

**VIII-Fondations (radier général) :****VIII-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.

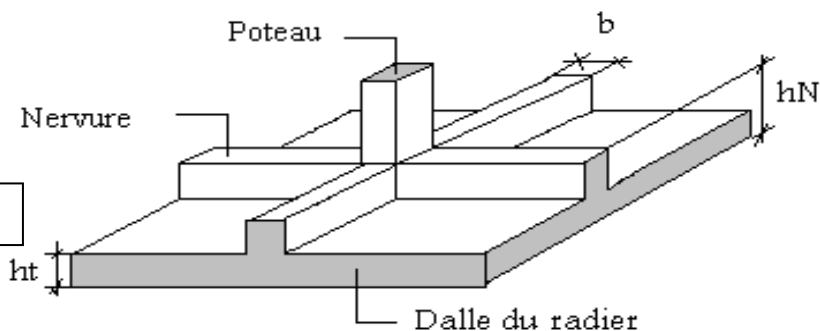
- 1- Dimensionnement à l'E.L.S:  $G+Q$ .
- 2- Ferrailage à l'E.L.U :  $1,35 G+ 1,5 Q$
- 3- Vérification de la stabilité et des contraintes à l'état accidentel :  $\begin{cases} G\pm 0,8 E \\ G+Q\pm E \end{cases}$

**VIII-2-Choix du type des fondations :**

Le cas le plus souvent pour les bâtiments élevés la transmission des charge au sol est assuré par des radiers généraux d'où les semelles isolées et semelles filantes non admit même les semelles filantes croisées à 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

**VIII-3-Pré-dimensionnement du radier :**

Le radier général supporte la somme des charges permanentes est 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 :**

à L'E.L.U:  $N_U = 5171,55 \text{ t}$

à L'E.L.S:  $N_{ser} = 3781,26 \text{ t}$

**VIII-3-1 Surface minimale du radier :**

$$\text{On a : } \frac{N}{S} \leq \sigma_{sol} \Rightarrow S \geq \frac{N_{ser}}{\sigma_{sol}} = \frac{3781,26}{2 \times 10} = 189,32 \text{ m}^2$$

On prend un débord de 80 cm de chaque côté dans les deux directions ce qui nous donne une surface d'assise **S radier = 458,39 m<sup>2</sup>**.

**VIII-3-2 Pré dimensionnement du radier :**

L'épaisseur du radier doit satisfaire les conditions suivantes :

**a) Condition forfaitaire :**

$$\begin{cases} \frac{L}{25} \leq d \leq \frac{L}{20} \Rightarrow 20,08 \text{ cm} \leq d \leq 25,1 \text{ cm} \dots \dots \dots (1) \\ L = 5,02 \text{ m} \end{cases}$$

**b) Condition de cisaillement :**

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

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

$$v_u = \frac{Qu \times L}{2} = \frac{1 \text{ m} \cdot (Nu / s) \cdot L}{2} = \frac{1 \cdot (5171,554 / 458,39) \cdot 5,02}{2} = 28,32 \text{ t}$$

$$\Rightarrow d \geq \frac{28,32 \times 10^2}{0,06 \times 25 \times 100} = 18,88 \text{ cm} \dots \dots \dots (02)$$

De (01) et (02) on a  $d \geq 28,15 \text{ cm}$

Donc :  $h \geq d+c = 18,88+5=23,88 \text{ cm}$

**Soit :  $d=36 \text{ cm}$  ,  $h= 40 \text{ cm}$**

### **VIII-3-3-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 :

$$\frac{L}{9} \leq h \leq \frac{L}{6} \Rightarrow 55,78 \text{ cm} \leq h \leq 83,67 \text{ cm}$$

On prend comme dimension :  $\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{h=80cm, d=72cm} \\ \mathbf{b= 50cm} \end{array} \right.$

### **VIII-3-4-Vérification des contraintes :**

On doit vérifier la de sol sous radier a L'ELS sous l'action de la superstructure ainsi son poids propre et compris les nervures.

#### **Poids propre du radier :**

$$\mathbf{Dalle : } G_{\text{radier}} = \gamma_b (h_r \times S_r) = 2,5(0,4 \times 458,39) = 458,39\text{t}$$

#### **Nervure :**

$$G_{\text{nervure}} = \gamma_b ((h_p - h_r) \times b_p \times \sum L_i) = 2,5((0,7 - 0,4) \times 0,50 \times 223,44) = 83,79 \text{ t}$$

$$N_{\text{ser-T}} = N_{\text{ser}} + G_{\text{radier}} + G_{\text{nervure}} = 3781,26 + 458,39 + 83,79 = 4323,44 \text{ t}$$

$$\frac{N_{\text{ser-T}}}{S_{\text{radier}}} = \frac{4323,44}{458,39} = 9,43 \text{ t/m}^2 < 20 \text{ t/m}^2 = 2\text{bar} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

#### **La longueur élastique :**

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

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

Avec: I : Inertie de la poutre :  $I = bh^3/12 = 0,5 \times (0,80)^3 /12 = 0,021 \text{ m}^4$ .

E : module d'élasticité du béton,  $E = 3216420,0 \text{ t/m}^2$ .

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

K : coefficient du raideur de sol  $k = 1000 \text{ t/m}^2 (\sigma = 2 \text{ bar})$

$$L_e = \sqrt[4]{\frac{4 \times 3216420 \times 0,02}{1000 \times 0,5}} = 4,76 \text{ m}$$

$$L_{\max} = 4,76 \text{ m} < \frac{\pi}{2} \cdot L_e = 7,47 \text{ m} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

$L_{\max}$  : 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).

#### **VIII-4-Evaluation des charges pour le calcul du radier :**

↪ a) Pour le Ferrailage

$$\text{➤ } \sigma_{1,2} = \frac{N}{S} \pm \frac{M_x \times V_x}{I_x}$$

$$N_{u-T} = N_u + 1,35(G_{\text{radier}} + G_{\text{nervure}})$$

$$N_{u-T} = 5171,55 + 1,35(458,39 + 83,79) = 5903,49 \text{ t}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{N_{u-T}}{S_r} = \frac{5903,49}{458,39} = 12,88 \text{ t/m}$$

$$\sigma_{\text{radier}} = \gamma_b \times h = 2,5 \times 0,4 = 1,00 \text{ t/m}^2$$

$$\rightarrow \sigma_{\max} - \sigma_{\text{radier}} = 12,88 - 1,00 = 11,88 \text{ t/m}^2$$

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

$$\mathbf{Q_u = 11,88 t/m^2}$$

↪ b) Pour la vérification :

$$\text{➤ } \sigma_{1,2} = \frac{N}{S} \pm \frac{M_x \times V_x}{I_x}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{N_{\text{ser}}}{S_r} = \frac{3781,26}{458,39} = 8,24 \text{ t/m}$$

$$\sigma_{\text{radier}} = \gamma_b \times h = 2,5 \times 0,4 = 1,00 \text{ t/m}^2$$

$$\rightarrow \sigma_{\max} - \sigma_{\text{radier}} = 8,24 - 1,00 = 7,24 \text{ t/m}^2$$

$$\mathbf{Q_{\text{ser}} = 7,24 t/m^2}$$

**VIII-5-Ferraillage du radier :**

**VIII-5-1-1-Ferraillage 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 ferraillage des dalles on a deux cas :

1.1-1<sup>ère</sup> cas :

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

1. a-Les moments sont données par :

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

1. b-Moment en travée :

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

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

1. c-Moment sur appuis :

$$M_a = 0,4 M_o \dots \dots \dots \text{appuis de rive.}$$

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

1.2-2<sup>ème</sup> 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)

1.3-Exemple de calcul :

$$\alpha = L_x/L_y = 3,68/4,05 = 0,92 > 0,4$$

La dalle porte dans les deux sens.

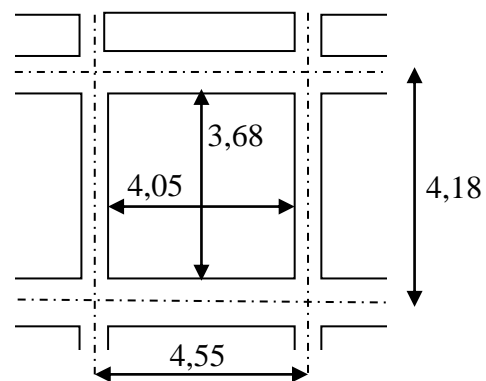
$$\alpha = 0,92 \Rightarrow \mu_x = 0,0437 ; \mu_y = 0,8251.$$

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

$$M_{0x} = 0,0437 \times 11,88 \times (3,68)^2 = 7,03 \text{ t.m}$$

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

$$M_{0y} = 0,8251 \times 7,03 = 5,80 \text{ t.m}$$



**Figure-VIII-2-Schéma du panneau le plus défavorable**

3.1-En travée :1. a-Sens x (inter):

$$M_{tx} = 0,75M_{ox} = 0,75 \times 7,03 = 5,27 \text{ t.m}$$

$$\mu = \frac{M_{tx}}{bd^2 \cdot f_{bc}} = \frac{5,27 \cdot 10^4}{100(36)^2 \cdot 14,17} = 0,028 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow A' = 0$$

$$\cdot \mu_1 = 0,028 \rightarrow \beta = 0,986$$

$$A = \frac{M}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{5,27 \cdot 10^4}{0,986 \cdot 36 \cdot 348} = 4,26 \text{ cm}^2.$$

On adopte : 6T12 / ml, A = 6,79 cm<sup>2</sup>/ml, S<sub>t</sub> = 16 cm

1. b-Sens-y:( rive )

$$M_{ty} = 0,85M_{oy} = 0,75 \times 5,80 = 4,35 \text{ t.m}$$

$$\mu = \frac{M_{ty}}{bd^2 \cdot f_{bc}} = \frac{4,35 \cdot 10^4}{100(36)^2 \cdot 14,17} = 0,024 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow A' = 0$$

$$\cdot \mu_1 = 0,024 \rightarrow \beta = 0,988$$

$$A = \frac{M}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{4,35 \cdot 10^3}{0,988 \cdot 36 \cdot 348} = 3,51 \text{ cm}^2.$$

On adopte : 6T12 / ml, A = 6,79 cm<sup>2</sup>/ml, S<sub>t</sub> = 16 cm

4.1-Vérification des contraintes à l'E.L.S:**En travée (dans les deux sens):**

↳ **a) Détermination de la position de l'axe neutre:**

$$by^2/2 - 15As(d - y) = 0 ; As = 6,79 \text{ cm}^2 ; M=6,22 \text{ KN.m}$$

$$50y^2 + 101,85y - 3666,6 = 0 \Rightarrow y = 7,60 \text{ cm}$$

↳ **b) Détermination du moment d'inertie:**

$$I = \frac{b}{3} y_1^3 + \eta As(d - y_1)^2 = \frac{100(7,60)^3}{3} + 15 \times 6,79(36 - 7,6)^2$$

$$I = 96780,67 \text{ cm}^4$$

↳ **c) Détermination de contrainte dans le béton comprimé  $\sigma_{bc}$  :**

$$\sigma_b = \frac{M_{ser}}{I} y_1 = \frac{6,22 \times 10^4}{96780,67} \times 7,60 = 4,88 \text{ MPa}$$

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

$$\sigma_{bc} = 4,887 \text{ MPa} < \overline{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{condition..vérifiée}$$

↳ **d) Détermination des contraintes dans l'acier tendue  $\sigma_{st}$  :**

Pour une fissuration préjudiciable, on a:

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

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

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

$$\sigma_{st} = \eta \frac{M_{ser}}{I} (d - y_1) = 15 \times \frac{6,22 \times 10^4}{96780,67} (36 - 7,6) = 273,79 \text{MPa}$$

$$\sigma_{st} = 273,79 \text{MPa} < \overline{\sigma}_{st} = 202 \text{MPa} \dots \dots \dots \text{condition non vérifiée.}$$

Donc on doit augmenter la section d'armatures tractées

Soit : **6T16 / ml** , **A = 12,06 cm<sup>2</sup>/ml** , **S<sub>t</sub> = 16cm**

Ce qu'il donne :

$$y_1 = 9,75 \text{cm}$$

$$I = 1155546,72 \text{cm}^4$$

$$\sigma_{bc} = 3,90 \text{MPa} < \overline{\sigma}_{bc} = 15 \text{MPa} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée}$$

$$\sigma_{st} = 157,45 \text{MPa} < \overline{\sigma}_{st} = 202 \text{MPa} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

3.2-En appuis :

2. a-Sens x :

$$M_{ax} = 0,5M_{ox} = 0,5 \times 11,56 = 5,78 \text{ t.m}$$

$$\mu = \frac{M_{ty}}{bd^2 \cdot f_{bc}} = \frac{5,78 \cdot 10^4}{100(36)^2 \cdot 14,17} = 0,031 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow A' = 0$$

$$\cdot \mu_1 = 0,031 \rightarrow \beta = 0,985$$

$$A = \frac{M}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{5,78 \cdot 10^4}{0,985 \cdot 36 \cdot 348} = 4,68 \text{cm}^2.$$

On adopte : **6T12 / ml** , **A<sub>s</sub> = 6,79 cm<sup>2</sup>/ml** , **S<sub>t</sub> = 20 cm**

2. b-Sens-y :

$$M_{ay} = 0,5M_{oy} = 0,5 \times 9,53 = 4,77 \text{ t.m}$$

$$\mu = \frac{M_{ty}}{bd^2 \cdot f_{bc}} = \frac{4,77 \cdot 10^4}{100(36)^2 \cdot 14,17} = 0,026 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow A' = 0$$

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

$$A = \frac{M}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{4,77 \cdot 10^4}{0,987 \cdot 36 \cdot 348} = 3,85 \text{cm}^2.$$

On adopte **6T12 / ml** , **A = 6,79 cm<sup>2</sup>/ml** , **S<sub>t</sub> = 20cm**

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

#### **4.1-Vérification des contraintes à l'E.L.S:**

**En appuis (dans les deux sens):**

↳ a) **Détermination de la position de l'axe neutre:**

$$by^2/2 - 15As(d-y) = 0 ; As = 6,79\text{cm}^2 ; M=4,15 \text{ KN.m}$$

$$50y^2 + 70,65y - 2543,4 = 0 \Rightarrow y = 6,46\text{cm}$$

↳ b) **Détermination du moment d'inertie:**

$$I = \frac{b}{3} y_1^3 + \eta As(d - y_1)^2 = \frac{100(6,46)^3}{3} + 15 \times 6,79(36 - 6,46)^2$$

$$I = 70636,21\text{cm}^4$$

↳ c) **Détermination de contrainte dans le béton comprimé  $\sigma_{bc}$  :**

$$\sigma_b = \frac{M_{ser}}{I} y_1 = \frac{4,15 \times 10^4}{70636,21} \times 6,46 = 3,80 \text{ MPa}$$

$$\overline{\sigma}_{bc} = 0,6.f_c28 = 15\text{MPa}$$

$$\sigma_{bc} = 3,80 \text{ MPa} < \overline{\sigma}_{bc} = 15\text{MPa} \dots \dots \dots \text{condition..vérifiée}$$

↳ d) **Détermination des contraintes dans l'acier tendue  $\sigma_{st}$  :**

Pour une fissuration préjudiciable, on a:

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

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

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

$$\sigma_{st} = \eta \frac{M_{ser}}{I} (d - y_1) = 15 \times \frac{4,15 \times 10^4}{70636,21} (36 - 6,46) = 260,34\text{MPa}$$

$$\sigma_{st} = 260,34\text{MPa} < \overline{\sigma}_{st} = 202\text{MPa} \dots \dots \dots \text{condition non vérifiée.}$$

Donc on doit augmenter la section d'armatures tractées

Soit : **6T14 / ml** , **A = 9,24 cm<sup>2</sup>/ml** , **S<sub>t</sub> = 16cm**

Ce qu'il donne :

$$y_1 = 8,70\text{cm}$$

$$I = 125247,29\text{cm}^4$$

$$\sigma_{bc} = 2,88 \text{ MPa} < \overline{\sigma}_{bc} = 15\text{MPa} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée}$$

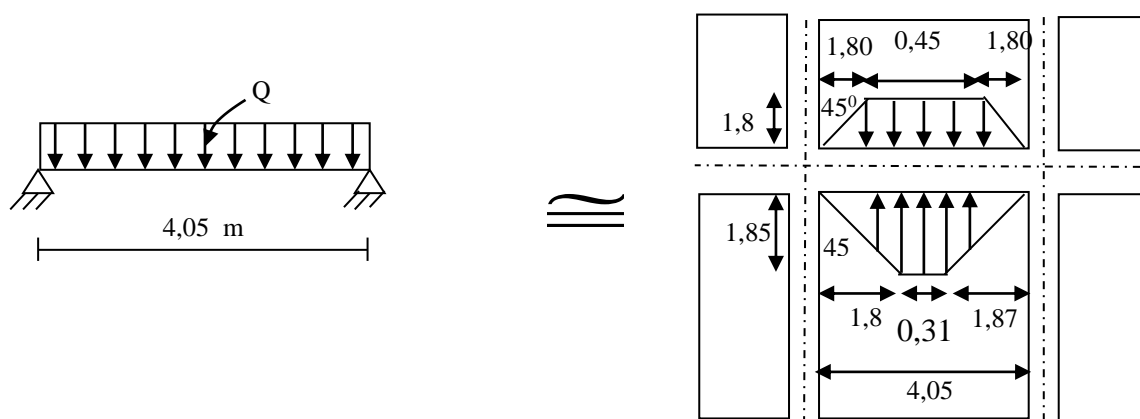
$$\sigma_{st} = 135,68\text{MPa} < \overline{\sigma}_{st} = 202\text{MPa} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$



**VIII-6-Ferraillage 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 ferraillage on prend le cas le plus défavorable dans chaque sens et on considère des travées isostatiques.

↳ a) Sens longitudinal (y) :



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

1.1-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 :  $Lx_1 = 3,58$  m

$Ly_1 = 4,05$  m

$Lx_2 = 3,68$  m

$Q = 11,88$  t/m<sup>2</sup>

Donc :

$$Q' = \frac{11,88}{2} \left[ \left( 1 - \frac{3,58^2}{3 \times 4,05^2} \right) . 3,60 + \left( 1 - \frac{3,68^2}{3 \times 4,05^2} \right) . 3,68 \right] = 31,60 \text{ t/m}$$

$$M_0 = \frac{Q'.L^2}{8} = \frac{31,60 \times 4,05^2}{8} = 64,78 \text{ t.m}$$

1.2- Calcul du ferrailage :2. a-En travée :

$$M_t = 0,75M_o = 0,75.64,78 = 48,59 \text{ t.m}, \quad b = 50 \text{ cm}, \quad h = 78 \text{ cm}, \quad d = 70 \text{ cm}$$

$$\mu = \frac{M_t}{b.d^2.\sigma_{bc}} = \frac{48,59.10^4}{50.(72)^2.14,17} = 0,14 < \mu_1 = 0,392 \rightarrow A' = 0$$

$$\beta = 0,924$$

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

$$A_1 = 48,59.10^4 / 348.0,924.72 = 20,58 \text{ cm}^2$$

$$\text{on adopte: } \begin{cases} 1^{\text{ere}} \text{ lit 4T20} \\ 2^{\text{eme}} \text{ lit 4T16} \end{cases} ; A = 20,61 \text{ cm}^2$$

2. b- En appuis :b. a-Appuis intermédiaires :

$$M_a = 0,5M_o = 0,5.64,78 = 32,39 \text{ m}$$

$$\mu = 0,182 < \mu_1 = 0,954 \Rightarrow (A' = 0)$$

$$\mu = 0,182 \rightarrow \beta = 0,899$$

$$A_s = 13,55 \text{ cm}^2$$

On adopte : (4T16) Fil + (4T14) chap. ; A = 14,2 cm<sup>2</sup>.

b. b-Appuis de rive :

$$M_a = 0,4.M_o = 0,4.102,57 = 41,03 \text{ t.m}$$

$$\mu = 0,09 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow (A' = 0)$$

$$\mu = 0,146 \rightarrow \beta = 0,953$$

$$A_s = 14,96 \text{ cm}^2$$

On adopte : (4T16) Fil + (4T16) chap. ; A = 16,08 cm<sup>2</sup>.

2.1- Contrainte de cisaillement :

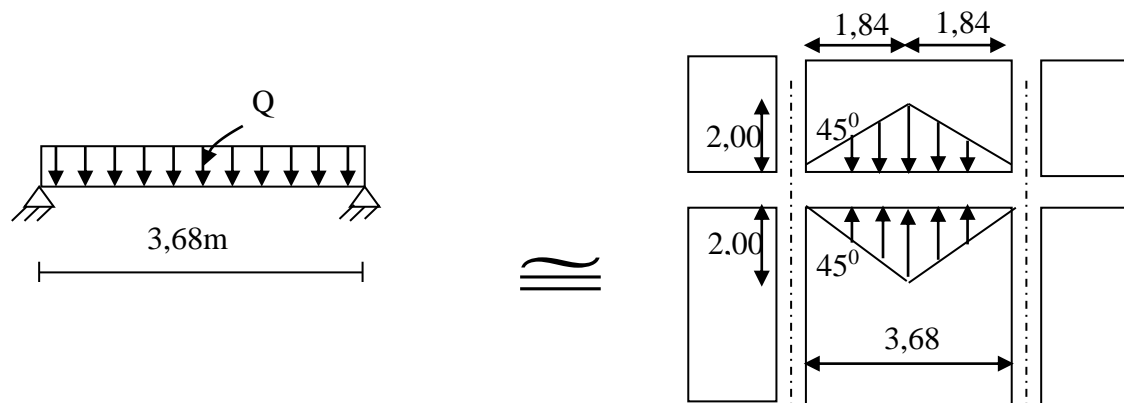
$$T_{\max} = \frac{q.l}{2} = \frac{11,88 \times 4,06}{2} = 24,12 \text{ t}$$

$$\tau_u = \frac{T_{\max}}{b.d} = \frac{24,12}{0,50.0,70 \cdot 100} = 0,69 \text{ MPa.}$$

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

$$\tau_u = 0,69 \text{ MPa} < \bar{\tau}_u = 2,50 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

↳ b) Sens transversal(x) :



**Figure-VIII-4**-Répartition des charges sur les poutres selon Les lignes de rupture.

2.1-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 :  $Q = 11,88 \text{ t/m}^2$

$Lx_1 = 3,68 \text{ m}$

$$Q' = \frac{2}{3} \times 11,88 \times 3,68 = 29,15 \text{ t/m}$$

$$M_o = \frac{Q' \cdot L^2}{8} = \frac{29,15 \times 3,68^2}{8} = 49,35 \text{ t.m}$$

2.2- Calcul du ferrailage :

2. a-En travée :

$$M_t = 0,75M_o = 0,75 \cdot 49,35 = 37,01 \text{ t.m}, \quad b = 50 \text{ cm}, \quad h = 78 \text{ cm}, \quad d = 0,9 \cdot h = 70 \text{ cm}$$

$$\mu = \frac{M_t}{b \cdot d^2 \cdot \sigma_{bc}} = \frac{37,01 \cdot 10^4}{50 \cdot (70)^2 \cdot 14,17} = 0,11 < \mu_1 = 0,392 \rightarrow A' = 0$$

$$\mu = 0,11 \rightarrow \beta = 0,942$$

$$A = \frac{M}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{37,01 \cdot 10^4}{0,942 \cdot (70) \cdot 348} = 16,12 \text{ cm}^2.$$

on adopte:  $\begin{cases} 1^{\text{ere}} \text{ lit } 4T20 \\ 2^{\text{eme}} \text{ lit } 4T14 \end{cases}; A = 18,73 \text{ cm}^2$

2. b- En appuis :

b. a- Appuis intermédiaires :

$$M_a = 0,5M_o = 0,5.49,35 = 24,68 \text{ t.m}$$

$$\mu = 0,070 < \mu_l = 0,392 \Rightarrow (A'=0)$$

$$\mu = 0,070 \rightarrow \beta = 0,964$$

$$A_s = 10,50 \text{ cm}^2$$

(4T16) Fil + (4T14) chap. ;  $A = 14,20 \text{ cm}^2$ .

#### b. b-Appuis de rive :

$$M_a = 0,4.M_o = 0,4.49,35 = 19,74 \text{ t.m}$$

$$\mu = 0,056 < \mu_l = 0,392 \Rightarrow (A'=0)$$

$$\mu = 0,056 \rightarrow \beta = 0,971$$

$$A_s = 8,34 \text{ cm}^2$$

On adopte : (4T14) Fil + (4T14) chap. ;  $A = 12,32 \text{ cm}^2$ .

#### Armature de peau :

Selon le BAEL 91 la hauteur de l'âme de la poutre :  $h_a \geq 2(85 - 0,1 fe) = 85 \text{ cm}$ .

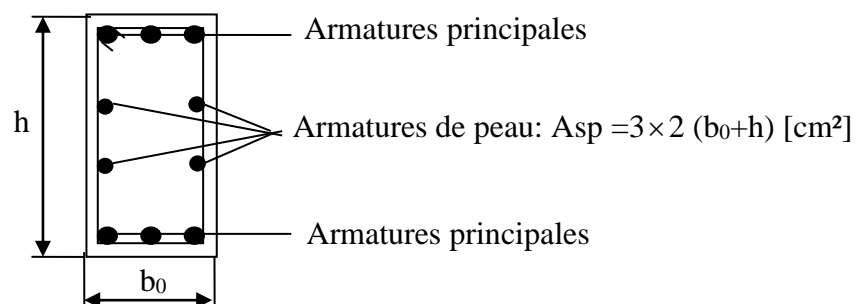
Dans notre cas  $h_a = 80 \text{ cm}$  (vérifiée), donc notre poutre est de grande hauteur, dans ce cas il devient nécessaire d'ajouter des armatures supplémentaires sur les parois de la poutre (armatures de peau). En effet, les armatures déterminées par le calcul et placées à la partie inférieure de 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  $3 \text{ cm}^2$  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  $(h \times b_o) = (0,85 \times 0,50) \text{ m}^2$ , on a :

$$A_{sp} = 3 \times 2 (b_o + h) [\text{cm}^2]$$

$$A_{sp} = 3 \times 2 (0,50 + 0,80) = 7,8 \text{ cm}^2$$

On adopte **6T14 Fil**;  $A = 9,24$



**Figure.9.2- Représente les armatures de peau.**

2.1. Contrainte de cisaillement :

$$T_{\max} = \frac{q.l}{2} = \frac{29,15 \times 3,68}{2} = 53,64 \text{ t}$$

$$\tau_u = \frac{T_{\max}}{b.d} = \frac{53,64}{0,50 \cdot 0,70 \cdot 100} = 1,53 \text{ MPa.}$$

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

$$\tau_u = 1,53 \text{ MPa} < \bar{\tau}_u = 2,50 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

Armatures transversales :

Diamètre:  $\varphi_t \leq \min(h/35; \varphi_1; b/10) = \min(22,29 \text{ mm}; 12 \text{ mm}; 50 \text{ mm}) = 12 \text{ mm}$   
on prend  $\varphi_t = 10 \text{ mm}$

Espacement :

$$S_t = \min\left(\frac{h}{4}, 12\varphi_1\right) = \min(19,5 \text{ cm}; 12 \text{ cm}) = 12 \text{ cm}$$

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

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

$$f_e \geq \frac{50 \cdot (1,31 - 0,3 \times 2,1) 15}{0,8 \times 4,71} = 135,35 \text{ MPa.}$$

Donc on utilise des armatures HA, Fe400, soit 6T10,  $A=4,71 \text{ cm}^2$ .

$$\frac{A_t \cdot f_e}{b_0 \cdot S_t} \geq \max(\tau_u/2; 0,4 \text{ MPa}) = \max(0,65; 0,4 \text{ MPa}) = 0,4 \text{ MPa}$$

$$\frac{4,71 \cdot 400}{50 \cdot 15} = 2,51 > 0,65 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

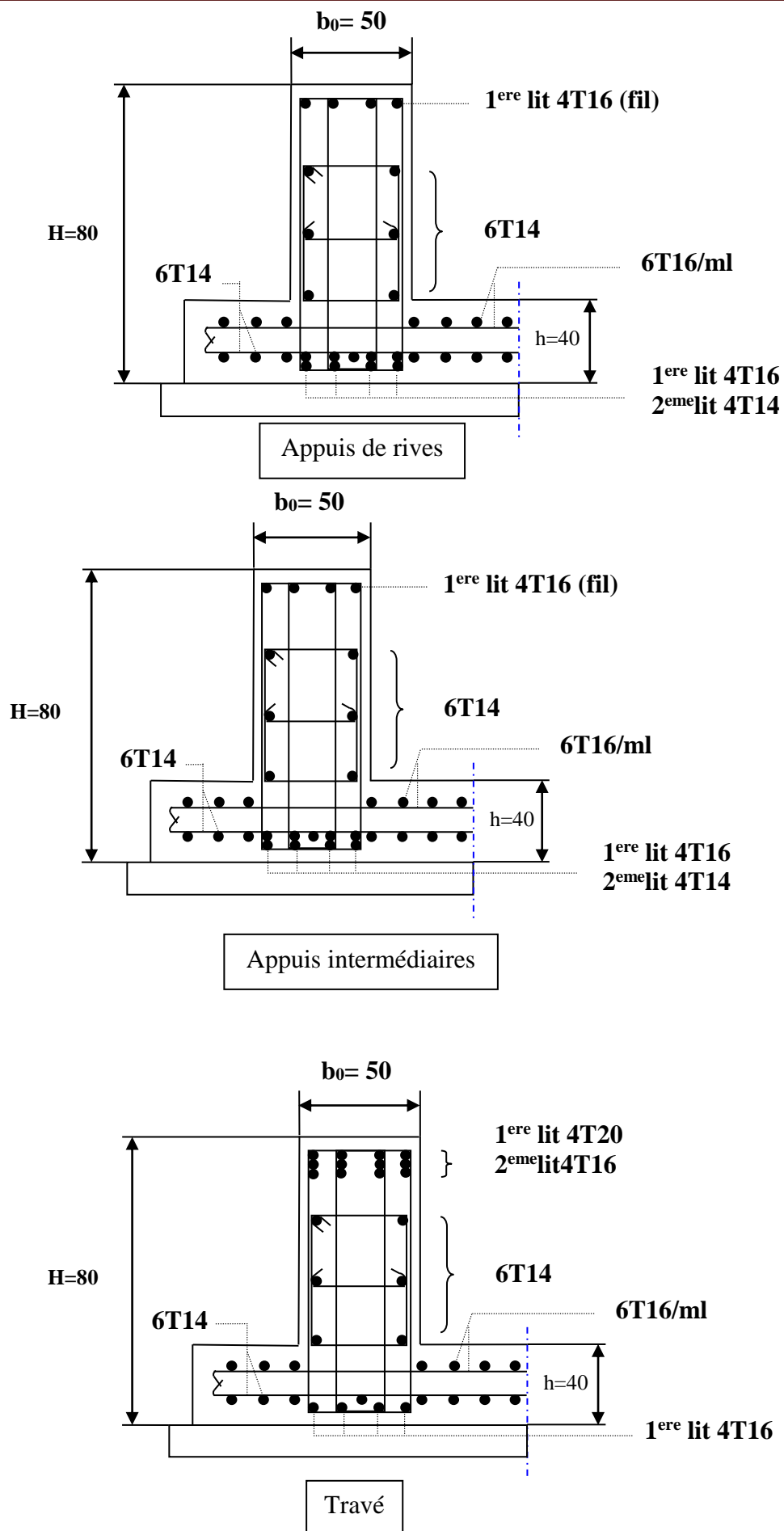


Figure-VIII-5-Ferrailage du radier et poutre de libage