VIII.1-Introduction:

Les fondations d'une construction sont constituées par les parties de l'ouvrages 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 leurs 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 du sol notre terrain à une contrainte admissible de 1,5 bar à un ancrage de 2,50 m.

- Pour qu'il n'y a pas de chevauchement entre deux fondation, 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'E.L.S : $N_{ser} = G+Q$.

2- Ferraillage à l'E.L.U : $N_{ul} = 1,35\ G+ 1,5\ Q$

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 former 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.2-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 en résistant aux contraintes de sol.

VIII.2.1-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 ≅ poids total de la structure).

VIII.2.1.1-Pré dimensionnement du radier :
Poids supporté par le radier.

Superstructure G_T : la charge permanente totale.

Q_T : la charge d'exploitation totale.

$$G_T = \sum G_i = 1651{,}48\ \text{t.}$$

$$Q_t = \sum Q_i = 196{,}05\ \text{t}$$

Combinaison d'actions :

E.L.U: $N_U = 1{,}35G_T + 1{,}5Q_T = 2523{,}57$ t.

E.L.S: $N_{ser} = G_T + Q_T = 1847{,}53$ t.

Surface du radier:

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

$N = N_{ser} = 1847{,}53$ t.

$S \ge N/\sigma_{sol} = 1847{,}53/15 = 123{,}16$ m².

On prend un débord de 30 cm de chaque côté dans les deux directions ce qui nous donne une surface d'assise $S_{radier} = 393{,}21$ m².

Calcul de l'épaisseur du radier :

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

<u>1^{ere} condition :</u>

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

V_u : Effort tranchant ultime : $V_u = Q.L/2$

L : Longueur maximal d'une bande 1m ; L = 5 m

$Q_u = Nu / S = 2523{,}57 / 393{,}21 = 6{,}42$ t/m².

Par ml: Q_u=6,42.1ml=6,42 t/ml.

$V_u = 6{,}42.5{,}00 / 2 = 16{,}05$ t

$$\frac{V_u}{b.d} \le 0{,}06.f_{c28} \Rightarrow d \ge \frac{V_u}{0{,}06 f_{c28}.b}$$

$$d \ge \frac{16{,}05 \times 10^{-2}}{0{,}06 \times 25 \times 1} = 0{,}107\text{m}$$

2[éme] condition :

$$\frac{L}{25} \le d \le \frac{L}{20} \quad . \qquad L = 500cm$$

$$20 \le d \le 25\ cm$$

$$h = d + c = 24 + 5 = 29cm\ ;\ on\ prend : h = 35cm\ ; d = 30cm$$

-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 :

$$L/9 \le h \le L/6 \Rightarrow 55{,}55\ cm \le h \le 83{,}33\ cm$$

On prend : d=72 cm ; h = 80 cm ; b = 40 cm.

VIII.1.1.2-Vérification des contraintes :

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

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

$$G_{radier} = 2{,}5\left[0{,}35 \times 393{,}21 + 0{,}80 \times 0{,}40 \times 253.6\right] = 546.93\ \ t$$

$$E.L.S : N_{ser} = 1847{,}53 + 546.93 = 2394.46\ \ \ t.$$

$$\frac{N_{ser}}{S_{radier}} = \frac{2394.46}{393{,}21} = 6{,}01\ t/m^2 < 15 t/m^2 \text{...............condition verifiée.}$$

Inerties du radier :

$$I_{XG} = 7641{,}7\ m^4$$

$$I_{YG} = 21981{,}45\ m^4$$

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 : $I = bh^3/12 = 0{,}40 \times (0{,}80)^3/12 = 0{,}017 m^4$.

E : Module d'élasticité du béton, E = 3216420 t/m².

b : Largeur de la poutre b=0,40 m.

K : Coefficient du raideur de sol k = 500 t/m^3.

$$L_e = \sqrt[4]{\frac{4 \times 3216420\ \times 0{,}017}{500 \times 0{,}40}} = 5{,}75m$$

$$L_{max} = 5{,}00m < \frac{\pi}{2}.L_e = 9{,}027m\ \rightarrow \text{condit ion vérifiée.}$$

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

Donc on peut considérer que le radier est infiniment rigide, les moments agissant à la base du radier sont :

-Evaluation des charges pour le calcul du radier :

Poids unitaire du radier :

$\sigma_{raid} = \gamma_b \times h = 2{,}5 \times 0{,}35 = 0{,}875$ t/m².

$Q = \sigma_{max} - \sigma_{rad} = 6{,}01 - 0{,}875 = 5{,}13$ t/m².

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

Q = 5,13 t/m².

VIII.3- Ferraillage du radier:

VIII.3.1- 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 ère cas :

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

Les moments sont données par :

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

Moment en travée :

$M_t = 0{,}85M_o$……………….panneau de rive.

$M_t = 0{,}75M_o$……………….panneau intermédiaire.

Moment sur appuis :

$M_a = 0{,}2M_o$…………………appuis de rive.

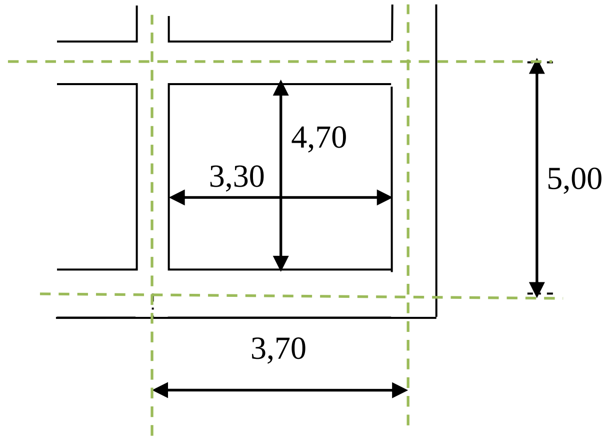
$M_a = 0{,}5M_o$…………………. appuis intermédiaire.

2éme 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)

Exemple de calcul :



$\alpha = L_x / L_y = 3{,}3/4{,}70 = 0{,}70 > 0{,}4$

La dalle porte dans les deux sens.

$\alpha = 0{,}70 \Rightarrow \mu_x = 0{,}0684 \; ; \mu_y = 0{,}4320.$

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

$M_{0x} = 0{,}0684 \times 5{,}13 \times (3{,}3)^2 = 3{,}82 t.m$

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

$M_{0y} = 0{,}4320 \times 3{,}82 = 1{,}65 t.m$

- **En travée :**

Sens x :

$M_{tx} = 0{,}85 M_{ox} = 0{,}85 \times 3{,}82 = 3{,}24 \text{ t.m}$

$$\mu = \frac{M_{tx}}{bd^2.f_{bc}} = \frac{3{,}24.10^4}{100(30)^2.14{,}17} = 0{,}026 \prec \mu_l = 0{,}392 \Rightarrow A' = 0$$

$.\mu = 0{,}026 \rightarrow \beta = 0{,}0267$

$$A == \beta.b.d.\frac{\sigma_{bc}}{\sigma_s} = 0.0267.100.31,.5.\frac{14.17}{348} = 3.42 cm^2.$$

On adopte 10**T12 / ml** , **A = 11,31 cm²/ml**, **S_t = 10 cm**

Sens-y :

$M_{ty} = 0{,}85 M_{0y} = 0{,}85 \times 1{,}65 = 1{,}40 \text{ t.m}$

$$\mu = \frac{M_{ty}}{bd^2.f_{bc}} = \frac{1{,}40.10^4}{100(31{,}5)^2.14{,}17} = 0{,}01 \prec \mu_l = 0{,}392 \Rightarrow A' = 0$$

$.\mu = 0{,}01 \rightarrow \beta = 0{,}0102$

$$A = \beta.b.d.\frac{\sigma_{bc}}{\sigma_s} = 0.0102.100.31,.5.\frac{14.17}{348} = 1{,}30 cm^2.$$

On adopte **10T12 / ml** ; A **= 11,31 cm²/ml, S_t = 10 cm**

- **En appuis :**

Sens x et sens-y

$$M_{ax} = M_{ay} = 0{,}5M_{ox} = 0{,}5 \times 3{,}82 = 1{,}91\ \text{t.m}$$

$$\mu = \frac{M_{ty}}{bd^2.f_{bc}} = \frac{1{,}91.10^4}{100(31{,}5)^2.14{,}17} = 0{,}014 \prec \mu_1 = 0{,}392 \Rightarrow A' = 0$$

$$.\mu = 0{,}014 \rightarrow \beta = 0{,}0143$$

$$A = \beta.b.d.\frac{\sigma_{bc}}{\sigma_s} = 0.0143.100.31,.5.\frac{14.17}{348} = 1{,}83\text{cm}^2.$$

On adopte **10T12 / ml** , A **= 11,31 cm^2/ml, S_t = 10 cm**

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

VIII.3.2-Ferraillage des poutres de libages :

Le rapport $\alpha = L_x/L_y > 0{,}4$ 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.

a- Sens longitudinal (y) :(la charge trapézoïdale)

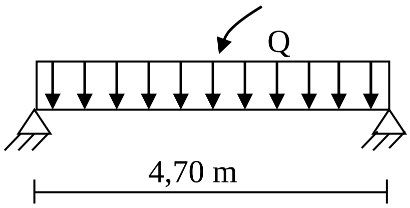


Figure.VIII-1: *Répartition des charges sur les poutres selon*

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 : $Lx_1 = 3{,}30$m

$Ly_1 = 4{,}70$m

$Lx_2 = 3{,}30$m

$Q = 5{,}13$ t/m²

$$Q' = \frac{5,13}{2}\left[\left(1-\frac{3,30^2}{3\times 4,7^2}\right).3,30+\left(1-\frac{3.3^2}{3\times 4,70^2}\right).3.3\right] = 14.27 t/m$$

Donc :

$$M_0 = \frac{Q'.L^2}{8} = \frac{14.27\times 4,70^{\ 2}}{8} = 39.4\ t.m$$

-Calcul du ferraillage:

- **<u>En travée :</u>**

$M_t = 0,85M_o = 0,85.39,4 = 33,49$ t.m, $b = 40\,cm$, $h = 80\,cm$, $d = 0,9.h = 72\,cm$

$$\mu = \frac{M_t}{b.d^2.\sigma_{bc}} = \frac{33,49.10^4}{40.(72)^2.14,17} = 0,114 \prec \mu_l = 0,392 \rightarrow \exists A'$$

$\beta = 0,1221$

$$A = \beta.b.d.\frac{\sigma_{bc}}{\sigma_s} = 0.1221.40.72.\frac{14.17}{348} = 14,32 cm^2.$$

$$\text{on adopte:}\begin{cases}1^{ere} \text{ lit } 3T16\\ 2^{éme} \text{ lit } 3T16\ ; A = 16.68 cm^2\\ 3^{eme} \text{ lit } 3T14\end{cases}$$

- **En appuis :**

$M_a = 0,5M_o = 0,5.39,4 = 19,7$ t.m

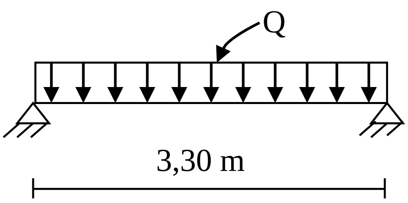
$\mu = 0,068 < \mu_l = 0,392 \Rightarrow (A'=0)$

$\mu = 0,068 \rightarrow \beta = 0,0711$

$A_S = 8,33 cm^2$

On adopte : **(6T16) + (3T14)** ; **A = 16,68 cm**^{2}.

b- Sens transversal (x) :(la charge triangulaire)



Calcul de Q':

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

$$Q' = \frac{2}{3}.Q.Lx_1$$

Tel que : Q =5,13 t/m²

Lx_1 = 3,3 m

Q' =(2/3).5,13.3,30 = 11,26 t/m

$$M_o = \frac{Q'.L^2}{8} = \frac{11,26.3,30^{\ 2}}{8} = 15,32 \text{ t.m}$$

Calcul du ferraillage :

- **En travée :**

$M_t = 0,85M_o = 0,85.15,32 = 13,02$ t.m, b = 40 cm, h = 80 cm, d = 0,9.h = 72 cm

$$\mu = \frac{M_t}{b.d^2.\sigma_{bc}} = \frac{13,02.10^{\ 4}}{40.(72)^2.14,17} = 0,044 < \mu_l = 0,392 \rightarrow A' = 0$$

$$\mu = 0,044 \rightarrow \beta = 0,0456$$

$$A = \beta.b.d.\frac{\sigma_{bc}}{\sigma_s} = 0.0456.40.72.\frac{14.17}{348} = 5,35\text{cm}^2.$$

$$\text{on adopte:}\begin{cases} 1^{ere} \text{ lit } 3T16 \\ 2^{éme} \text{ lit } 3T14 \quad ; A = 14,04\text{cm}^2 \\ 3^{eme} \text{ lit } 3T112 \end{cases}$$

- **En appuis :**

M_a=0,5.M_0=0,5.15,32=7,66 t.m b=40cm h=80cm d=0,9h=72cm

μ = 0,026<μ_l=0,392⇒ (A'=0)

μ=0,026→β=0,0267

A_S = 3,13cm^2

On adopte : **(3T16) Fil+ (3T14+3T12) chap** ; **A =14,04 cm².**

VIII.3.3- Armature de peau :

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

Dans notre cas h_a=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 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 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 b_0) = (0,80 x 0,40) m², on a :

Asp $=3\times 2\ (b_0+h)$ [cm²]

Asp = $3\times 2\ (0,40+0,80) = 7,2$ cm²

On adopte **4T 16 Fil; A = 8,04cm².**

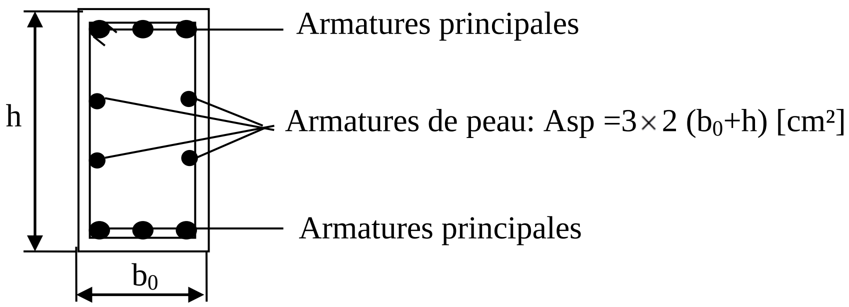


Fig.VIII .2-**Représente les armatures de peau**.

- Contrainte de cisaillement :

$$T_{max} = 18,58\ t$$

$$\tau_u = \frac{T_{max}}{b.d} = \frac{18,58}{0,40.0,72\ .100} = 0,64MPa.$$

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

$$\tau_u = 0,64MPa < \bar{\tau}_u = 2,50MPa.........................\text{condition vérifiée.}$$

Armatures transversales :

Diamètre:

$$\varphi_t \le \min(h/35;\varphi_l\ ;b/10) = \min(22,85;10;\ 40) = 10\ mm$$

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