

Module Structure 1 - TD 1

1 - Définition des fondations

Les fondations sont des parties de l'ouvrage qui sont en contact avec le sol auquel elles transmettent les charges de la superstructure

2- Stabilité des fondations

Les massifs des fondations doivent être en équilibre sous l'action :

- des sollicitations dues à la superstructure qui sont :
 - Des forces verticales ascendantes ou descendantes ;
 - Des forces obliques (telle la poussée des terres) ;
 - Des forces horizontales (séisme) ;
 - Des moments de flexion ou de torsion.
- des sollicitations dues au sol qui sont :
 - Des forces verticales ascendantes ou descendantes ;
 - Des forces obliques (adhérence, remblais, etc.).

3- Différents types de fondations

Les fondations peuvent être classées par rapport aux terrains suivant 03 types :

- Fondations superficielles
- Fondations semi profondes (puits) ;
- Fondations profondes (pieux).

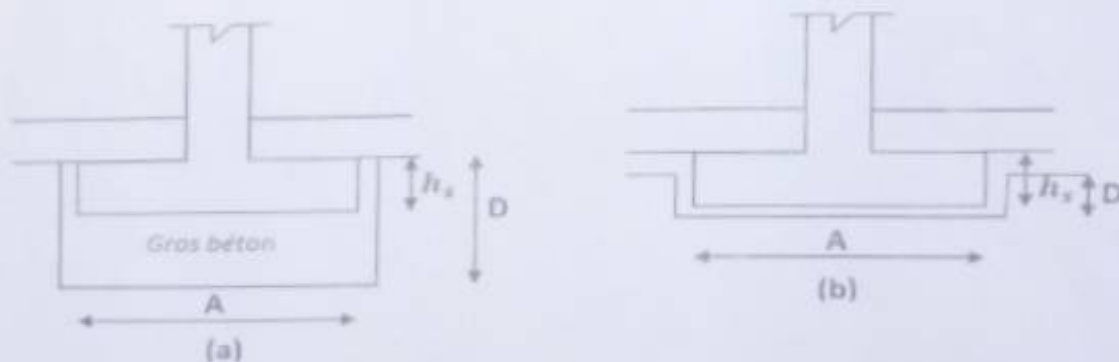
4- Fondations superficielles

Sont des fondations dont la profondeur n'excède pas en général 2 à 3 mètres; on distingue :

Les fondations fonctionnelles, constituées par des **semelles isolées sous poteaux** ;

Les fondations linéaires, constituées par des **semelles continues** sous poteaux ou murs ;

Les fondations surfaciques, constituées par des radiers ou des cuvelages sous poteaux ou murs.



Fondation superficielle : (a) Sol argileux ; (b) Sol rocheux.

$$B \geq \sqrt{\frac{b P_s}{a \sigma}} \quad \text{ou} \quad A \geq \sqrt{\frac{a P_s}{b \sigma}}$$

Les hauteurs utiles (d_a et d_b) des armatures parallèles aux côtés A et B respectivement doivent respecter :

$$\frac{B - b}{4} \leq (d_a \text{ et } d_b) \leq A - a \quad (\text{condition de rigidité})$$

La hauteur des patins e est donnée en fonction du diamètre \emptyset des armatures tendues.

$$e \geq \text{Max} \left\{ 15 \text{ cm}; \left(\frac{6\emptyset + 6 \text{ cm}}{12\emptyset + 12 \text{ cm}} \right) \right\}; \quad e \text{ et } \emptyset \text{ en cm}$$

b) Ferrailage

En supposant que la répartition des contraintes est uniforme sous la semelle, on peut écrire

$$\sigma_{\text{tot}} = \frac{P}{A \times B}$$

Les sections d'armatures sont donc A_a parallèlement au côté A et A_b parallèlement au côté B , avec $P = P_u$.

$$A_a = \frac{P_u (A - a)}{8 \cdot d_a \cdot \sigma_s} \quad A_b = \frac{P_u (B - b)}{8 \cdot d_b \cdot \sigma_s}$$

c) Longueurs et mode d'ancrage des armatures principales

Pour déterminer la longueur des barres et leur mode d'ancrage, on calcule la longueur de scellement droit l_s .

$$l_s = \frac{\emptyset}{4} \frac{f_e}{0,6 \psi_s^2 f_{tj}}$$

f_e : Limite élastique des aciers,

f_{tj} : résistance caractéristique à la traction du béton,

ψ_s : coefficient de scellement. Cette valeur dépend du type de l'acier et de la résistance du béton. Les valeurs de $l_s \emptyset$ sont données dans le Tableau 1.

Tableau 1. Longueurs de scellement : valeurs de l_s/ϕ .

f_{c28} Nuances	16	18	20	25	30	40	50	60
FeE215	57,4	53,3	49,8	42,7	37,3	29,9	28,9	21,3
FeE235	62,8	58,3	54,4	46,6	40,8	32,6	27,2	23,3
FeE400	47,5	44,1	41,2	35,3	30,9	24,7	20,6	17,6
FeE500	59,4	55,1	51,4	44,1	38,6	30,9	25,7	22,0

Remarque

- Les armatures A_a et A_b seront réparties uniformément suivant les deux directions A et B . les armatures parallèles au grand côté constitueront le lit inférieur du quadrillage.
- Ces armatures s'étendront, dans chaque direction, jusqu'aux extrémités de la semelle. Elles seront munies ou non de crochets en comparant respectivement les longueurs de scellement l_{sa} et l_{sb} des barres à $A/4$ et $B/4$.

Si $l_{sa} \leq A/4$: les barres dans le sens A n'ont pas besoin de crochets, sinon il faut en mettre.

Si $l_{sb} \leq B/4$: les barres dans le sens B n'ont pas besoin de crochets, sinon il faut en placer.

Exercice

Calculer les dimensions et les armatures d'une semelle sous poteau rectangulaire de section $(30 \times 40) \text{ cm}^2$. Le poteau transmet à la semelle un effort vertical centré $P_s = 0.45 \text{ (ELS)}$ et $P_u = 0.70 \text{ M(ELU)}$. $\bar{\sigma} = 0.25 \text{ MPa}$, contrainte admissible du sol. Aciers HAFeE400. $\gamma_s = 1.15$, coefficient de sécurité des aciers dans la situation courante, $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$, résistance caractéristique à la compression du béton après 28 jours de durcissement, $\rho = 25 \text{ KNm}^3$, poids volumique du béton armé, Fissuration non préjudiciable

Correction de Ex n°1 (Semelle rectangulaire)

1. Dimensionnement de la semelle

→ Condition de portance

$$B \geq \sqrt{\frac{b}{a} \cdot \frac{A_s}{\bar{\sigma}}} \Rightarrow B \geq \sqrt{\frac{40}{30} \times \frac{0.45}{0.25}}$$

$$\Rightarrow B \geq 1.55 \text{ m.}$$

Soit $B = 1.60 \text{ m}$

$$A = \frac{a}{b} \cdot B = \frac{30}{40} \times 1.6 = 1.20 \text{ m.}$$

Soit $A = 1.20 \text{ m}$

→ Condition de rigidité

$$\frac{B-b}{4} \leq d_a \text{ et } d_b \leq A-a$$

$$\Rightarrow \frac{160-40}{4} \leq d \leq 120-30$$

$$30 \text{ cm} \leq d \leq 90 \text{ cm}$$

Soit $d_b = 35 \text{ cm}$ et $h_t = 40 \text{ cm}$

d_b : c'est la hauteur utile et h_t : la hauteur totale de la semelle

→ Vérification de la condition de portance en tenant compte du poids propre de la semelle.

Soit P_p le poids propre approximatif de la semelle

$$P_p = B \cdot A \cdot h_t \cdot \rho$$

$$= 1.6 \times 1.2 \times 0.4 \times 25 = 19.2 \text{ kN}$$
$$= 0.019 \text{ MN}$$

①

P'_s et P'_u les charges verticales en tenant compte du poids propre de la semelle à T.E.L.S et L'E.L. 4 respectivement.

$$P'_s = 0,45 + 0,019 = 0,47 \text{ MN}$$

$$P'_u = 0,70 + 1,35 \times 0,019 = 0,73 \text{ MN}$$

on vérifie les dimensions comme suit -

$$B = 1,60 \text{ m}, \quad \sqrt{\frac{b}{a} \cdot \frac{P'_s}{E}} = \sqrt{\frac{40}{30} \times \frac{0,47}{0,25}} = 1,58 \text{ m}$$

$$\Rightarrow B \geq \sqrt{\frac{b}{a} \cdot \frac{P'_s}{E}} \quad \checkmark$$

$$A = 1,20 \text{ m}, \quad \frac{a}{b} \cdot B = \frac{30}{40} \times 1,58 = 1,19$$

$$\Rightarrow A \geq \frac{a}{b} \cdot B \quad \checkmark$$

les dimensions choisies vérifient les conditions de portance.

- 2 - Calcul des armatures (par la méthode des bielles)

→ Armatures parallèles au côté B

$$A_{s_b} = \frac{P'_u (B - b)}{8 \cdot d_b \cdot \sigma_s} = \frac{0,73 \cdot (1,6 - 0,4)}{8 \cdot 0,35 \cdot 348} \\ = 8,99 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \\ = 9 \text{ cm}^2$$

on prend 8 HA 12 de section $A_{s_b} = 9,05 \text{ cm}^2$ avec un espacement moyen de 15 cm

→ Armatures parallèles au côté A

$$A_{s_a} = \frac{P'_u \cdot (A - a)}{8 \cdot d_a \cdot \sigma_s}$$

(2)

prenons les barres de diamètre $\Phi 10$, il faut

$$d_a = d_b - \frac{\Phi_a + \Phi_b}{2}$$

$$= 35 - \frac{1.2 + 1.0}{2} = 33.9 \text{ cm}$$

donc

$$A_{sa} = \frac{0.73(1.2 - 0.3)}{0.339 \cdot 348} = 6.96 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$= 7 \text{ cm}^2$$

Soit 9 HA10 de section $A_{sa} = 7.06 \text{ cm}^2$
avec un espacement de 10 cm.

* L'ancrage l_s des barres vaut:

$$\left\{ \begin{array}{l} f_{cs} = 25 \text{ MPa} \Rightarrow \frac{l_s}{\Phi} = 35.3 \Rightarrow l_s = 35.3 \Phi \\ \text{Aciers Fe E400} \end{array} \right.$$

$$l_{sa} = 35.3 \times 1.0 = 35.30 \text{ cm} \Rightarrow l_{sa} > A_{14} = 0.2975$$

\rightarrow les armatures parallèles à A doivent comporter des crochets

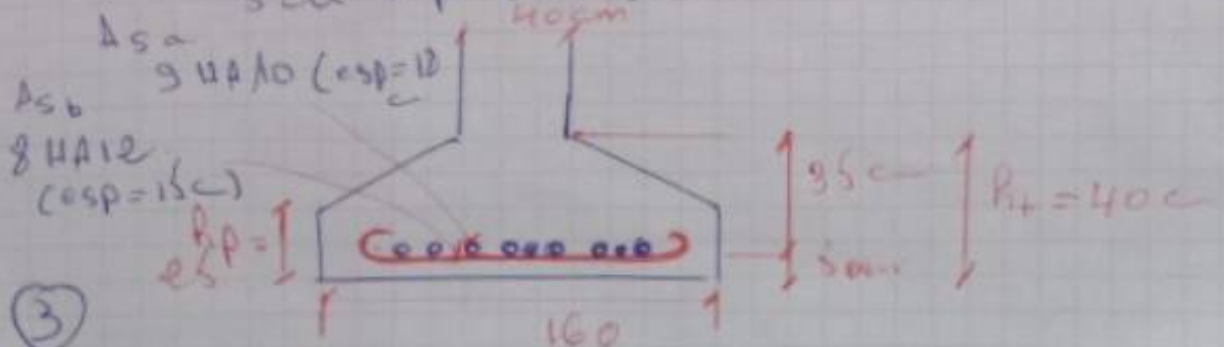
$$l_{sb} = 35.3 \times 1.2 = 42.36 \Rightarrow l_{sb} > \frac{B}{10.4}$$

\rightarrow les armatures parallèles à B doivent comporter des crochets

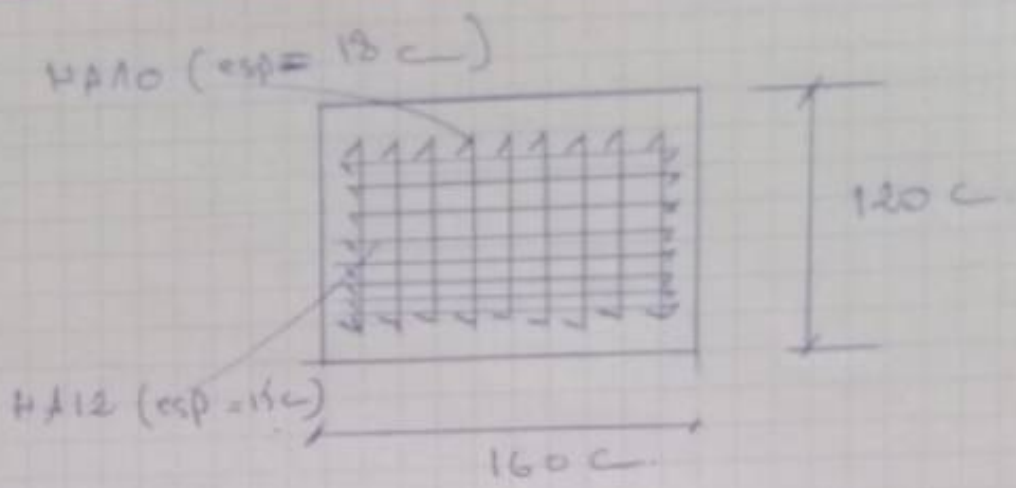
* Débords

$$h_p \geq \text{Max} \left(\begin{array}{l} 15 \text{ cm} \\ 12\Phi + 6 \text{ cm} = 12 \times 1.2 + 6 \\ = 20.4 \text{ cm} \end{array} \right)$$

$$\text{soit } h_p = 25 \text{ cm}$$



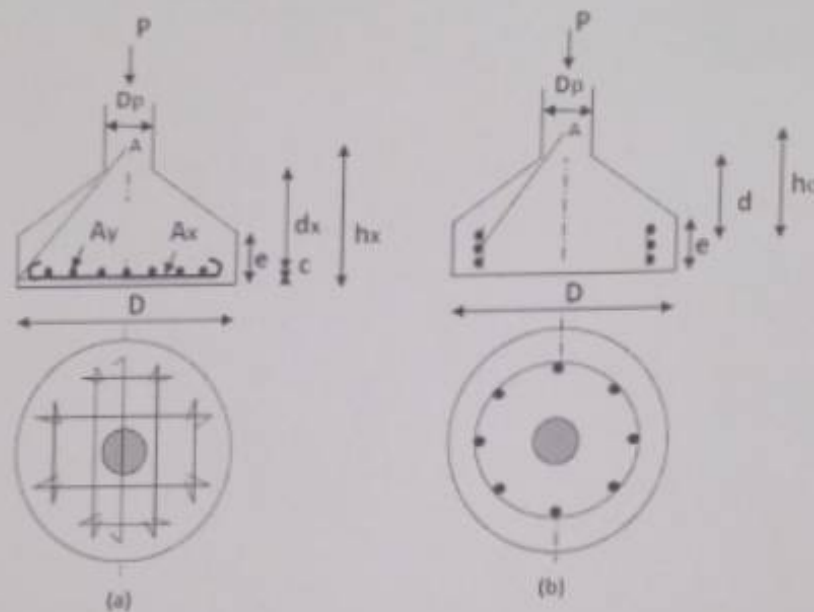
③



Module Structure 1 -TD 2

4-2-2 Semelle circulaire sous pilier circulaire soumise à un effort normal centré

La semelle a la forme d'un cylindre surmonté d'un tronc de cône. Elle peut être armée par un quadrillage de 02 nappes orthogonales, par des cerces et des barres verticales ou une disposition mixte



Semelle circulaire sous poteau circulaire. (a) Ferrailage en quadrillage
(b) Ferrailage en cerces

1. Dimensions de la semelle

➤ condition de portance

$$\sigma_{sol} = \frac{P_s}{\pi D^2 / 4} \leq \bar{\sigma}$$

$$D \geq 1,13 \sqrt{\frac{P_s}{\bar{\sigma}}}$$

➤ condition de rigidité

$$\frac{D - D_p}{4} \leq (d_x \text{ ou } d) \leq D - D_p$$

En notant D_p le diamètre du poteau, d la hauteur utile

L'enrobage extérieur ≥ 3 cm.

La distance entre les cerces est égale à 3 cm.

2. Ferrailage

➤ Ferrailage en quadrillage

La section des armatures du lit inférieur A_i et du lit supérieur A_s est donnée par les relations suivantes :

$$A_i = \frac{P_u(D - D_p)}{3 \pi dx \sigma_s} \qquad A_s = \frac{P_u(D - D_p)}{3 \pi dy \sigma_s}$$

La hauteur de rive e est donnée par :

$$e \geq \text{Max} (15 \text{ cm}, 12\phi + 6 \text{ cm})$$

➤ Ferrailage en cerces

$$A_c = \frac{P_u(D - D_p)}{6 \pi d \sigma_s}$$

L'épaisseur de rive est telle qu'il y ait 3 cm entre chaque cerce et au moins 3 cm d'enrobage supérieur et inférieur : si m est le nombre de cerces :

$$e \geq m \phi + 3(m + 1) \text{ cm}$$

Exercice

Calculer les dimensions et les armatures d'une semelle circulaire de diamètre D sous un poteau circulaire de diamètre $D_p=50 \text{ cm}$. Les charges transmises sont : $P_s=0.99 \text{ M(ELS)}$ et $P_u=1.42 \text{ MN(ELU)}$. $\bar{\sigma}=0.35 \text{ MPa}$, contrainte admissible du sol, Aciers HAFcE400, $\gamma_s=1.15$, coefficient de sécurité des aciers dans la situation courante, $f_{c28}=25 \text{ MPa}$, résistance caractéristique à la compression du béton après 28 jours de durcissement, $\rho=25 \text{ KNm}^3$, poids volumique du béton armé

T.D n°2. Semelle circulaire

1) Dimensions de la Semelle

→ condition de portance.

$$D \geq 1,13 \sqrt{\frac{P_s}{\sigma}}$$

$$D \geq 1,13 \sqrt{\frac{0,99}{0,35}} \Rightarrow D \geq 1,90 \text{ m}$$

Soit $D = 200 \text{ cm}$

→ condition de rigidité

$$d \text{ ou } d_2 \geq \frac{D - D_p}{4} \Rightarrow d_2 \geq \frac{200 - 50}{4}$$
$$d_2 \geq 37,5 \text{ cm.}$$

Soit $d = 40 \text{ cm}$.

La hauteur totale = $d_2 + E$ (épaisseur de l'encourage)

$$\Rightarrow d_2 + E = 40 + 5 = 45 \text{ cm}$$

$$\begin{cases} D = 200 \text{ cm.} \\ d_2 = 40 \text{ cm.} \\ h_t = 45 \text{ cm.} \end{cases}$$

2) Ferrailage

→ Ferrailage en quadrillage

La semelle est armée de deux nappes orthogonales

Avant de calculer les armatures du lit inférieur et supérieur, il faut vérifier la condition de portance en tenant compte du poids propre de la semelle

Soit P_p le poids propre estimé de la semelle

①

$$P_p = V \cdot \rho$$

$$= \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h_t \cdot \rho$$

ρ : c'est la masse volumique du béton = 25 kN/m³

$$P_p = \frac{\pi \cdot 2^2}{4} \cdot 0,45 \cdot 25 = 35,34 \text{ kN} = 0,035 \text{ MN}$$

Soit P_s' et P_u' les charges en tenant compte du poids propre de la semelle à l'E.L.S et à l'E.L.U respectivement

$$P_s' = 0,99 + 0,035 = 1,025 \text{ MN}$$

$$P_u' = 1,42 + 1,35 \cdot 0,035 = 1,467 \text{ MN}$$

on vérifie les dimensions comme suit

$$1,13 \sqrt{\frac{P_s'}{E}} = 1,13 \sqrt{\frac{1,025}{0,35}} = 1,711 \text{ m et } D = 2 \text{ m}$$

$$\Rightarrow D \geq 1,13 \sqrt{\frac{P_u'}{E}} \quad \checkmark$$

Les dimensions de la semelle sont alors

$$D = 200 \text{ cm}, d_x = 40 \text{ cm et } h_t = 45 \text{ cm}$$

* Armatures du lit inférieur

$$A_i = \frac{P_u' (D - D_A)}{3 \pi \cdot d_x \cdot \sigma_s} = \frac{1,467 (2 - 0,1)}{3 \cdot \pi \cdot 0,4 \cdot 348} = 0,001678 \text{ m}^2$$

* Armatures du lit supérieur = 16,8 cm² sur 1 m

$$A_s = \frac{P_u' (D - D_A)}{3 \pi \cdot d_y \cdot \sigma_s}$$

$$d_y = d_x - \phi_x = 40 - 1,4 = 38,6 \text{ cm}$$

(2)

En choisissant le même diamètre pour les deux nappes

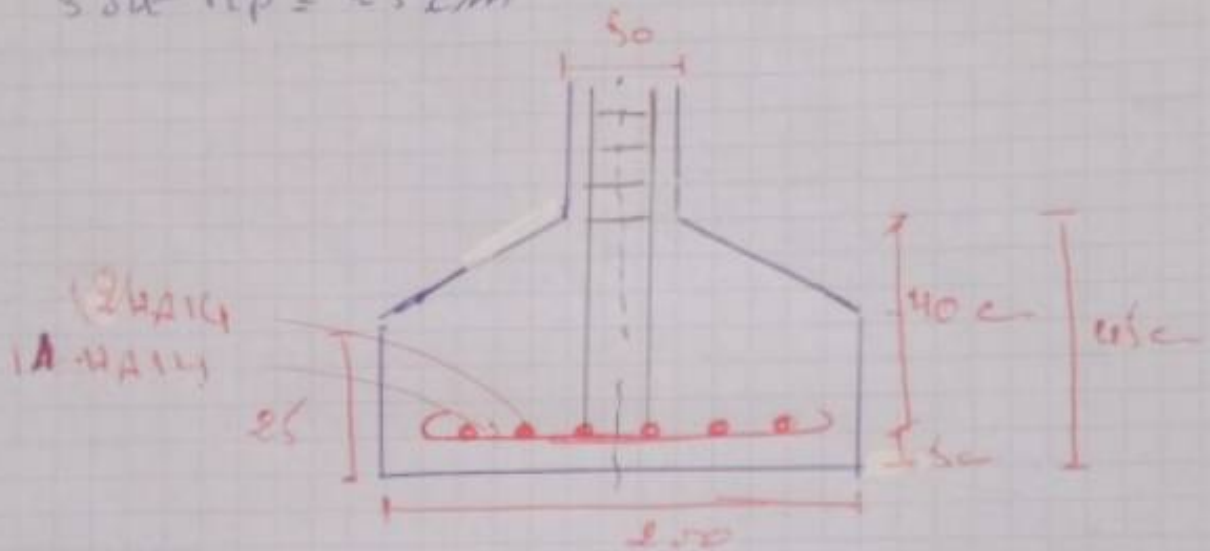
$$A_s = \frac{1,467(2-0,5)}{3 \cdot \pi \cdot 0,386 \cdot 348} = 0,0017410^4 \text{ m}^2 = 17,4 \text{ cm}^2$$

\downarrow
 soit 12 HA 14

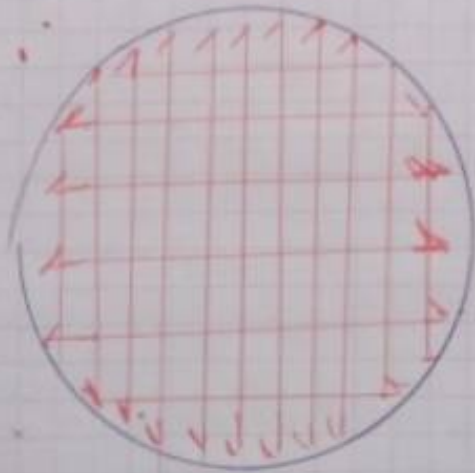
Débords

$$h_p \geq \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} 15 \text{ cm} \\ 12\phi + 6 \text{ cm} = 12 \cdot 1,4 + 6 = 22,8 \text{ cm} \end{array} \right.$$

soit $h_p = 25 \text{ cm}$



→ Ferrailage en cercle



Module Structure 1 -TD 3

Calcul des semelles continues rigides

1- Dimensionnement à l'E.L.S.

Soit :

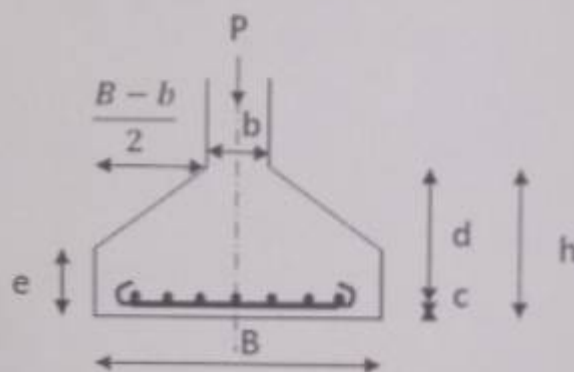
P : la charge centrée verticale (voir la figure 1) transmise au sol par mètre linéaire dans le sens du mur qui comprend :

Le poids de 1 m de mur et de semelle ; Les charges permanentes agissant sur 1 m de mur ;

Les surcharges agissant sur 1 m de mur. On note P_u cette charge à l'ELU et P_s à l'E.L.S.

$\bar{\sigma}$: La contrainte limite admissible au sol

σ_{sol} : La contrainte effectivement appliquée



➤ Condition de portance

On doit avoir :

$$\sigma_{sol} \leq \bar{\sigma}$$

Sachant que $\sigma_{sol} = P_s / B \cdot 1m$, on en déduit la largeur de la semelle B :

$$B \geq \frac{P_s}{\bar{\sigma}}$$

➤ Condition de rigidité

Pour que la semelle soit considérée rigide, sa hauteur utile d doit vérifier la condition suivante

$$d \geq \frac{B - b}{4}$$

La hauteur des patins e est donnée en fonction du diamètre \emptyset des armatures tendues.

$$e \geq \text{Max} \begin{cases} 15 \text{ cm} \\ 6\emptyset + 6 \text{ cm} \rightarrow \text{barres sans crochets} \\ 12\emptyset + 6 \text{ cm} \rightarrow \text{barres avec crochets} \end{cases}$$

2- Ferrailage à l'E.L.U.

➤ Armatures principales

La section d'armatures transversales par mètre de semelle est :

$$A_s = \frac{F}{\sigma_s} = \frac{P_u(B-b)}{8 d \sigma_s} / ml$$

σ_s : Contrainte limite de traction de l'acier $\sigma_s = f_e / \gamma_s$

➤ Longueurs et mode d'ancrage des armatures principales

Pour déterminer la longueur des barres et leur mode d'ancrage, on calcule la longueur de scellement droit l_s .

$$l_s = \frac{\emptyset}{4} \frac{f_e}{0,6 \psi_2^2 f_{tj}}$$

f_e : Limite élastique des aciers,

f_{tj} : Résistance caractéristique à la traction du béton,

ψ_2 : coefficient de scellement. Cette valeur dépend du type de l'acier et de la résistance du béton.

Les valeurs de l_s / \emptyset sont données dans le Tableau 1.

Tableau 1. Longueurs de scellement : valeurs de l_s / \emptyset .

f_{c20} Nuances	16	18	20	25	30	40	50	60
FeE215	57,4	53,3	49,8	42,7	37,3	29,9	28,9	21,3
FeE235	62,8	58,3	54,4	46,6	40,8	32,6	27,2	23,3
FeE400	47,5	44,1	41,2	35,3	30,9	24,7	20,6	17,6
FeE500	59,4	55,1	51,4	44,1	38,6	30,9	25,7	22,0

Si $l_s > B/4$: toutes les barres doivent être prolongées jusqu'aux extrémités et comporter des crochets.

Si $B/8 \leq l_s \leq B/4$: toutes les barres doivent être prolongées jusqu'aux extrémités, mais peuvent ne pas comporter des crochets.

Si $l_s < B/8$: les barres ne comportent pas de crochets, et on peut les arrêter une sur deux à $0,71 B$ ou alterner des barres de $0,86 B$

➤ Armatures de répartition

Les armatures principales sont complétées par des armatures longitudinales de répartition dont la section totale sur la largeur B est :

$$A_r = \frac{A_s}{4} \cdot B \quad (B \text{ en mètre})$$

➤ Espacement des barres

$$15 \text{ cm} \leq e_p \leq 25 \text{ cm}$$

Exercice

Calculer les dimensions et les armatures d'une semelle filante sous mur de 35 cm d'épaisseur ; elle reçoit une charge verticale centrée par mètre de mur $P_s=0.71 \text{ MN/(ELS)}$ et $P_u=1 \text{ MN/m(ELU)}$. On donne : $\bar{\sigma}=0.35 \text{ MPa}$, contrainte admissible du sol, Aciers HAFéE500, $\gamma_s=1.15$, coefficient de sécurité des aciers dans la situation courante, $f_{c28}=30 \text{ MPa}$, résistance à la compression du béton après 28 jours, $\rho=2500 \text{ Kg/m}^3$, poids volumique du béton armé, fissuration non préjudiciable.

Correction de l'exercice 3 (Semelle continues rigides)

1. Dimensions de la semelle

→ Condition de portance.

$$\frac{P_s}{B \cdot l} \leq \bar{\sigma} \Rightarrow B \geq \frac{P_s}{\bar{\sigma}}$$

$$\Rightarrow B \geq \frac{0,71}{0,35} = 2,03 \text{ m}$$

Sat $B = 2,10 \text{ m}$ (la largeur de la semelle)

→ Condition de rigidité

$$\frac{B-b}{4} \leq d \leq B-b \Rightarrow \frac{2,10-0,35}{4} \leq d \leq 2,10-0,35$$

$$\Rightarrow 43,75 \leq d \leq 1,75 \text{ m}$$

Sat $d = 45 \text{ cm}$ et $h_t = d + 5 \text{ cm} = 50 \text{ cm}$.

avant de calculer le ferrillage, il faut

vérifier la condition de portance en tenant compte du poids propre de la semelle.

* le poids propre P_p pour un mètre de la semelle est donné par :

$$P_p = 2,1 \times 1 \times 0,5 \times 25 = 26,25 \text{ kN/m} \\ = 0,02625 \text{ MN/m}$$

P_s' et P_u' sont les charges verticales à L.E.L.S et L.E.L.U respectivement, en tenant compte du poids propre de la semelle.

$$P_s' = P_s + 0,02625$$

$$= 0,71 + 0,02625 = 0,73625 \text{ MN/m}$$

①

$$P_u' = P_u + 1,35 \cdot 0,02625$$

$$= 1 + 1,35 \cdot 0,02625 = 1,0354 \text{ MN/m}$$

La condition de portance

$$\frac{P_u'}{B_s} = \frac{0,73625}{0,35} = 2,103 \text{ m} = 210,3 \text{ cm}$$

$$B = 210 \text{ cm}$$

$$B < 210,3 \text{ cm}$$

donc il faut augmenter la largeur de la semelle

$$\text{Soit } B = 212 \text{ cm}$$

$$\frac{B-b}{4} \leq d < B-b$$

$$\frac{212-35}{4} \leq d \leq 212-35$$

$$44,25 \leq d \leq 177$$

$$\text{Soit } d = 45 \text{ cm} \quad h_t = 50 \text{ cm}$$

$$\begin{cases} B = 212 \text{ cm} \\ d = 45 \text{ cm} \\ h_t = 50 \text{ cm} \end{cases}$$

2: Ferrailage

→ armatures principales (de traction)

$$A_s = \frac{P_u' (B-b)}{8 \cdot d \cdot E_s} = \frac{1,0354 (212-0,35) \cdot 10^4}{8 \cdot 0,45 \cdot 436} = 11,70 \text{ cm}^2$$

Soit 6 HA 16 de section

$$A_s = 12,06 \text{ cm}^2 / \text{ml}$$

→ espacement entre les barres

$$1 \text{ HA16} \rightarrow 2,01 \text{ cm}^2$$

nombre des barres $n = \frac{11,70}{2,01} = 5,82$ barres

soit un espacement de $\frac{100}{5,82} = 17,18 \text{ cm}$

les barres HA16 seront donc espacées de 17cm

→ l'ancrage des barres est donné par la relation $\left\{ \begin{array}{l} f_{c28} = 30 \text{ MPa} \\ \text{Acier FeE500} \end{array} \right. \Rightarrow \frac{l_s}{\phi} = 38,6$

$\Rightarrow l_s = 38,6 \cdot \phi$, diamètre de la barre.
 $= 38,6 \cdot 1,6 = 61,76 \text{ cm}$

on a $\frac{B}{4} = \frac{212}{4} = 53$

$l_s > \frac{B}{4} \Rightarrow$ les crochets sont nécessaires, de plus, toutes les barres doivent être prolongées jusqu'aux extrémités de la semelle

→ armatures de répartition

$$A_r = \frac{A_s \cdot B}{4} \quad (B \text{ en mètre})$$

$$A_r = \frac{12,06 \cdot 2,12}{4} = 6,3918$$

soit 9 HA10 de section $A_r = 7,07 \text{ cm}^2$

→ espacement des armatures de répartition

$$A_{HA10} = 0,79 \text{ cm}^2$$

$$n = \frac{7,07}{0,79} = 8,94 \text{ barres}$$

Soit un espacement $\frac{212}{8,94} = 23,6$

Soit $e = 26 \text{ cm}$

→ Hauteur de rive de la semelle (hauteur des patins)

$$h_p \geq \max \begin{cases} 18 \text{ cm} \\ 12\phi + 6 \text{ cm} = 12 \times 1,6 + 6 = 25,2 \text{ cm} \end{cases}$$

Soit $h_p = 30 \text{ cm}$

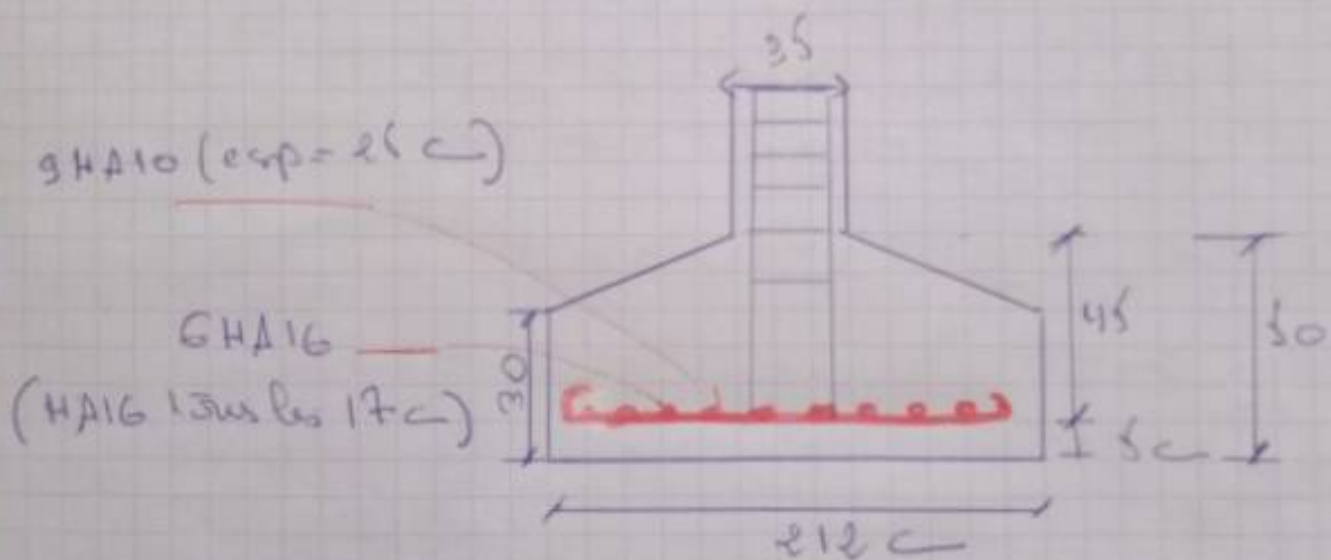


schéma de ferrillage