

VII-1-Introduction :

Une fondation est constituée par les semelles de la structure et les aménagement du sol ces semelles.

La catégorie des semelles superficielles comprend les semelles continues, les semelles isolées; les poutres de redressement et les radiers.

La semelle est une organe de transmission des charges de la superstructure au sol.

D'après le rapport du sol notre terrain a une contrainte admissible de 1,5 bar à un ancrage de 3 m.

- Pour qu'il n'y a pas chevauchement entre deux fondations, il faut au minimum une distance de 40 cm ;
- Le béton de propreté prévu pour chaque semelle aura 10 cm d'épaisseur ;
- Le calcul des fondations se fait comme suit :
 1. Dimensionnement à l'ELS ;
 2. Ferrailage à l'ELU.

Le choix du type des fondations 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.

VII-2-Choix du type de fondations :

Avec une capacité portante du terrain égale à 1,5 bar, Il y a lieu de projeter à priori, des fondations superficielles de type :

- Semelles filantes ;
- Radier général.

Commençant par la semelle filante, pour cela on procède à une première vérification qui est : la surface des semelles doit être inférieure à 50% de la surface totale du bâtiment

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

La surface de la semelle est donnée par : $S \geq N/\sigma_{sol}$

Avec :

S : La surface totale de la semelle ;

$$\sigma_{sol} = 1,5 \text{ bar} = 15 \text{ t/m}^2$$

Définition du radier :

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

VII-3-Bloc Angle :

$$\begin{cases} N_u = 5042,8 \text{ t} \Rightarrow S_{semelle} = 336,19 \text{ m}^2 \\ N_{ser} = 3676,74 \text{ t} \Rightarrow S_{semelle} = 245,15 \text{ m}^2 \end{cases}$$

VII-3-1-Vérification du chevauchement :

La surface du bâtiment est de : $S_{bâtiment} = 310,8 \text{ m}^2$

$$\frac{S_{semelle}}{S_{bâtiment}} = \frac{245,15}{310,8} = 78,87 \% > 50 \% \rightarrow \text{Condition non vérifiée}$$

La surface totale de la semelle dépasse 50% de la surface d'emprise du bâtiment, ce qui induit le chevauchement de ces semelles. 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, **un radier général a été opter comme type de fondation**, ce type de fondation présente plusieurs avantages qui sont :

- L'augmentation de la surface de la semelle qui minimise la forte pression apportée par la structure ;
- La réduction des tassements différentiels ;
- La facilité d'exécution ;

VII-3-2-Surface du radier :

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

$$N = N_{ser} = 3676,74 \text{ t.}$$

$$S \geq \frac{N}{\sigma_{sol}} = 3676,74/15 = 245,15 \text{ m}^2.$$

On prend un débord de 50 cm de chaque côté dans les deux directions ce qui nous donne une surface d'assise $S_{radier} = 362,1 \text{ m}^2$.

VII-3-2-1-Calcul de l'épaisseur du radier :

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

1^{ere} condition :

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

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

$$L : \text{Longueur maximal d'une bande } 1 \text{ m} ; L = 4,20 \text{ m}$$

$$Qu = \frac{Nu}{s} = 5042,8 / 362,1 = 13,93 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Par ml : } Qu = 13,93 \times 1 = 13,93 \text{ t/ml.}$$

$$Vu = 13,93 \times 4,20/2 = 29,25 \text{ t}$$

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

$$d \geq \frac{29,25 \times 10^{-2}}{0,06 \times 25 \times 1} = 0,20 \text{ m}$$

2^{ème} condition :

$$\frac{L}{25} \leq d \leq \frac{L}{20} \quad . \quad L = 420 \text{ cm}$$

$$16,8 \leq d \leq 21 \text{ cm}$$

$$h = d + c = 20 + 5 = 25 \text{ cm ; on prend : } h = 25 \text{ cm ; } d = 20 \text{ cm}$$

VII-3-2-2-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 :

$$L/9 \leq h \leq L/6 \Rightarrow 46,67 \text{ cm} \leq h \leq 70 \text{ cm}$$

On prend : **d=63 cm ; h = 70 cm ; b = 50 cm.**

VII-3-3-Vérification des contraintes :

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

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

$$G_{\text{radier}} = 2,5 [0,25 \times 362,1 + 0,70 \times 0,50 \times 203] = 228,09 \text{ t}$$

$$\text{E.L.S : } N_{\text{ser}} = 228,09 + 3676,74 = 3904,83 \text{ t.}$$

$$\frac{N_{\text{ser}}}{S_{\text{radier}}} = \frac{3904,83}{362,1} = 10,78 \text{ t/m}^2 < 15 \text{ t/m}^2 \rightarrow \text{condition vérifiée.}$$

VII-3-4-La longueur élastique :

La longueur élastique de la poutre est donnée par :

$$L_e = \sqrt[4]{\frac{4EI}{K \cdot b}}$$

$$\text{Avec : } I : \text{Inertie de la poutre : } I = bh^3/12 = 0,50 \times (0,70)^3 / 12 = 0,014 \text{ m}^4.$$

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

$$b : \text{Largeur de la poutre } b = 0,50 \text{ m.}$$

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

$$L_e = \sqrt[4]{\frac{4 \times 3216420 \times 0,014}{500 \times 0,50}} = 5,18 \text{ m}$$

$$L_{\max} = 3.70 \text{ m} < \frac{\pi}{2} \cdot L_e = 8,13 \text{ m} \rightarrow \text{condition vérifiée.}$$

L_{\max} : La longueur maximale entre nues des poteaux.

VII-3-5-Evaluation des charges pour le calcul du radier :

$$Q = \sigma_{\max} = \frac{N_{ser}}{S_r} = \frac{3904,83}{362,1} = 10,78 \text{ t/m}$$

$$\sigma_{radier} = \gamma_b \times h = 0,625 \text{ t/m}^2$$

$$\rightarrow \sigma_{\max} - \sigma_{radier} = 10,16 \text{ t/m}^2$$

Donc la charge en « m^2 » à prendre en compte dans le calcul du ferrailage du radier est de :

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

VII-3-6-Ferrailage du radier :

VII-3-6-1-Ferrailage des dalles :

Soit une dalle reposant sur 4 côtés 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 :

1^{er} 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 :

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

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

Moment sur appuis :

$$M_a = 0,2M_o \rightarrow \text{appuis de rive.}$$

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

2^{ème} 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 (le plus grand)

VII-3-6-2-Exemple de calcul :

$$\alpha = L_x/L_y = 3.5/3.7 = 0,94 > 0,4$$

La dalle porte dans les deux sens.

$$\alpha = 0,95 \Rightarrow \mu_x = 0,0410; \mu_y = 0,8875.$$

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

$$M_{0x} = 0,0410 \times 10,16 \times (3,5)^2 = 5.10 \text{ t.m}$$

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

$$M_{0y} = 0,8875 \times 5.10 = 4.53 \text{ t.m}$$

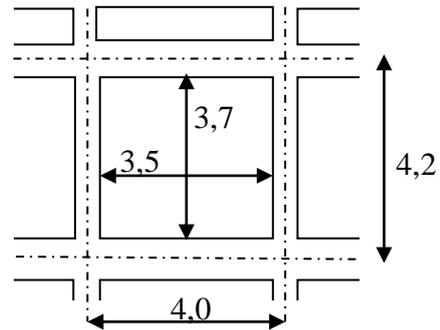


Figure VII-1 : Schéma du panneau le plus défavorable

- **En travée :**

Sens x :

$$M_{tx} = 0,85M_{0x} = 0,85 \times 5,10 = 4,34 \text{ t.m}$$

$$\mu = \frac{M_{tx}}{bd^2 \cdot f_{bc}} = \frac{4,34 \cdot 10^4}{100(20)^2 \cdot 14,17} = 0,076 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow A' = 0$$

$$\mu_1 = 0,076 \rightarrow \beta = 0,960$$

$$A = \frac{M}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{4,34 \cdot 10^4}{0,960 \cdot 20 \cdot 348} = 6,50 \text{ cm}^2.$$

On adopte : **7T12 / ml, A = 7,92 cm²/ml, S_t = 15 cm**

Sens y :

$$M_{ty} = 0,85M_{0y} = 0,85 \times 4,53 = 3,85 \text{ t.m}$$

$$\mu = \frac{M_{ty}}{bd^2 \cdot f_{bc}} = \frac{3,85 \cdot 10^4}{100(20)^2 \cdot 14,17} = 0,068 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow A' = 0$$

$$\mu_1 = 0,068 \rightarrow \beta = 0,965$$

$$A = \frac{M}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{3,85 \cdot 10^4}{0,965 \cdot 20 \cdot 348} = 5,73 \text{ cm}^2.$$

On adopte : **6T12 / ml, A = 6,79 cm²/ml, S_t = 20 cm**

- **En appuis :**

Sens x :

$$M_{ax} = 0,5M_{0x} = 0,5 \times 5,10 = 2,55 \text{ t.m}$$

$$\mu = \frac{M_{tx}}{bd^2 \cdot f_{bc}} = \frac{2,55 \cdot 10^4}{100(20)^2 \cdot 14,17} = 0,045 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow A' = 0$$

$$\mu_1 = 0,045 \rightarrow \beta = 0,976$$

$$A = \frac{M}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{2,55 \cdot 10^4}{0,976 \cdot 20 \cdot 348} = 3,75 \text{ cm}^2.$$

On adopte : 7T12 / ml, A = 7,92 cm²/ml, St =15 cm

Sens y :

$$M_{ay} = 0,5M_{0y} = 0,5 \times 4,53 = 2,27 \text{ t.m}$$

$$\mu = \frac{M_{ty}}{bd^2.f_{bc}} = \frac{2,27.10^4}{100(20)^2.14,17} = 0,040 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow A' = 0$$

$$\mu = 0,040 \rightarrow \beta = 0,980$$

$$A = \frac{M}{\beta.d.\sigma_s} = \frac{2,27.10^4}{0,980.20.348} = 3,33 \text{ cm}^2.$$

On adopte 6T10 / ml, A = 4,71 cm²/ml ; St = 20 cm

On adopte le même ferrailage pour tous les panneaux du radier.

VII-3-7-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 pour le calcul du ferrailage on prend le cas le plus défavorable dans chaque sens et on considère des travées isostatiques.

VII-3-7-1-Sens longitudinale y :

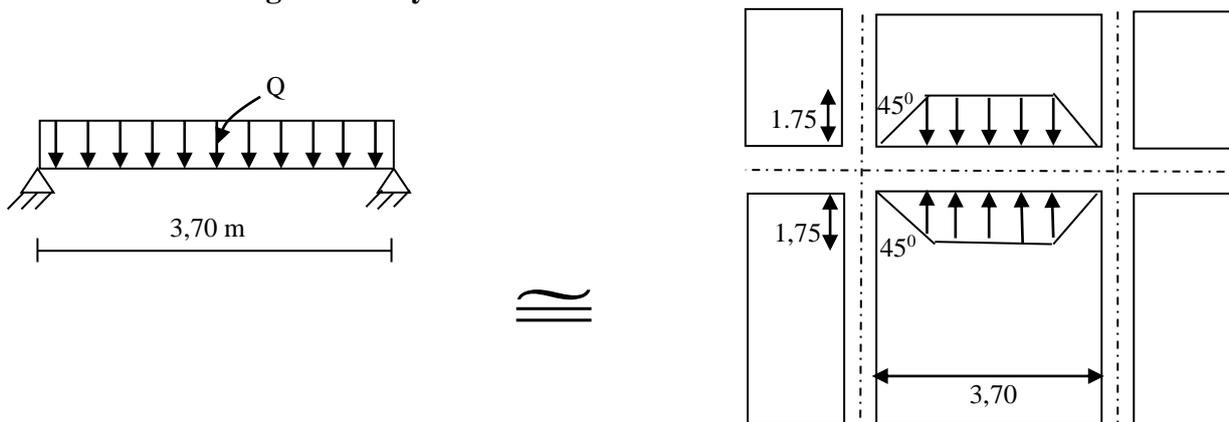


Figure VII-2 : Répartition des charges sur les poutres selon les lignes de rupture.

Calcul de Q' :

C'est la charge uniforme équivalente pour le calcul des moments.

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

Avec : Lx₁ = 3,50 m

Lx₂ = 3,50 m

Ly₁ = 3,70 m

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

Donc :

$$Q' = \frac{10,16}{2} \left[\left(1 - \frac{3,50^2}{3 \times 3,70^2} \right) \cdot 3,50 + \left(1 - \frac{3,50^2}{3 \times 3,70^2} \right) \cdot 3,50 \right] = 24,97 \text{ t/m}$$

$$M_0 = \frac{Q' \cdot L^2}{8} = \frac{24,97 \times 3,70^2}{8} = 42,73 \text{ t.m}$$

Calcul du ferrailage :

• **En travée :**

$$M_t = 0,85M_0 = 0,85 \cdot 42,73 = 36,32 \text{ t.m}, \quad b = 50 \text{ cm}, \quad h = 70 \text{ cm}, \quad d = 0,9 \cdot h = 63 \text{ cm}$$

$$\mu = \frac{M_t}{b \cdot d^2 \cdot \sigma_{bc}} = \frac{36,32 \cdot 10^4}{50 \cdot (63)^2 \cdot 14,17} = 0,129 < \mu_1 = 0,392 \rightarrow A' = 0$$

$$\beta = 0,930$$

$$A_1 = M_t / \sigma_s \cdot \beta \cdot d$$

$$A_1 = 36,32 \cdot 10^4 / 348 \cdot 0,930 \cdot 63 = 17,81 \text{ cm}^2$$

$$\text{on adopte : } \begin{cases} 1^{\text{ere}} \text{ lit } 4\text{T16} \\ 2^{\text{eme}} \text{ lit } 4\text{T16} \\ 3^{\text{eme}} \text{ lit } 4\text{T12} \end{cases} ; A = 20,6 \text{ cm}^2$$

• **Sur appuis :**

Appuis intermédiaires :

$$M_a = 0,5M_0 = 0,5 \times 42,73 = 21,37 \text{ t.m}$$

$$\mu = 0,076 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow (A' = 0)$$

$$\mu = 0,076 \rightarrow \beta = 0,960$$

$$A_s = 10,15 \text{ cm}^2$$

On adopte : **(4T16) Fil + (4T12) chap. ; A = 12,56 cm².**

Appuis de rive :

$$M_a = 0,2 \cdot M_0 = 0,2 \times 42,73 = 8,55 \text{ t.m}$$

$$\mu = 0,027 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow (A' = 0)$$

$$\mu = 0,030 \rightarrow \beta = 0,985$$

$$A_s = 3,96 \text{ cm}^2$$

On adopte : **(4T16) ; A = 8,04 cm²**

VII-3-7-2-Sens transversale x :

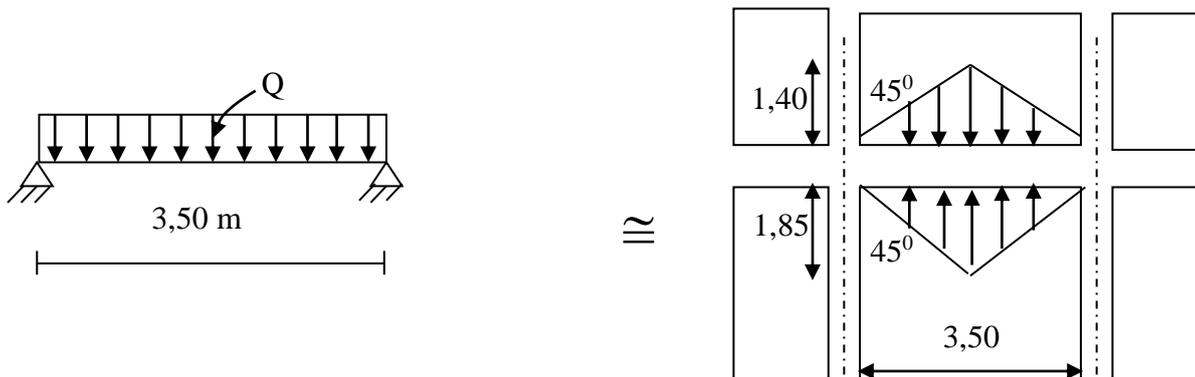


Figure VII-3 : Répartition des charges sur les poutres selon les lignes de rupture.

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

$$Lx_1 = 3,50 \text{ m}$$

$$Q' = \frac{2}{3} \times 10,16 \times 3,50 = 23,71 \text{ t/m}$$

$$M_o = \frac{Q' \cdot L^2}{8} = \frac{23,71 \times 3,50^2}{8} = 36,30 \text{ t.m}$$

Calcul du ferrailage :

• En travée :

$$M_t = 0,85M_o = 0,85 \cdot 36,30 = 30,86 \text{ t.m}, \quad b = 50 \text{ cm}, \quad h = 70 \text{ cm}, \quad d = 0,9 \cdot h = 63 \text{ cm}$$

$$\mu = \frac{M_t}{b \cdot d^2 \cdot \sigma_{bc}} = \frac{30,86 \cdot 10^4}{50 \cdot (63)^2 \cdot 14,17} = 0,110 < \mu_1 = 0,392 \rightarrow A' = 0$$

$$\mu = 0,110 \rightarrow \beta = 0,942$$

$$A = \frac{M}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{30,86 \cdot 10^4}{0,942 \cdot (63) \cdot 348} = 14,94 \text{ cm}^2.$$

$$\text{on adopte : } \begin{cases} 1^{\text{ere}} \text{ lit } 4\text{T16} \\ 2^{\text{eme}} \text{ lit } 4\text{T16} \end{cases} ; A = 16,08 \text{ cm}^2$$

- **En appuis :**

Appuis intermédiaires :

$$M_a = 0,5M_o = 0,5 \cdot 36,30 = 18,15 \text{ t.m}$$

$$\mu = 0,065 < \mu_l = 0,392 \Rightarrow (A' = 0)$$

$$\mu = 0,065 \rightarrow \beta = 0,966$$

$$A_s = 08,57 \text{ cm}^2$$

On adopte : **(4T16) fil + (4T12) chap. ; A = 12,56 cm².**

Appuis de rive :

$$M_a = 0,2M_o = 0,2 \times 36,30 = 7,26 \text{ t.m}$$

$$\mu = 0,026 < \mu_l = 0,392 \Rightarrow (A' = 0)$$

$$\mu = 0,026 \rightarrow \beta = 0,987$$

$$A_s = 3,36 \text{ cm}^2$$

On adopte : **(4T16) fil. ; A = 8,04 cm².**

VII-3-8-Armature de peau :

Selon le BAEL 91 la hauteur de l'âme de la poutre : **$h_a \geq 2 (70 - 0,1 fe) = 60 \text{ cm}$.**

Dans notre cas $h_a = 70 \text{ cm}$ (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 obligatoire 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 cm^2 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 $(h \times b_0) = (0,70 \times 0,50) \text{ m}^2$,

$$\text{on a : } A_{sp} = 3 \times 2 (b_0 + h) \text{ cm}^2 \rightarrow A_{sp} = 3 \times 2 (0,50 + 0,70) = 7,20 \text{ cm}^2$$

On adopte : **4T16 Fil ; A = 8,04 cm².**

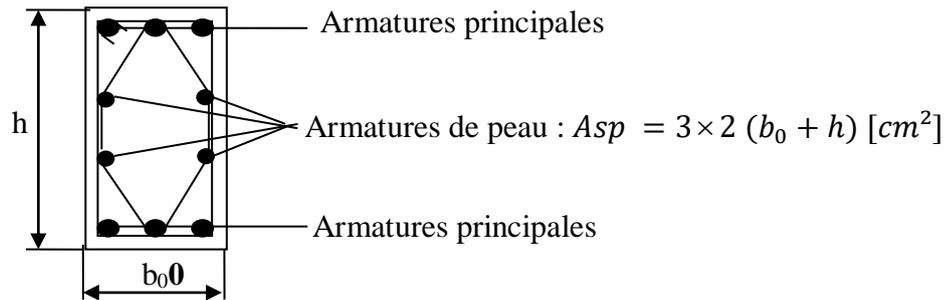


Figure VII-4 : Schéma explicatif des armatures de peau.

VII-3-9-Les vérifications :

Contrainte de cisaillement :

$$T_{\max} = 21,34 \text{ t}$$

$$\tau_u = \frac{T_{\max}}{b \cdot d} = \frac{21,34}{0,50 \cdot 0,63 \cdot 100} = 0,68 \text{ MPa.}$$

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

$$\tau_u = 0,68 \text{ MPa} < \bar{\tau}_u = 2,50 \text{ MPa} \rightarrow \text{condition vérifiée.}$$

Armatures transversales :

Diamètre : $\varphi_t \leq \min(h/35; \varphi_1; b/10) = \min(20; 10; 50) = 10 \text{ mm}$
on prend $\varphi_t = 10 \text{ mm}$

Espacement :

$$S_t = \min\left(\frac{h}{4}, 12\varphi_1\right) = \min(17,5; 12) = 12 \text{ cm}$$

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

Donc on utilise des armatures : **HA, Fe400, soit 4T10, A=3,14cm².**

$$\frac{A_t \cdot f_e}{b_0 \cdot S_t} \geq \max(\tau_u/2; 0,4 \text{ MPa}) = \max(0,34; 0,4 \text{ MPa}) = 0,4 \text{ MPa}$$

$$\frac{3,14 \cdot 400}{50 \cdot 15} = 1,67 > 0,4 \text{ MPa} \rightarrow \text{condition on vérifiée.}$$

VII-4-Bloc Barre

VII-4-1-Surface du radier :

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

$$N = N_{ser} = 3232,51 \text{ t.}$$

$$S \geq \frac{N}{\sigma_{sol}} = \frac{3232,51}{15} = 215,5 \text{ m}^2.$$

On prend un débord de 50 cm de chaque côté dans les deux directions ce qui nous donne une surface d'assise $S_{radier} = 266.7 m^2$.

VII-4-2-Calcul de l'épaisseur du radier :

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

1^{ère} condition :

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

$$Qu = \frac{Nu}{S} = 4106,8 / 266,7 = 15,40 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Par ml : } Qu = 15,50 \times 1 = 15,50 \text{ t/ml.}$$

$$Vu = 15,40 \times \frac{4,20}{2} = 32,34 \text{ t}$$

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

$$d \geq \frac{32,34 \times 10^{-2}}{0,06 \times 25 \times 1} = 0,21 \text{ m}$$

2^{ème} condition :

$$\frac{L}{25} \leq d \leq \frac{L}{20} \quad . \quad L = 420 \text{ cm}$$

$$16,8 \leq d \leq 21 \text{ cm}$$

$$h = d + c = 20 + 5 = 25 \text{ cm ; on prend : } h = 25 \text{ cm ; } d = 20 \text{ cm}$$

VII-4-3-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 :

$$L/9 \leq h \leq L/6 \Rightarrow 46,67 \text{ cm} \leq h \leq 70 \text{ cm}$$

$$\text{On prend : } d=63 \text{ cm ; } h = 70 \text{ cm ; } b = 50 \text{ cm.}$$

VII-4-4-Vérification des contraintes :

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

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

$$G_{radier} = 2,5 [0,25 \times 266,7 + 0,70 \times 0,50 \times 150,2] = 298,11 \text{ t}$$

$$\text{E.L.S : } N_{ser} = 298,11 + 3232,51 = 3530,62 \text{ t.}$$

$$\frac{N_{ser}}{S_{radier}} = \frac{3530,62}{266,7} = 13,24 \text{ t/m}^2 < 15 \text{ t/m}^2 \rightarrow \text{condition vérifiée.}$$

VII-4-5-La 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 : $I = bh^3/12 = 0,50 \times (0,70)^3 / 12 = 0,014m^4$.

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

b : Largeur de la poutre $b=0,50 \text{ m}$.

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

$$L_e = \sqrt[4]{\frac{4 \times 3216420 \times 0,014}{500 \times 0,50}} = 5,18 \text{ m}$$

$$L_{max} = 3,8m < \frac{\pi}{2} \cdot L_e = 8,13 \text{ m} \rightarrow \text{condition vérifiée.}$$

L_{max} : La longueur maximale entre nues des poteaux.

VII-4-6-Evaluation des charges pour le calcul du radier :

$$Q = \sigma_{max} = \frac{N_{ser}}{S_r} = \frac{3530,62}{266,7} = 13,24 \text{ t/m}$$

$$\sigma_{radier} = \gamma_b \times h = 0,625 \text{ t/m}^2$$

$$\rightarrow \sigma_{max} - \sigma_{radier} = 12,61 \text{ t/m}^2$$

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

$$Q = 12,61 \text{ t/m}^2$$

VII-4-7-Ferrailage du radier :

$$\alpha = L_x/L_y = 3,6/3,8 = 0,95 > 0,4$$

La dalle porte dans les deux sens.

$$\alpha = 0,94 \Rightarrow \mu_x = 0,0410; \mu_y = 0,8875.$$

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

$$M_{0x} = 0,0410 \times 12,61 \times (3,6)^2 = 6,7 \text{ t.m}$$

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

$$M_{0y} = 0,8875 \times 6,7 = 5,95 \text{ t.m}$$

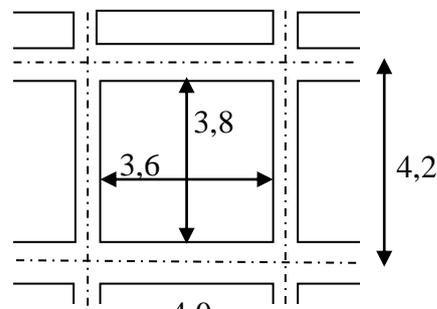


Figure VII-5 : Schéma du panneau le plus défavorable

En travée :

Sens x :

$$M_{tx} = 0,85M_{ox} = 0,85 \times 6,7 = 5,7 \text{ t.m}$$

$$\mu = \frac{M_{tx}}{bd^2.f_{bc}} = \frac{5,7 \cdot 10^4}{100(20)^2 \cdot 14,17} = 0,101 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow A' = 0$$

$$\mu_1 = 0,101 \rightarrow \beta = 0,946$$

$$A = \frac{M}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{5,7 \cdot 10^4}{0,946 \cdot 20 \cdot 348} = 8,66 \text{ cm}^2.$$

On adopte : **9T12 / ml, A = 10,18 cm²/ml, S_t = 12 cm**

Sens-y :

$$M_{ty} = 0,85M_{oy} = 0,85 \times 5,95 = 5,06 \text{ t.m}$$

$$\mu = \frac{M_{ty}}{bd^2.f_{bc}} = \frac{5,06 \cdot 10^4}{100(20)^2 \cdot 14,17} = 0,089 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow A' = 0$$

$$\mu_1 = 0,089 \rightarrow \beta = 0,953$$

$$A = \frac{M}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{5,06 \cdot 10^4}{0,953 \cdot 20 \cdot 348} = 7,63 \text{ cm}^2.$$

On adopte : **6T14 / ml, A = 9,24 cm²/ml, S_t = 16 cm**

En appuis :

Sens x :

$$M_{ax} = 0,5M_{ox} = 0,5 \times 6,7 = 3,35 \text{ t.m}$$

$$\mu = \frac{M_{tx}}{bd^2.f_{bc}} = \frac{3,35 \cdot 10^4}{100(20)^2 \cdot 14,17} = 0,059 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow A' = 0$$

$$\mu_1 = 0,059 \rightarrow \beta = 0,969$$

$$A = \frac{M}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{3,35 \cdot 10^4}{0,969 \cdot 20 \cdot 348} = 4,97 \text{ cm}^2.$$

On adopte : **6T12 / ml, A = 6,78 cm²/ml, S_t = 16 cm**

Sens y :

$$M_{ay} = 0,5M_{oy} = 0,5 \times 5,95 = 2,98 \text{ t.m}$$

$$\mu = \frac{M_{ty}}{bd^2.f_{bc}} = \frac{2,98 \cdot 10^4}{100(20)^2 \cdot 14,17} = 0,052 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow A' = 0$$

$$\mu_1 = 0,052 \rightarrow \beta = 0,973$$

$$A = \frac{M}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{2,98 \cdot 10^4}{0,973 \cdot 20 \cdot 348} = 4,40 \text{ cm}^2.$$

On adopte **6T12 / ml, A = 6,79 cm²/ml, S_t = 16 cm**

On adopte le même ferrailage pour tous les panneaux du radier.

VII-4-8-Ferraillage des poutres de libages :**VII-4-8-1-Sens longitudinal y :**

Calcul de Q' :

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

Avec : $Lx_1 = 3,60 \text{ m}$ $Lx_2 = 3,60 \text{ m}$ $Ly_1 = 3,80 \text{ m}$

$$Q = 12,61 \text{ t/m}^2$$

Donc :

$$Q' = \frac{12,61}{2} \left[\left(1 - \frac{3,60^2}{3 \times 3,80^2} \right) 3,60 + \left(1 - \frac{3,60^2}{3 \times 3,80^2} \right) 3,60 \right] = 31,80 \text{ t/m}$$

$$M_0 = \frac{Q'.L^2}{8} = \frac{31,8 \times 3,80^2}{8} = 57,40 \text{ t.m}$$

Calcul du ferraillage :**En travée :**

$$M_t = 0,85M_0 = 0,85 \times 57,40 = 48,78 \text{ t.m}, \quad b = 50 \text{ cm}, \quad h = 70 \text{ cm}, \quad d = 0,9.h = 63 \text{ cm}$$

$$\mu = \frac{M_t}{b.d^2 . \sigma_{bc}} = \frac{48,78.10^4}{50.(63)^2.14,17} = 0,174 < \mu_1 = 0,392 \rightarrow A' = 0$$

$$\beta = 0,904$$

$$A_1 = M_t / \sigma_s . \beta . d$$

$$A_1 = 57,40 \times 10^4 / 348 \times 0,904 \times 63 = 28,96 \text{ cm}^2$$

$$\text{on adopte : } \begin{cases} 1^{\text{ere}} \text{ lit } 4T20 \\ 2^{\text{eme}} \text{ lit } 4T20 \\ 3^{\text{eme}} \text{ lit } : 4T16 \end{cases} ; A = 33,18 \text{ cm}^2$$

En appuis :

Appuis intermédiaires :

$$M_a = 0,5M_0 = 0,5 \times 57,4 = 28,7 \text{ t.m}$$

$$\mu = 0,102 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow (A' = 0)$$

$$\mu = 0,102 \rightarrow \beta = 0,946$$

$$A_s = 13,84 \text{ m}^2$$

On adopte : **(4T16) Fil + (4T16) chap. ; A = 16,08 cm².**

Appuis de rive :

$$M_a = 0,2.M_0 = 0,2 \cdot 57,4 = 11,48 \text{ t.m}$$

$$\mu = 0,041 < \mu_l = 0,392 \Rightarrow (A' = 0)$$

$$\mu = 0,041 \rightarrow \beta = 0,979$$

$$A_s = 5,35 \text{ cm}^2$$

On adopte : **(4T16) ; A = 8,04 cm²**

VII-4-8-2-Sens transversal x :

Calcul de Q' :

C'est la charge uniforme équivalente pour le calcul des moments.

$$Q' = \frac{2}{3} \cdot Q \cdot L_{x_1}$$

$$\text{Tel que : } Q = 12,61 \text{ t/m}^2$$

$$L_{x_1} = 3,60 \text{ m}$$

$$Q' = \frac{2}{3} \times 12,61 \times 3,60 = 30,26 \text{ t/m}$$

$$M_o = \frac{Q' \cdot L^2}{8} = \frac{30,26 \times 3,60^2}{8} = 49,02 \text{ t.m}$$

Calcul du ferrailage :

En travée :

$$M_t = 0,85 M_o = 0,85 \cdot 49,02 = 41,67 \text{ t.m}, \quad b = 50 \text{ cm}, \quad h = 70 \text{ cm}, \quad d = 0,9 \cdot h = 63 \text{ cm}$$

$$\mu = \frac{M_t}{b \cdot d^2 \cdot \sigma_{bc}} = \frac{41,67 \cdot 10^4}{50 \cdot (63)^2 \cdot 14,17} = 0,148 < \mu_l = 0,392 \rightarrow A' = 0$$

$$\mu = 0,148 \rightarrow \beta = 0,919$$

$$A = \frac{M}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{41,67 \cdot 10^4}{0,919 \cdot (63) \cdot 348} = 20,68 \text{ cm}^2.$$

$$\text{on adopte : } \begin{cases} 1^{\text{ere}} \text{ lit } 4\text{T16} \\ 2^{\text{eme}} \text{ lit } 4\text{T16} ; A = 24,12 \text{ cm}^2 \\ 3^{\text{eme}} \text{ lit } 4\text{T16} \end{cases}$$

En appuis :

Appuis intermédiaires :

$$M_a = 0,5 M_o = 0,5 \cdot 49,02 = 24,51 \text{ t.m}$$

$$\mu = 0,087 < \mu_l = 0,392 \Rightarrow (A' = 0)$$

$$\mu = 0,087 \rightarrow \beta = 0,954$$

$$A_s = 11,72 \text{ cm}^2$$

On adopte : **(4T16) fil + (4T14) chap. ; A = 14,20 cm².**

Appuis de rive :

$$M_a = 0,2M_o = 0,2 \times 49,02 = 9,80 \text{ t.m}$$

$$\mu = 0,035 < \mu_l = 0,392 \Rightarrow (A' = 0)$$

$$\mu = 0,035 \rightarrow \beta = 0,982$$

$$A_s = 4,55 \text{ cm}^2$$

On adopte : **(4T16) fil. ; A = 8,04 cm².**

VII-4-9-Armature de peau :

Donc pour une poutre de section $(h \times b_0) = (0,70 \times 0,50) \text{ m}^2$,

$$\text{on a : } A_{sp} = 3 \times 2 (b_0 + h) \text{ cm}^2 \rightarrow A_{sp} = 3 \times 2 (0,50 + 0,70) = 7,20 \text{ cm}^2$$

On adopte : **4T16 Fil ; A = 8,04 cm².**

VII-4-10-Les vérifications :

Contrainte de cisaillement :

$$T_{\max} = 26,48 \text{ t}$$

$$\tau_u = \frac{T_{\max}}{b \cdot d} = \frac{26,48}{0,50 \cdot 0,63 \cdot 100} = 0,84 \text{ MPa.}$$

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

$$\tau_u = 0,84 \text{ MPa} < \bar{\tau}_u = 2,50 \text{ MPa} \rightarrow \text{condition vérifiée.}$$

Armatures transversales :

$$\text{Diamètre : } \varphi_t \leq \min(h/35; \varphi_1; b/10) = \min(20; 10; 50) = 10 \text{ mm}$$

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

Espacement :

$$S_t = \min\left(\frac{h}{4}, 12\varphi_1\right) = \min(17,5; 12) = 12 \text{ cm}$$

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

Donc on utilise des armatures : **HA, Fe400, soit 4T10, A=3,14cm².**

$$\frac{A_t \cdot f_e}{b_0 \cdot S_t} \geq \max(\tau_u/2; 0,4 \text{ MPa}) = \max(0,42; 0,4 \text{ MPa}) = 0,42 \text{ MPa}$$

$$\frac{3,14 \cdot 400}{50 \cdot 15} = 1,67 > 0,42 \text{ MPa} \rightarrow \text{condition vérifiée.}$$

VII-5-Etude des Longrines :**VII-5-1-Introduction :**

Le rôle de longrine est de relier les points d'appuis d'un même bloc, à tout dispositif équivalant tendant à s'opposer au déplacement relatif de ces points d'appuis dans le plan horizontal.

VII-5-2-Dimensionnement de longrine :

Selon le **RPA 99 version 2003 article 10.1.1** Les dimensions minimales de la section transversale des longrines dans notre cas sont :

- Site de catégorie S3 → 25 cm×30 cm

Donc la section de la longrine est : $(b \times h) = (25 \times 30) \text{ cm}^2$

Le choix de notre fondation nous oblige à utiliser les longrines pour la construction et assuré un chaînage de base permettant la rigidité de l'ensemble des fondations.

Le type de site est (meuble), donc pour résister à la traction sous l'action d'une force égale à $F = (N/\alpha) > 20 \text{ KN}$ et comme notre zone est la zone sismique IIa d'où $\alpha = 15$ avec N présente la valeur maximale des charges verticales de gravité apportées par les points d'appuis solidaires.

α : C'est le coefficient fonction de la zone sismique et de la catégorie site considérée.

VII-5-3-Le ferrailage :➤ **Bloc angle :**

$$N_u = 5042,8 \text{ t}$$

$$F_u = N_u / 15$$

$$F_u = 5042,8 / 15 = 336,19 \text{ t}$$

$$F_u = 3361,9 \text{ KN} \geq 20 \text{ KN} \rightarrow \text{Condition vérifiée.}$$

➤ **Bloc barre :**

$$N_u = 4106,8 \text{ t}$$

$$F_u = N_u / 15$$

$$F_u = 4106,8 / 15 = 273,79 \text{ t}$$

$$F_u = 2737,9 \text{ KN} \geq 20 \text{ KN} \rightarrow \text{Condition vérifiée.}$$

Le ferrailage minimum doit être de **0,6%** de la section avec des cadres d'ou l'espacement est inférieur à la **min (20 cm, 15Ø)** d'après **RPA 99 / version 2003**

$$A_s = 0,6\% B = (0,6 / 100) (25 \times 30) = 4,50 \text{ cm}^2$$

On adopte : **6T12 = 6,78 cm²**

VII-5-4-vérifications**Condition de non fragilité:**

$$A_s \geq 0,23 \times (f_t / f_e) \times b \times d$$

$$A_s \geq 0,23 \times (2,1 / 400) 25 \times 27 = 0,82 \text{ cm}^2$$

$A_s \geq A_{\min} \rightarrow$ Condition vérifiée

L'espacement des cadres :

$St \leq \min (20 \text{ cm}, 15\varnothing) \quad St \leq \min (20 \text{ cm}, 15 \times 1,2)$

$St \leq \min (20 \text{ cm}, 18 \text{ cm})$

On adopte : $St = 15 \text{ cm}$

Les armatures transversales :

On choisit forfaitairement : $\varnothing_t = 8 \text{ mm}$.

$A_s = 1,5 \text{ cm}$

Condition des armatures transversales :

$\varnothing_t \geq 1/3 \varnothing_l \geq 1/3 \times 12$

$8 \text{ mm} \geq 4 \text{ mm} \rightarrow$ Condition vérifiée.