La portée** : C'est la distance entraxe de 2 appuis consécutifs.
- **L'ouverture** : C'est la distance entre nus de 2 appuis consécutifs.
- **La longueur** : La travée déborde toujours par rapport à ses 2 appuis, donc sa longueur dépasse sa portée.
- **La hauteur libre** : Appelée aussi le tirant d'air, c'est la hauteur du vide entre la face inférieure du tablier et l'obstacle franchi.

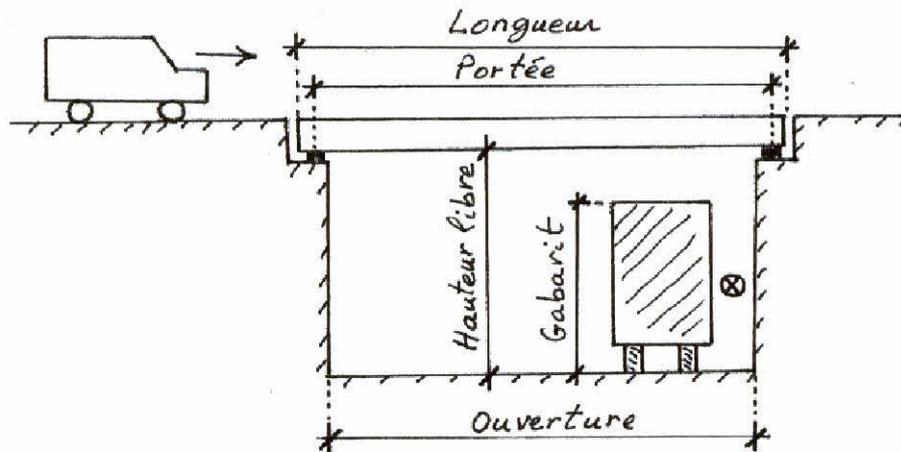


Fig. 2 Données géométriques d'un pont à une seule travée.

4 CLASSIFICATION DES PONTS

4-1 Selon la nature de la voie portée

- **Pont routier** : Il porte une ou plusieurs voies routières.
- **Pont-rail** : Il porte une ou plusieurs voies ferrées ou de tramway.
- **Pont mixte** : Il porte à la fois des voies routières et des voies ferrées.
- **Pont canal** : Il porte un canal d'eau à ciel ouvert, il peut aussi porter des conduites d'eau de gaz ou de pétrole etc.
- **Passerelle** : C'est un pont destiné à la circulation des piétons.
- **Pont spécial** : Il sert à porter des avions.

4-2 Selon les matériaux de construction

Les éléments porteurs du pont sont construits par divers types de matériaux. On distingue :

- **Pont en bois** : Il sert généralement de passerelle pour piétons.
- **Pont en maçonnerie** : Il est construit en pierres taillées ou en briques en béton non armé. Ce type d'ouvrages résiste très bien à la compression mais se comporte mal à la traction. C'est pour cette raison qu'il est réalisé en voûtes (arcs) pour pouvoir reprendre les charges sous forme d'efforts de compression (fig. 3).
- **Pont en béton armé** : Le matériau est constitué de béton pour résister à la compression et d'acier pour résister à la traction.
- **Pont en béton précontraint** : Le matériau est constitué de béton pour résister à la compression, d'aciers passifs comme celles du béton armé, et de câbles précontraints pour comprimer le béton et l'alléger de sa traction (fig.4).
- **Pont métallique** : Le tablier est construit en charpente métallique. Parfois même les piles sont en acier avec fondation en béton armé.
- **Pont mixte** : Les poutres sont métalliques tandis que l'hourdis (la dalle) est en béton armé (fig. 5).

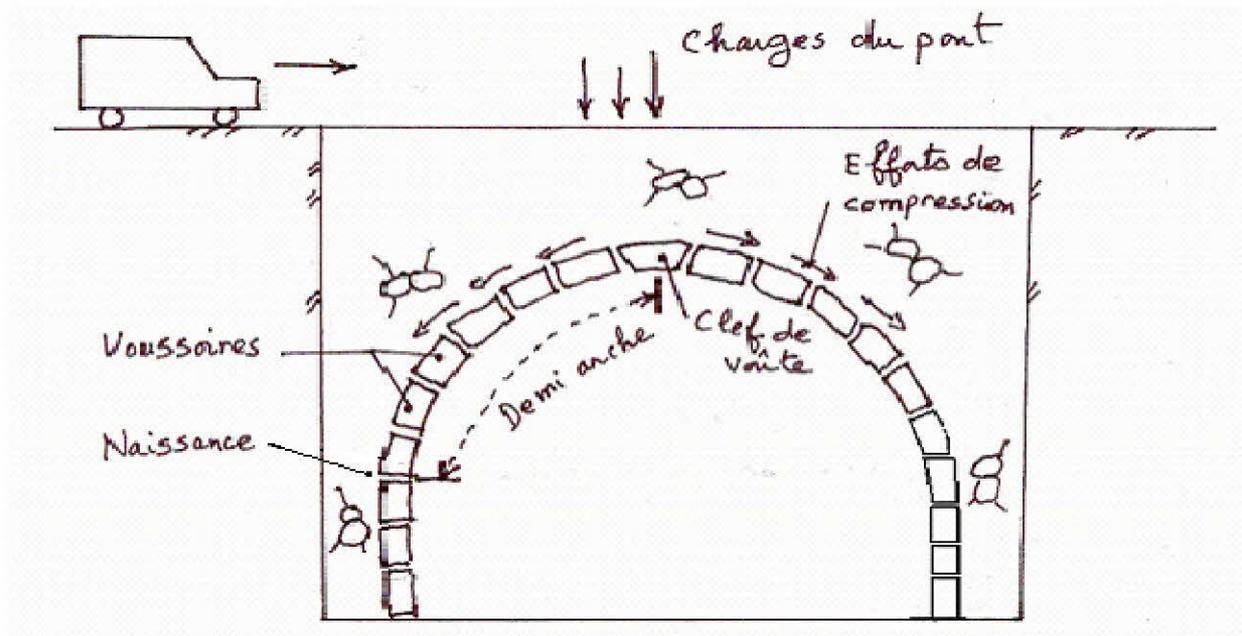


Fig. 3 Pont en maçonnerie construit en voûte.

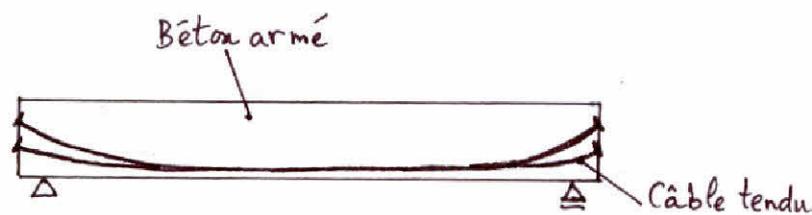


Fig. 4 Poutre d'un pont en béton précontraint.

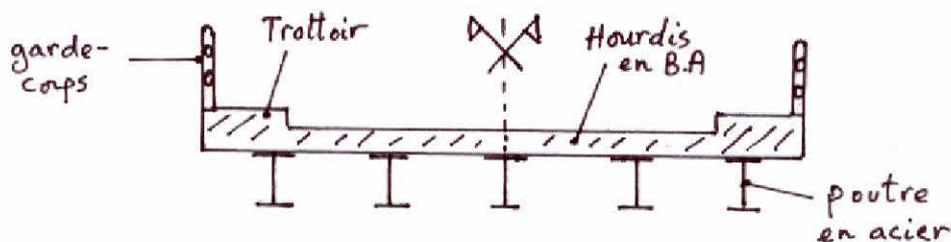


Fig. 5 Coupe transversale du tablier d'un pont mixte (acier-béton).

4-3 Selon la mobilité du pont

- **Pont fixe** : Il n'exerce aucun mouvement comme c'est le cas de la majorité des ponts.
- **Pont mobile** : Une partie du pont peut se mouvoir pour assurer une surface d'encombrement suffisante pour permettre la circulation des engins hors gabarit. Parmi les ponts mobiles, on peut citer les types suivants :
 1. **Pont tournant** : Le tablier peut tourner autour de l'axe vertical de la culée ou la pile (fig. 6).
 2. **Pont levant** : Le tablier est soulevé par des câbles vers les sommets de deux pylônes. L'équilibre est assuré par 2 contre poids (fig. 7).

- 3. **Pont basculant** : Le tablier peut pivoter autour d'un axe horizontal (fig. 8).
- 4. **Pont flottant** : Il est constitué de massifs flottants liés entre eux par des câbles (amarrage). Généralement, il s'agit des ponts provisoires tels que les ponts militaires (fig.9).

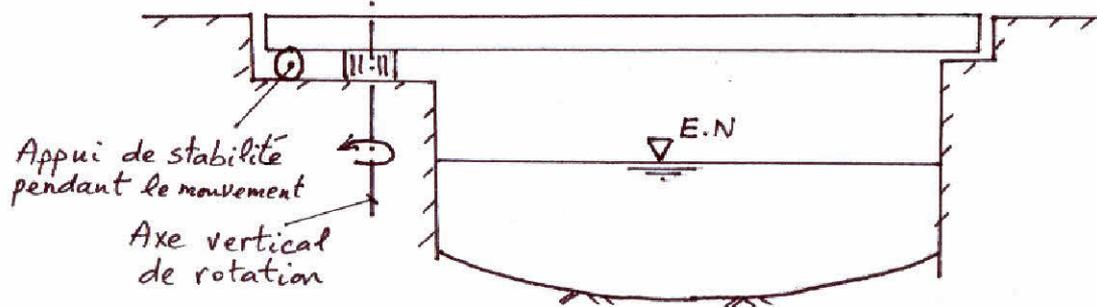


Fig. 6 Schéma d'un pont tournant.

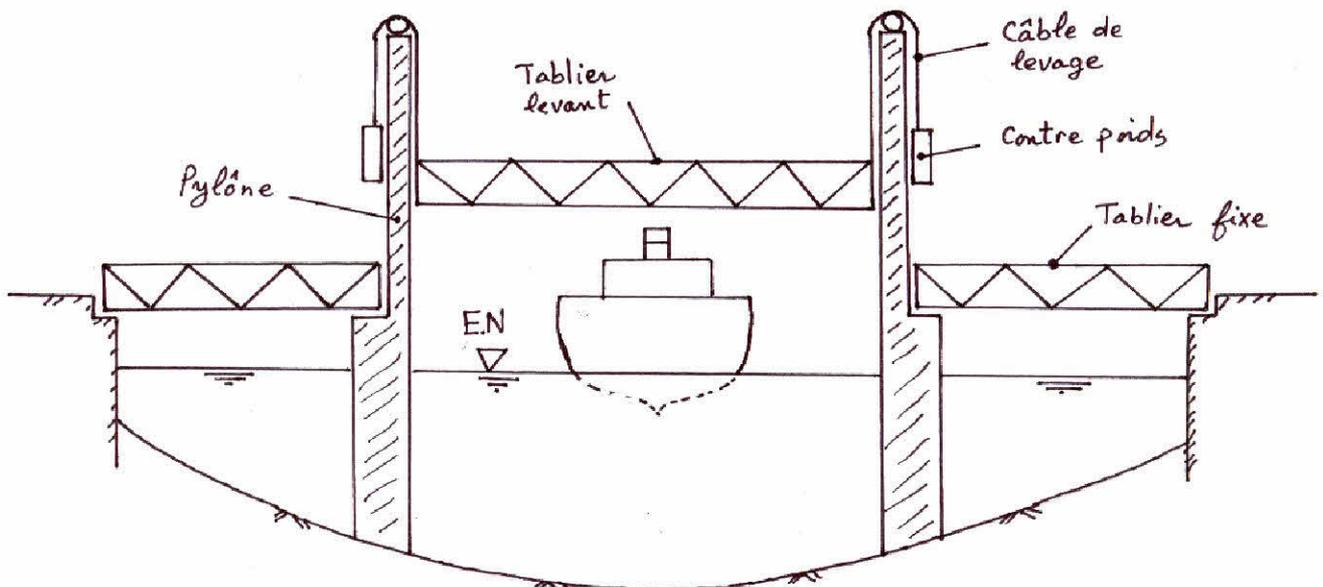


Fig. 7 Schéma d'un pont levant.

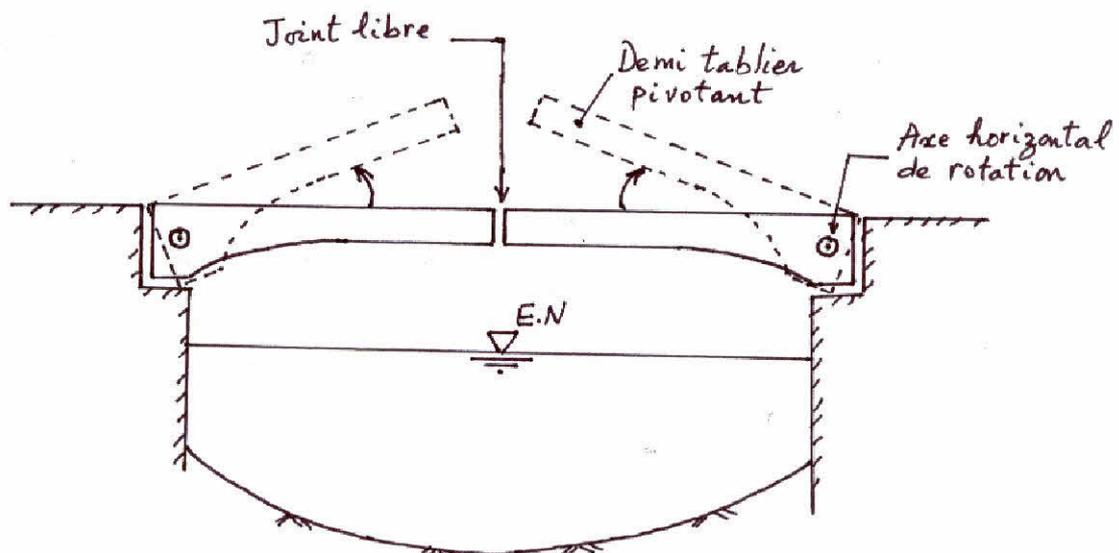


Fig. 8 Schéma d'un pont basculant.

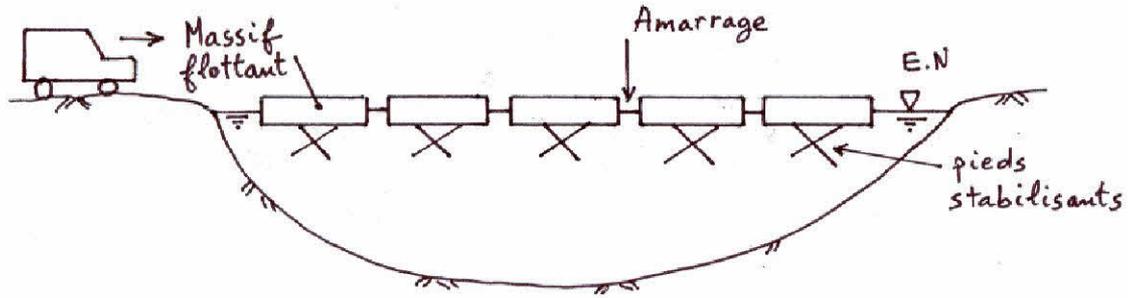


Fig. 9 Schéma d'un pont flottant.

4-4 Selon la vue en plan

- **Pont droit** : Lorsque l'axe longitudinal du pont fait un angle droit avec les lignes d'appui transversales, le pont est droit géométriquement. Dans le cas où l'axe longitudinal du pont fait un angle droit avec l'axe de la voie franchie, on dit que l'angle de franchissement est droit (fig. 10).
 - **Pont biais** : Lorsque l'axe longitudinal du pont fait un angle biais avec les lignes d'appui transversales, il s'agit d'un biais géométrique. S'il existe un angle biais entre les axes longitudinaux du pont et de la voie franchie, on parle d'un biais de franchissement est droit (fig. 11). L'unité de mesure de l'angle est le grade, et ce pour augmenter la précision.
 - **Pont courbe** : L'axe en plan de l'ouvrage est soit un arc circulaire soit une partie d'un raccordement progressif (fig. 12).
- Dans les ponts courbes et biais l'effet de torsion est considérable. Leur étude et réalisation sont plus difficiles que le pont droit.

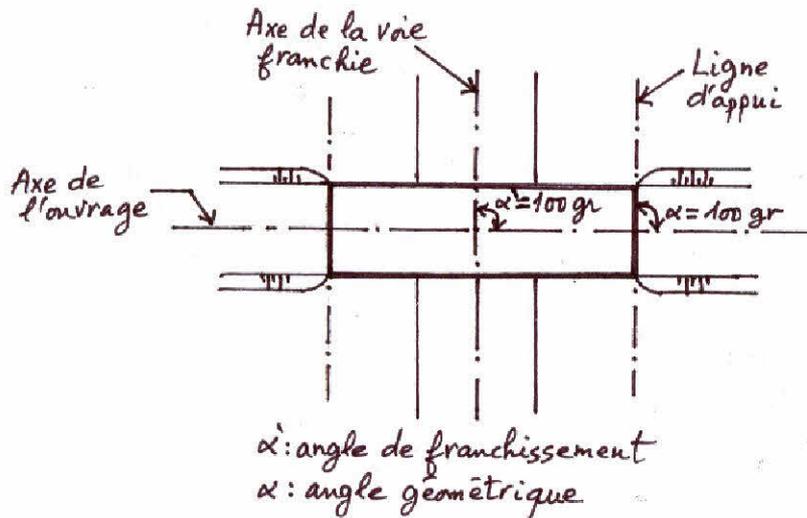


Fig. 10 Vue en plan d'un pont droit en géométrie et en franchissement.

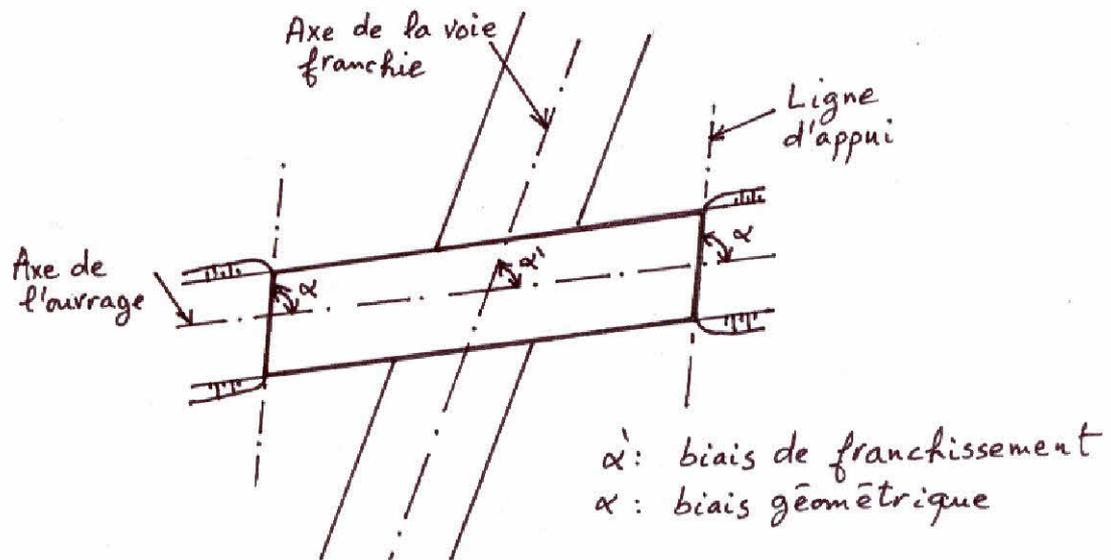


Fig. 11 Le biais géométrique et le biais de franchissement.

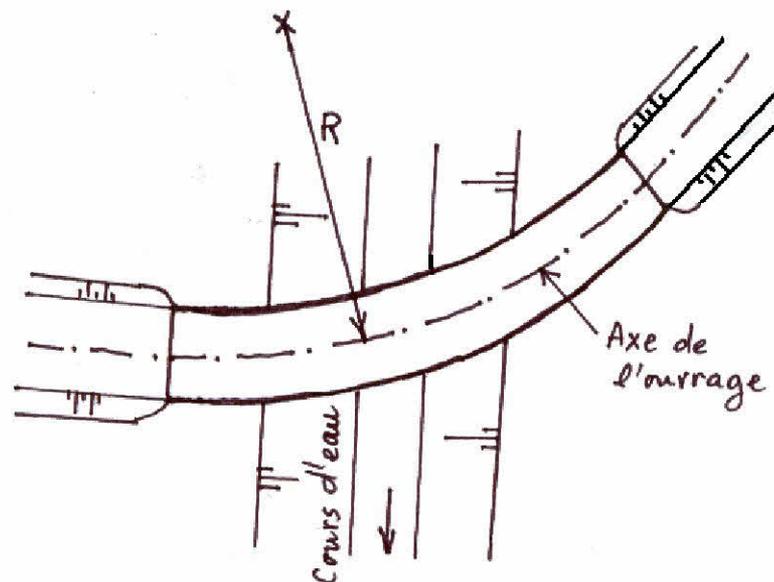


Fig. 12 Vue en plan d'un pont en courbe circulaire.

4-5 Selon la position du tablier

- **Pont à tablier supérieur** : Le tablier se situe au dessus des éléments porteurs (fig. 13).
- **Pont à tablier inférieur** : Le tablier se trouve dans la partie inférieure des éléments porteurs (fig. 14).
- **Pont à tablier intermédiaire** : (supérieur et inférieur) (fig. 15).
- **Pont à double tablier** : Le 1^{er} tablier est l'extrados du pont tandis que le 2^e est un tablier intermédiaire (fig. 16). D'après cette figure, on peut définir :
 - **Intrados** : C'est la ligne qui définit le contour inférieur du pont.
 - **Extrados** : C'est la ligne qui définit le contour supérieur du pont.

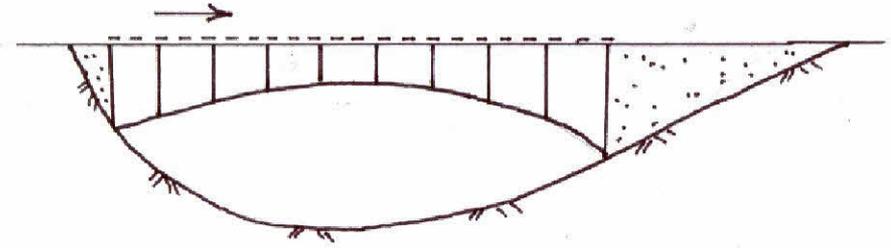


Fig. 13 Pont à tablier supérieur.

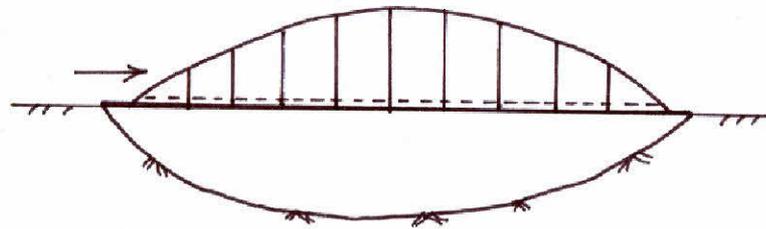


Fig. 14 Pont à tablier inférieur.

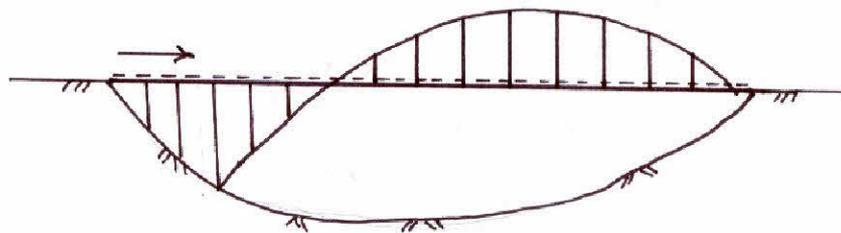


Fig. 15 Pont à tablier intermédiaire.

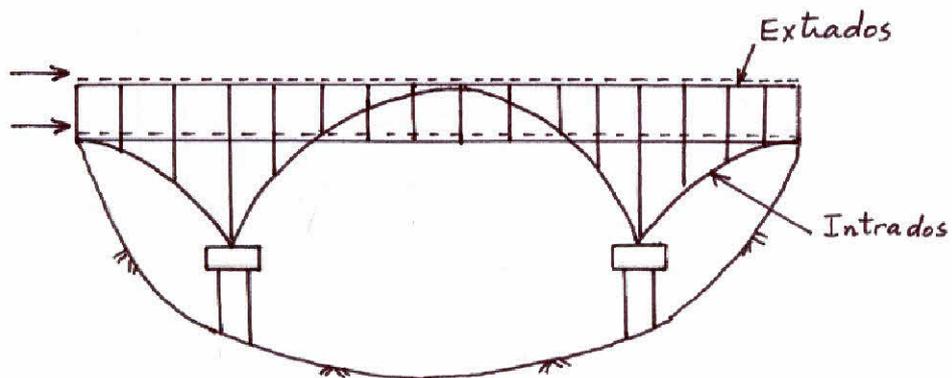


Fig. 16 Pont à double tablier.

4-6 Selon le schéma statique (RDM)

Nous avons 6 grandes catégories :

4-6-1 Pont isostatique : Les travées sont indépendantes (fig.17). Le schéma statique selon cette figure est

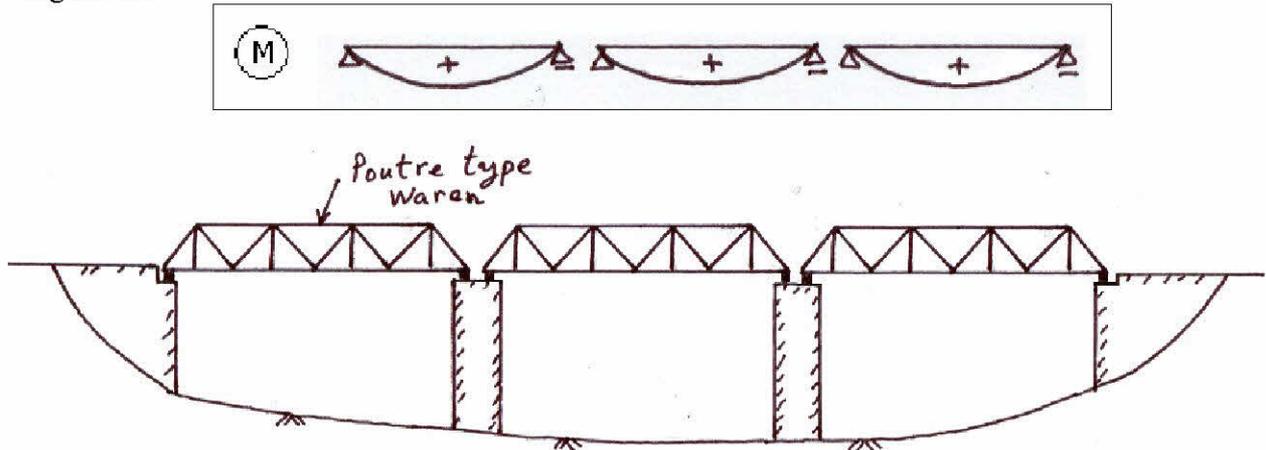
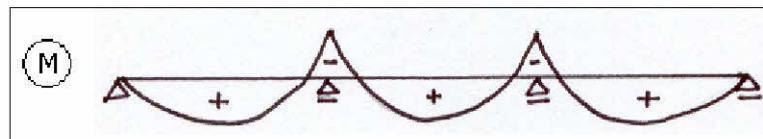


Fig. 17 Pont isostatique à 3 travées indépendantes.

4-6-2 Pont hyperstatique : Les travées sont solidaires, le tablier travaille comme une poutre continue. Dans la figure 18 le pont est continu, il est constitué de 3 travées dont le schéma statique montre l'existence d'un moment fléchissant négatif au niveau des appuis intermédiaires.



Lorsque le moment négatif est trop grand, on est obligé d'augmenter la hauteur de la poutre au niveau des appuis comme le montrent les exemples des figures 19 et 20.

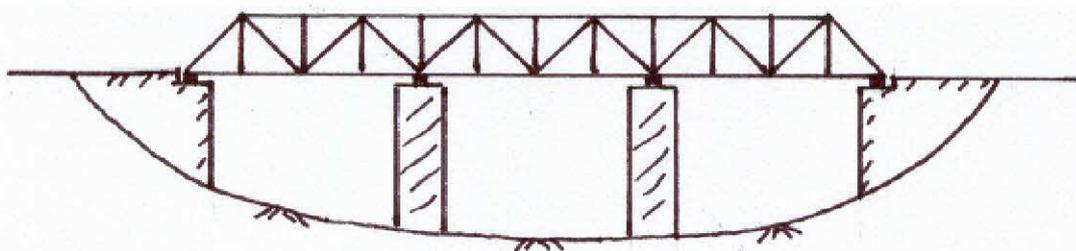


Fig. 18 Pont continu de 3 travées.

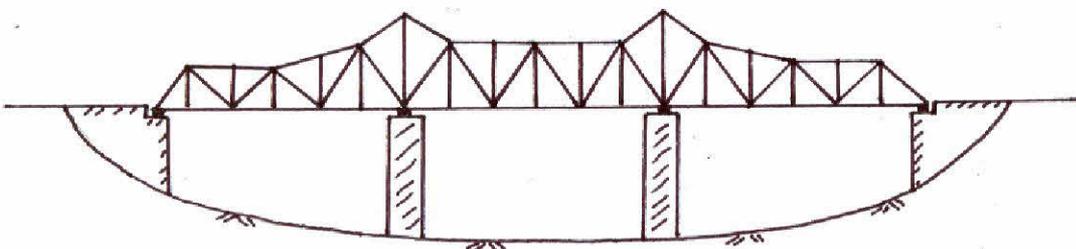


Fig. 19 Pont métallique continu à hauteur de ferme variable.

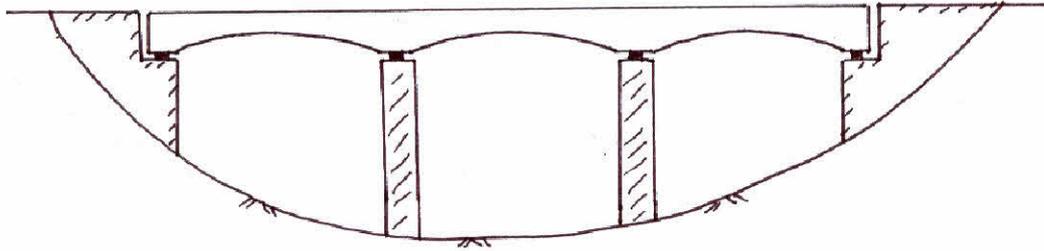


Fig. 20 Pont à poutres continues en B.P et de hauteur variable.

4-6-3 **Pont cantilever** : Ce type d'ouvrage contient une ou plusieurs travées qui s'appuient librement sur les autres (fig. 21). Selon le nombre d'appuis et d'articulations, le pont est considéré soit isostatique soit hyperstatique. Le schéma statique de l'exemple de la figure 21 est

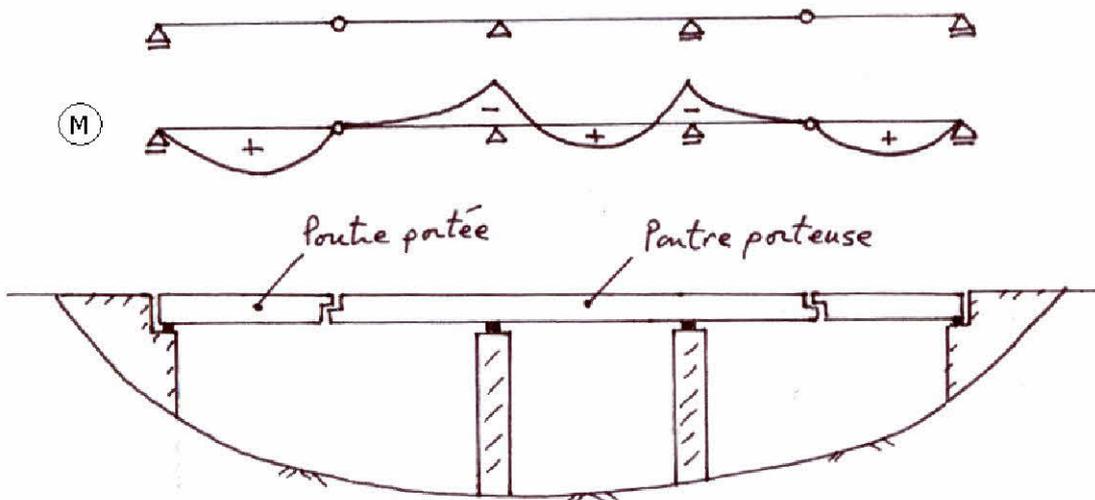


Fig. 21 Pont à poutres cantilevers en B.A.

4-6-4 **Pont en arc** : Il est utilisé dans les vallées larges et profondes, cela permet d'éviter l'implantation des piles très hautes et trop coûteuses. La figure 22 montre l'exemple d'un pont en arc à tablier supérieur. L'arc est soumis principalement aux efforts de compression. Il se décompose de 2 familles : les arcs isostatiques et les arcs hyperstatiques (fig. 23).

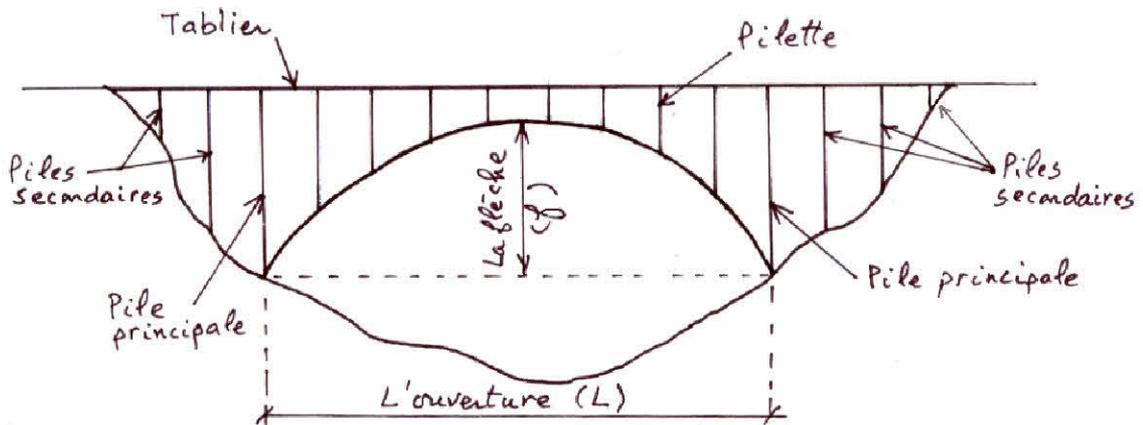


Fig. 22 Constitution d'un pont en arc en B.A à tablier supérieur.

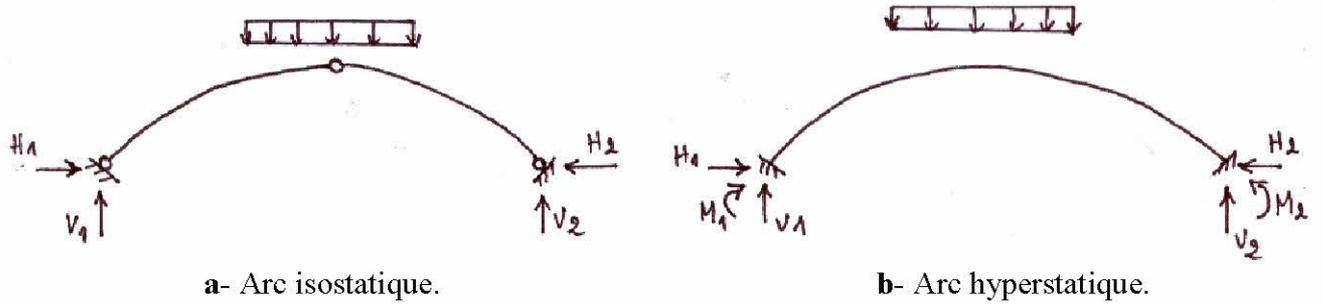


Fig. 23 Schémas statiques d'un pont en arc.

4-6-5 **Pont portique** : Le tablier est solidaire aux piles. Ils leurs transmet non seulement les charges verticales mais aussi les moments de flexion (fig. 24).

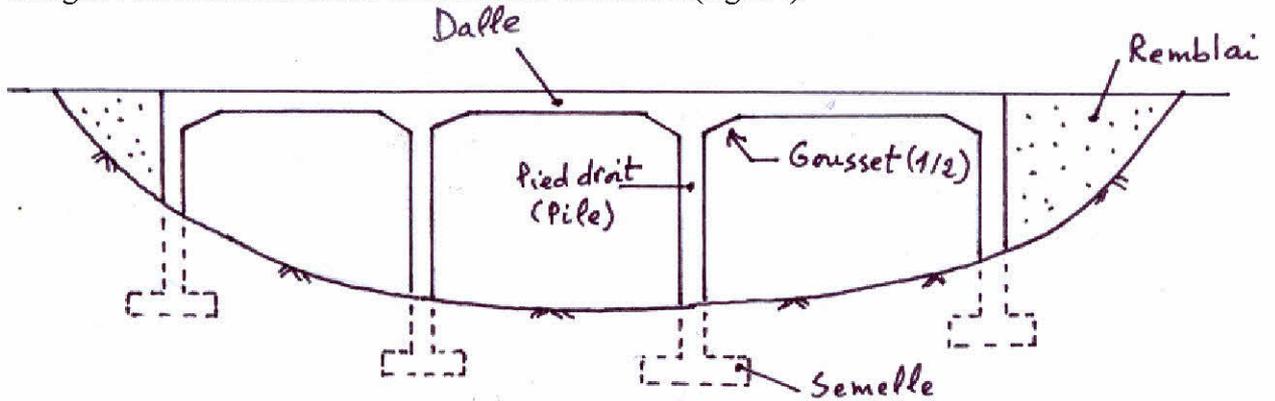


Fig. 24 Pont portique en B.A.

4-6-6 **Pont cadre** : Le tablier, les pieds droits (voiles) et le radier sont solidaires, ils forment un ou plusieurs cadres. Ce type d'ouvrage est généralement enterré, il est utilisé pour les petites portées ne dépassant pas les 12 m (fig. 25).

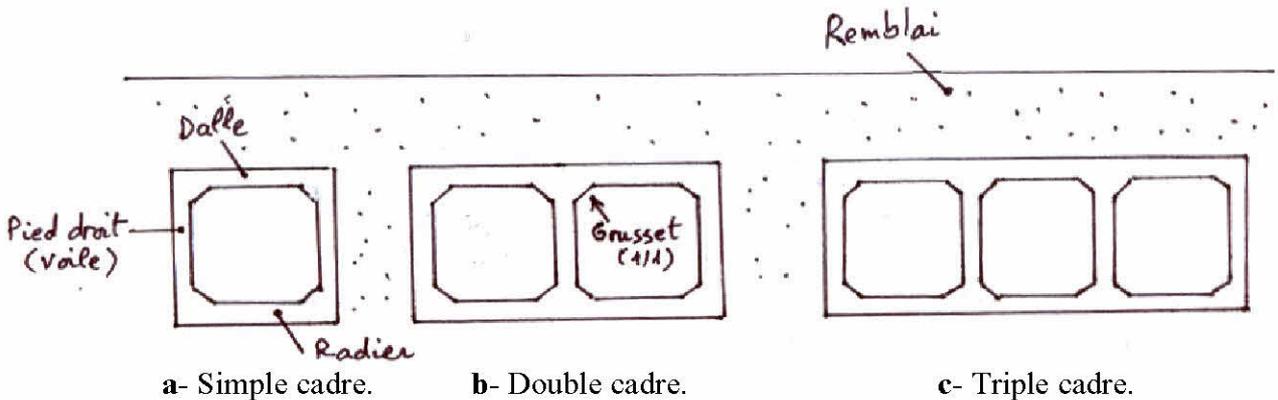


Fig. 25 Différentes formes des ponts cadres en B.A.

4-6-7 **Ouvrage busé** : Par son ouverture réduite, il s'approche de la gamme des ponts cadres. On distingue 3 types :

a- **Buse en B.A** : Elle joue le rôle d'évacuation des eaux (fig. 26), elle peut aussi servir de protection pour la traversée des conduites d'eau de gaz ou autre sous une voie de circulation (ouvrage fourreau). Le diamètre intérieur de la buse est dans l'intervalle

$$0.80 \text{ m} \leq D_i \leq 2.5 \text{ m} \quad (\text{I-1})$$

b- **Buse métallique** : Sa mise en place est facile, mais elle nécessite une protection contre la corrosion et un entretien continu (fig.27). Son diamètre intérieur

$$1.00 \text{ m} \leq D_i \leq 3.00 \text{ m} \quad (\text{I-2})$$

c- **Buse matière** : Cet ouvrage est en voûte mince en béton. Construit par la société française « matière », cette grande buse est prévue pour les passages inférieurs, pourvue que la hauteur du remblai sur l'ouvrage ne dépasse les 7m. L'ouverture D_i de la buse peut atteindre les 9m (fig. 28). Le rapport entre la hauteur libre V_i et l'ouverture D_i doit être compris

$$0.6 \leq \frac{V_i}{D_i} \leq 1 \quad (\text{I-3})$$

Il existe une forme proche de cette buse, c'est l'ouvrage appelé « Procédé matière » ; il est constitué d'une dalle en voûte construite en béton armé, qui s'appuie librement sur les pieds droits. Cette voûte travaille en compression. Pour éviter son écartement, elle est renforcée par une âme en béton armé qui travaille à la traction (fig. 29).

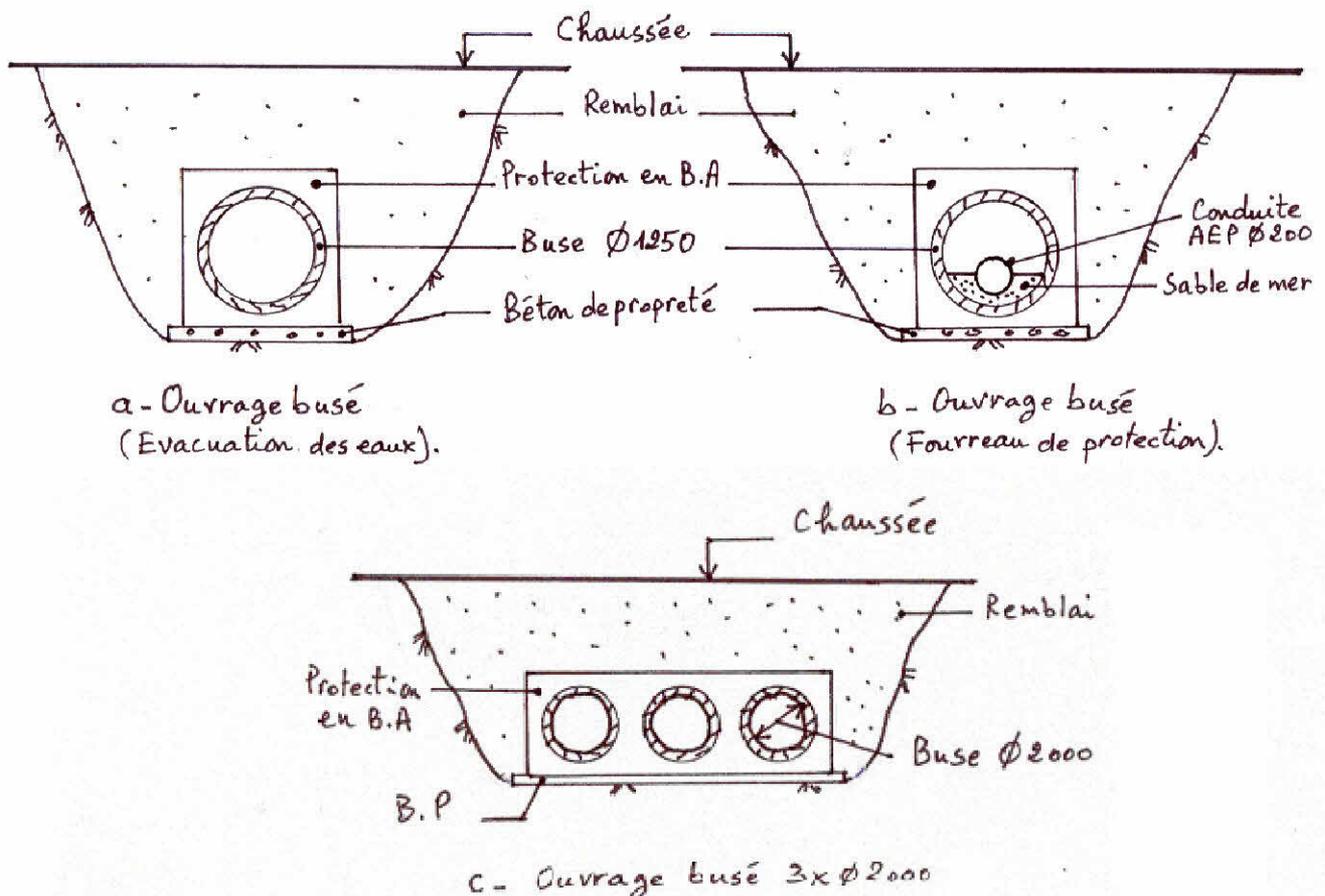


Fig. 26 Ouvrages busés en B.A.

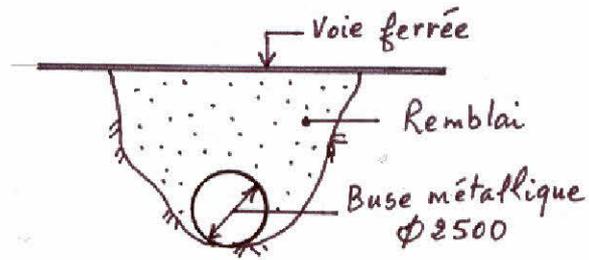


Fig. 27 Buse métallique sous voie ferrée.

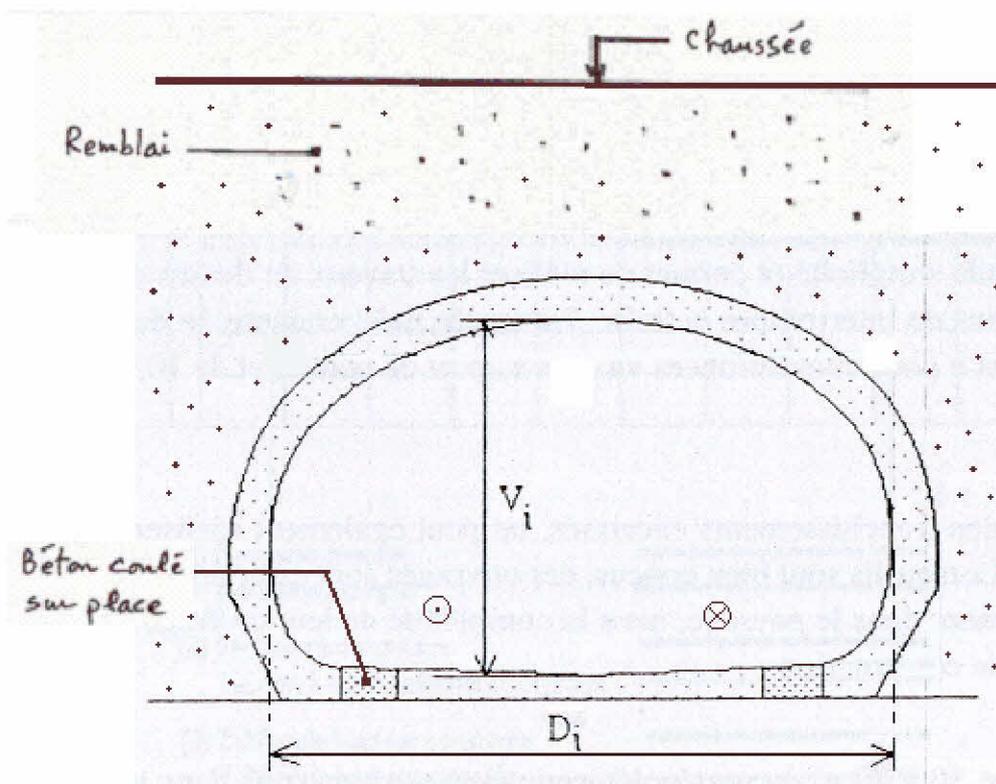


Fig. 28 Schéma de principe d'une buse matière.

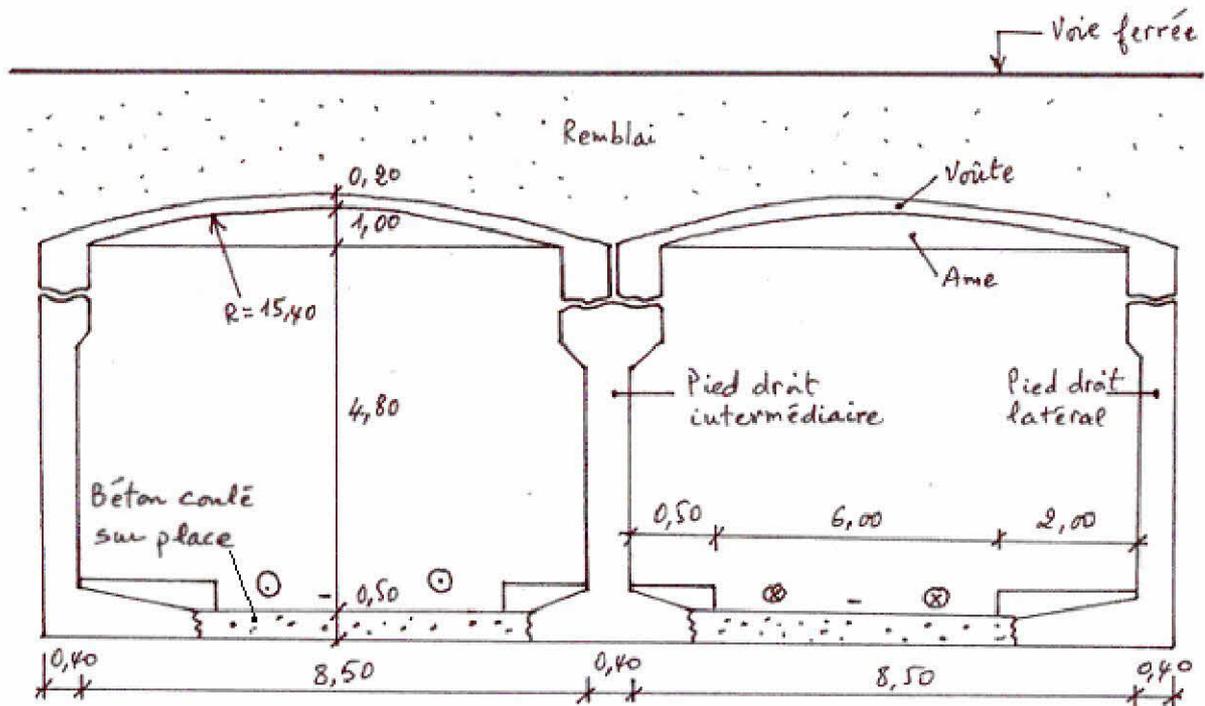


Fig. 29 Exemple d'un procédé matière : Passage inférieur sous voie ferrée à Sidi Bel Abbes.

4-6-8 Pont à béquilles : Un portique ouvert est considéré comme un pont à béquilles verticales (fig. 30). Quand le pont franchit une vallée profonde, les piles inclinées (béquilles) sont utilisées, du fait que la réalisation des piles verticales devient très coûteuse. Avec une inclinaison par rapport à la verticale au alentour de 45°, les béquilles sont généralement articulées sur leurs fondations. Elles supportent le tablier et le divisent en 3 travées. La hauteur de section du tablier est variable (fig. 31).

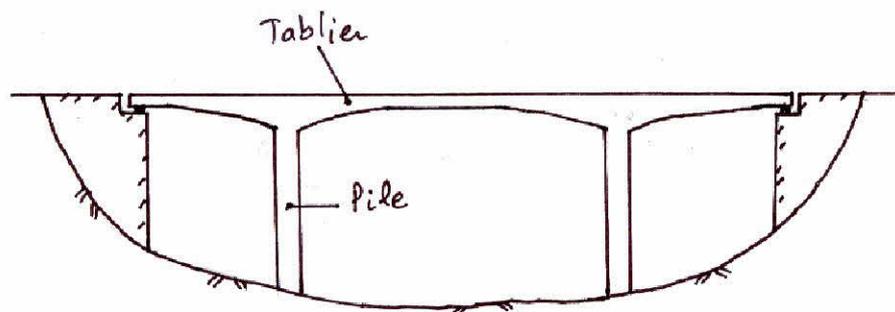


Fig. 30 Pont portique ouvert, ou pont à béquilles verticales.

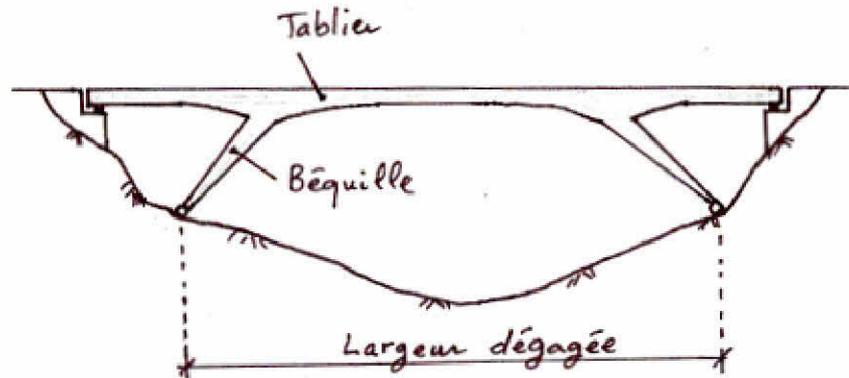


Fig. 31 Pont à béquilles proprement dit.

4-6-9 Pont Bow-string : Il est constitué de 2 poutres latérales sous forme d'arc, et d'un tirant incorporé dans le tablier qui est relié à l'arc par des suspentes (fig. 32).

Sous l'effet des charges, le tablier tend à fléchir, il met alors en traction les suspentes qui à leur tour mettent l'arc en compression. La poussée horizontale de l'arc entraîne une traction du tirant (fig. 32). Au niveau des appuis, seules les réactions verticales existent, et ce contrairement aux ponts en arc traditionnels qui selon la figure 23 exercent des forces horizontales et verticales sur leurs appuis.

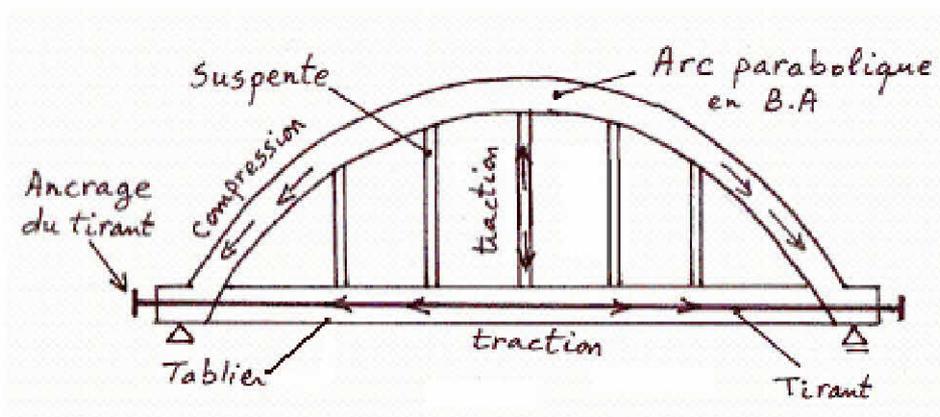


Fig. 32 Fonctionnement d'un pont Bow-string.

4-6-10 Pont suspendu : Le tablier est accroché aux 2 files de câbles par l'intermédiaire de suspentes. Les 2 câbles passent par les sommets des pylônes et sont ancrés dans des massifs en béton. Les suspentes et les câbles travaillent à la traction (fig. 33).

4-6-11 Pont à haubans : Le tablier est relié directement aux pylônes par des câbles obliques appelés haubans (fig. 34). Ils sont disposés, soit en une seule file dans l'axe du pont, soit en deux files latérales. Ce type d'ouvrages est de plus en plus utilisé à nos jours.

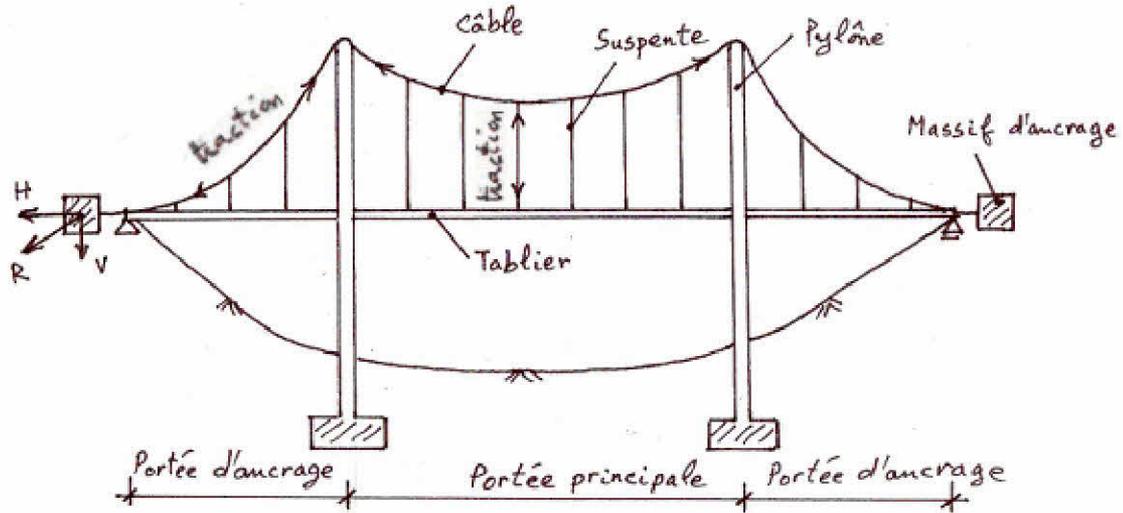


Fig. 33 Schéma général d'un pont suspendu.

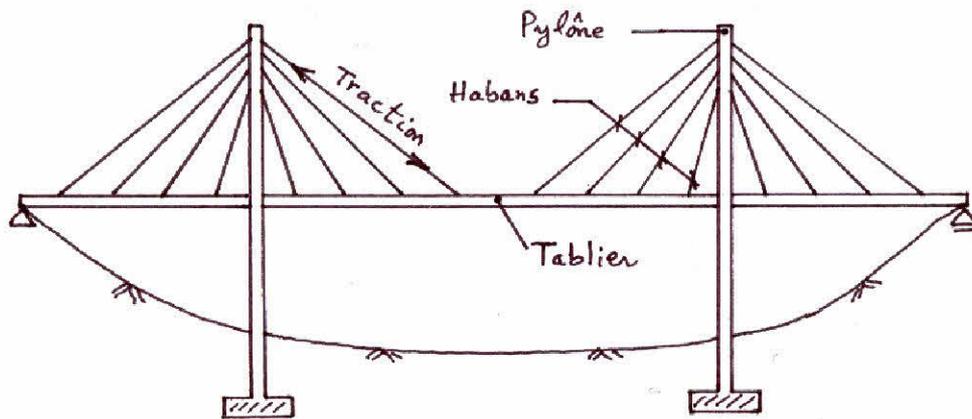


Fig. 34 Pont à haubans symétrique.

4-7 Selon la constitution du tablier

La structure du tablier diffère d'un pont à l'autre. Il existe 5 catégories :

4-7-1 Pont à poutres multiples : Les éléments porteurs principaux sont les poutres, elles transmettent les charges du tablier vers les appareils d'appuis (fig. 35).

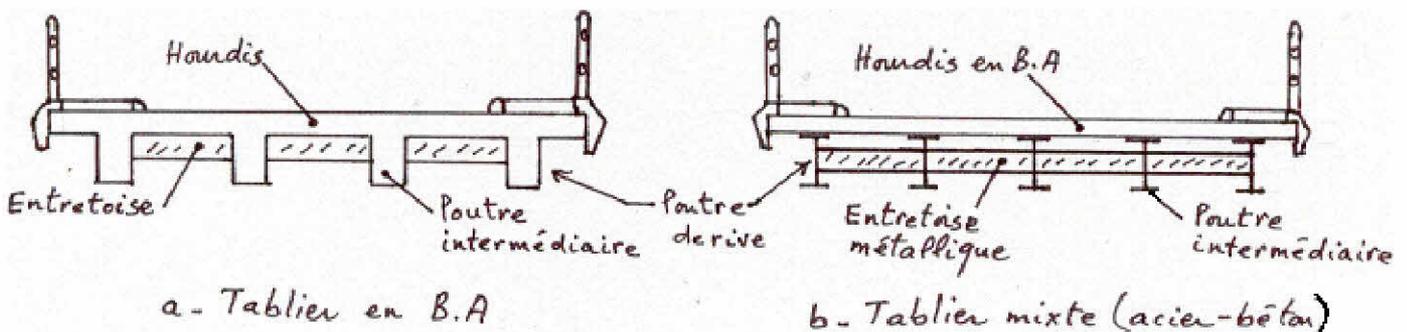


Fig. 35 Pont à poutres multiples sous hourdis.

4-7-2 Pont à poutres latérales : Les charges sont transmises acheminées vers les appareils d'appuis selon l'ordre : hourdis vers longerons, vers les traverses s'il s'agit d'un pont en béton armé ou vers les pièces de pont si l'ouvrage est métallique, vers les poutres latérales, et enfin vers les appareils d'appuis. (fig. 36).

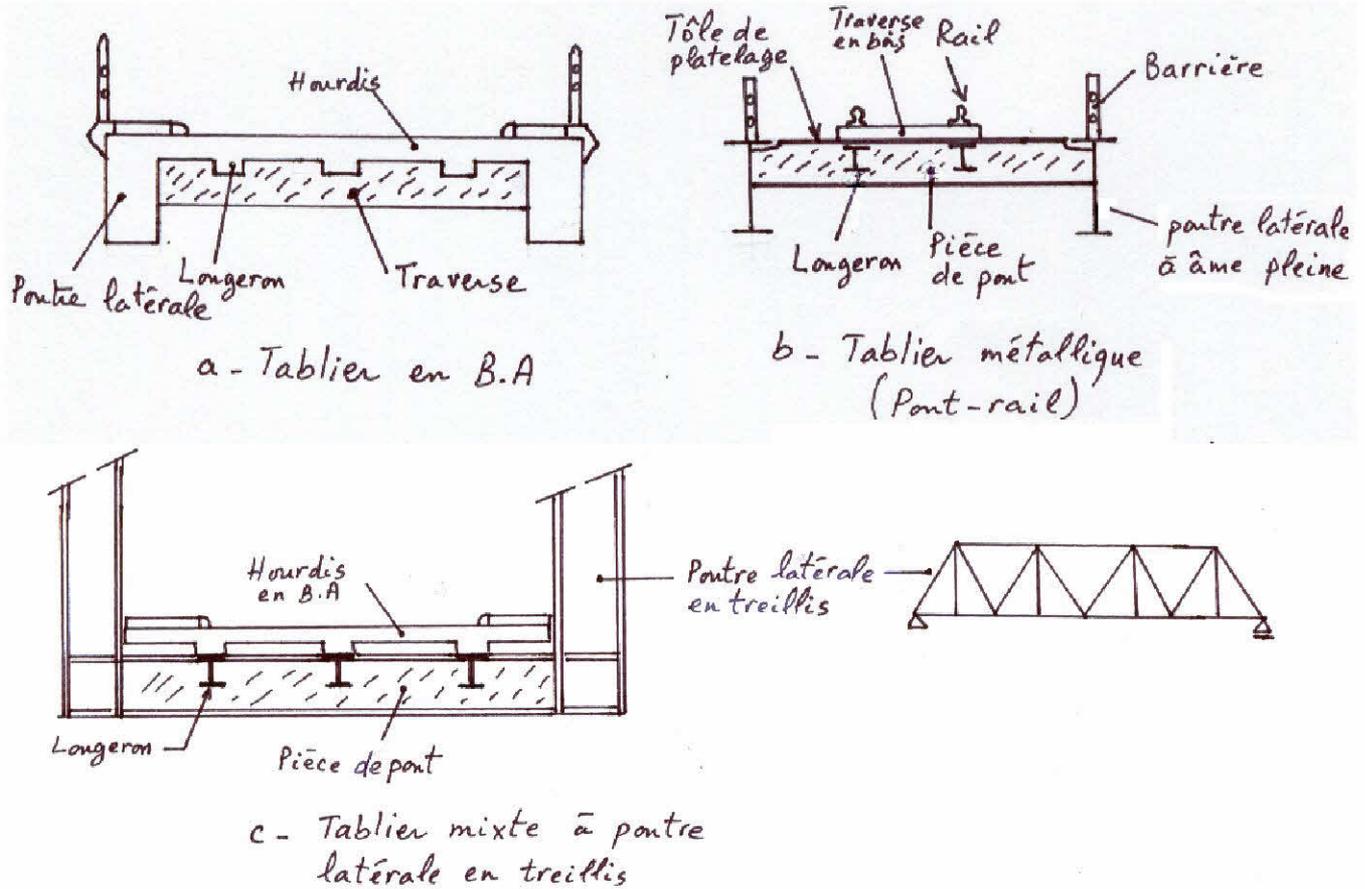


Fig. 36 Pont à poutres latérales.

4-7-3 Pont à poutres en caisson : Le tablier est assimilé à une ou plusieurs poutres construites en béton précontraint ou en béton armé, évidées à l'intérieur et possédant des dimensions importantes. De ce fait, leurs rigidités vis-à-vis la flexion et la torsion sont considérables (fig. 37).

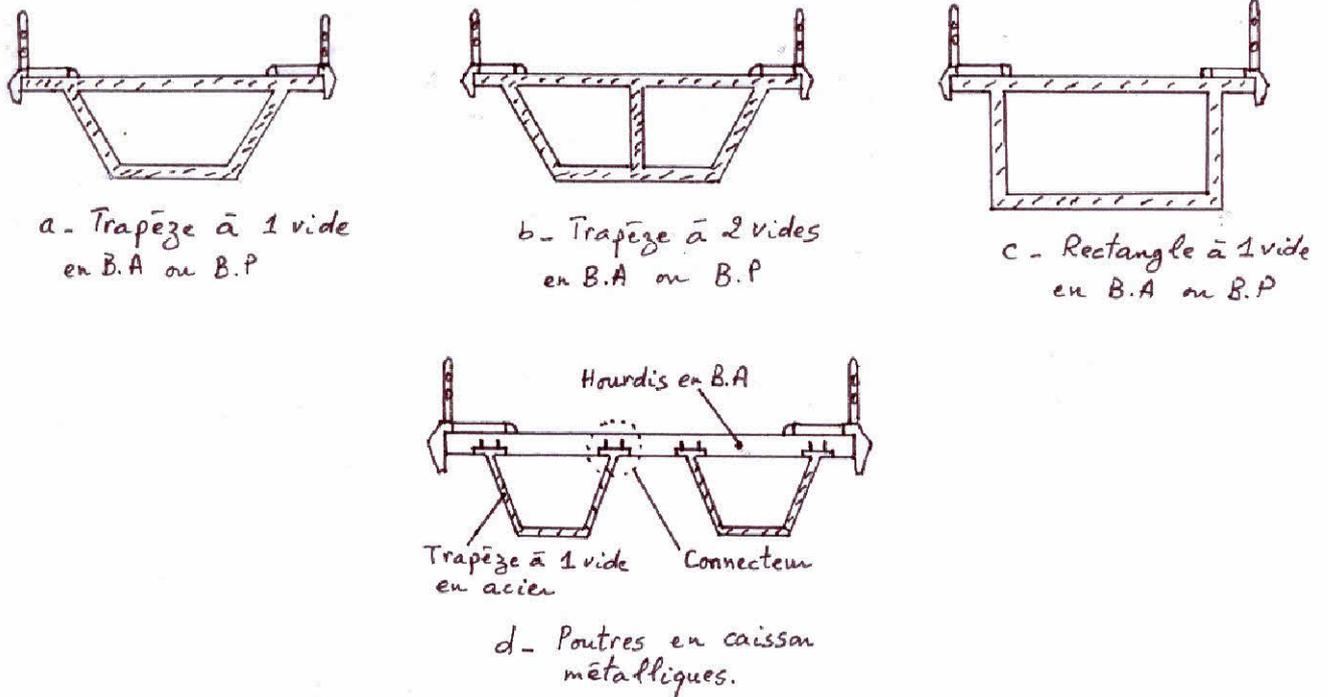


Fig. 37 Pont à poutres en caisson.

4-7-4 Pont à poutres plissées : Similairement aux en caissons, les poutres plissées sont d'une grande rigidité. Elles ont la forme d'un triangle dont le côté supérieur est l'hourdis, les deux autres côtés sont munies de plaques métalliques ondulées et très rigides qui se rencontrent au sommet inférieur du triangle qui est in tube métallique de liaisons des deux ailes (fig. 38).

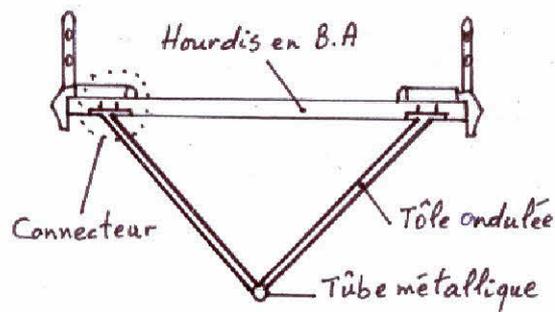


Fig. 38 Pont à poutres plissées.

4-7-5 Pont dalles : Les charges sont transmises directement de la dalle vers les appareils d'appuis. Cette fois ci l'hourdis possède une épaisseur importante, il est appelé dalle (fig. 39).

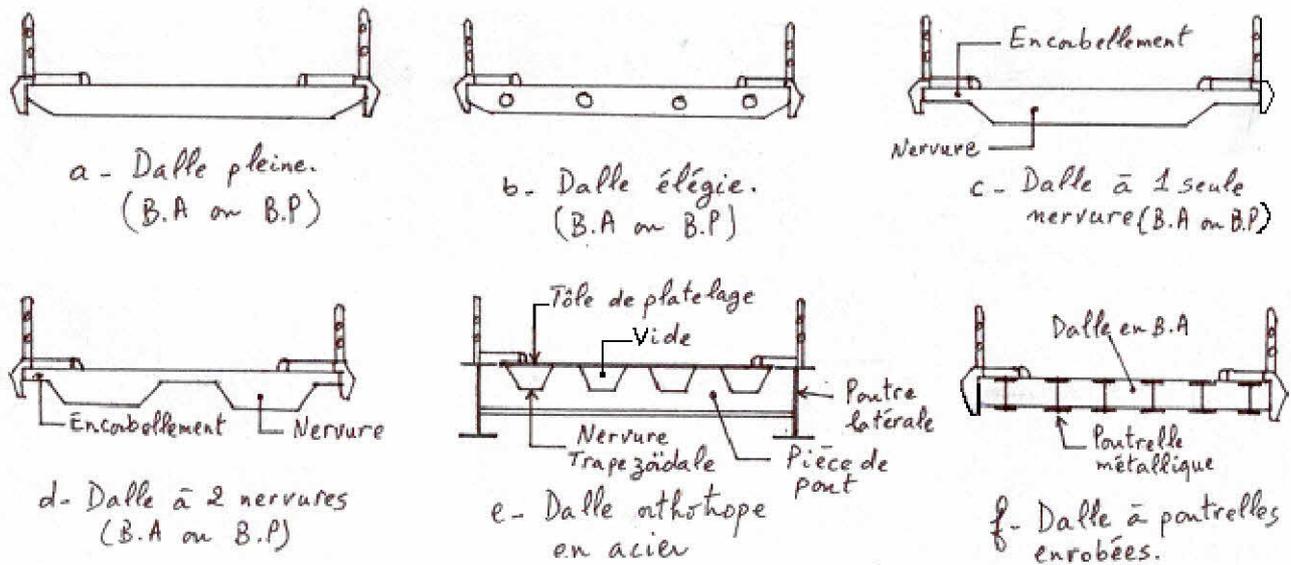


Fig. 39 Pont dalle.

5 DOMAINE D'EMPLOI DES PONTS SELON LEURS PORTEES

Quand on parle de la portée d'un ouvrage, il s'agit de décrire la longueur entre axes de sa plus grande travée, cette longueur est appelée portée déterminante.

5-1 Ponts en maçonnerie

- Ponceaux en voûte : 1 m → 5 m
- Ponts construits en arches de maçonnerie :
(Domaine courant) : 5 m → 45 m
(Domaine exceptionnel) : 45 m → 96.5 m

5-2 Ponts en béton armé ou béton précontraint

- Dalot en B.A : 1 m → 3.5 m
- Buses en B.A : 0.8 m → 2.5 m
- Buses matière : 5 m → 9 m
- Procédé matière : 7 m → 15 m
- PICF (Passage inférieur en cadre fermé) : 1 m → 12 m
- PIPO (Passage inférieur en portique ouvert) : 10 m → 18 m
- PSI-DA (Passage supérieur ou inférieur en dalle armée) :
(Section rectangulaire) : 7 m → 15 m
(Section à encorbellements latéraux) : 15 m → 20 m
- PSI-DP (Passage supérieur ou inférieur en dalle précontrainte) :
(Section rectangulaire) : 15 m → 23 m
(Section à encorbellements latéraux) : 23 m → 30 m
- PSI-DE (Passage supérieur ou inférieur en dalle élégié) :
(Tablier de hauteur constante) : 15 m → 25 m
(Tablier de hauteur variable) : 25 m → 35 m

- **PSI-DN** (Passage supérieur ou inférieur en dalle nervurée) : $20\text{ m} \rightarrow 50\text{ m}$
- **PSI-BA** (Passage supérieur ou inférieur à poutres en béton armé) :
(Domaine courant) : $15\text{ m} \rightarrow 25\text{ m}$
(Domaine exceptionnel) : $25\text{ m} \rightarrow 28\text{ m}$
- **PRAD** (Pont à poutrelles précontraintes par fil adhérent) : $15\text{ m} \rightarrow 30\text{ m}$
- **VIPP** (Viaduc à poutres précontraintes par post tension) : $25\text{ m} \rightarrow 52\text{ m}$
- **Cintre auto-lanceur** : $30\text{ m} \rightarrow 80\text{ m}$
- **Pont poussé** (unilatéralement) : $34\text{ m} \rightarrow 65\text{ m}$
- **Pont poussé** (bilatéralement) : $36\text{ m} \rightarrow 65\text{ m}$
- **Pont construit en encorbellement** : $49\text{ m} \rightarrow 200\text{ m}$

5-3 Ponts métalliques

- **Buses métalliques** : $1\text{ m} \rightarrow 3\text{ m}$
- **Pont à poutrelles enrobées** :
(Travées indépendantes) : $10\text{ m} \rightarrow 26\text{ m}$
(Travées continues) : $10\text{ m} \rightarrow 30\text{ m}$
- **Pont à tablier mixte** :
(Travées indépendantes) : $26\text{ m} \rightarrow 90\text{ m}$
(Travées continues) : $30\text{ m} \rightarrow 140\text{ m}$
- **Pont à tablier en dalles orthotrope** :
(Travées indépendantes) : $60\text{ m} \rightarrow 180\text{ m}$
(Travées continues) : $90\text{ m} \rightarrow 220\text{ m}$

5-4 Ponts à câbles

- **Pont à haubans** : $150\text{ m} \rightarrow 890\text{ m}$ (rivière de Tarara, Japon)
- **Pont suspendu** : $150\text{ m} \rightarrow 1990\text{ m}$ (Akachi Kaïko, Japon)

6 CONCLUSION

La classification des ponts a pris la grande part de ce chapitre, son but est de permettre au à l'ingénieur de choisir le type d'ouvrage répondant aux exigences du site, et d'établir rapidement un avant projet sommaire. Cependant, cette classification n'est pas définitive, elle dépend directement de la grande évolution que connaît le domaine des ouvrages d'art. Cela est du aux paramètres suivants :

- Amélioration des méthodes de calcul (éléments finis, éléments de frontières...).
- Grand développement des appareils de mesures et simulations sur modèles réduits aux laboratoires.
- Progrès industriels dans la qualité des matériaux (béton à haute performance, les aciers laminés, les composites...).
- Avancement de l'informatique (ordinateurs puissants, langages de calcul évolués, simulation virtuelle...).
- Progrès techniques en modes de construction (coffrages spéciaux, cintres glissants, et d'autres dispositifs et appareils de chantiers très modernes ...).
- Les matériaux innovants