

VIII Fondations (radier général) :**1. Introduction :**

On appelle fondations, la base de l'ouvrage qui se trouve en contact directe avec le terrain d'assise et qui a pour rôle de transmettre à celui-ci toutes les charges et les surcharges supportées par cet ouvrage.

Les fondations doivent assurées deux fonctions essentiellement :

- reprendre les charges et les surcharges supporté par la structure.
- transmettre ces charges et surcharges au sol dans des bonnes conditions, de façon à assurer la stabilité de l'ouvrage.

Les fondations doivent être en équilibre sous :

- les sollicitations dues à la superstructure.
- les sollicitations dues au sol.

Le calcul des fondations se fait comme suit.

- 1- Dimensionnement à l' E.L.S : $G+Q$.
- 2- Ferrailage à l' E.L.U : $1,35 G+ 1,5 Q$
- 3- Vérification de la stabilité et des contraintes à l'état accidentel : $\begin{cases} G \pm 0,8 E \\ G+Q \pm E \end{cases}$

2. Choix du type des fondations :

Le cas le plus souvent pour les bâtiments élevés la transmission des charge au sol est assurer par des radiers généraux d'où les semelles isolées et semelles filantes non admit même les semelles filantes croisées a cause du chevauchement de ces éléments de genre unique ou combiné ce qu'il nous conduite de parcourir au radier générale

- Définition :

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

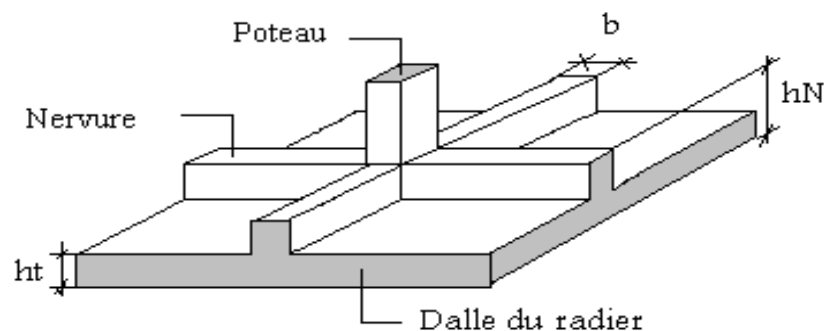


Figure : VIII.1. Radier général

- Calcul du radier:
- un radier c'est une semelle unique de très grandes dimensions commun entre tous les poteaux et voiles supportant toute la construction.
- Un radier est calculé comme un plancher renversé mais fortement sollicité

3. Pré dimensionnement du radier :

Le radier général supporte la somme des charges permanentes et charges d'exploitations dues à la Superstructure

$$G_T = \sum_{i=1}^{12} G_i$$

$$Q_T = \sum_{i=1}^{12} Q_i$$

Avec G_T : la charge permanente totale.

Q_T : la charge d'exploitation totale.

- Combinaison d'actions :

a L' E.L.U: $N_U = 5231,48 \text{ t}$

a L' E.L.S: $N_{ser} = 3815,63 \text{ t}$

- Surface minimale du radier :

$$\text{On a : } \frac{N}{S} \leq \sigma_{sol} \Rightarrow S \geq \frac{N_{ser}}{\sigma_{sol}} = \frac{3815,63}{1,5 \times 10} = 254,37 \text{ m}^2$$

Pour notre projet, si on prend un débord de 60 cm à partir des axes des poteaux on aura une surface d'assise : **S=297,57 m²**

- Épaisseur du radier (h):

L'épaisseur minimale d'un radier doit respecter les critères suivants :

- Critère de rigidité :

$$\frac{L}{25} \leq d \leq \frac{L}{20} \quad , \text{avec : } L = 510 \text{ cm}$$

$$20,4 \leq d \leq 25,5 \text{ cm} \dots \dots \dots (01)$$

- Critère de l'effort tranchant :

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

Avec ; V_u : l'effort tranchant ultime d'une bande de un mètre linéaire.

$$V_u = \frac{Q_u \times L}{2} = \frac{1 \text{ m} \cdot (N_u / s) \cdot L}{2} = \frac{1 \text{ m} \cdot (5231,48 / 297,57) \cdot 5,10}{2} = 44,83 \text{ t}$$

$$\Rightarrow d \geq \frac{44,83 \times 10^2}{0,06 \times 25 \times 100} = 29,88 \text{ cm} \dots \dots \dots (02)$$

On prend : $d = 30$

Donc : $h \geq d + c = 30 + 5 = 35 \text{ cm}$

Soit : h = 35 cm.

4. Dimensionnement des poutres de libage :

Comme le radier est considéré comme un élément rigide, la poutre de libage doit respecter la condition de rigidité suivante :

$$\frac{L}{9} \leq h \leq \frac{L}{6} \Rightarrow 56,66 \text{ cm} \leq h \leq 85,00 \text{ cm}$$

On prend comme dimension : $\begin{cases} h = 80\text{cm}, d=72\text{cm} \\ b = 40\text{cm} \end{cases}$

- Vérification des contraintes :

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

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

$$G_{\text{radier}} = 2,5[0,35 \times 297,57 + 0,80 \times 0,40 \times 290,1] = 492,45\text{t}$$

$$\text{E. L. S : } N_{\text{ser}} = 492,45 + 3815,63 = 4308,08\text{t}$$

$$\frac{N_{\text{ser}}}{S_{\text{radier}}} = \frac{4308,08}{297,57} = 14,47 \text{ t/m}^2 < 15 \text{ t/m}^2 \dots \dots \dots \text{condition vérifiée}$$

- La longueur élastique :

La longueur élastique de la poutre de libage est donnée par :

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

Avec: I : Inertie de la poutre : $I = bh^3/12 = 0,40 \times (0,80)^3 / 12 = 0,017 \text{ m}^4$.

E : module d'élasticité du béton, $E = 3216419 \text{ t/m}^2$.

b : largeur de la poutre $b=0,40\text{m}$.

K : coefficient du raideur de sol $k = 40 \text{ t/m}^2$.

$$L_e = \sqrt[4]{\frac{4 \times 3216419 \times 0,017}{400 \times 0,40}} = 6,08 \text{ m}$$

$$L_{\text{max}} = 5,10\text{m} < \frac{\pi}{2} \cdot L_e = 9,55\text{m} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

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

Donc la poutre de libage se calcule, comme une poutre continue (nervure) soumise à la réaction du sol (répartition linéaire).

- Evaluation des charges pour le calcul du radier poids unitaire du radier

$$\sigma_{\text{raid}} = \gamma_b \times h = 2,5 \times 0,3 = 0,875 \text{ t/m}^2$$

$$Q = \sigma_{\text{max}} - \sigma_{\text{rad}} = 14,47 - 0,875 = 13,59 \text{ t/m}^2$$

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

est : $Q = 13,59 \text{ t/m}^2$.

5. Ferrailage du radier :

A. Ferrailage de la dalle :

La dalle du radier est dissociée aux panneaux des dalles encastrées à 04 cotées aux libage

- Remarque :

Le cas de notre projet on a des distances de l'ordre moyen ce qu'il donne un rapport $\alpha > 0,4$ ce qu'il nous conduit à affirmer que tous les panneaux travaillent en deux sens.

- Moments isostatiques :

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

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

- Moments en travée :

$$M_t = 0,85M_0 \dots (\text{panneau de rive})$$

$$M_t = 0,75M_0 \dots (\text{panneau intermédiaire})$$

- Moments en appuis :

$$M_a = 0,4M_0 \dots (\text{appui de rive})$$

$$M_a = 0,5M_0 \dots (\text{appui intermédiaire})$$

- Exemple de calcul :

$$\alpha = L_x/L_y = 4,30/4,80 = 0,89 > 0,4 \Rightarrow \text{la dalle travaille en deux sens.}$$

$$\alpha = 0,90$$

$$\begin{cases} \mu_x = 0,0456 \\ \mu_y = 0,7834 \end{cases}$$

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

$$M_{0x} = 0,0456 \times 13,59 \times (4,30)^2 = 11,45 \text{ t.m}$$

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

$$M_{0y} = 0,7834 \times 11,45 = 8,97 \text{ t.m}$$

❖ **En travée :**

Sens Lx (inter):

$$M_{tx} = 0,75M_{0x} = 0,75 \times 11,45 = 8,59 \text{ t.m}$$

$$\mu = \frac{M_{tx}}{bd^2 \cdot f_{bc}} = \frac{8,59 \times 10^4}{100(31,5)^2 \cdot 14,17} = 0,061 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow A' = 0$$

$$\beta = 0,9675$$

$$A = \frac{M}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{8,59 \times 10^4}{0,9675 \times 31,5 \times 348} = 8,09 \text{ cm}^2$$

On adopte **6T14 / ml** , **A = 9,24 cm²/ml** , **S_t = 17 cm**

Sens Ly (inter):

$$M_{ly} = 0,75 \times 8,97 = 6,72 \text{ t.m}$$

$$\mu = \frac{M_{ly}}{bd^2 \cdot f_{bc}} = \frac{6,72 \times 10^4}{100(31,5)^2 \cdot 14,17} = 0,047 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow A' = 0$$

$$\beta = 0,9755$$

$$A = \frac{M}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{6,72 \times 10^4}{0,9755 \times 31,5 \times 348} = 6,28 \text{ cm}^2$$

On adopte **6T12 / ml** , **A = 6,79 cm²/ml** , **S_t = 17 cm**

❖ **En appuis :**

Sens Lx et Ly (inter):

$$M_a = 0,5 \times 11,47 = 5,72 \text{ t.m}$$

$$\mu = \frac{M_a}{bd^2 \cdot f_{bc}} = \frac{5,72 \times 10^4}{100(31,5)^2 \cdot 14,17} = 0,040 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow A' = 0$$

$$\beta = 0,98$$

$$A = \frac{M}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{5,72 \times 10^4}{0,98 \times 31,5 \times 348} = 5,32 \text{ cm}^2$$

On adopte **5T12 / ml** , **A = 5,65 cm²/ml** , **S_t = 20 cm**

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

B. Vérification des contraintes à l'E.L.S:

❖ **En travée (dans les deux sens):**

- Détermination de la position de l'axe neutre:

$$by^2/2 - 15A_s(d - y) = 0 ; A_s = 9,24 \text{ cm}^2 ; M = 8,59 \text{ KN.m}$$

$$50y^2 + 138,6y - 4365,9 = 0 \Rightarrow y = 8,06 \text{ cm}$$

- Détermination du moment d'inertie:

$$I = \frac{b}{3} y_1^3 + \eta A_s (d - y_1)^2 = \frac{100(8,06)^3}{3} + 15 \times 9,24(31,5 - 8,06)^2$$

$$I = 93605,05 \text{ cm}^4$$

- Détermination de contrainte dans le béton comprimé σ_{bc} :

$$\sigma_b = \frac{M_{ser}}{I} y_1 = \frac{8,59 \times 10^4}{93605,05} \times 8,06 = 7,39 \text{ MPa}$$

$$\overline{\sigma}_{bc} = 0,6 \cdot f_{c28} = 15 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{bc} = 7,39 \text{ MPa} < \overline{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{condition..vérifiée}$$

- Détermination des contraintes dans l'acier tendue σ_{st} :

Pour une fissuration préjudiciable, on a:

$$\overline{\sigma}_{st} = \min \left\{ \frac{2}{3} f_e; 110 \sqrt{\eta f_{t28}} \right\}$$

Avec η : coefficient de fissuration pour HA $\phi \geq 6 \text{ mm}$; $\eta = 1,6$

$$\bar{\sigma}_{st} = \min(267; 202) = 202 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{st} = \eta \frac{M_{ser}}{I} (d - y_1) = 1,6 \times \frac{8,59 \times 10^4}{93605,05} (31,5 - 8,06) = 7,99 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{st} = 7,99 \text{ MPa} < \bar{\sigma}_{st} = 202 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

Donc on doit augmenter la section d'armatures tractées

Soit : **8T16 / ml** , **A = 16,08 cm²/ml** , **S_t = 14cm**

Ce qu'il donne :

$$y_1 = 10,15 \text{ cm}$$

$$I = 144812,67 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{bc} = 6,02 \text{ MPa} < \bar{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée}$$

$$\sigma_{st} = 189,96 \text{ MPa} < \bar{\sigma}_{st} = 202 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

❖ **En appuis (dans les deux sens):**

- Détermination de la position de l'axe neutre:

$$by^2/2 - 15A_s(d - y) = 0 ; A_s = 5,65 \text{ cm}^2 ; M = 5,72 \text{ KN.m}$$

$$50y^2 + 84,75y - 2669,62 = 0 \Rightarrow y = 6,50 \text{ cm}$$

$$50y^2 + 161,7y - 5093,55 = 0 \Rightarrow y = 8,60 \text{ cm}$$

- Détermination du moment d'inertie:

$$I = \frac{b}{3} y_1^3 + \eta A_s (d - y_1)^2 = \frac{100(6,50)^3}{3} + 15 \times 5,65(31,5 - 6,50)^2$$

$$I = 621229 \text{ cm}^4$$

- Détermination de contrainte dans le béton comprimé σ_{bc} :

$$\sigma_b = \frac{M_{ser}}{I} y_1 = \frac{5,72 \times 10^4}{621229} \times 6,5 = 5,98 \text{ MPa}$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = 0,6 \cdot f_{c28} = 15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bc} = 5,98 \text{ MPa} < \bar{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{condition..vérifiée}$$

- Détermination des contraintes dans l'acier tendue σ_{st} :

$$\sigma_{st} = \eta \frac{M_{ser}}{I} (d - y_1) = 15 \times \frac{5,72 \times 10^4}{621229} (31,5 - 6,5) = 345,28 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{st} = 345,28 \text{ MPa} < \bar{\sigma}_{st} = 202 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{condition non vérifiée.}$$

Donc on doit augmenter la section d'armatures tractées

Soit : **7T14 / ml** , **A = 10,78 cm²/ml** , **S_t = 15 cm**

Ce qu'il donne :

$$y_1 = 8,60 \text{ cm}$$

$$I = 105998,96 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{bc} = 4,64 \text{ MPa} < \bar{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée}$$

$$\sigma_{st} = 185,37 \text{ MPa} < \bar{\sigma}_{st} = 202 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

C. Ferrailage de poutre libage :

Principe de transmission des charges au libage:

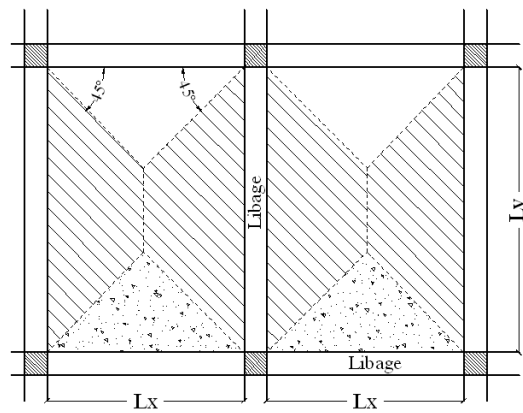


Figure :VIII.2. Ligne de rupture d'un panneau

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 triangulaires pour le calcul du ferrailage on prend le cas le plus défavorable dans chaque sens et on considère des travées isostatiques.

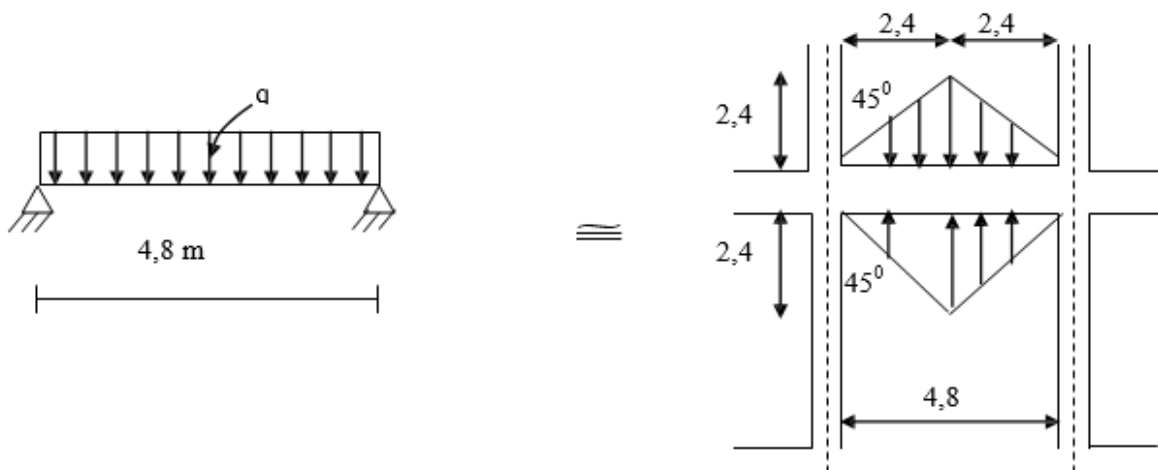


Figure VIII.3.Répartition des charges sur les poutres selon les lignes de rupture.

Calcul de q' :

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

$$q' = 2/3 qLx$$

Tel que :

$$q = 13.59 \text{ t/m}^2$$

$$L_{\max} = 4.8 \text{ m}$$

$$q' = 21.74 \text{ t/m}$$

$$M_0 = q' L^2 / 8 = 62,61 \text{ t.m}$$

Ferraillage :❖ **En travées :**

$$M_t = 0,85 M_0 = 0,85 \times 62,61 = 53,21 \text{ t.m}$$

$$\mu = \frac{M_a}{bd^2 \cdot f_{bc}} = \frac{53,21 \times 10^4}{40(72)^2 \cdot 1417} = 0,181 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow A' = 0$$

$$\beta = 0,8995$$

$$A = \frac{M}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{53,21 \times 10^4}{0,8995 \times 72 \times 348} = 23,60 \text{ cm}^2$$

❖ **En appuis :**

$$M_a = 0,5 M_0 = 0,5 \times 62,61 = 31,30 \text{ t.m}$$

$$\mu = \frac{M_t}{bd^2 \cdot f_{bc}} = \frac{31,30 \times 10^4}{40(72)^2 \cdot 1417} = 0,106 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow A' = 0$$

$$\beta = 0,944$$

$$A = \frac{M}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{31,30 \times 10^4}{0,944 \times 72 \times 348} = 13,23 \text{ cm}^2$$

Les sections d'armatures deviennent :

- **En appuis :** $A_s = 13,23 \text{ cm}^2$ Soit : **4T16 fil + 4T16 ch** , $A_s = 16,08 \text{ cm}^2$
- **En travées :** $A_s = 23,60 \text{ cm}^2$ Soit : **4T20 fil + 4T20 ch** , $A_s = 25,13 \text{ cm}^2$

D. Armatures de peau :

Ce sont des armatures réparties et disposées parallèlement à la fibre moyenne des poutres de grande hauteur ; leur section est d'au moins **3 cm²** par mètre de longueur de paroi mesurée perpendiculairement à leur direction

$$\text{Donc : } A_s = 3 \times 2 \times (0,40 + 0,80) = \mathbf{7,20 \text{ cm}^2}$$

$$\text{Soit : } \mathbf{4T16, A_s = 8,04 \text{ cm}^2}$$

E. Armatures transversales :

- Diamètre: $\phi_t \leq \min(h/35; \Phi_1; b/10) = \min(22,86; 14; 40) = 14 \text{ mm}$
 on prend $\Phi_t = 10 \text{ mm}$

- Espacement :

$$S_t = \min\left(\frac{h}{4}, 12\Phi_1\right) = \min(20; 16,8) = 16,8 \text{ cm}$$

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

$$\frac{A_t}{b_0 S_t} \geq \frac{\tau_u - 0,3 f_{tj}}{0,8 f_e}$$

$$\Rightarrow A_t \geq \frac{(\tau_u - 0,3 f_{tj}) b_0 S_t}{0,8 f_e} = \frac{(2,40 - 0,3 \times 2,1) \times 40 \times 15}{0,8 \times 400} = 3,73 \text{ cm}^2$$

Donc on utilise des armatures HA, Fe400, soit 2T12+2T10 , A=3,84cm².

$$\frac{A_t \cdot f_e}{b_0 \cdot S_t} \geq \max(\tau_u/2 ; 0,4 \text{ Mpa}) = \max(1,13; 0,4 \text{ MPa}) = 1,20 \text{ MPa}$$

$$\frac{3,84 \times 400}{45 \times 15} = 2,27 > 1,13 \text{ Mpa} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

Schéma de ferrailage :

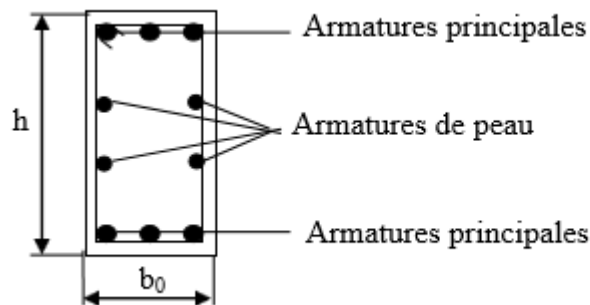


Figure VIII.3-Représente les armatures de peau