

VIII.1. Calcul des fondations

VIII.1.1. Introduction

Les fondations d'une construction sont constituées par les parties de l'ouvrage qui sont en contact avec le sol, auquel elles transmettent les charges de la superstructure, elles constituent donc la partie essentielle de l'ouvrage puisque de son bonne conception et réalisation découle la bonne tenue de l'ensemble.

Il est important donc pour déterminer les dimensions de connaître d'une part le poids total de l'ouvrage entièrement achevée, et d'autre part la force portante du sol. D'après le rapport géotechnique du sol, notre terrain à une contrainte admissible de 2,0 bars et un ancrage de 4,00m. Pour qu'il n'y ait pas de chevauchement entre deux fondations, il faut au minimum une distance de 40cm.

Le béton de propreté prévu pour chaque semelle aura 10cm d'épaisseur.

Le calcul des fondations se fait comme suit:

1. Dimensionnement à l' E.L.S $N_{ser} = G+Q.$
2. Ferrailage à l' E.L.U $N_u = 1,35 G+ 1,5 Q$

Vu la hauteur de la construction et les charges apportées par la superstructure, ainsi que l'existence de plusieurs voiles dans cette construction, et la faible portance du sol, le dimensionnement des fondation donne des semelles de grandes dimensions qui se chevauchent dans l'un ou dans l'autre sens, donc il est préférable de les relier de manière à formée un radier général qui constitue un ensemble rigide qui doit remplir les conditions suivantes:

- ◆ Assurer l'encastrement de la structure dans le sol
- ◆ Transmettre au sol la totalité des efforts
- ◆ Eviter les tassements différentiels.

VIII.1.2. Choix du type de fondations

Le choix de type de fondation dépend de:

- ◆ Type d'ouvrage à construire.
- ◆ La nature et l'homogénéité du bon sol.
- ◆ La capacité portante du terrain de fondation.
- ◆ La raison économique.
- ◆ La facilité de réalisation.

Avec un taux de travail admissible du sol d'assise qui égale à 2,0 bars, il ya lieu de projeter à priori, des fondations superficielles de type:

- ◆ Semelle filante.
- ◆ Radier général.

Nous proposons en premier lieu des semelles filantes pour cela, nous allons procéder à une petite vérification telle que:

La surface des semelles doit être inférieure à 50% de la surface totale du bâtiment

$$\left(S_{\text{semelle}} / S_{\text{bâtiment}} < 50\% \right).$$

La surface de la semelle est donnée par:

$$S_s \geq N / \sigma_{\text{sol}}$$

$$N_{\text{ser}} = G_T + Q_T = 4838,37t.$$

$$\bar{\sigma}_{\text{sol}} = 2,0bars = 20t / m^2.$$

- ◆ Surface totale du bâtiment: 330,45m².
- ◆ Surface totale de la semelle: 353,08m².

$$\frac{S_s}{S_b} = \frac{330,45}{353,08} = 0,94 = 94\% < 50\%$$

La surface totale des semelles dépasse 50% de la surface d'emprise du bâtiment ce qui induit le chevauchement de ces semelles. Ce qui effet, cela nous conduit à adopter pour un mode de fondation dont la modalité d'exécution du coffrage et du ferrailage est facile à réaliser: c'est le radier général.

VIII.2. Etude du radier

a). Définition

Le radier c'est une surface d'appui continue (dalles, nervures et poutres) débordant l'emprise de l'ouvrage, elle permet une répartition uniforme des charges tout en résistant aux contraintes de sol.

Calcul du radier

Les radiers sont des semelles de très grandes dimensions supportant toute la construction. Un radier est calculé comme un plancher renversé mais fortement sollicité (Réaction de sol \cong poids total de la structure).

b). Pré dimensionnement du radier

Poids supporté par le radier.

Superstructure G_T : la charge permanente totale.

Q_T : la charge d'exploitation totale.

$$G_T = \sum_{i=1}^8 G_i = 4323,24t$$

$$Q_T = \sum_{i=1}^8 Q_i = 515,13 t$$

Combinaison d'actions

$$\text{E.L.U: } N_U = 1,35G_T + 1,5Q_T = 6609,07 t.$$

$$\text{E.L.S: } N_{\text{ser}} = G_T + Q_T = 4838,37 t.$$

Surface du radier

La surface du radier est donnée par la formule suivante: $\frac{N}{S} \leq \sigma_{\text{sol}}$

$$N = N_{\text{ser}} = 4838,37 t.$$

$$S \geq N/\sigma_{\text{sol}} = 4838,37 / 20 = 330,45 \text{ m}^2.$$

On prend un débord de 80 cm de chaque coté dans les deux directions ce qui nous donne une surface d'assise $S_{\text{rad}} = 454,473 \text{ m}^2$.

c). Calcul de l'épaisseur du radier

L'épaisseur nécessaire du radier sera déterminée à partir des conditions suivantes :

1^{ère} condition

$$\tau_u = V_u / b.d \leq 0,06.f_{c28}.$$

$$V_u : \text{Effort tranchant ultime} : V_u = Q.L/2$$

$$L : \text{Longueur maximal d'une bande } 1\text{m} ; L = 5,66 \text{ m}$$

$$Q_u = N_u / S = 6609,07/454,47 = 14,54 \text{ t/m}^2.$$

$$\text{Par ml: } Q_u = 14,54.1\text{ml} = 14,51 \text{ t/ml.}$$

$$V_u = 14,54.5,66 / 2 = 41,15t$$

$$\frac{V_u}{b.d} \leq 0,06.f_{c28} \Rightarrow d \geq \frac{V_u}{0,06f_{c28}.b}$$

$$d \geq \frac{41,15 \times 10^{-2}}{0,06 \times 25 \times 1} = 0,27\text{m}$$

2^{ème} condition

$$\frac{L}{25} \leq d \leq \frac{L}{20} \quad .L = 5,66\text{cm}$$

$$22,64 \leq d \leq 28,30\text{cm}$$

$$h = d + c = 28,3 + 5 = 33,3\text{cm} ; \text{ on prend: } h = 45\text{cm} ; d = 0,9 \times h = 40,5\text{cm}$$

d). Détermination de la hauteur de la poutre de libage

Pour pouvoir assimiler le calcul du radier à un plancher infiniment rigide, la hauteur de la poutre de libage doit vérifier la condition suivante :

$$L/9 \leq h \leq L/6 \Rightarrow 62,89\text{cm} \leq h \leq 94,33\text{cm}$$

On prend: $d=81\text{cm}$; $h = 90\text{cm}$; $b = 50\text{cm}$.

e). Vérification des contraintes

En tenant compte du poids propre du radier et de la poutre:

$$G_{\text{radier}} = \gamma_b [h_r \times S_r + h_p \times b_p \times \sum L_i]$$

$$G_{\text{radier}} = 2,5[0,35 \times 454,473 + 0,9 \times 0,5 \times 258,88] = 688,90\text{t}$$

$$\text{E.L.S: } N_{\text{ser}} = 688,9 + 4838,37 = 5527,27\text{t}$$

$$\frac{N_{\text{ser}}}{S_{\text{radier}}} = \frac{5527,27}{454,47} = 12,16\text{t/m}^2 < 20\text{t/m}^2 \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.}$$

Inerties du radier:

$$I_{XG} = 19682,30\text{m}^4$$

$$I_{YG} = 19633,50\text{m}^4$$

Longueur élastique:

La longueur élastique de la poutre est donnée par: $L_e = \sqrt[4]{\frac{4EI}{K.b}}$

Avec:

I: Inertie de la poutre: $I = bh^3/12 = 0,50 \times (0,9)^3/12 = 0,03\text{cm}^4$.

E: module d'élasticité du béton, $E = 3216420\text{t/m}^2$.

b: largeur de la poutre $b=0,5\text{m}$.

K: coefficient de la raideur de sol $k = 500\text{t/m}^3$.

$$L_e = \sqrt[4]{\frac{4 \times 3216420 \times 0,03}{500 \times 0,5}} = 6,27\text{m}$$

$$L_{\text{max}} = 5,26\text{m} < \frac{\pi}{2} \cdot L_e = 9,83\text{m} \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.}$$

L_{\max} : la longueur maximale entre nu des poteaux.

VIII.3. Vérification de radier

a. Vérification de l'effet de sous pression

On vérifie que la structure ne doit pas avoir de soulèvement, pour ce faire on doit satisfaire l'inégalité suivante: $N_u \geq \gamma_w \times f_s \times S \times Z$

γ_w : Densité de l'eau ; Z : Hauteur de la partie immergée = 4,08m;

f_s : Coefficient de sécurité vis-à-vis du risque de soulèvement égal 1,5.

$$\begin{aligned} \gamma_w \times f_s \times S \times Z &= 1 \times 1,5 \times 454,473 \times 4,08 = 2781,37t \\ \Rightarrow N_u &\geq 2781,37t \end{aligned}$$

La condition est vérifiée, il n'y a pas donc de risque de soulèvement.

b. Vérification de l'excentricité

Centre de gravité des masses du radier (infrastructure): $\begin{cases} X_G = 13,78m \\ Y_G = 13,84m \end{cases}$

Centre de gravité des masses du bâtiment (superstructure): $\begin{cases} X_G = 13,02m \\ Y_G = 13,02m \end{cases}$

L'excentricité: $\begin{cases} e_x = 0,76m \\ e_y = 0,82m \end{cases}$

c. Vérification au non poinçonnement

D'après les règles **BAEL91**, la vérification au poinçonnement doit se faire sous voile le plus sollicité. Dans notre cas, le voile le plus sollicité est le voile de longueur 8,00m. On doit vérifier la relation suivante:

$$N \leq 0,045 \mu_x \cdot f_{c28} \cdot h_r$$

Avec :

μ_x : Périmètre de la surface d'impact projetée sur le plan moyen.

h : Epaisseur du radier.

N : Charge de calcul obtenue par la combinaison (G + Q + E)

$$\mu_x = 2(L + b + 2 \cdot h_r)$$

L ; b : dimensions du voile.

$$\mu_x = 2(8,00 + 0,20 + 2 \times 0,45) = 18,2m$$

$$0,045 \mu_x \cdot f_{c28} \cdot h_r = 0,045 \times 18,2 \times 25 \times 0,45 = 9,21MN$$

$N \leq 9,21MN$ donc la condition est vérifiée.

VIII.3.1. Evaluation des charges pour le calcul du radier

Poids unitaire du radier

$$\sigma_{\text{raid}} = \gamma_b \times h = 2,5 \times 0,35 = 0,875 \text{ t/m}^2.$$

$$Q = \sigma_{\text{max}} - \sigma_{\text{rad}} = 12,16 - 0,875 = 11,285 \text{ t/m}^2$$

Donc la charge en « m² » à prendre en compte dans le calcul du ferrailage du radier est:

$$Q = 11,285 \text{ t/m}^2.$$

VIII.4. Ferrailage du radier

VIII.4.1. Ferrailage des dalles

Soit une dalle reposant sur 4 cotés de dimensions entre nus des appuis L_x et L_y avec $L_x \leq L_y$.

Pour le ferrailage des dalles on a deux cas:

Premier cas

Si : $\alpha = L_x/L_y \geq 0,4$ La dalle portante suivant les deux directions.

Les moments sont données par

$$M_{ox} = \mu_x \cdot q \cdot L_x^2 ; M_{oy} = \mu_y \cdot M_{ox} .$$

Moment en travée:

$$M_t = 0,85M_o \dots \dots \dots \text{panneau de rive.}$$

$$M_t = 0,75M_o \dots \dots \dots \text{panneau intermédiaire.}$$

Moment sur appuis

$$M_a = 0,35M_o \dots \dots \dots \text{appuis de rive.}$$

$$M_a = 0,5M_o \dots \dots \dots \text{ appuis intermédiaire.}$$

Deuxième cas

Si : $\alpha = L_x/L_y < 0,4$ La dalle se calcule comme une poutre continue dans les sens de la petite portée. Pour notre cas, on prend le panneau le plus défavorable.

Exemple de calcul

$$\alpha = L_x/L_y = 3,6/4,85 = 0,74 > 0,4 . \text{ Donc la dalle porte dans les deux sens.}$$

L = 3,6m

Sens x:

$$\rho = 0,74 \Rightarrow \mu_x = 0,0633; \mu_y = 0,4938$$

$$M_{0x} = \mu_x \cdot Q \cdot L_x^2$$

$$M_{0x} = 0,0633 \times 14,54 \times (3,6)^2 = 11,93 \text{ t.m}$$

$$M_{0y} = \mu_y \cdot M_{0x}$$

$$M_{0y} = 0,4938 \times 11,93 = 5,89 \text{ t.m}$$

En travée

$$M_{tx} = 0,85 M_{0x} = 0,85 \times 11,93 = 10,14 \text{ t.m}$$

$$\mu = \frac{M_{tx}}{bd^2 \cdot f_{bc}} = \frac{10,14 \cdot 10^4}{100 \cdot (40,5)^2 \cdot 14,2} = 0,044 < \mu_1 = 0,392$$

$$\beta = 0,978 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{M}{\beta \times d \times \sigma_s} = \frac{10,14 \times 10^4}{0,978 \times 40,5 \times 348} = 7,36 \text{ cm}^2.$$

On adopte: **7T12/ml, A = 7,92 cm²/ml (s_t = 15cm)**

Sens y

$$M_{ty} = 0,85 M_{0y} = 0,85 \times 5,89 = 5,05 \text{ t.m}$$

$$\mu = \frac{M_{ty}}{bd^2 \cdot f_{bc}} = \frac{5,05 \cdot 10^4}{100 \cdot (40,5)^2 \cdot 14,2} = 0,022 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow A' = 0$$

$$\beta = 0,989 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{M_{ty}}{\beta \times d \times \sigma_s} = \frac{5,05 \cdot 10^4}{0,989 \times 40,5 \times 348} = 3,62 \text{ cm}^2.$$

On adopte: **5T12/ml, A = 5,65 cm²/ml (s_t = 20cm)**

Sur appuis

Sens x, y:

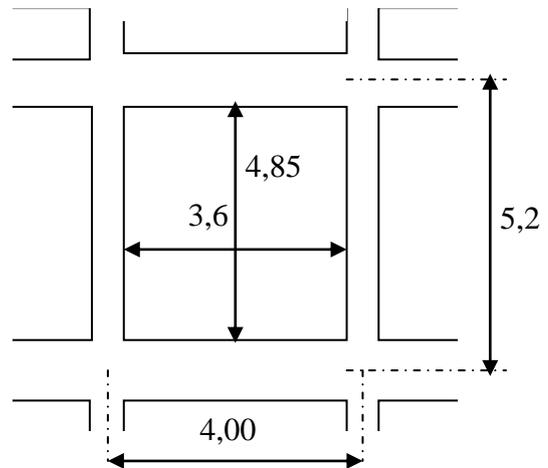
$$M_{ax} = M_{ay} = 0,5 M_{0x} = 0,5 \cdot 11,93 = 5,96 \text{ t.m}$$

$$\mu = \frac{M_{tx}}{bd^2 \cdot f_{bc}} = \frac{5,96 \cdot 10^4}{100 \cdot (40,5)^2 \cdot 14,2} = 0,026 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow A' = 0$$

$$\beta = 0,987 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{M}{\beta \times d \times \sigma_s} = \frac{5,96 \times 10^4}{0,987 \times 40,5 \times 348} = 4,28 \text{ cm}^2.$$

On adopte: **5T12/ml, A = 5,65 cm²/ml (s_t = 20cm).**



L = 4,85m

$$\rho = 0,74 \Rightarrow \mu_x = 0,0633; \mu_y = 0,4938$$

$$M_{0x} = \mu_x \cdot Q \cdot L_x^2$$

$$M_{0x} = 0,0633 \times 14,54 \times (4,85)^2 = 21,65 \text{ t.m}$$

$$M_{0y} = \mu_y \cdot M_{0x}$$

$$M_{0y} = 0,4938 \times 21,65 = 10,70 \text{ t.m}$$

En travée

Sens x

$$M_{tx} = 0,85 M_{0x} = 0,85 \times 21,65 = 18,40 \text{ t.m}$$

$$\mu = \frac{M_{tx}}{b d^2 f_{bc}} = \frac{18,40 \cdot 10^4}{100 \cdot (40,5)^2 \cdot 14,2} = 0,078 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow A' = 0$$

$$\beta = 0,959 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{M}{\beta \times d \times \sigma_s} = \frac{18,40 \times 10^4}{0,959 \times 40,5 \times 348} = 13,61 \text{ cm}^2.$$

On adopte: **7T16/ml, A = 14,07 cm²/ml (s_t = 15cm)**

Sens y

$$M_{ty} = 0,85 M_{0y} = 0,85 \times 10,70 = 9,095 \text{ t.m}$$

$$\mu = \frac{M_{ty}}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}} = \frac{9,095 \cdot 10^4}{100 \cdot (40,5)^2 \cdot 14,2} = 0,04 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow A' = 0$$

$$\beta = 0,980 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{M}{\beta \times d \times \sigma_s} = \frac{9,095 \times 10^4}{0,980 \times 40,5 \times 348} = 6,58 \text{ cm}^2.$$

On adopte: **6T12/ml, A = 6,78 cm²/ml (s_t = 15cm)**

Sur appuis

Sens x, y

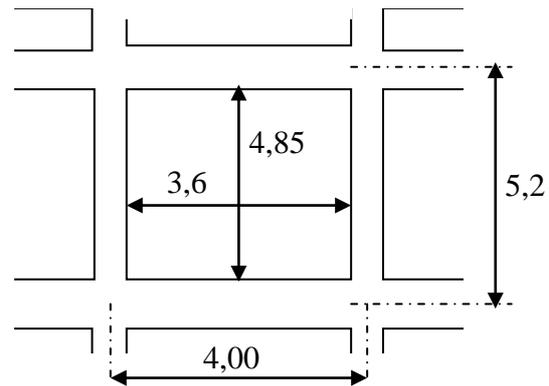
$$M_{ax} = M_{ay} = 0,5 M_{0x} = 0,5 \times 21,65 = 10,825 \text{ t.m}$$

$$\mu = \frac{M_{ap}}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}} = \frac{10,825 \cdot 10^4}{100 \cdot (40,5)^2 \cdot 14,2} = 0,046 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow A' = 0$$

$$\beta = 0,976 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{M_{ap}}{\beta \times d \times \sigma_s} = \frac{10,825 \times 10^4}{0,976 \times 40,5 \times 348} = 7,86 \text{ cm}^2.$$

On adopte: **7T12/ml, A = 7,92 cm²/ml (s_t = 15cm)** pour les deux sens.



VIII.4.2. Ferrailage des poutres de libages

Le rapport $\alpha = L_x/L_y > 0,4$ pour tous les panneaux constituant le radier, donc les charges transmises par chaque panneau se subdivise en deux charges trapézoïdales et deux charges triangulaires et trapézoïdales pour le calcul du ferrailage on prend le cas le plus défavorable dans chaque sens et on considère des travées isostatiques.

a. Sens longitudinal (x)

$$L_{max} = 4,85m$$

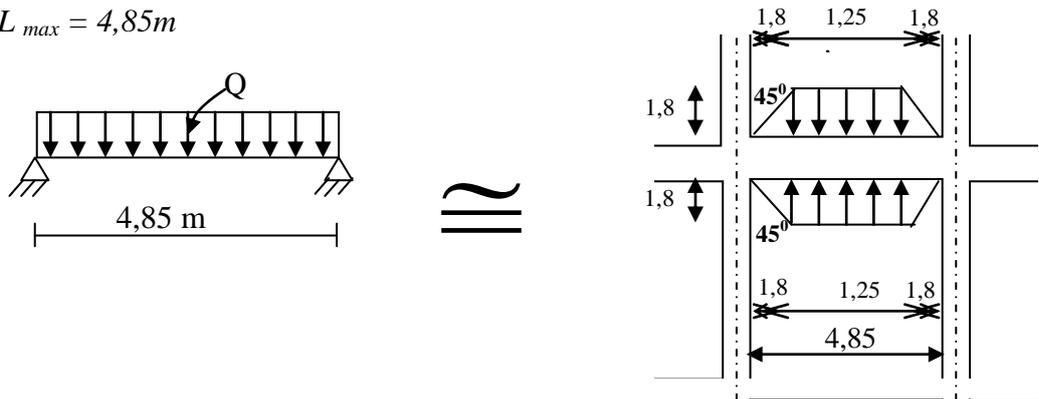


Figure VIII.1 : Répartition des charges sur les poutres selon Les lignes de rupture (4,85m).

b. Détermination des chargements

$$\text{Poids propre } p_p: P_p = \gamma \cdot h \cdot b = 2,5 \times 0,9 \times 0,5 = 1,125 \text{ t/m}$$

$$Q = 11,285 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Calcul de } q_u: q_u = \sigma_{rad} - p_p = 11,285 - 1,125 = 10,16 \text{ t/ml}$$

Calcul de Q: C'est la charge uniforme équivalente pour le calcul des moments.

$$Q' = \frac{Q}{2} \left[\left(1 - \frac{Lx_1^2}{3 \cdot Ly_1^2} \right) \cdot Lx_1 + \left(1 - \frac{Lx_2^2}{3 \cdot Ly_1^2} \right) \cdot Lx_2 \right]$$

Avec:

$$Lx_1 = 3,6m$$

$$Ly_1 = 4,85m$$

$$Lx_2 = 3,6m$$

$$Q = 10,16 \text{ t/m}^2$$

Donc:

$$Q' = \frac{10,16}{2} \left[\left(1 - \frac{3,6^2}{3 \times 4,85^2} \right) \cdot 3,6 + \left(1 - \frac{3,6^2}{3 \times 4,85^2} \right) \cdot 3,6 \right] = 29,86 \text{ t/m}$$

$$M_0 = \frac{Q' \cdot L^2}{8} = \frac{29,86 \times 4,85^2}{8} = 87,80 \text{ t.m}$$

a.1. Calcul du ferrailage**En travée**

$$M_t = 74,62 \text{ t.m}, \quad b = 50 \text{ cm}, \quad h = 90 \text{ cm}, \quad d = 0,9.h = 81 \text{ cm}$$

$$\mu = \frac{M_t}{b.d^2.\sigma_{bc}} = \frac{74,63 \times 10^4}{50 \times (81)^2 \times 14,2} = 0,16 < \mu_1 = 0,392 \rightarrow A' = 0$$

$$; \beta = 0,921$$

$$A = \frac{M}{\beta \times d \times \sigma_s} = \frac{74,63 \times 10^4}{0,921 \times 81 \times 348} = 28,75 \text{ cm}^2$$

$$\text{on adopte: } \begin{cases} 2 \text{ lit } 4\text{T}20 \\ 1 \text{ lit } 4\text{T}16 \end{cases} \text{ donc } A = 31,28 \text{ cm}^2$$

En appuis**Appuis intermédiaires**

$$M_a = 0,5M_0 = 0,5.87,8 = 43,9 \text{ t.m}$$

$$\mu = 0,094 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow (A' = 0); \beta = 0,951, A_s = 16,38 \text{ cm}^2$$

On adopte: **4T16 (Fil)+ 4T20 (Chap); A = 20,6 cm².**

Appuis de rive

$$M_a = 0,2.M_0 = 0,2.87,8 = 17,56 \text{ t.m}$$

$$\mu = 0,038 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow (A' = 0); \beta = 0,981, A_s = 6,35 \text{ cm}^2$$

On adopte: **4T16, A = 8,04 cm².**

b. Sens transversal (y)

$$L_{max} = 3,6 \text{ m.}$$

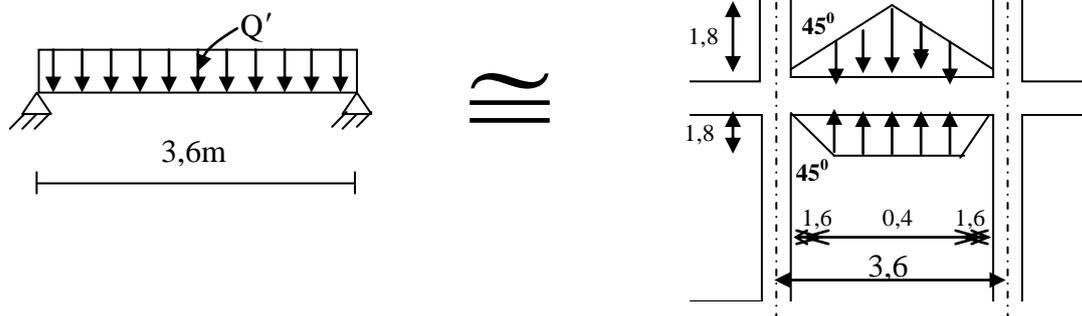


Figure VIII.2: Répartition des charges sur les poutres selon Les lignes de rupture (3,6 m).

Calcul de q

C'est la charge uniforme équivalente pour le calcul des moments: $q' = \frac{2}{3} \cdot q \cdot Lx_1$

Tel que: $q = 10,16 \text{ t/m}^2$ et $L_{max} = 3,6 \text{ m}$

$$q' = 54,86 \text{ t/m} \quad \text{donc} \quad M_o = \frac{q' \cdot L^2}{8} = 88,88 \text{ t.m}$$

Calcul du ferrailage

En travée

$$M_t = 75,54 \text{ t.m}, \quad b = 50 \text{ cm}, \quad h = 90 \text{ cm}, \quad d = 0,9 \cdot h = 81 \text{ cm}$$

$$\mu = \frac{M_t}{b \cdot d^2 \cdot \sigma_{bc}} = \frac{75,54 \times 10^4}{50 \times (81)^2 \times 14,2} = 0,162 < \mu_1 = 0,392 \rightarrow A' = 0$$

$$\beta = 0,911$$

$$A = \frac{M}{\beta \times d \times \sigma_s} = \frac{75,54 \times 10^4}{0,911 \times 81 \times 348} = 29,02 \text{ cm}^2$$

$$\text{on adopte: } \begin{cases} 2 \text{ lit } 4\text{T}20 \\ 1 \text{ lit } 4\text{T}16 \end{cases} \quad \text{donc } A = 31,28 \text{ cm}^2$$

En appuis

Appuis intermédiaires

$$M_a = 0,5 M_o = 0,5 \cdot 88,88 = 44,44 \text{ t.m}$$

$$\mu = 0,096 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow (A' = 0); \quad \beta = 0,949, \quad A_s = 16,61 \text{ cm}^2$$

On adopte: **4T16 (Fil) + 4T20 (Chap); A = 20,6 cm².**

Appuis de rive

$$M_a = 0,2 \cdot M_o = 0,2 \times 88,88 = 17,78 \text{ t.m}$$

$$\mu = 0,038 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow (A' = 0); \quad \beta = 0,981, \quad A_s = 6,42 \text{ cm}^2$$

On adopte: **4T16, A = 8,04 cm².**

Armature de peau

Selon le BAEL 91 la hauteur de l'âme de la poutre: $h_a \geq 2(80 - 0,1 e) = 80 \text{ cm}$. Dans notre cas $h_a = 90 \text{ cm}$ (vérifiée), donc notre poutre est de grande hauteur, dans ce cas il devient nécessaire d'ajouter des armatures supplémentaires sur les parois de la poutre (armatures de peau).

En effet, les armatures déterminées par le calcul et placées à la partie inférieure de la poutre n'empêchent pas la fissuration que dans leur voisinage et les fissures risquent d'apparaître dans la zone de béton tendue. Ces armatures, qui doivent être placées le long de la paroi de chaque côté de la nervure, elles sont obligatoires lorsque la fissuration est préjudiciable ou très préjudiciable,

mais il semble très recommandable d'en prévoir également lorsque la fissuration peu préjudiciable; leur section est d'au moins 3 cm² par mètre de Longueur de paroi; pour ces armatures, les barres à haute adhérence sont plus efficaces que les ronds lisses.

Donc pour une poutre de section (h x b₀) = (0.9 x 0.5) m², on a:

$$A_{sp} = 3 \times 2 (b_0 + h) [\text{cm}^2] \qquad A_{sp} = 3 \times 2 (0.5 + 0.9) = 8.4 \text{ cm}^2$$

On adopte 2T20 + 2T16 ; A = 10.3 cm

VIII.4.3. Contrainte de cisaillement

$$T_{\max} = 65,14 \text{ t}$$

$$\tau_u = \frac{T_{\max}}{b \cdot d} = \frac{65,14}{0,5 \cdot 0,81 \cdot 100} = 1,61 \text{ MPa.}$$

$$\bar{\tau}_u = \min(0,10f_{c28}; 4 \text{ MPa}) = 2,50 \text{ MPa.}$$

$$\tau_u = 1,61 \text{ MPa} < \bar{\tau}_u = 2,50 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

Armatures transversales

Diamètre:

$$\varphi_t \leq \min(h/35; \varphi_1; b/10) = \min(25,71; 12; 50) = 12 \text{ mm}$$

on prend $\varphi_t = 10 \text{ mm}$

Espacement

$$S_t = \min\left(\frac{h}{4}, 12\varphi_1\right) = \min(22,5; 14,4) = 14,4 \text{ cm}$$

on prend $S_t = 15 \text{ cm.}$

$$S_t \leq \frac{0,8 \cdot A_t \cdot f_e}{b(\tau_u - 0,3f_{c28})} \Rightarrow f_e \geq \frac{b(\tau_u - 0,3f_{c28})S_t}{0,8A_t}$$

$$f_e \geq \frac{50 \cdot (1,61 - 0,3 \times 2,1) 15}{0,8 \times 3,14} = 295,60 \text{ MPa.}$$

Donc on utilise des armatures à haute adhérence (H.A), Fe400, soit 4T10, A=3,14cm².

$$\frac{A_t \cdot f_e}{b_0 \cdot S_t} \geq \max(\tau_u/2; 0,4 \text{ MPa}) = \max(0,81; 0,4 \text{ MPa}) = 0,81 \text{ MPa}$$

$$\frac{3,14 \cdot 400}{50 \times 15} = 1,67 > 0,16 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

VIII.5. Les croquets de ferrailage

1. Schéma du ferrailage du radier

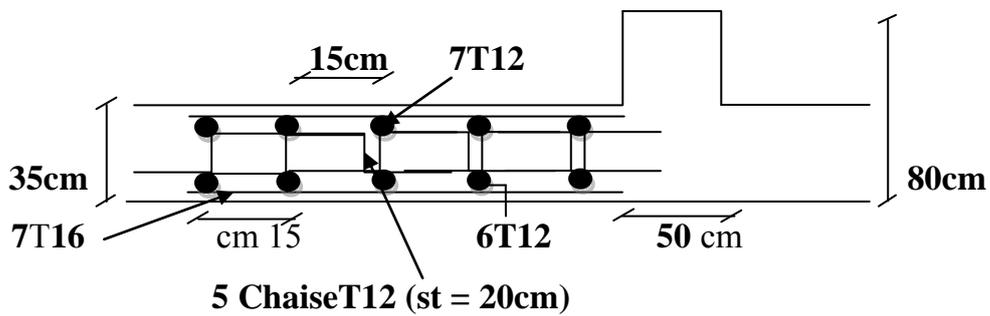


Figure VIII.3: Ferrailage du radier

2. Schéma du ferrailage de la nervure

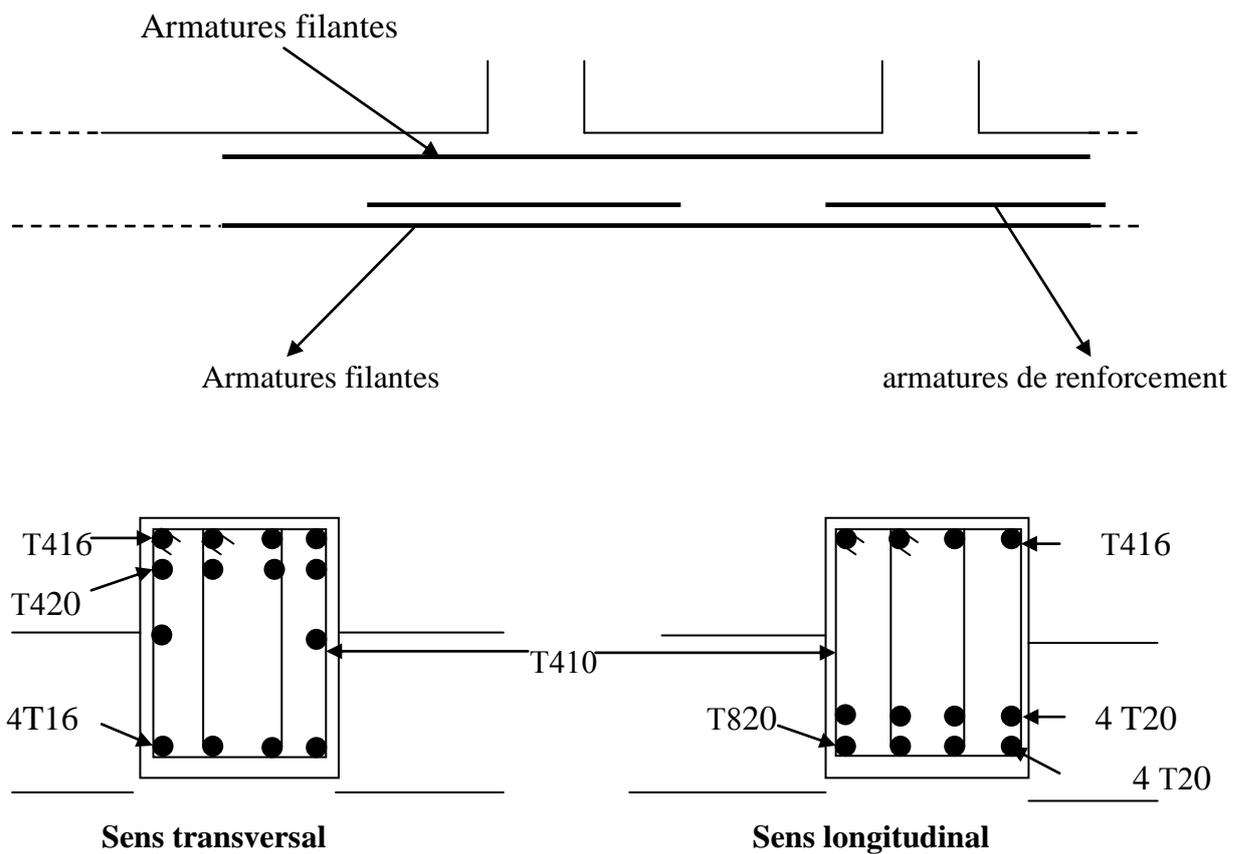


Figure VIII.4 : Coupe transversal de la nervure