

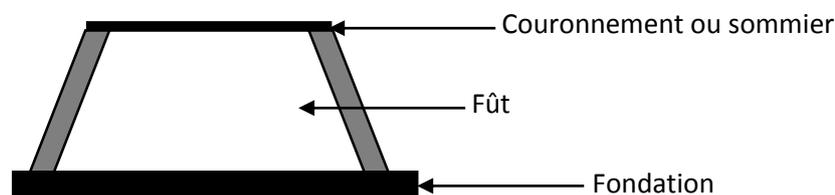
LES PILES

Les piles se composent d'un corps ou fût (simple ou multiple) et d'une fondation (simple ou multiple).

En plan, transversalement à l'axe, longitudinalement à l'ouvrage, les piles présentent des formes allongées terminées par des becs dont le rôle est hydrodynamique.

Le fût peut être en béton armé, en béton précontraint, en maçonnerie ou en métal.

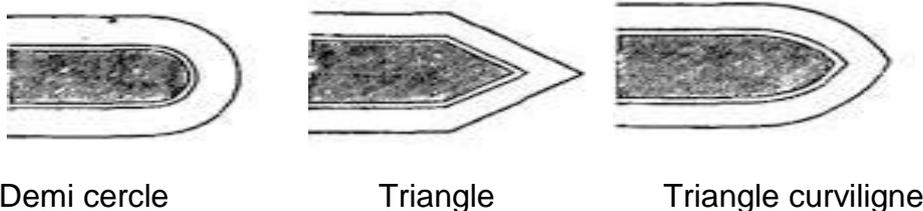
Un sommier ou un chevêtre règne à la partie supérieure du fût. C'est sur lui que le tablier repose par l'intermédiaire d'appareils d'appuis.



I. Les principales formes

a. En plan

Un avant-bec est une saillie de forme angulaire établie aux piles amont d'un pont en pierre, de façon à diviser le courant d'eau. Cette forme en pointe ou éperon fend ainsi l'eau, rompt les glaces et détourne les corps pouvant obstruer le passage.



Sections hydrodynamiques courantes des piles voiles

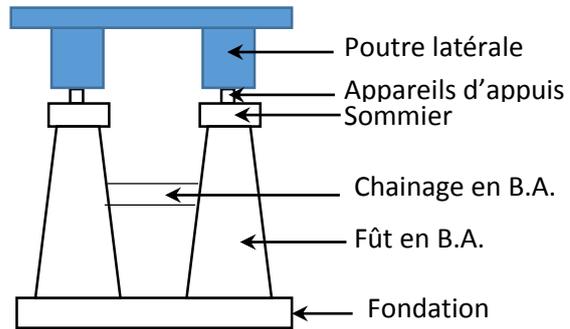
Dans le cas où des affouillements sont à craindre, il y a lieu de profiler également les fondations profondes. On peut aussi faire appel à des parements en pierres pour la protection des piles que pour les ponts urbains où lorsque l'érosion par le débit solide est à craindre.

L'épaisseur des fûts est en fonction des résistances mécaniques. Elle peut aussi être dimensionnée pour répondre à des exigences architecturales qui nécessitent que la dimension de la pile soit en rapport avec celle du tablier.

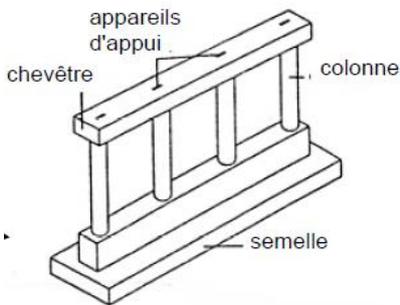
b. En élévation :



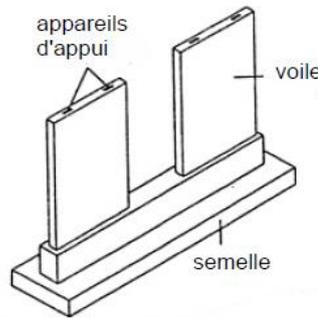
Piles pleines



Piles à fûts jumeaux

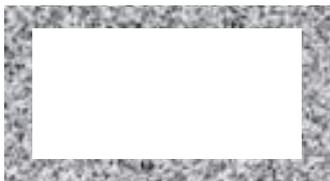


Piles à colonnes



Piles à voiles

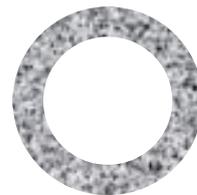
c. Sections creuses des fûts élancés



Rectangle



Nervures intermédiaires

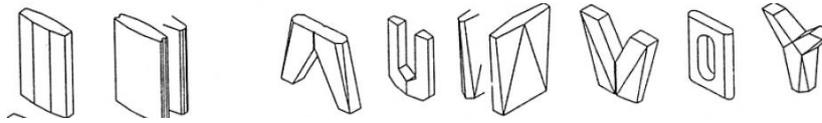


Cercle



En forme de i

d. Pile de forme spéciale



Pour les piles de grandes hauteurs, la section est déterminée par l'action du vent. On adopte les piles en I à inertie variable ou en caissons, sections qui permettent l'utilisation des coffrages glissants ou grimpants.

2. Sollicitations sur les piles

Ce sont les réactions développées par les charges permanentes et les surcharges considérées comme statiques ainsi que les variations linéaires, ainsi que les réactions développées par les mouvements des surcharges (freinage, force centrifuge ...). Elles s'appliquent directement au sommet.

Réactions verticales :

- charges permanentes G ,
- charges d'exploitation normales $A(I)$, B les surcharges particulières M , D , E .
- charge du trottoir S_t (Charge générale),
- Pression verticale du vent appliquée sur le tablier,
- composante verticale du séisme,

Réactions horizontales :

- force de freinage,
- force de centrifuge,
- déformation longitudinale du tablier (retrait, fluage, température), VLT
- force horizontale de rappel dans les appareils d'appuis glissants,
- pression horizontale du vent appliquée sur le tablier et la pile dans la direction transversale,
- composantes longitudinale et transversale du séisme,

b. Autres sollicitations appliquées sur le fût

Elles ne proviennent pas du tablier et s'appliquent directement sur le fût.

- le poids propre de la pile G_p ,
- la pression horizontale du vent p_H ,
- Action de l'eau,
- le choc des véhicules contre la pile ou des corps flottants.,
- Les particules solides entraînées par le courant usent par abrasion les maçonneries des piles.

Remarques :

- Action de l'eau : sur les piles, l'eau agit de diverses façons. L'eau exerce une poussée hydrostatique sur la pile et le courant exerce une action hydrodynamique sur les parties immergées, donc un mouvement de renversement.

$$R = K \cdot \rho_{\text{eau}} \cdot S \cdot V^2$$

V : Vitesse du courant (m/s)

S : Surface de contact de la pile (b×h)

b : largeur ou diamètre de la pile en mètres.

h : profondeur de l'eau.

K : Coefficient de forme (0,72 pour une pile sans avant bec et 0,35 pour les piles avec avants becs arrondis ou autres).

- L'importance de l'influence du vent sur la stabilité des piles croît avec leur hauteur, il conditionne le dimensionnement des piles hautes.
- L'eau des rivières tend à dissoudre la chaux des liants des mortiers et des bétons. C'est pourquoi, il faut protéger les armatures des piles contre la corrosion.
- Les effets du vent ne sont pas cumulables aux charges d'exploitation
- Force de rappel dans les appareils d'appui glissants se calcule par l'équation :

$$F_{Hr} = \mu \cdot R_g$$

Où μ est un coefficient de frottement (0,05),

R_g : réaction verticale due à la charge permanente.

- Le choc éventuel d'un véhicule sur une pile de pont est assimilé à une force horizontale appliquée à 1,5 m au-dessus du niveau de la chaussée. Il est admis que cette force est soit frontale, soit latérale. Des valeurs préliminaires sont présentées pour les véhicules de poids lourds par les règles du BAEL.

Vitesse du P.L., en km/h	Choc frontal, en kN	Choc latéral, en kN
90	1000	500
75	800	400
60	500	250

Valeurs de choc de véhicule contre une pile d'un pont

- Les Chocs de bateaux sont considérés comme des actions accidentelles et les justifications ne sont conduites qu'aux Etats-Limites-Ultime, avec un coefficient de pondération de 1,2. Le choc d'un bateau sur une pile de pont est assimilé à une force horizontale statique. Cette force est soit parallèle au sens du courant (choc frontal), soit perpendiculaire à celui-ci (choc latéral). Ces efforts ne sont concomitants dans une même combinaison

* Sur les voies navigables à grand gabarit :

- Choc frontal : 8000 kN

- Choc latéral : 1600 kN

* Sur les voies navigables à petit gabarit

- Choc frontal 1000 kN

- Choc latéral 200 kN

2.3. Stabilité de la pile :

La stabilité d'ensemble d'une pile se ramène à la résistance du sol de fondation.

On choisit la stabilité de la pile durant les diverses étapes de la vie de l'ouvrage :

- A la construction (phase transitoire),
- Exploitation (phase durable),
- Séisme (cas accidentel).

Les trois conditions de stabilité doivent être vérifiées, à savoir : au renversement, à l'enfoncement (poinçonnement du sol) et au glissement.

Combinaisons d'actions à l'état limite ultime de stabilité :

Phase de construction :

$$0,9 G_{\min} + 1,1 G_{\max} + 1,35 Q_c + 1,2 \{W + 0,9 \{T$$

$$0,9 G_{\min} + 1,1 G_{\max} + 1,5 W + 1,35 \{Q_c + 0,9 \{T$$

$$0,9 G_{\min} + 1,1 G_{\max} + 1,5 T + 1,35 \{Q_c + 1,2 \{W$$

Phase d'exploitation :

$$0,9 G_{\min} + 1,1 G_{\max} + 1,5 Q_r + 0,9 \{W + 0,9 \{T$$

$$0,9 G_{\min} + 1,1 G_{\max} + 1,5 W + 0,9 \{T$$

$$0,9 G_{\min} + 1,1 G_{\max} + 1,5 T + 0,9 \{W$$

Où G_{\max} : la charge permanente défavorable,

G_{\min} : la charge permanente favorable,

Q_c : la charge de chantier,

Q_r : la charge A ou B + la charge générale du trottoir

W : Effet du vent,

T : Effet de température (si elle est défavorable)

Cas de séisme :

$$G + E + \lambda \{Q_r + 0,4 \{\Delta T$$

E : Action sismique

$\lambda = 0,2$ (Pont route urbain)

$\lambda = 0,3$ (Pont rail)

$\lambda = 0$ (Pont route urbain)

L'action sismique E est une combinaison des actions E_x , E_y , E_z dirigées selon les directions x, y, z :

$$E = E_x \pm 0,3 E_y \pm 0,3 E_z$$

$$E = E_y \pm 0,3 E_x \pm 0,3 E_z$$

$$E = E_z \pm 0,3 E_x \pm 0,3 E_y$$

Stabilité au renversement :

$$\frac{M_s}{M_r} \geq 1,5$$

Où M_s : moment stabilisant par rapport au point « C » de renversement

M_r : moment renversant par rapport au point « C » de renversement

Stabilité à l'enfoncement

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sum V}{A \cdot B} \cdot \left(1 \pm \frac{6 \cdot e_B}{B} \right) < \sigma_{sol}$$

V : Effort vertical

e_B : Excentricité de l'effort normal V par rapport au centre de gravité de la semelle

A : Longueur de la semelle

B : Largeur de la semelle

Stabilité au glissement

$$\frac{tg\varphi}{tg\theta} = \frac{tg\varphi}{H/V} > 1,5$$

φ est l'angle de frottement interne du sol d'assise

H : Effort horizontal

V : Effort vertical

Le fût est calculé comme une pièce soumise à la flexion composée en utilisant les procédés de la résistance des matériaux.

Au niveau du chevêtre, il y a lieu de surféailler cette pièce ou exiger des frettages puisque les appuis du tablier créent des actions locales (concentration des contraintes) qui peuvent entraîner à une fissuration du béton.

3. Les différents types de fondations :

Les types de fondations dépendent de trois facteurs :

- Les contraintes de compression admissible,
- Les risques d'affouillement dans le cas des ouvrages en sites aquatiques,
- Les phénomènes de tassement qui doivent être compatibles avec l'intégrité des superstructures,
- La profondeur du bon sol par rapport au terrain naturel.

a. Fondations massives :

La charge est transmise directement au sol par l'intermédiaire d'un massif en béton armé ou non. On utilise ce genre de fondations si le bon sol se trouve à faible ou à moyenne profondeur et n'est pas affouillable.

Si lors de l'exécution de la fouille pour le coulage du massif, on se trouve en présence d'une nappe souterraine ou une nappe superficielle (rivière). Il convient de blinder la fouille au moyen de batardeau de palplanches et de l'épuiser au fur et à mesure des terrassements.

b. Fondations sur pieux :

Les pieux sont employés soit pour reporter les charges sur une couche résistante profonde en passant par un mauvais terrain, soit pour répartir les charges dans un terrain médiocre et de grande épaisseur.

Les pieux sont exécutés par forage dans le cas d'un sol présentant des obstacles ou par battage dans le cas d'un bon sol. Dans les deux cas il est nécessaire de solidariser les pieux en tête par une semelle de liaison.

La longueur minimale économique admissible pour les pieux est de l'ordre de 8 à 10 m.

L'espacement minimum des pieux est au moins égal à 2,5 à 3 fois leur diamètre.

L'épaisseur de la semelle doit être tel que les armatures des pieux puissent y être ancrées correctement. Il semble que l'épaisseur minimale est de 1,00 m.

On doit exiger pour les pieux un battage perdu après coulage du béton pour éviter la rupture du pieu au moment du relevage du tube.