IX-Etude des fondations :

La fondation est la partie d'un ouvrage qui sert exclusivement à transmettre au sol naturel le poids de cet ouvrage, elle doit être telle que la construction dans son ensemble soit stable. Il est important donc pour déterminer les dimensions de connaitre d'une part le poids total de l'ouvrage entièrement achevé et d'autre part la force portante du 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. Ferraillage 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.

Poids supporté par le radier.

Superstructure G_T : la charge permanente totale.

Q_T : la charge d'exploitation totale.

IX-1-Choix du type de fondations :

Avec une capacité portante du terrain égale à 2 bar, Il y a lieu de projeter à priori, des fondations superficielles de type :

- Semelles filantes
- Radier général

Commençant par la semelle filante, pour cella on procède à une première vérification qui est : la surface des semelles doit être inférieure à 50% de la surface totale du bâtiment $\left(S_{semelle}/S_{bâtiment} < 50\% \right)$.

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

Avec :

S : la surface totale de la semelle

$\sigma_{sol} = 20\ t/m^2$

$$\begin{cases} N_u = 9063{,}17\ t \Rightarrow S = 453{,}15\ m^2 \\ N_{ser} = 6609{,}70\ t \Rightarrow S = 330{,}48\ m^2 \end{cases}$$

IX-2-Vérification du chevauchement :

La surface du bâtiment est de : $S = 543{,}36\ m^2$

$$\frac{S_{semelle}}{S_{bâtiment}} = 60\% > 50\%\ ;\ Condition\ non\ vérifiée$$

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

IX-3-Définition du radier :

Le radier est une semelle de très grande dimension supportant toute la construction et qui a 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.

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

Un radier est calculé comme un plancher renversé mais fortement sollicité (réaction de sol ≅ poids total de la structure).

IX-4-Pré dimensionnement du radier :

L'épaisseur du radier doit satisfaire les conditions suivantes :

a) Condition forfaitaire :

$$\begin{cases} \frac{L}{25} \leq d \leq \frac{L}{20} \\ L = 4{,}90\ m \end{cases} \Rightarrow 19{,}60\ cm \leq d \leq 24{,}5\ cm \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

b) Condition de cisaillement :

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

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

$$V_u = \frac{Qu \times L}{2} = \frac{1m.(Nu/s).L}{2} = \frac{1.(9063{,}17/543{,}36).4{,}90}{2} = 39{,}19\ t$$

$$\Rightarrow d \geq \frac{39{,}19 \times 10^{-2}}{0{,}06 \times 25 \times 1} = 0{,}25\ m \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (02)$$

De (01) et (02) on a $d \geq 0{,}25$ m

Donc : h ≥d+c= 25+5=30cm

Soit : d=30 cm , h= 35 cm

L'épaisseur qui satisfait aux trois conditions citées ci-avant, nous amène à choisir une hauteur totale du radier égale à 35 cm, $h_t = 35\ cm$

c) Calcul du débordement :

$$D \geq max\left\{\frac{h}{2}\ ; 30\ cm\right\} = 30\ cm \rightarrow On\ prend\ D = 50\ cm$$

Et de ce fait, la surface du radier est : $S_r = 594{,}99\ m^2$

d) 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 :

$$\begin{cases} \frac{L}{9} \leq h \leq \frac{L}{6} \Rightarrow 54{,}44\ cm \leq h \leq 81{,}66\ cm \rightarrow On\ prend\ h = 65\ cm\ ;d = 58{,}5\ cm\ ;b = 35cm \\ L : la\ longueur\ maximal\ d'une\ poutre\ de\ libage, L = 4{,}90\ m \end{cases}$$

e) 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 calcul sera fait en tenant compte du poids propr44e du radier et de la poutre :

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

$$= 2{,}5[(0{,}35 \times 594{,}99) + (0{,}65 \times 0{,}35 \times 397{,}65)] = 746{,}77\ t$$

$$N_{ser} = 746{,}77 + 6609{,}70 = 7356{,}47\ t$$

$$\frac{N_{ser}}{S_r} = 12{,}36 \frac{t}{m^2} < 25 \frac{t}{m^2} ; Condition\ vérifiée$$

f) 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 : $I = bh^3/12 = 0{,}0080\ m^4$

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

$$L_e = \sqrt[4]{\frac{4 \times 3216419 \times 0{,}0080}{500 \times 0{,}35}} = 4.92\ m$$

$$L_{max} = 4{,}9\ m < \frac{\pi}{2} \times L_e = 7.72\ m\ ; Condition\ vérifée$$

L_{max} : Longueur maximale entre nues des poteaux.

Donc on peut considérer que le radier est infiniment rigide.

g) Evaluation des charges pour le calcul du radier :

$$\begin{cases} \sigma_{max} = \dfrac{N_{ser}}{S_r} = \dfrac{7356{,}47}{594{,}99} = 12{,}36\ t/m^2 \\ \sigma_{radier} = \gamma_b \times h = 2.5 \times 0.35 = 0{,}875\ t/m^2 \end{cases} \Rightarrow Q = \sigma_{max} - \sigma_{radier} = 11{,}49\ t/m^2$$

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

$$\mathbf{Q = 11,49 t/m^2}$$

IX-5-Ferraillage du radier :

Le radier fonctionne comme un plancher renversé dont les appuis sont constitués par les voiles qui est soumis à une pression uniforme provenant du poids propre de l'ouvrage et des surcharges. Donc on peut se rapporter aux méthodes données par le BAEL 91.

La fissuration est considérée préjudiciable, vu que le radier peut-être alternativement noyé et émergé en eau douce.

a)Méthode de calcul :

Ce radier comporte des panneaux de dalle appuyés sur 4 cotés soumis à une charge uniformément répartie. Les moments dans les dalles se calculent pour une bande de largeur unité (1ml) et ont pour valeurs :

- Dans le sens de grande portée : $M_{0x} = \mu_x \times q \times l^2{}_x$
- Dans le sens de petite portée : $M_{0y} = \mu_y \times M_{0x}$

Tel que :

$\mu_x\ et\ \mu_y$: sont des coefficients fonction de α et ν (prend 0 à l'ELS, 0,2 à l'ELU) (cours béton arme BAEL 91).

Pour le calcul, on suppose que les panneaux sont partiellement encastrés aux niveaux des appuis d'où on déduit les moments en travée et les moments sur appuis. :

- Moment en travée : $\begin{cases} M_t = 0.85 \times M_0 \rightarrow Panneau\ de\ rive \\ M_t = 0.75 \times M_0 \rightarrow Panneau\ intermédiaire \end{cases}$
- Moment sur appuis : $\begin{cases} M_a = 0.35 \times M_0 \rightarrow Panneau\ de\ rive \\ M_a = 0.5 \times M_0 \rightarrow Panneau\ intermédiaire \end{cases}$

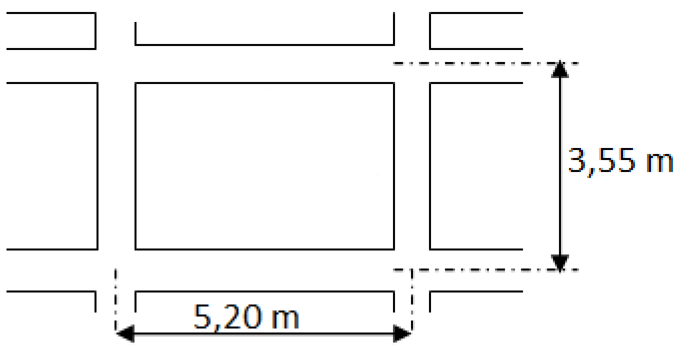
b) Calcul du ferraillage :

b-1) Détermination des efforts :

Les efforts à l'ELU $\nu = 0$

Tableau IX.1 : Les moments fléchissant suivant les 2 sens.

L_X (m)	L_Y (m)	α	Sens x				Sens y			
			μ_x	M_0 (t.m)	M_t (t.m)	M_a (t.m)	μ_y	M_0 (t.m)	M_t (t.m)	M_a (t.m)
3,25	4,90	0,66	0,0737	8,94	6,70	4,47	0,3753	3,36	2,52	1,68



b-2) Calcul des armatures :

- **Suivant L_x :**

En travée :

$$\mu = \frac{M_{tx}}{b \times d^2 \times f_{bc}} = \frac{6{,}70 \times 10^4}{100 \times 31{,}5^2 \times 14{,}17} = 0{,}048 < \mu_l = 0{,}392 \;\rightarrow\; A'_s = 0$$

$\mu = 0{,}048 \;\rightarrow\; \beta = 0{,}975$; β est tirée du tableau.

$$A_s = \frac{M_{tx}}{\beta \times d \times \sigma_s} = \frac{6{,}70 \times 10^4}{0{,}975 \times 31{,}5 \times 348} = 6{,}26\ cm^2/ml$$

On adopte : 5T14 = 7,70 cm², avec un espacement de 20 cm.²

Sur appuis :

$$\mu = \frac{M_{ax}}{b \times d^2 \times f_{bc}} = \frac{4{,}47 \times 10^4}{100 \times 31{,}5^2 \times 14{,}17} = 0{,}032 < \mu_l = 0{,}392 \;\rightarrow\; A'_s = 0$$

$\mu = 0{,}032 \ \rightarrow \ \beta = 0{,}984$; β est tirée du tableau.

$$A_s = \frac{M_{ax}}{\beta \times d \times \sigma_s} = \frac{4{,}47 \times 10^4}{0{,}984 \times 31{,}5 \times 348} = 4{,}14\ cm^2/ml$$

On adopte : 5T12 = 5,65 cm², avec un espacement de 20 cm.

- **<u>Suivant L_y :</u>**

<u>En travée :</u>

$$\mu = \frac{M_{ty}}{b \times d^2 \times f_{bc}} = \frac{2{,}52 \times 10^4}{100 \times 31{,}5^2 \times 14{,}17} = 0{,}018 < \mu_l = 0{,}392 \ \rightarrow \ A_s' = 0$$

$\mu = 0{,}018 \rightarrow \ \beta = 0{,}991$; β est tirée du tableau.

$$A_s = \frac{M_{ty}}{\beta \times d \times \sigma_s} = \frac{2{,}52 \times 10^4}{0{,}991 \times 31{,}5 \times 348} = 2{,}32\ cm^2/ml$$

On adopte : 5T12 = 5.65 cm², avec un espacement de 20 cm.

<u>Sur appuis :</u>

$$\mu = \frac{M_{ax}}{b \times d^2 \times f_{bc}} = \frac{1{,}68 \times 10^4}{100 \times 31{,}5^2 \times 14{,}17} = 0{,}012 < \mu_l = 0{,}392 \ \rightarrow \ A_s' = 0$$

$\mu = 0{,}012 \rightarrow \ \beta = 0{,}994$; β est tirée du tableau.

$$A_s = \frac{M_{ax}}{\beta \times d \times \sigma_s} = \frac{1{,}68 \times 10^4}{0{,}994 \ \times 31{,}5 \times 348} = 1{,}54\ cm^2/ml$$

On adopte : 5T12 = 5,65 cm², avec un espacement de 20 cm.

<u>d) Vérification de l'espacement :</u>

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

<u>IX-6-Ferraillage des poutres de libages :</u>

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.

a) Sens longitudinale :

a-1) Détermination des chargements :

Poids propre p_p : $P_p = \gamma.h.b$ =2,5x0,65 x0,35= 0.568 t/m

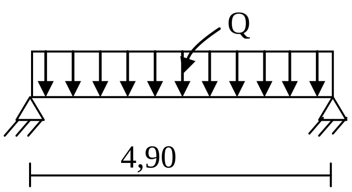
Q=11,49 t/m²

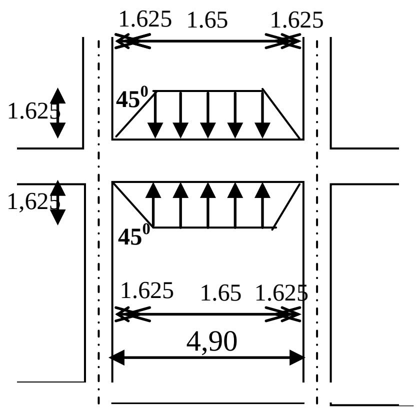
-Calcul de q_u:

$q_u = \sigma_{rad} - p_p$ = 11,49-0.568= 10,92 t/ml

a-2) 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 = 3,25 m

Ly_1 = 4,90 m

Lx_2 = 3,25 m

Q = 10,92 t/m²

Q : Elle est tirée du chargement de la poutre.

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

$$\begin{cases} Q' = \dfrac{Q}{2}\left[\left(1 - \dfrac{L^2{}_{x1}}{3L^2{}_{y1}}\right)L_{x1} + \left(1 - \dfrac{L^2{}_{x2}}{3L^2{}_{y1}}\right)L_{x2}\right] = \dfrac{10,92}{2}\left[\left(1 - \dfrac{3,25^2}{3\times 4,90^2}\right)3.25 + \left(1 - \dfrac{3,25^2}{3\times 4,90^2}\right)3,25\right] \\ \qquad = 30,28\ t/m \\ M_0 = \dfrac{Q' \times l^2}{8} = \dfrac{30,28 \times 4,90^2}{8} = 90,87\ t.m \end{cases}$$

a.3) Calcul du ferraillage :

- **En travée :**

$$M_t = 0{,}75 \times M_0 = 68{,}16\ t.m$$

$$\begin{cases} \mu = \dfrac{M_t}{b \times d^2 \times f_{bc}} = \dfrac{68{,}16 \times 10^4}{35 \times 58{,}5^2 \times 14{,}17} = 0{,}40 < \mu_l = 0{,}392 \ \rightarrow \ A'_s = 0 \\ \rightarrow \ \beta = 0{,}980 \\ A_s = \dfrac{M_t}{\beta \times d \times \sigma_s} = \dfrac{68{,}16 \times 10^4}{0{,}980 \times 58{,}5 \times 348} = 34{,}16\ cm^2/ml \end{cases}$$

$$On\ adopte : \begin{cases} 1^{ier}\ lit : 4T20 \\ 2^{éme}\ lit : 4T20 \rightarrow A = 37{,}71\ cm^2 \\ 3^{éme}\ lit : 4T20 \end{cases}$$

- **Sur appuis :**

Tableau IX.2: Ferraillage de la poutre sur appui suivant le sens longitudinale.

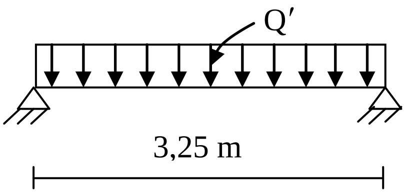
	Intermédiaire	Rive
$M_a\ (t.m)$	$= 0{,}5 \times M_0 = 45{,}43$	$= 0{,}35 \times M_0 = 31{,}80$
$\mu \rightarrow \beta$	0,268→ 0,841	0,187→ 0,895
$A_s\ (cm^2)$	25,03	17,45
$A_{adoptée}(cm^2)$	4T20 (fil) + 4T20 (chap) = 25,13	4T20 (fil) + 4T14 (chap) = 18,73

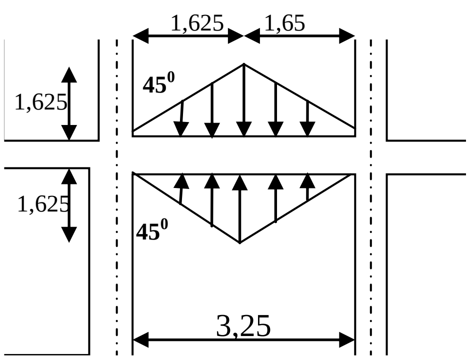
b) Sens transversale :

b.1) Calcul de Q' :

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

$$\begin{cases} Q' = \frac{2}{3} \times Q \times L_{x1} = \frac{2}{3} \times 10{,}92 \times 3.25 = 23{,}66\ t/m \\ M_0 = \frac{Q' \times l^2}{8} = \frac{23{,}66 \times 3{,}25^2}{8} = 31{,}23\ t.m \end{cases}$$





b.2) Calcul du ferraillage :

- **En travée :**

$M_t = 0.75 \times M_0 = 23{,}42\ t.m$

$$\begin{cases} \mu = \dfrac{M_t}{b \times d^2 \times f_{bc}} = \dfrac{23{,}42 \times 10^4}{35 \times 58{,}5^2 \times 14{,}17} = 0{,}138 < \mu_l = 0{,}392\ \rightarrow\ A'_s = 0 \rightarrow\ \beta = 0{,}925 \\ A_s = \dfrac{M_t}{\beta \times d \times \sigma_s} = \dfrac{23{,}42 \times 10^4}{0{,}925 \times 58{,}5 \times 348} = 12{,}44\ cm^2/ml \end{cases}$$

$$On\ adopte : \begin{cases} 1^{ier}\ lit : 4T14 \\ 2^{éme}\ lit : 4T14 \rightarrow A = 16{,}84\ cm^2 \\ 3^{éme}\ lit : 4T12 \end{cases}$$

- **Sur appuis**

Tableau IX.3. Ferraillage de la poutre sur appui suivant le sens transversale.

	Intermédiaire	Rive
$M_a\ (t.m)$	$= 0.5 \times M_0 = 15{,}62$	$= 0.35 \times M_0 = 10{,}93$
$\mu \rightarrow \beta$	0,092→ 0,952	0,064→ 0,967
$A_s\ (cm^2)$	8,06	5,55
$A_{adoptée}(cm^2)$	4T14(fil) +2T12 (chap) = 8,42	2T14 (fil) + 2T14 (chap) = 6,16

- **Les armatures de peau :**

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

Dans notre cas h_a=65 cm (non vérifiée), donc notre poutre est d'un hauteur normal, dans ce cas il est nécessaire d'ajouter des armatures supplémentaires sur les parois de la poutre (armatures de peau). 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 (0,65 x 0,35) m² on a :

On prend :4T12 = 4.52.cm²

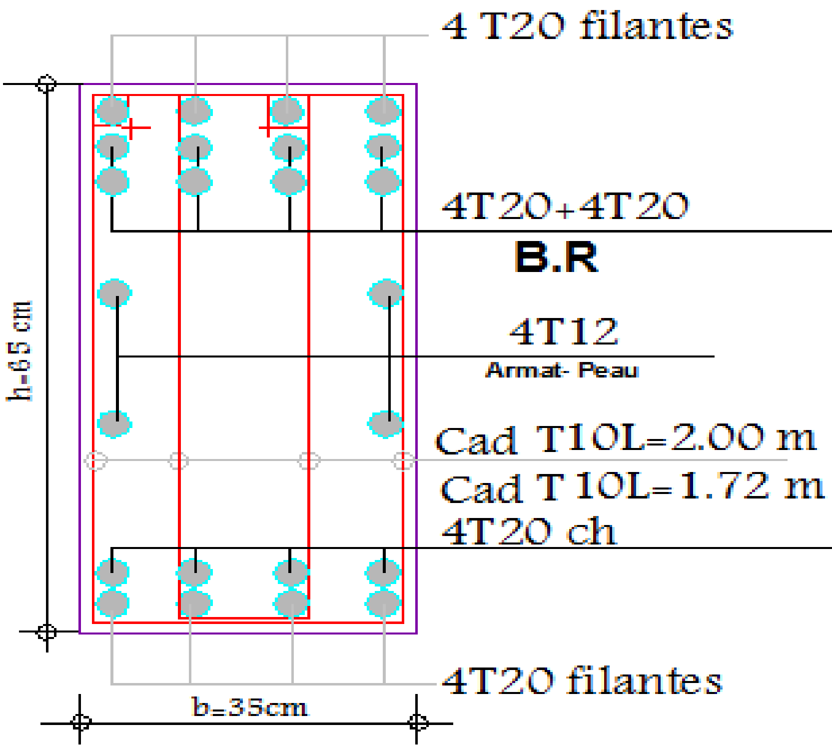


Fig IX.1: Schéma représentant les armatures de peau.