# VIII.I INTRODUCTION

L'infrastructure doit constituer un ensemble rigide capable de remplir la fonction suivante :

Réaliser l'encastrement de la structure dans le terrain

Assurer la liaison avec le sol et réparti les efforts.

Jouer un rôle d'appuis

Limiter les tassements différentiels a une valeur acceptable.

# VIII.II Etude de voile périphérique

## Voile périphérique :

Un voile périphérique est prévu entre la fondation et le niveau du plancher RDC

D'après le RPA 99/V2003, le voile périphérique doit avoir caractéristiques minimales ci – dessous

L'épaisseur de voile doit être supérieure ou égale à 25 cm

Les armatures sont constituées de deux nappes .le pourcentage minimal et de 0.10% dans les deux sens (horizontal et verticale).

***Dimensionnement :***

On adopte une épaisseur de 25 cm

***Ferraillage :***

## a)Calcule des armatures longitudinales :

Les armatures longitudinales supérieures et inférieures ont une section

$A_L \geq$ 0.10% dans les deux sens de la section transversale du béton avec un recouvrement de 40Ø pour le renforcement des angles

$$A_L = \frac{0,10 \times b \times h}{100} = \frac{0,10 \times 25 \times 100}{100} \Rightarrow A_L = 2.5\ cm^2/ml$$

On adoptera 5T8 /ml/face.

On prend comme espacement : St = 20 cm

Le voile périphérique est sollicité en flexion semple

hvp =4,08 m hauteur de sous-sol.

Ø=30° l'angle de frottement de remblai

$\gamma_d = 1,8 t/m^2$ : Poids spécifique du remblai

On a :

$p = \frac{p_{i\times}h}{2}$

$k_0$ : Coefficient de poussée (surface horizontale).

$k_0 = tg^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \Rightarrow k_0 = 0{,}33$

$p_i = \gamma_d . h . k_0 \Rightarrow p_i = 2{,}42\ t/m$

Donc :

p=1,5× h/2 =3,06 t.

## b) Calcul de ferraillage vertical :

Le ferraillage du voile périphérique se fera en fissuration très préjudiciable

## Calcul à l'ELS

$M_{ser} = 62154{,}07\ t.m = 6{,}21\ MN.m$

$\sigma_{bc} = 0{,}6 f_{c28} = 0{,}6 \times 25 = 15$Mpa

$\bar{\sigma}_{st} = \mathrm{Min}(0{,}5 \times f_e\ ;90 \times \sqrt{\eta \times f_{tj}})$

avec $f_e$=400 Mpa ;$f_{tj}$=2,1Mpa ; η=1,6 (Acier à haute adhérence HA)

$\sigma_{st} = 164{,}972 Mpa$

$X = \frac{n \times \bar{\sigma}_{bc} \times d}{n \times \bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} \Rightarrow X = \frac{15 \times 15 \times 0{,}22}{15 \times 15 \times 164{,}97} = 0{,}115m$

Avec n=15 ; d=0,9h=0 ,22cm

$\overline{M_1} = \left(\frac{b \times \overline{\sigma_{bc}} \times X}{2}\right)\left(d - \frac{X}{3}\right) = 0{,}07$MN.m

$M_{ser} = 6{,}21 MN.m$

$A_s = \frac{M_{ser}}{z \times \bar{\sigma}_{st}} = 5{,}65 cm^2$

Avec :

$z = d - \frac{X}{3} = 0{,}181 m^2$

$A_s = \frac{6{,}21 \times 10^{-3}}{0{,}181 \times 164{,}972} = 5{,}65 cm^2$

## Condition non fragilité :

$$A_{smin} = 0{,}23 \times 1 \times 0{,}9 \times 0{,}15\frac{2{,}1}{400} = 1{,}63cm^2/ml.$$

### Condition exigées le RPA99/version2003 :

Le RPA /V2003 préconise un pourcentage minimum de 0.1% de la section dans les deux sens et sera disposé en deux nappes.

$$A_L=0{,}1\%\times100\times20=1{,}5cm^2$$

$$A_t=0{,}1\%\times100\times20=1{,}5cm^2$$

On prend : 5T8/ ml (2,51cm²) avec St=20cm

## c)Calcule du ferraillage horizontal :

On prendra la portée maximale entre les voiles qui sont perpendiculaire au voile périphérique donc L=5,10 m

$$P_{moy}=\frac{P_{max+}P_{min}}{2}=\frac{2{,}42+0}{2}=1{,}211 \text{ t/ml.}$$

On prend : $M_t=0{,}75M_0$ ;$M_e=M_w=0{,}5M_0$

Vérification :

On doit vérifier :

$$\frac{M_t+M_e+M_w}{2}\geq1{,}25M_0$$ (Selon le **BAEL91**)

$$M_0\left(0{,}75+\frac{0{,}5+0{,}5}{2}\right)=1{,}25M_0$$

$1{,}25M_0=1{,}25M_0$ donc es vérifiée

$$M_0=\frac{P_{moy}\times L}{8}=\frac{1{,}211\times5{,}10^2}{8}=3{,}94\text{t.m}$$

$M_t=2{,}95$t.m

$M_a=1{,}97$t.m

En travée

X=0,115m et Z=0,181m

$$A_s=\frac{M_t}{Z\times\overline{\sigma}_{st}}=\frac{29{,}5\times10}{0{,}181\times164{,}972}=9{,}88cm^2$$

$A_s$=(9,88cm²) on prend : 7HA14 (10,79cm²)

***Sur appui :***

$X$=0,115m et $Z$=0,181m

$$A_s=\frac{M_a}{Z\times\bar{\sigma}_{st}}=\frac{19{,}7\times10}{0{,}181\times164{,}972}=6{,}60cm^2$$

$A_s = (6{,}60cm^2\ )/\text{"}ml\text{"}\ on\ prend: 7HA14\ (7{,}7cm^2)$

# VIII.III Etude de fondation

## 1) Introduction

Les fondations sont des éléments qui sont directement en contact avec le sol, elles assurent ainsi la transmission des charges de la superstructure à ce dernier. En cas de séisme, les fondations se déplacent en même temps que le sol.

Le choix du type de fondation est en fonction de plusieurs paramètres qui sont :

- Le type de structure
- Les caractéristiques du sol
- L'aspect économique
- La facilité de réalisation

Choix du type de fondation :

Avec un taux de travail admissible du sol d'assise égale à 1,8 bar, il y a lieu de projet à priori des fondations superficielles du type :

- Semelles filantes
- Radier évidé
- Radier général

Nous proposons en premier lieu des semelles filantes. Pour cela, nous allons procéder à une petite vérification tel que :

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

(Ss/Sb< 50%)

## 2) La surfaces de la semelle est donnée par :

$$\boldsymbol{S_s}=\frac{N}{\bar{\sigma}_{sol}}$$

Avec :$N$=$N_G$+ $N_Q$

$$\bar{\sigma}_{sol} = \mathbf{1{,}8\ bars = 18t/m^2}$$

Calcule des surfaces revenant aux semelles :

Les surfaces des semelles et les charges appropries sont représentées sur les tableaux suivants :

Sens longitudinal

| Fille | $N_G$+ $N_Q$ (t) | $\overline{\sigma}_{sol}$ (t/m²) | $S_s$ (m²) |
|---|---|---|---|
| A | 1041 ,86 | 18 | 57,88 |
| B | 1828,53 | 18 | 101,58 |
| C | 1163,15 | 18 | 64,62 |
| D | 1208 ,84 | 18 | 67,15 |
| E | 739,93 | 18 | 41,12 |
| F | 355,65 | 18 | 19,75 |
| ∑=352,108 | | | |

***Tableau VIII. 1 vérification de chevauchement***

Surface totales des semelles= 352,108m²

Surface totales du bâtiment= 381,11m²

Vérification

$$\frac{Ss}{sb}=\frac{352,108}{381,11}=92,39\%>50\%$$

Alors on déduit que la surface totale des semelles dépasse 50% de la surface d'emprise du bâtiment ce qui induit un chevauchement des semelles. Ceci qui nous amène à envisager un radier général comme fondation présente plusieurs avantages qui sont :

L'augmentation de la surface de la semelle (fondation) qui minimise la forte pression apporté par la structure.

La réduction des tassements différentiels.

Néglige les irrégularités ou l'hétérogène du sol.

La facilité de l'exécution.

## VIII.IV Etude du radier

**Pré dimensionnement :**

### Epaisseur du radier :

L'épaisseur ($h_r$) du radier doit satisfaire les conditions suivantes :

**Condition forfaitaire**

$$\begin{cases} \frac{L}{25} \leq d \leq \frac{L}{20} \Rightarrow 20{,}4cm \leq d \leq 25{,}5cm \Rightarrow \begin{cases} d=25{,}5 \\ h=d+c=25{,}5+5=30{,}5cm \end{cases} \\ L=5{,}10m \end{cases}$$

***Condition de cisaillement*** :

D'après le **BAEL91/**

Vu : valeur calcul de l'effort de tranchant à **ELU**

B : désigne la largeur.

$$\tau_u = \frac{v_u}{b \times d} \leq \bar{\tau} = \frac{0{,}07 f_{c28}}{\gamma_b}$$

Avec :

$$v_u = \frac{q_u \times L_{max}}{2} = \frac{N_u}{s} \times \frac{L_{max}}{2}$$

$$\Rightarrow \tau_u = \frac{N_u}{s} \times \frac{L_{max}}{2} \times \frac{1}{b \times 0{,}9h} \leq \bar{\tau} = \frac{0{,}07 f_{c28}}{\gamma_b}$$

$$\Rightarrow h = \frac{N_u \times L_{max} \times \gamma_b}{0{,}9 \times 2S \times 0{,}07 f_{c28}} = \frac{84714{,}64 \times 5{,}1 \times 1{,}15}{0{,}9 \times 2 \times 381{,}11 \times 0{,}07 \times 25} = 41{,}38cm$$

On prend h=50cm

Et de ce fait, la surface du radier est Sr=381,11m²

***Choix final :***

L'épaisseur qui satisfait aux trois conditions citées ci-avant nous amène à choisir une hauteur totale du radier égal à 50cm (hr=50cm).

Calcule du D (débordement)

$$D \geq Max\left(\frac{h_r}{2}; 30cm\right) \Rightarrow D \geq Max(25; 30cm) \Rightarrow D \geq 30cm$$

Soit $D = 50cm$

Alors la surface du radier est Sr=429,94cm²

***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 :

$$\begin{cases} \frac{L}{9} \leq h \leq \frac{L}{6} \Rightarrow 56{,}67cm \leq h \leq 85cm \rightarrow on\ prend\ h = 80cm; d = 72cm; b = 50cm \\ \end{cases}$$

$L$: la longueur maximal d'une de libage L= $5{,}10m$

## Vérification des contraintes du sol sous la charge vertical :

La contrainte du sol sous le radier ne doit pas dépasser la contrainte admissible du sol, le calcule sera fait tenant compte du poids propre du radier et de la poutre

$$\sigma = \frac{N_{ser}}{s_r} \leq \bar{\sigma}$$

$$G_r = \gamma_b \left[(h_r \times S_r) + (h_p \times b_p \times \sum L_i)\right] = 2{,}5[(0{,}50 \times 429{,}94)] + (0{,}8 \times 0{,}5 \times 243{,}86)$$

$$= 781{,}29t$$

$N_{ser} = 781{,}29 + 6215{,}41 = 6996{,}7t$

$\frac{N_{ser}}{S_r} = \frac{6996{,}7}{429{,}94} = \frac{16{,}27t}{m^2} \leq 18t/m^2$ condition vérifiée

La longueur élastique :

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

I : Inertie de la poutre : $I = {bh^3}/{12} = 0{,}0123$

K : coefficient de raideur du sol K=400t/m$^3$

$$L_e = \sqrt[4]{\frac{4 \times 3216419 \times 0{,}0123}{400 \times 0{,}5}} = 5{,}30m$$

$L_{max} = 5{,}1m < \frac{\pi}{2} \times L_e = 8{,}33m$ *Condition vérifiée*

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

Donc on peut considérer que le radier est infiniment rigide.

## Evaluation des charges pour calcul du radier :

$$\begin{cases} \sigma_{max} = \frac{N_{ser}}{S_r} = \frac{6996{,}7}{429{,}94} = 16{,}27t/m^2 \\ \sigma_{radier} = \gamma_b \times h = 1{,}25t/m^2 \end{cases} \Rightarrow Q = \sigma_{max} - \sigma_{radier} = 14{,}80t/m^2$$

### Vérification de radier

### 1. Vérification de l'effet de sous pression :

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

$\gamma_w$: Densité de l'eau ; Z : Hauteur de la partie immergée= 4,08m; $f_s$ : coefficient de sécurité vis-à-vis du risque de soulèvement =1,5.

$\gamma_w \times f_s \times S \times Z = 1 \times 1{,}5 \times 429{,}94 \times 4{,}08 = 2631{,}23t$

$\Rightarrow N_u \geq 2631{,}23t$

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

## 2. Vérification de l'excentricité :

Centre de gravité des masses du radier (infrastructure) : $\begin{cases} X_G = 15{,}14m \\ Y_g = 11{,}77m \end{cases}$

Centre de gravité des masses du bâti (superstructure) : $\begin{cases} X_G = 14{,}19m \\ Y_g = 11{,}35m \end{cases}$

L'excentricité : $\begin{cases} e_x = 0{,}95m \\ e_y = 0{,}42m \end{cases}$

## 3. 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 5,1m

On doit vérifier

$$\mathrm{N} \leq 0{,}045\mu_{\mathrm{x}}.\mathrm{f}_{\mathrm{c28}}.\mathrm{h}_{\mathrm{r}}$$

Avec :

$\mu_x$ : Périmètre de la surface d'impact projetée sur le plan moyen.

h : l'épaisseur du radier.

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

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

L ; b : dimensionnement de voile

$\mu_x = 2(5{,}10 + 0{,}25 + 2 \times 0{,}50) = 12{,}7m$

$0{,}045\mu_x.f_{c28}.h_r = 0{,}045 \times 12{,}7 \times 25 \times 0{,}50 = 7{,}14MN$

$N \leq 7{,}14MN$ Condition vérifiée

## 4. Vérification des contraintes du sol :

Sous les charges horizontales (forces sismiques), il y a naissance d'un moment de renversement. Les extrémités du radier doivent être vérifiées dans les deux sens transversal et longitudinal sous les combinaisons suivantes :

- (G+Q+E) pour les contrainte maximales de compression.
- (0,8G+E) pour vérifier le non soulèvement des fondations

Les contrainte sous le radier sont données par :

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{S_r} \pm \frac{M}{I} y \leq 1{,}5\overline{\sigma}_s$$

## a)Vérification au non soulèvement des fondations (0,8G+E)

| | Sens X-X | Sens Y-Y |
|---|---|---|
| **Centre de gravité (m)** | 15,14 | 11,77 |
| **Moments d'inertie** | 8819,46 | 29469,02 |
| **Moment (t.m)** | 9543 ,793 | 8108,848 |
| **Effort normal (t)** | 45421,02 | 45421,02 |
| **Surfaces de radier** | 429,94 | 429,94 |

***Tableau VIII. 2 : Vérification au non soulèvement des fondations (0,8G+E)***

*Sens X-X*

$$\Rightarrow \begin{cases} \sigma_1 = \dfrac{4521{,}02}{429{,}94} + \dfrac{9543{,}793}{8819{,}46} \times 15{,}14 = 26{,}90\text{t/m}^2 \\ \sigma_2 = \dfrac{4521{,}02}{429{,}94} - \dfrac{9543{,}793}{8819{,}46} \times 15{,}14 = -5{,}82\text{t/m}^2 \end{cases}$$

$$\sigma_m = \frac{3\sigma_1 + \sigma_2}{4} = 18{,}72\text{t/m}^2$$

*Sens Y-Y*

$$\Rightarrow \begin{cases} \sigma_1 = \dfrac{4521{,}02}{429{,}94} + \dfrac{8108{,}848}{29469{,}02} \times 11{,}77 = 13{,}75\text{t/m}^2 \\ \sigma_2 = \dfrac{4521{,}02}{429{,}94} - \dfrac{8108{,}848}{29469{,}02} \times 11{,}77 = 7{,}28\text{t/m}^2 \end{cases}$$

$$\sigma_m = \frac{3\sigma_1 + \sigma_2}{4} = 12{,}13\text{t/m}^2$$

**Vérification compressions (G+Q+E)**

| | *Sens X-X* | *Sens Y-Y* |
|---|---|---|
| Centre de gravité (m) | 15,14 | 11,77 |
| Moments d'inertie | 8819,46 | 29469,02 |
| Moment (t.m) | 9543 ,793 | 8108,848 |
| Effort normal (t) | 6215,406 | 6215,406 |
| Surfaces de radier | 429,94 | 429,94 |

***Tableau 3 :* Vérification compressions (G+Q+E)**

***Sens X-X***

$$\Rightarrow \begin{cases} \sigma_1 = \dfrac{6215{,}406}{429{,}94} + \dfrac{9543{,}793}{8819{,}46} \times 15{,}14 = 30{,}84 t/m^2 \\ \sigma_2 = \dfrac{6215{,}406}{429{,}94} - \dfrac{9543{,}793}{8819{,}46} \times 15{,}14 = -1{,}93 t/m^2 \end{cases}$$

$$\sigma_m = \frac{3\sigma_1 + \sigma_2}{4} = 22{,}65 t/m^2$$

***Sens Y-Y***

$$\Rightarrow \begin{cases} \sigma_1 = \dfrac{6215{,}406}{429{,}94} + \dfrac{8108{,}848}{29469{,}02} \times 11{,}77 = 17{,}70 t/m^2 \\ \sigma_2 = \dfrac{6215{,}406}{429{,}94} - \dfrac{8108{,}848}{29469{,}02} \times 11{,}77 = 11{,}22 t/m^2 \end{cases}$$

$$\sigma_m = \frac{3\sigma_1 + \sigma_2}{4} = 16{,}08 t/m^2$$

Les contraintes maximales et minimales vérifiées pour les deux sens transversal et longitudinal.

## Ferraillage du radier :

Le radier sera calculé comme un plancher renversé appuis sur les voiles longitudinaux et les panneaux seront calculés dans ce dernier.

Les panneaux seront calculés comme des dalles appuyées sur quatre appuis, pour cela on utilise la méthode de PIGAUD pour déterminer les moments unitaires µx et µy qui dépendent du rapport (a=Lx/Ly) et du coefficient de POISSON (v ). Pour cela on doit choisir deux panneaux de radier sont plus solliciter.

*E.L.U V=0*

*E.L.S V=0 ,2*

Si : $\alpha$<0,4 dalle portant dans un seul sens.

Si : $\alpha$>0,4 dalle portant dans les deux sens.

***Si : $\alpha$>0,4***

$M_x = \mu_x q {L_x}^2$

$M_y = \mu_y q M_x$

Si : $\alpha$<0,4

$M_x = qL_x{}^2/8$

$M_y = 0$

Les moments sur appuis et en travées doivent respecter l'inégalité suivante :

$$M_t + \frac{(M_w + M_e)}{2} \geq 1{,}25M_0$$

Pour tenir compte de la continuité, on a procédé à la ventilation des moments sur appui et en travée.

Pour les panneaux intermédiaires :

Moments sur appuis $M_e = M_w = 0{,}5M_0$

Moments en travée $M_t = 0{,}75M_0$

Les panneaux constituant le radier sont uniformément charges. A cet effet, les contraintes prises en considération dans la suite des calculs sont :

**<u>ELU et ELS</u>**

$$q_{ser} = \frac{N_{ser}}{S_r} = \frac{6996{,}7}{429{,}94} = 16{,}27t/m^2$$

$$q_u = \frac{N_u}{S_r} = \frac{8471{,}464}{429{,}94} = 19{,}27t/m^2$$

Nous avons utilisé pour le ferraillage des panneaux, la méthode proposée par le règlement BAEL91 .la fissuration et considère comme préjudiciable, vu que le radier peut être alternativement noyé et immergé en eau douce (art.A.5.33.BAEL91).

Identification des panneaux des dalles :

***<u>Tableau 4 Tableau donnant les valeurs $\alpha$</u>***

| ***Panneaux*** | ***D1*** | ***D2*** |
|---|---|---|
| ***Ly (m)*** | 5,10 | 5,10 |
| ***Lx (m)*** | 4,43 | 3,80 |
| $\alpha$***=Lx/Ly*** | 0,87 | 0,84 |
| ***Observation*** | $0{,}4<\alpha<1$<br>(2 sens) | $0{,}4<\alpha<1$<br>(2 sens) |

Calcule le moment en **BAEL 91(Art4, 2)**

**A l'ELU on a** $q_u$=19,70t/m.ml

| panneaux | Lx(m) | Ly (m) | $\alpha$=Lx/ly | $\mu_x$ | $\mu_y$ | $M_0y$ | $M_0x$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P1 | 4,43 | 5,10 | 0,87 | 0,0486 | 0,7244 | 13,61 | 18,78 |
| P2 | 3,80 | 5,10 | 0,74 | 0,0633 | 0,4938 | 8,89 | 18 ,01 |

***Tableau** VIII. **5 Calcul des efforts à L'ELU***

***A l'ELS on a** $q_{ser}$=16,27t/m.ml*

| panneaux | Lx | Ly | $\alpha$=Lx/ly | $\mu_x$ | $\mu_y$ | $M_0y$ | $M_0x$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P1 | 4,43 | 5,10 | 0,87 | 0,0556 | 0,8074 | 14 ,33 | 17,75 |
| P2 | 3,80 | 5,10 | 0,74 | 0,0696 | 0,6315 | 10,32 | 16,35 |

***Tableau 6 : calcul des efforts à L'ELS.***

Calcul des sections d'armature des panneaux du radier :

A l'ELU :

Le ferraillage se fera comme suit

Pour les travées $A_s = \frac{M_T}{\beta \times d \times \sigma_s}$.

pour les appuis $A_s = \frac{M_a}{\beta \times d \times \sigma_s}$.

## Sens (y-y)

En travée

| Panneaux | $M_u$ (t.m) | $\mu_{bu}$ | | Pivot | As' (cm²) | As (cm)² |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P1 | 11 ,57 | 0,040 | 0,980 | A | 0 | 7,57 |
| P2 | 6,67 | 0,024 | 0,988 | A | 0 | 4,31 |

*Sur appui*

| Panneaux | $M_u$ (t.m) | $\mu_{bu}$ | | Pivot | As' (cm²) | As (cm²) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P1 | 5,44 | 0,012 | 0,994 | A | 0 | 3,49 |
| P2 | 4,44 | 0,016 | 0,992 | A | 0 | 2,86 |

Sens (x-x)

En travée

| Panneaux | $M_u$ (t.m) | $\mu_{bu}$ | $\beta$ | Pivot | As' (cm²) | As (cm²) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P1 | 15,96 | 0,056 | 0,971 | A | 0 | 10,49 |
| P2 | 13,5 | 0,046 | 0,976 | A | 0 | 8,83 |

Sur appuis

| Panneaux | $M_u$ (t.m) | $\mu_{bu}$ | $\beta$ | Pivot | As' (cm²) | As (cm²) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P1 | 7,51 | 0,026 | 0,987 | A | 0 | 4,89 |
| P2 | 9.01 | 0,032 | 0,984 | A | 0 | 5,84 |

| | Sens X-X | | | | Sens Y-Y | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | P1 | | P2 | | P1 | | P2 | |
| | En travée | Sur appui | En travée | Sur appui | En travée | Sur appui | Sur travée | En appui |
| $A_S$ (cm²) | 10,49 | 4,89 | 8,83 | 5,84 | 7,57 | 3,49 | 4,31 | 2,86 |
| $A_{S\ min}$ cm² | 4,26 | 4 ,26 | 4,50 | 4,50 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Choix | 7T14 | 5T12 | 6T14 | 6T12 | 5T14 | 4T12 | 4T12 | 4T12 |
| $A_{S\ choix}$ (cm²) | 11 ,81 | 5,65 | 9,24 | 6,79 | 7,70 | 5T12 | 5T12 | 5T12 |
| espacement (cm) | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |

**Tableau *VIII.* 7: Ferraillage du radier à L'ELU**

A E L S

Le ferraillage se fera comme suit

Sens (y-y)

En travée

| Panneaux | $M_s$(t.m) | $\mu_{bu}$ | $\beta$ | Pivot | As' (cm²) | As (cm) ² |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P1 | 10,75 | 0,038 | 0,981 | A | 0 | 7,00 |
| P2 | 7,74 | 0,026 | 0,987 | A | 0 | 5,01 |

Sur appuis

| Panneaux | $M_s$ (t.m) | $\mu_{bu}$ | $\beta$ | Pivot | As' (cm²) | As (cm²) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P1 | 5,73 | 0,020 | 0,990 | A | 0 | 3,69 |
| P2 | 5,16 | 0,018 | 0,991 | A | 0 | 3,32 |

Sens (x-x)

En travée

| Panneaux | $M_u$ (t.m) | $\mu_{bu}$ | $\beta$ | Pivot | As' (cm²) | As (cm)² |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P1 | 15,09 | 0,052 | 0,973 | A | 0 | 9,90 |
| P2 | 12,26 | 0,042 | 0,979 | A | 0 | 8,00 |

Sur appuis

| Panneaux | $M_u$ (t.m) | $\mu_{bu}$ | $\beta$ | Pivot | As' (cm²) | As (cm²) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P1 | 7,1 | 0,024 | 0,988 | A | 0 | 5,59 |
| P2 | 8,18 | 0,028 | 0,986 | A | 0 | 5,30 |

| | Sens X-X | | | | Sens Y-Y | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | P1 | | P2 | | P1 | | P2 | |
| | En travée | Sur appui | En travée | Sur appui | En travée | Sur appui | Sur travée | En appui |
| $A_S$ cm² | 9,90 | 5,59 | 8,00 | 5,30 | 7,00 | 3,69 | 5,01 | 3,32 |
| $A_{S\ min}$cm² | 4,26 | 4 ,26 | 4,50 | 4,50 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Choix | 7T14 | 5T12 | 6T14 | 5T12 | 5T14 | 5T12 | 5T12 | 5T12 |
| $A_{S\ choix}$ cm² | 11 ,81 | 5,65 | 9,24 | 6,79 | 7,70 | 5,65 | 5,65 | 5,65 |
| espacement (cm) | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |

***Tableau VIII. 8 : Ferraillage du radier à L'ELS***

**Vérification :**

Condition non fragilité :

$A_s^y \geq A_{s\,min}^y = 8.epaisseur = 4cm^2$

$$A_s^x \geq A_{s\,min}^x = A_{s\,min}^y \frac{\left(3 - \frac{L_x}{L_y}\right)}{2}$$

D'après les tableaux qui précèdent, on remarque que la condition est vérifiée.

d) Vérification de l'espacement :

Dans le sens le plus sollicité : $\begin{cases} S_t \leq min\{3h\,;33\ cm\} \\ S_t \leq 15\ cm \end{cases}$ ; $Condition\ vérifée$

*Ferraillage de poutre de libage :*

***Ferraillage des poutres de libages :***

Le rapport $\alpha = {L_x}/{L_y}$ pour tous les panneaux constituants 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.

Sens longitudinale :

$M_t$=81,06t.m

$M_a$=49,24t.m

En travée

$$\begin{cases} \mu = \dfrac{M_t}{b \times d^2 \times f_{bc}} = \dfrac{81{,}06 \times 10^4}{50 \times 72^2 \times 14{,}2} = 0{,}242 < \mu_l = 0{,}392 \rightarrow A'_s = 0 \rightarrow \beta = 0{,}859 \\ A_s = \dfrac{M_t}{\beta \times d \times \sigma_s} = \dfrac{81{,}06 \times 10^4}{0{,}859 \times 72 \times 348} = 37{,}66\ cm^2/ml \end{cases}$$

$$On\ adopte\ : \begin{cases} 1^{ier}\ lit\ : 4T20 \\ 2^{éme}\ lit\ : 4T20 \\ 3^{éme}\ lit\ : 4T14 \\ 4^{éme}\ lit\ : 4T16 \end{cases} \rightarrow A = 45{,}72\ cm^2$$

Sur appui :

$$\begin{cases} \mu = \dfrac{M_a}{b \times d^2 \times f_{bc}} = \dfrac{49{,}24 \times 10^4}{50 \times 72^2 \times 14{,}2} = 0{,}134 < \mu_l = 0{,}392 \rightarrow A'_s = 0 \rightarrow \beta = 0{,}865 \\ A_s = \dfrac{M_t}{\beta \times d \times \sigma_s} = \dfrac{49{,}24 \times 10^4}{0{,}865 \times 72 \times 348} = 22{,}71\ cm^2/ml \end{cases}$$

On adopte

2X4T16 (fil) + 2X4T12 (chap) = 25,12

**Les armatures de peau :**

Selon le **BAEL 91** la hauteur de l'âme de la poutre : $h_a \geq 2(80 - 0{,}1f_e) = 80\ cm$

Dans notre cas ha=80 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 (0,8 x 0,3) m² on a :

$A_{sp} = 3 \times 2(b + h) = 3 \times 2(0{,}5 + 0{,}8) = 7{,}8\ cm^2$

$On\ prend\ : 4T16 = 8{,}04\ cm^2$