

VII-1-Etude des fondations :

Les fondations sont constituées par la partie de la structure qui est en contact avec le terrain et supporte le poids de cette structure. Donc, elles ont un rôle de transmission au sol les charges de la superstructure. Pour les fondations nous avons trois types :

- Semelle isolée.
- Semelle filante.
- Radier générale (radier dalle pleine ; radier nervuré).

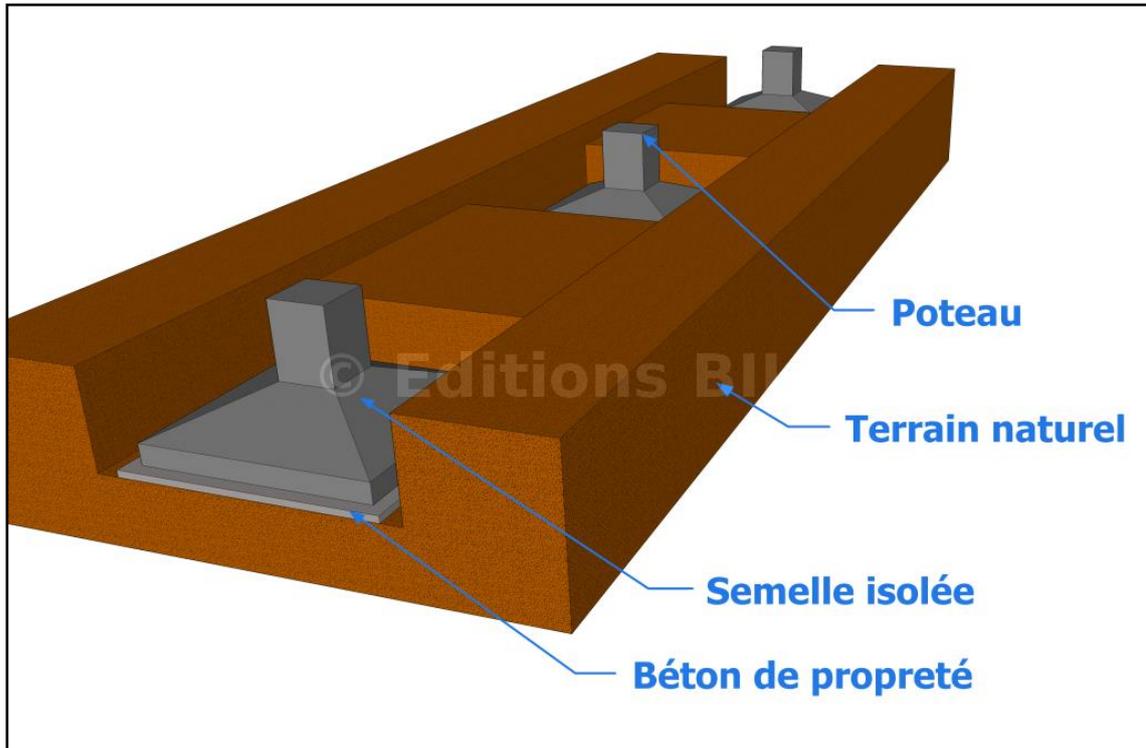


Figure VII-1 : 1^{ère} type de fondation « semelle isolée »



Figure VII-2 : 2^{ème} type de fondation « semelle filante »

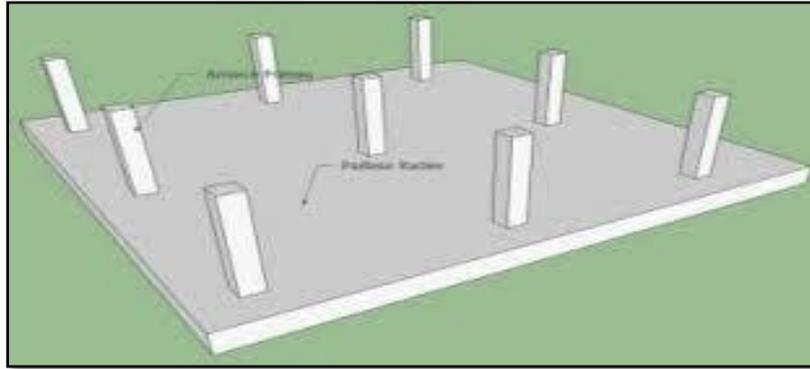


Figure VII-3 : 3^{ème} type de fondation « radier dalle pleine »

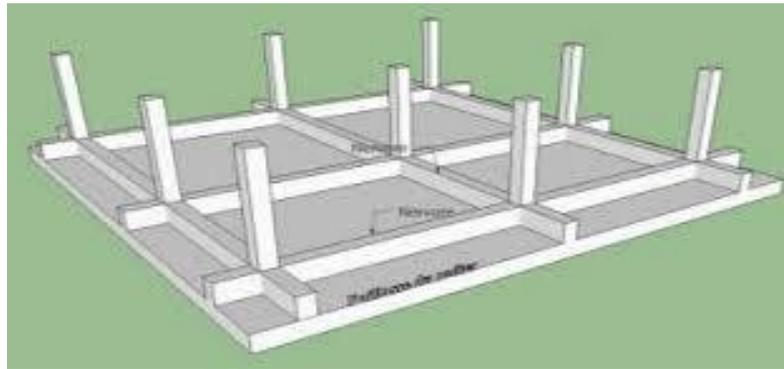


Figure VII-4 : 3^{ème} type de fondation « radier nervuré »

Avant d'entreprendre un projet de fondation, il est nécessaire de connaître la valeur de la contrainte du sol à introduire dans les calculs.

D'après le rapport du sol notre, on a :

Tableau VII-1 : La contrainte admissible et l'encrage du siège APC (04 blocs)

Blocs	$\bar{\sigma}_{sol}$ (bar)	Ancrage (m)
A1	2.00	3.00
A2	2.00	3.00
B1	2.00	4.00
B2	2.00	4.20

Le calcul des fondations se fait comme suit :

- Dimensionnement à l'ELS ;
- Ferrailage 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.

VII-1-1-Choix du type de fondations :

Avec une capacité portante du terrain égale à 2,00 bar, Il y a lieu de projeter à priori, des fondations superficielles de type :

- Semelles filantes.
- Radier général.

Commençant par la semelle filante, pour cela on procède à une vérification qui est : la surface des semelles doit être inférieure à 50% de la surface totale du bâtiment :

$$S_{\text{semelle}} / S_{\text{bâtiment}} < 50\%.$$

• **La surface de la semelle :**

Cette surface est donnée par : $S \geq N / \sigma_{\text{sol}}$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} S : \text{La surface totale de la semelle} \\ \sigma_{\text{sol}} = 2.00 \text{ bar} = 200 \text{ kN/m}^2 = 0.2 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

Tableau VII-2 : La surface de la semelle pour les quatre blocs.

Blocs	N _u (kN)	S (m ²)	N _s (kN)	S (m ²)
A1	19065.00	95.325	13836.02	69.1801
A2	16154.07	80.77035	11722.03	11722.03
B1	14499.3	72.4965	10558	52.79
B2	15205.9	76.0295	11076.7	55.3835

• **Vérification de chevauchement :**

On doit vérifier que : $\frac{S_{\text{semelle}}}{S_{\text{bâtiment}}} < 50\%$

Tableau VII-3 : Vérification du chevauchement du siège APC (04 blocs)

Blocs	S _{semelle}	S _{bâtiment}	S _{semelle} / S _{bâtiment}	S _{semelle} / S _{bâtiment} < 50%
A1	95.325	200.415	47.56	Condition vérifier
A2	80.77035	200.07	40.37	Condition vérifier
B1	72.4965	326.4	22.21	Condition vérifier
B2	76.0295	291.96	26.04	Condition vérifier

Puisque cette condition a été vérifiée on va réaliser des semelles filantes pour les quatre blocs du siège APC.

VII-1-2-Semelle filante :

Une semelle filante est une semelle continue qui supporte plusieurs poteaux ou bien un mur porteur. Un des principaux avantages de ce type de semelle est qu'elle est mieux adaptée à des sols moins homogènes, car la surface de contact est plus importante ce qui limite le risque de tassement différentiel, en d'autres termes, des tassements plus importants à certains endroits entraînant une instabilité d'ensemble.

➤ VII-1-2-1-Pré dimensionnement des semelles :

La surface de la semelle doit être suffisante pour répartir sur le sol, les charges apportées par les porteurs verticaux. Répartir une force sur une surface, c'est exercer une pression :

$$\text{Pression [MPa]} = \frac{\text{Force [N]}}{\text{surface [m}^2\text{]}}$$

La capacité portante du sol doit être supérieure à la pression exercée par les fondations. La surface S d'une semelle s'exprime :

$$S[\text{mm}^2] = \frac{N_s[\text{N}]}{\bar{\sigma}_s[\text{MPa}]}$$

avec: $\left\{ \begin{array}{l} N_u = \text{l'effort de servise rapporter par l'ouvrage.} \\ \bar{\sigma}_s = \text{défini d'après le rapport du sol} \\ S = \text{surface de la semelle}(B \times L) \\ B = \text{La largeur de la semelle.} \\ L = \text{La longueur de la semelle.} \end{array} \right.$

Tableau VII-4 : Les sollicitations des poteaux appliquées sur les semelles du bloc A1.

Semelle	Combinaison		Poteaux					
			P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆
S1 (A)	G + Q	N (t)	24.59	27.91	23.68	27.80	24.74	
		M (t. m)	1.14	1.87	2.09	1.81	0.98	
	1,35 G +1,5 Q	N (t)	33.79	38.45	32.69	38.30	34.00	
		M (t. m)	1.58	2.60	2.91	2.53	1.34	
	0.8G±E	N (t)	22.05	21.21	15.78	21.14	22.09	
		M (t. m)	0.88	0.64	0.72	0.65	0.38	
S2 (B)	G + Q	N (t)	34.63	114.49	126.51	114.09	23.40	8.06
		M (t.m)	1.58	0.58	0.66	0.64	0.61	0.16
	1,35 G +1,5 Q	N (t)	47.74	158.73	175.41	158.17	32.21	10.83
		M (t. m)	2.21	0.82	0.92	0.89	0.84	0.23
	0.8G±E	N (t)	43.47	71.41	78.03	71.19	30.49	7.94
		M (t. m)	0.89	0.93	0.97	0.91	0.70	0.36
S3 (C)	G + Q	N (t)	14.6	15.50	12.67	15.43	13.93	
		M (t.m)	0.92	0.44	0.55	0.46	0.29	
	1,35 G +1,5 Q	N (t)	20.00	21.30	17.44	21.20	19.06	
		M (t. m)	1.27	0.62	0.77	0.64	0.63	
	0.8G±E	N (t)	21.52	12.01	8.89	11.96	21.77	
		M (t. m)	1.31	0.42	0.51	0.41	0.61	

Tableau VII-5 : Les sollicitations des poteaux appliquées sur les semelles du bloc A2.

Semelle	Combinaison		Poteaux			
			P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
S1 (A)	G + Q	N (t)	14.11	50.16	41.07	
		M (t.m)	0.54	4.44	1.41	
	1,35 G +1,5 Q	N (t)	19.34	69.16	56.53	
		M (t. m)	0.74	6.21	1.96	
	0.8G±E	N (t)	15.26	35.13	34.66	
		M (t. m)	0.045	2.23	2.00	
S2 (B)	G + Q	N (t)	38.16	140.52	28.81	
		M (t.m)	1.60	1.9	1.67	
	1,35 G +1,5 Q	N (t)	52.71	194.35	39.53	
		M (t. m)	2.23	2.64	2.32	
	0.8G±E	N (t)	28.36	94.20	21.14	
		M (t. m)	0.80	2.37	1.29	
S3 (C)	G + Q	N (t)	26.13	95.12	127.32	26.67
		M (t.m)	1.07	1.39	2.24	4.22
	1,35 G +1,5 Q	N (t)	35.87	131.5	176.76	36.87
		M (t. m)	1.48	1.95	3.15	5.89
	0.8G±E	N (t)	20.34	62.94	79.12	17.67
		M (t. m)	0.52	0.79	1.23	2.86
S4 (D)	G + Q	N (t)	7.08	18.99	31.57	21.66
		M (t. m)	0.36	1.21	0.72	0.94
	1,35 G +1,5 Q	N (t)	9.53	26.00	43.38	29.74
		M (t. m)	0.49	1.68	1.00	1.30
	0.8G±E	N (t)	9.31	14.71	25.98	18.55
		M (t. m)	0.44	1.19	0.56	0.76

Tableau VII-6 : Les sollicitations des poteaux appliquées sur les semelles du bloc B1.

Semelle	Combinaison		Poteaux			
			P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
S1 (A)	G + Q	N (t)	18.36	20.59	28.30	20.35
		M (t. m)	1.78	0.69	0.58	1.41
	1,35 G + 1,5 Q	N (t)	25.09	28.19	38.76	27.78
		M (t. m)	2.47	0.96	0.80	1.92
	0.8G±E	N (t)	18.70	16.22	22.00	20.80
		M (t. m)	2.23	1.13	1.23	2.44
S2 (B)	G + Q	N (t)	34.98	40.66	55.96	33.47
		M (t.m)	2.77	0.79	1.22	2.87
	1,35 G + 1,5 Q	N (t)	47.88	55.94	77.04	45.79
		M (t. m)	3.86	1.11	1.70	3.99
	0.8G±E	N (t)	26.77	29.89	37.34	26.19
		M (t. m)	3.12	0.95	0.77	2.78
S3 (C)	G + Q	N (t)	53.78	95.76	45.03	
		M (t.m)	4.92	1.03	2.51	
	1,35 G + 1,5 Q	N (t)	73.82	132.09	61.72	
		M (t. m)	6.85	1.44	3.47	
	0.8G±E	N (t)	37.15	61.74	31.44	
		M (t. m)	2.95	0.64	2.81	
S4 (D)	G + Q	N (t)	73.41	89.51	54.57	
		M (t.m)	5.73	1.12	2.90	
	1,35 G + 1,5 Q	N (t)	100.79	123.54	74.85	
		M (t. m)	7.97	1.56	4.03	
	0.8G±E	N (t)	50.06	57.73	37.79	
		M (t. m)	3.43	0.76	2.37	
S5 (E)	G + Q	N (t)	52.3	81.23	35.65	
		M (t.m)	4.75	1.49	2.85	
	1,35 G + 1,5 Q	N (t)	71.86	112.19	48.90	
		M (t. m)	6.61	2.66	3.98	
	0.8G±E	N (t)	36.48	52.96	25.06	
		M (t. m)	3.25	0.97	2.01	
S6 (F)	G + Q	N (t)	20.77	26.24	18.91	
		M (t.m)	0.24	0.31	0.33	
	1,35 G + 1,5 Q	N (t)	28.39	35.94	25.83	
		M (t. m)	0.33	0.43	0.45	
	0.8G±E	N (t)	19.72	19.74	18.52	
		M (t. m)	0.53	0.90	0.59	

Tableau VII-7 : Les sollicitations des poteaux appliquées sur les semelles du bloc B2.

semelle	combinaison		poteaux			
			P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
S1 (A)	G + Q	N (t)	40.82	52.54	36.64	32.15
		M (t. m)	1.26	1.37	0.53	1.78
	1,35 G +1,5 Q	N (t)	55.77	72.16	50.36	44.01
		M (t. m)	1.72	1.91	0.73	2.47
	0.8G±E	N (t)	15.41	25.95	24.35	14.77
		M (t. m)	0.61	0.16	0.32	0.84
S2 (B)	G + Q	N (t)	33.11	81.24	88.88	47.65
		M (t.m)	0.45	2.55	0.87	2.63
	1,35 G +1,5 Q	N (t)	45.15	111.65	122.6	65.21
		M (t. m)	0.63	3.56	1.22	3.65
	0.8G±E	N (t)	11.26	34.97	57.43	19.82
		M (t. m)	0.15	0.21	0.54	1.12
S3 (C)	G + Q	N (t)	61.76	78.08	32.13	
		M (t.m)	3.74	1.12	1.39	
	1,35 G +1,5 Q	N (t)	84.8	107.66	43.84	
		M (t. m)	5.20	1.56	1.94	
	0.8G±E	N (t)	23.69	50.55	14.05	
		M (t. m)	1.67	0.66	0.67	
S4 (D)	G + Q	N (t)	53.73	99.49	33.34	
		M (t.m)	3.92	1.10	1.23	
	1,35 G +1,5 Q	N (t)	73.71	137.09	45.52	
		M (t. m)	5.44	1.52	1.72	
	0.8G±E	N (t)	21.94	64.91	14.29	
		M (t. m)	1.73	0.65	0.62	
S5 (E)	G + Q	N (t)	50.65	26.73	41.13	
		M (t.m)	3.14	1.10	1.22	
	1,35 G +1,5 Q	N (t)	69.44	37.01	56.28	
		M (t. m)	4.36	1.53	1.71	
	0.8G±E	N (t)	21.73	16.51	18.57	
		M (t. m)	1.36	0.65	0.51	
S6 (F)	G + Q	N (t)	34.56	43.3	20.84	
		M (t.m)	0.48	2.29	0.86	
	1,35 G +1,5 Q	N (t)	47.22	59.34	28.5	
		M (t. m)	0.66	3.15	1.82	
	0.8G±E	N (t)	13.59	20.35	9.78	
		M (t. m)	0.11	0.23	0.15	

- **Largeur de la semelle (B) :**

$$S = \frac{N_s}{\bar{\sigma}_s} \rightarrow B \times L = \frac{N_s}{\bar{\sigma}_s} \rightarrow B = \frac{\sum_{i=1}^n N_{s_i}}{\bar{\sigma}_s \times \sum_{i=1}^n L_i}$$

Tableau VII-8 : Largeur de la semelle filante du bloc A1 du siège APC.

Bloc A1	$\sum_{i=1}^n N_{s_i}(t)$	$\bar{\sigma}_s(t/m^2)$	$\sum_{i=1}^n L_i(m)$	B(m)
SF1 AXE A	128.76	20	22.65	0.40
SF2 AXE B	421.18	20	27.95	1.35
SF3 AXE C	72.13	20	22.65	0.30

Tableau VII-9 : Largeur de la semelle filante du bloc A2 du siège APC.

Bloc A2	$\sum_{i=1}^n N_{s_i}(t)$	$\bar{\sigma}_s(t/m^2)$	$\sum_{i=1}^n L_i(m)$	B(m)
SF1 AXE A	105.34	20	13.40	0.75
SF2 AXE B	207.49	20	13.40	1.20
SF3 AXE C	275.24	20	13.40	1.45
SF4 AXE D	79.3	20	13.40	0.50

Tableau VII-10 : Largeur de la semelle filante du bloc B1 du siège APC.

Bloc B1	$\sum_{i=1}^n N_{s_i}(t)$	$\bar{\sigma}_s(t/m^2)$	$\sum_{i=1}^n L_i(m)$	B(m)
SF1 AXE 1	87.6	20	12.95	0.50
SF2 AXE 2	165.07	20	12.95	1.00
SF3 AXE 3	194.57	20	12.95	1.25
SF4 AXE 4	217.49	20	12.95	1.30
SF5 AXE 5	169.18	20	12.95	1.00
SF6 AXE 6	65.92	20	12.95	0.40

Tableau VII-11 : Largeur de la semelle filante du bloc B2 du siège APC.

Bloc B2	$\sum_{i=1}^n N_{s_i}(t)$	$\bar{\sigma}_s(t/m^2)$	$\sum_{i=1}^n L_i(m)$	B(m)
SF1 AXE A	147.03	20	18.05	0.65
SF2 AXE B	247.24	20	18.05	1.35
SF3 AXE C	135.62	20	12.95	0.85
SF4 AXE D	151.68	20	12.95	0.95
SF5 AXE E	85.11	20	12.95	0.50
SF6 AXE F	58.81	20	12.95	0.35

- **Hauteur de la semelle (h_t) :**

$$h_0 = \frac{B - b}{4} \quad \text{avec : } \begin{cases} B : \text{Largeur de la semelle.} \\ b : \text{Largeur du poteau.} \end{cases}$$

$$h_t = h_0 + c \quad \text{avec:} \begin{cases} h_t : \text{hauteur de la semelle avec enrobage.} \\ h_0 : \text{hauteur de la semelle sans enrobage.} \\ c : \text{l'enrobage} = 2.5 \text{ cm} \end{cases}$$

Tableau VII-12 : Hauteur de la semelle filante du bloc A1 du siège APC.

Bloc A1	B (m)	b (m)	h ₀ (m)	h _t (m)
SF1 AXE A	0.40	0.45	0.25	0.30
SF2 AXE B	1.35	0.45	0.25	0.30
SF3 AXE C	0.30	0.35	0.25	0.30

Tableau VII-13 : Hauteur de la semelle filante du bloc A2 du siège APC.

Bloc A2	B (m)	b (m)	h ₀ (m)	h _t (m)
SF1 AXE A	0.75	0.45	0.25	0.30
SF2 AXE B	1.20	0.45	0.25	0.30
SF3 AXE C	1.45	0.45	0.25	0.30
SF4 AXE D	0.50	0.45	0.25	0.30

Tableau VII-14 : Hauteur de la semelle filante du bloc B1 du siège APC.

Bloc B1	B(m)	b (m)	h ₀ (m)	h _t (m)
SF1 AXE 1	0.50	0.45	0.25	0.30
SF2 AXE 2	1.00	0.45	0.25	0.30
SF3 AXE 3	1.25	0.45	0.25	0.30
SF4 AXE 4	1.30	0.45	0.25	0.30
SF5 AXE 5	1.00	0.45	0.25	0.30
SF6 AXE 6	0.40	0.45	0.25	0.30

Tableau VII-15 : Hauteur de la semelle filante du bloc B2 du siège APC.

Bloc B2	B(m)	b (m)	h ₀ (m)	h _t (m)
SF1 AXE A	0.65	0.45	0.25	0.30
SF2 AXE B	1.35	0.45	0.25	0.30
SF3 AXE C	0.85	0.45	0.25	0.30
SF4 AXE D	0.95	0.45	0.25	0.30
SF5 AXE E	0.50	0.45	0.25	0.30
SF6 AXE F	0.35	0.45	0.25	0.30

- **Hauteur de la poutre de libage (H_{pl}) :**

La poutre de libage à un rôle d'assurer la transmission des charges vers la semelle et de relier les points d'appuis d'un même bloc :

$$\frac{L}{9} \leq H_{pl} \leq \frac{L}{6} \quad \rightarrow \quad H_{pl} = \frac{\max(L_1 ; L_n)}{7.5}$$

Tableau VII-16 : Hauteur de la poutre de libage du bloc A1 du siège APC.

Bloc A1	H _{pl} (m)
SF1 AXE A	0.55
SF2 AXE B	0.70
SF3 AXE C	0.55

Tableau VII-17 : Hauteur de la poutre de libage du bloc A2 du siège APC.

Bloc A2	H _{pl} (m)
SF1 AXE A	0.80
SF2 AXE B	0.85
SF3 AXE C	0.65
SF4 AXE D	0.55

Tableau VII-18 : Hauteur de la poutre de libage du bloc B1 du siège APC

Bloc B1	H _{pl} (m)
SF1 AXE 1	0.50
SF2 AXE 2	0.60
SF3 AXE 3	0.95
SF4 AXE 4	0.95
SF5 AXE 5	0.90
SF6 AXE 6	0.75

Tableau VII-19 : Hauteur de la poutre de libage du bloc B2 du siège APC

Bloc B2	H _{pl} (m)
SF1 AXE A	0.55
SF2 AXE B	0.65
SF3 AXE C	0.85
SF4 AXE D	0.85
SF5 AXE E	0.75
SF6 AXE F	0.70

- La longueur élastique (L_e) :

$$L_e = \sqrt[4]{\frac{4 \times E_b \times I}{K \times B}}$$

avec :

- E_b: 11000³√f_{c28} BAEL91 mod99 (Art A. 2.1,21)
- I : Inertie de la semelle.
- K: coeficiant de raideur du sol = 500 t/m³
- B: Largueur de la semelle.

Tableau VII-20 : La longueur élastique du bloc A1 du siège APC.

Bloc A1	I (cm ⁴)	L _e (m)	L _e × π/2 (m)	L _{max} (m)	L _e × π/2 ≥ L _{max}
SF1 AXE A	0.0059	3.49	5.48	5.30	Poutre rigide
SF2 AXE B	0.0210	3.51	5.51	5.30	Poutre rigide
SF3 AXE C	0.0045	3.50	5.50	5.30	Poutre rigide

Tableau VII-21 : La longueur élastique du bloc A2 du siège APC.

Bloc A2	I (cm ⁴)	L _e (m)	L _e × π/2 (m)	L _{max} (m)	L _e × π/2 ≥ L _{max}
SF1 AXE A	0.0309	4.51	7.09	6.9	Poutre rigide
SF2 AXE B	0.0460	4.43	6.96	6.9	Poutre rigide
SF3 AXE C	0.0171	3.30	5.19	5.05	Poutre rigide
SF4 AXE D	0.0066	3.39	5.33	5.05	Poutre rigide

Tableau VII-22 : La longueur élastique du bloc B1 du siège APC.

Bloc B1	I (cm ⁴)	L _e (m)	L _e × π/2 (m)	L _{max} (m)	L _e × π/2 ≥ L _{max}
SF1 AXE 1	0.0049	3.16	4.96	4.90	Poutre rigide
SF2 AXE 2	0.0116	3.29	5.17	4.90	Poutre rigide
SF3 AXE 3	0.0502	4.49	7.05	6.90	Poutre rigide
SF4 AXE 4	0.0509	4.46	7.00	6.90	Poutre rigide
SF5 AXE 5	0.0391	4.46	7.00	6.90	Poutre rigide
SF6 AXE 6	0.0149	4.40	6.92	6.90	Poutre rigide

Tableau VII-23 : La longueur élastique du bloc B2 du siège APC.

Bloc B2	I (cm ⁴)	L _e (m)	L _e × π/2 (m)	L _{max} (m)	L _e × π/2 ≥ L _{max}
SF1 AXE A	0.0074	3.28	5.15	5.10	Poutre rigide
SF2 AXE B	0.0166	3.34	5.24	5.10	Poutre rigide
SF3 AXE C	0.0308	4.37	6.87	6.6	Poutre rigide
SF4 AXE D	0.0323	4.30	6.76	6.6	Poutre rigide
SF5 AXE E	0.0167	4.28	6.72	6.6	Poutre rigide
SF6 AXE F	0.0113	4.25	6.67	6.6	Poutre rigide

- **1^{ère} Vérification de la stabilité de la semelle :**

$$e_1 < \frac{L}{6} \quad \text{avec : } e_1 = \frac{M_{\max}}{N_{\max}} \quad (\text{combinaison } 0.8G \pm E)$$

Tableau VII-24 : 1^{ère} vérification de la stabilité de la semelle du bloc A1 du siège APC.

Bloc A1	M_{max} (t.m)	N_{max} (t)	e (m)	L_{max} (m)	$L/6$ (m)	$e \leq L/6$ (m)
SF1 AXE A	0.88	22.09	0.039	0.40	0.067	Condition vérifier
SF2 AXE B	0.97	78.03	0.012	1.35	0.225	Condition vérifier
SF3 AXE C	1.31	21.77	0.05	0.30	0.05	Condition vérifier

Tableau VII-25 : 1^{ère} vérification de la stabilité de la semelle du bloc A2 du siège APC.

Bloc A2	M_{max} (t.m)	N_{max} (t)	e (m)	L_{max} (m)	$L/6$ (m)	$e \leq L/6$ (m)
SF1 AXE A	1.19	25.98	0.045	0.75	0.125	Condition vérifier
SF2 AXE B	2.86	79.12	0.036	1.20	0.20	Condition vérifier
SF3 AXE C	2.37	94.20	0.025	1.45	0.242	Condition vérifier
SF4 AXE D	2.23	35.13	0.063	0.50	0.083	Condition vérifier

Tableau VII-26 : 1^{ère} vérification de la stabilité de la semelle du bloc B1 du siège APC.

Bloc B1	M_{max} (t.m)	N_{max} (t)	e (m)	L_{max} (m)	$L/6$ (m)	$e \leq L/6$ (m)
SF1 AXE 1	2.44	22.00	0.011	0.50	0.083	Condition vérifier
SF2 AXE 2	3.12	37.34	0.08	1.00	0.167	Condition vérifier
SF3 AXE 3	2.95	61.74	0.05	1.25	0.208	Condition vérifier
SF4 AXE 4	3.43	57.73	0.06	1.30	0.217	Condition vérifier
SF5 AXE 5	3.25	52.96	0.06	1.00	0.167	Condition vérifier
SF6 AXE 6	0.90	19.74	0.046	0.40	0.067	Condition vérifier

Tableau VII-27 : 1^{ère} vérification de la stabilité de la semelle du bloc B2 du siège APC.

Bloc B2	M_{max} (t.m)	N_{max} (t)	e (m)	L_{max} (m)	$L/6$ (m)	$e \leq L/6$ (m)
SF1 AXE A	0.84	25.95	0.032	0.65	0.108	Condition vérifier
SF2 AXE B	0.54	57.43	0.009	1.35	0.225	Condition vérifier
SF3 AXE C	1.67	50.55	0.033	0.85	0.142	Condition vérifier
SF4 AXE D	1.73	64.91	0.027	0.95	0.158	Condition vérifier
SF5 AXE E	1.36	21.73	0.063	0.50	0.083	Condition vérifier
SF6 AXE F	0.23	20.35	0.011	0.35	0.058	Condition vérifier

• 2^{ème} Vérification de la stabilité de la semelle :

On doit vérifier que :

$$\begin{cases} \sigma_{12} = \frac{N}{B \times h_t} \pm \frac{M \times N}{I} \\ \sigma_{myn} = \frac{(3 \times \sigma_1) + \sigma_2}{4} \leq \overline{\sigma_{sol}} \end{cases} \quad \text{avec: } \begin{cases} \text{l'effort (N)} \\ \text{le moment (M)} \end{cases} \rightarrow \text{à l'ELU}$$

Tableau VII-28 : 2^{ème} vérification de la stabilité de la semelle du bloc A1 du siège APC.

Bloc A1	σ_1 (t/m ²)	σ_2 (t/m ²)	σ_m (t/m ²)	$\overline{\sigma_{sol}}$ (t/m ²)	$\sigma_m \leq \overline{\sigma_{sol}}$ t/m ²
SF1 AXE A	19.30	18.75	19.16	20	Condition vérifier
SF2 AXE B	22.52	10.30	19.46	20	Condition vérifier
SF3 AXE C	16.12	15.33	15.93	20	Condition vérifier

Tableau VII-29 : 2^{ème} vérification de la stabilité de la semelle du bloc A2 du siège APC.

Bloc A2	σ_1 (t/m ²)	σ_2 (t/m ²)	σ_m (t/m ²)	$\overline{\sigma_{sol}}$ (t/m ²)	$\sigma_m \leq \overline{\sigma_{sol}}$ t/m ²
SF1 AXE A	24.37	5.31	19.60	20	Condition vérifier
SF2 AXE B	20.04	15.63	18.94	20	Condition vérifier
SF3 AXE C	19.91	19.07	19.70	20	Condition vérifier
SF4 AXE D	22.62	9.62	19.37	20	Condition vérifier

Tableau VII-30 : 2^{ème} vérification de la stabilité de la semelle du bloc B1 du siège APC.

Bloc B1	σ_1 (t/m ²)	σ_2 (t/m ²)	σ_m (t/m ²)	$\overline{\sigma_{sol}}$ (t/m ²)	$\sigma_m \leq \overline{\sigma_{sol}}$ t/m ²
SF1 AXE 1	20.07	17.74	19.48	20	Condition vérifier
SF2 AXE 2	19.84	18.73	19.56	20	Condition vérifier
SF3 AXE 3	20.82	16.91	19.84	20	Condition vérifier
SF4 AXE 4	20.21	19.37	19.98	20	Condition vérifier
SF5 AXE 5	20.10	19.28	19.90	20	Condition vérifier
SF6 AXE 6	19.55	15.91	18.64	20	Condition vérifier

Tableau VII-31 : 2^{ème} vérification de la stabilité de la semelle du bloc B2 du siège APC.

Bloc B2	σ_1 (t/m ²)	σ_2 (t/m ²)	σ_m (t/m ²)	$\overline{\sigma_{sol}}$ (t/m ²)	$\sigma_m \leq \overline{\sigma_{sol}}$ t/m ²
SF1 AXE A	20.49	18.07	19.88	20	Condition vérifier
SF2 AXE B	22.19	12.94	19.87	20	Condition vérifier
SF3 AXE C	20.91	17.17	19.98	20	Condition vérifier
SF4 AXE D	19.91	18.45	19.55	20	Condition vérifier
SF5 AXE E	19.66	18.16	19.29	20	Condition vérifier
SF6 AXE F	20.20	15.28	18.97	20	Condition vérifier

➤ VII-1-2-2-Ferraillage des semelles :

$$\begin{cases} \sigma_{12} = \frac{N}{B \times h_t} \pm \frac{M \times N}{I} \\ \sigma_{myn} = \frac{(3 \times \sigma_1) + \sigma_2}{4} \end{cases} \quad \text{avec: } \begin{cases} \text{l'effort (N)} \\ \text{le moment (M)} \end{cases} \rightarrow \text{à l'ELU}$$

Tableau VII-32 : Ferraillage de la semelle du bloc A1 du siège APC.

Bloc A1	σ_1 (t/m ²)	σ_2 (t/m ²)	σ_m (t/m ²)	A_s choisi (cm ²)
SF1 AXE A	19.30	18.75	19.16	T12/ ml
SF2 AXE B	22.52	10.30	19.46	T12/ ml
SF3 AXE C	16.12	15.33	15.93	T12/ ml

Tableau VII-33 : Ferraillage de la semelle du bloc A2 du siège APC.

Bloc A2	σ_1 (t/m ²)	σ_2 (t/m ²)	σ_m (t/m ²)	A_s choisi (cm ²)
SF1 AXE A	24.37	5.31	19.60	T12/ ml
SF2 AXE B	20.04	15.63	18.94	T12/ ml
SF3 AXE C	19.91	19.07	19.70	T12/ ml
SF4 AXE D	22.62	9.62	19.37	T12/ ml

Tableau VII-34 : Ferraillage de la semelle du bloc B1 du siège APC.

Bloc B1	σ_1 (t/m ²)	σ_2 (t/m ²)	σ_m (t/m ²)	A_s choisi (cm ²)
SF1 AXE 1	20.07	17.74	19.48	T12/ ml
SF2 AXE 2	19.84	18.73	19.56	T12/ ml
SF3 AXE 3	20.82	16.91	19.84	T12/ ml
SF4 AXE 4	20.21	19.37	19.98	T12/ ml
SF5 AXE 5	20.10	19.28	19.90	T12/ ml
SF6 AXE 6	19.55	15.91	18.64	T12/ ml

Tableau VII-35 : Ferraillage de la semelle du bloc B2 du siège APC.

Bloc B2	σ_1 (t/m ²)	σ_2 (t/m ²)	σ_m (t/m ²)	A_s choisi (cm ²)
SF1 AXE A	20.49	18.07	19.88	T12/ ml
SF2 AXE B	22.19	12.94	19.87	T12/ ml
SF3 AXE C	20.91	17.17	19.98	T12/ ml
SF4 AXE D	19.91	18.45	19.55	T12/ ml
SF5 AXE E	19.66	18.16	19.29	T12/ ml
SF6 AXE F	20.20	15.28	18.97	T12/ ml

➤ VII-1-2-3-Ferraillage des poutres de libages :

SF1 AXE A :

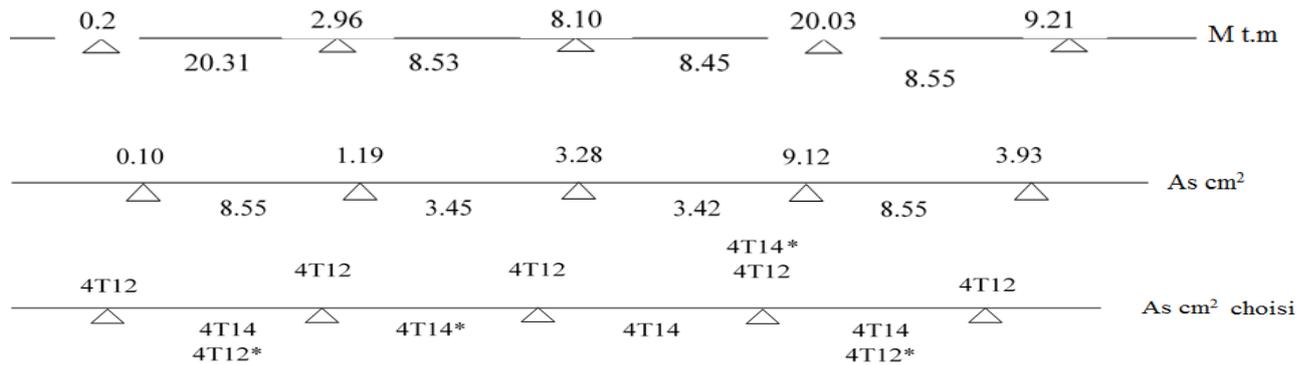


Tableau VII-36 : Ferraillage des poutres se libages du bloc A1

Bloc A1	M_a (t.m)	M_t (t.m)	$A_{s a}$ (cm^2)	$A_{s t}$ (cm^2)	$A_{s a\text{ choisi}}$ (cm^2)	$A_{s t\text{ choisi}}$ (cm^2)
SF2 AXE B	76.48	41.10	32.1	16.2	4T16+4T20 +4T20	4T14+4T14+4T14
SF3 AXE C	13.28	11.18	5.04	4.23	4T14	4T14

Tableau VII-37 : Ferraillage des poutres se libages du bloc A2

Bloc A1	M_a (t.m)	M_t (t.m)	$A_{s a}$ (cm^2)	$A_{s t}$ (cm^2)	$A_{s a\text{ choisi}}$ (cm^2)	$A_{s t\text{ choisi}}$ (cm^2)
SF1 AXE A	43.31	28.93	14.06	9.25	4T14+4T16	4T12+4T14
SF2 AXEB	112.66	80.40	39.83	27.24	4T20+4T20 +4T16+4T16	4T20+4T16 +4T16
SF3 AXE C	71.38	64.73	35.70	61.76	4T20+4T20 +4T20	4T16+4T20 +4T20
SF4 AXE D	24.37	22.86	10.87	10.17	4T14+4T16	4T14+4T12

Tableau VII-38 : Ferraillage des poutres se libages du bloc B1

Bloc A1	M_a (t.m)	M_t (t.m)	$A_{s a}$ (cm^2)	$A_{s t}$ (cm^2)	$A_{s a\text{ choisi}}$ (cm^2)	$A_{s t\text{ choisi}}$ (cm^2)
SF1 AXE A	20.82	20.95	9.22	9.28	4T14+4T12	4T12+4T14
SF2 AXE B	38.33	38.66	17.62	17.78	4T20+4T16	4T20+4T16
SF3 AXE C	98.84	80.97	34.29	27.45	4T20+4T20 +4T20	4T16+4T16 +4T20
SF3 AXE D	106.35	88.79	37.26	30.4	4T16+4T20 +4T20	4T20+4T20 +4T20
SF3 AXE E	86.44	74.6	29.51	25.10	4T16+4T20 +4T20	4T16+4T16 +4T20
SF3 AXE F	31.44	25.11	10.08	8.00	4T14+4T12	4T16

Tableau VII-39 : Ferrailage des poutres se libages du bloc B2.

Bloc A1	M_a (t.m)	M_t (t.m)	$A_{s a}$ (cm^2)	$A_{s t}$ (cm^2)	$A_{s a}$ choisi (cm^2)	$A_{s t}$ choisi (cm^2)
SF1 AXE A	29.59	18.12	13.34	7.98	4T14+4T16	4T16
SF2 AXE B	55.02	46.25	26.31	21.65	4T20+4T16 +4T16	4T14+4T16 +4T16
SF3 AXE C	67.24	52.98	23.93	18.51	4T16+4T16 +4T20	4T16+4T20
SF3 AXE D	78.66	38.61	28.44	20.62	4T16+4T16 +4T20	4T20+4T16
SF3 AXE E	36.98	31.13	12.66	10.59	4T14+4T16	4T14+4T12
SF3 AXE F	29.73	22.41	10.1	7.55	4T14+4T12	4T16

VII-2-Les voiles périphériques :

Le voile périphérique est un mur en BA qui entoure tout le bâtiment (boîte de rigidités) et assure un bon encastrement et une bonne stabilité de l'ensemble, On utilise le voile Périphérique pour éviter le cisaillement dans les poteaux courts, Il se comporte comme un mur de soutènement encastré à sa base ou radier pour résister à la poussée des terres entreprend les efforts du séisme au niveau de la base de la construction.



Figure VII-5 : Voile périphérique.

D'après le RPA 99/2003, le voile périphérique doit avoir les caractéristiques minimales suivantes :

- L'épaisseur 15 cm ;
- Les armatures sont constituées de deux nappes ;
- Le pourcentage minimal des armatures est de 0,1% dans les deux sens (horizontal et vertical) ;
- Un recouvrement de 40Φ pour le renforcement des angles.

On adopte $e = 20$ cm, la hauteur du voile périphérique = 4.08 m et on fait

Le calcul pour une bande de 1 m de largeur :

- Q : surcharge d'exploitation = 25 kN/m² ;
- γ : poids volumique de la terre = 17 kN/m³ ;
- φ : angle de frottement interne du sol = 32° ;
- K_a : coefficient de poussée des terres :

$$\left\{ \begin{array}{l} K_a = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \\ K_q = \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) e^{-\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) \tan \varphi} \end{array} \right. \rightarrow \begin{array}{l} \varphi: \text{angle de frottement en degré} \\ \text{avec: } \begin{cases} \pi = 180^\circ \\ \varphi = \text{en degré} \\ \pi = 3.14 \\ \varphi = \text{en radian} \\ \varphi = \text{en degré} \end{cases} \end{array}$$

VII-2-1-Calcul des charges :

On prend comme hypothèse pour le calcul des voiles, un encastrement parfait au niveau du massif des fondations et libre à l'autre côté.

1. Poussée des terres :

$$P_1 = K_a \times \gamma \times h$$

$$\text{avec : } \left\{ \begin{array}{l} K_a = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{32}{2}\right) = 0.307 \\ \gamma = 17 \text{ kN} / \text{m}^3 \\ h = \text{Hauteur du voile} = 4.08 \text{ m} \end{array} \right.$$

$$P_1 = 0.307 \times 4.08 \times 17$$

$$P_1 = 21.31 \text{ kN} / \text{m}^2$$

2. Poussée supplémentaire due à la surcharge :

$$P_2 = K_a' \times q$$

$$\text{avec : } \left\{ \begin{array}{l} K_q = \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) e^{-\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) \times \tan \varphi} = 0.294 \\ q = 25 \text{ kN} / \text{m}^2 \end{array} \right.$$

$$P_2 = 0.294 \times 25$$

$$P_2 = 7.35 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Le diagramme des pressions correspondant à P_2 est alors un rectangle de hauteur h et de base $K_a \times \phi$, et la résultante P_2 passe au milieu de la hauteur du mur.

3. La charge pondérée à l'ELU :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{\min} = 1.5 \times P_2 = 11.03 \text{ kN} / \text{m}^2 \\ \sigma_{\max} = 1.35 \times P_1 + 1.5 \times P_2 = 39.79 \text{ kN} / \text{m}^2 \\ \sigma_{\text{moy}} = \frac{(3 \times \sigma_{\max}) + \sigma_{\min}}{4} = 32.60 \text{ kN} / \text{m}^2 \\ q_u = \sigma_{\text{moy}} = 32.60 \times 1 \text{ m} = 32.60 \text{ kN} / \text{ml} \end{array} \right.$$

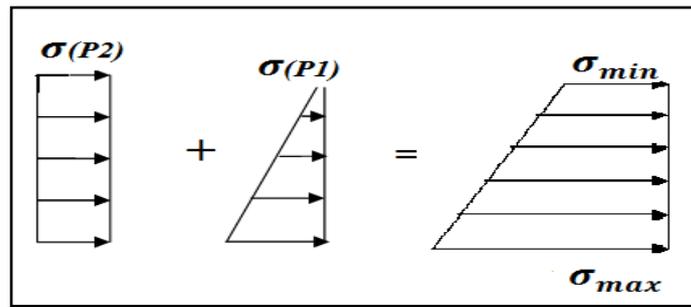


Figure VII-6 : Coupe explicative des charges que subit le voile périphérique

VII-2-2-Calcul des sollicitations :

L'étude se fait pour le cas d'une dalle uniformément chargée

$$\begin{cases} L_x = 4.08 - 0.24 = 3.84 \text{ m} \\ L_y = 5.30 - 0.24 = 5.06 \text{ m} \end{cases} \rightarrow \alpha = \frac{L_x}{L_y} = \frac{3.84}{5.06} = 0.76 > 0.4$$

Ce qui veut dire que la dalle qui est appuyée sur 4 cotés travaille dans les deux sens.

1. Calcul du moment isostatique :

$$\begin{cases} \text{suivant X: } M_{0x} = \mu_x \times Q \times L_x^2 \\ \text{suivant Y: } M_{0y} = \mu_y \times M_{0x} \end{cases}$$

Avec : $\begin{cases} \alpha = 0.76 \\ v = 0 \text{ (ELU)} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \mu_x = 0.0608 \\ \mu_y = 0.5274 \end{cases}$

$$\begin{cases} \text{suivant X: } M_{0x} = 29.23 \text{ kN.m} \\ \text{suivant Y: } M_{0y} = 15.41 \text{ kN.m} \end{cases}$$

2. Calcul du moment en travée :

$$\begin{cases} \text{suivant X: } M_{tx} = 0.85 \times M_{0x} = 0.85 \times 29.23 \\ \text{suivant Y: } M_{ty} = 0.85 \times M_{0y} = 0.85 \times 15.41 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \text{suivant X: } M_{tx} = 24.84 \text{ kN.m} \\ \text{suivant Y: } M_{ty} = 13.10 \text{ kN.m} \end{cases}$$

Tableau VII-40 : Moment isostatique du quatre blocs de siège d'APC.

Blocs	q _u (kN/m ²)	L _x (m)	M _{0x} (kN. m)	M _{0y} (kN. m)
A1	32.60	4.85	46.62	24.59
A2	32.60	6.50	83.74	44.16
B1	32.60	6.15	74.97	39.54
B2	32.60	6.15	74.97	39.54

3. Calcul du moment en travée :

$$\begin{cases} \text{suivant X: } M_{tx} = 0.85 \times M_{0x} \\ \text{suivant Y: } M_{ty} = 0.85 \times M_{0y} \end{cases}$$

Tableau VII-41 : Moment isostatique du quatre blocs de siège d'APC.

Blocs	M _{tx} (kN. m)	M _{ty} (kN. m)
A1	39.63	20.90
A2	71.18	37.54
B1	63.72	33.61
B2	63.72	33.61

Vérification :

on doit vérifier que : $M_{ty} \geq \frac{M_{tx}}{4}$

Tableau VII-42 : La vérification du quatre blocs de siège d'APC

Blocs	M_{ty} (kN. m)	M_{tx} (kN. m)	$M_{ty} \geq M_{tx}/4$
A1	16.02	39.63	Condition vérifier
A2	28.79	71.18	Condition vérifier
B1	25.77	63.72	Condition vérifier
B2	25.77	63.72	Condition vérifier

VII-2-3-Calcul du ferrailage : exemple de calcul bloc A1 :

Sens X :

On a : $\begin{cases} M_{tx} = 39.63 \text{ kN. m} \\ b = 100 \text{ cm} \\ h = 20 \text{ cm} = 0.20 \text{ m} \\ d = 0.9 \times h = 18 \text{ cm} \end{cases}$

$$\begin{cases} \mu = \frac{M_{tx}}{b \times d^2 \times f_{bc}} \\ \mu = \frac{39.63 \times 10^3}{100 \times 18^2 \times 14.17} = 0.086 \\ \mu < \mu_1 = 0.392 \rightarrow \begin{cases} \mu_1 = 0.392 \text{ (précis de calcul BA(2.23)page: 191)} \\ A' = 0 \\ \mu = 0.066 \rightarrow \beta = 0.955 \end{cases} \end{cases}$$

$$\begin{cases} A_s = \frac{M_{tx}}{\beta \times d \times \sigma_{bc}} = \frac{39.63 \times 10^3}{0.955 \times 18 \times 348} \\ A_s = 6.62 \text{ cm}^2 \times 2 \end{cases}$$

Tableau VII-43 : La section du ferrailage de quatre blocs de siège d'APC suivant le sens X

Blocs	M_{tx} (kN. m)	μ	β	A_s (cm ²)
A2	71.18	0.155	0.9155	12.41
B1	63.72	0.14	0.924	11.00
B2	63.72	0.14	0.924	11.00

Sens Y :

On a:

$$\begin{cases} M_{ty} = 20.90 \text{ kN. m} \\ b = 100 \text{ cm} \\ h = 20 \text{ cm} \\ d = 0.9 \times h = 18 \text{ cm} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \mu = \frac{M_{tx}}{b \times d^2 \times f_{bc}} \\ \mu = \frac{20.90 \times 10^3}{100 \times 18^2 \times 14.17} = 0.045 \\ \mu < \mu_1 = 0.392 \rightarrow \begin{cases} A' = 0 \\ \mu = 0.045 \rightarrow \beta = 0.977 \end{cases} \\ \begin{cases} A_s = \frac{M_{tx}}{\beta \times d \times \sigma_{bc}} = \frac{20.90 \times 10^3}{0.977 \times 18 \times 348} \\ A_s = 3.42 \text{ cm}^2 \end{cases} \end{cases}$$

Tableau VII-44 : La section du ferrailage de quatre blocs de siège d'APC suivant le sens Y

Blocs	M _{ty} (kN. m)	μ	β	A _s (cm ²)
A2	37.54	0.082	0.957	6.26
B1	33.61	0.073	0.9625	5.57
B2	33.61	0.073	0.9625	5.57

VII-2-4-Les verifications:

a. Condition de non fragilité:

Sens Y:

D'après le RPA 99/2003(Art 10.1.2) :

$$\begin{cases} A_{y \min} = 0.10\% \times b \times h \\ A_{y \min} = 0.10\% \times 100 \times 20 = 2.00 \text{ cm}^2/\text{ml} \end{cases}$$

D'après le BAEL91 :

$$\begin{cases} A_{y \min} = 08 \times h \\ A_{y \min} = 8 \times 0.2 = 1.6 \text{ cm}^2/\text{ml} \end{cases}$$

Donc : A_{adoptée} = max(A_t calculé ; A_{min} RPA ; A_{min} BAEL)

Tableau VII-45 : Le ferrailage de quatre blocs de siège d'APC suivant le sens Y

Blocs	A _{adoptée} (cm ²)	A _{choisi} (cm ²)
A1	3.42	2T12+2T12=4.52
A2	6.26	4T12+4T12=9.05
B1	5.57	4T12+4T12=9.05
B2	5.57	4T12+4T12=9.05

Sens X :

D'après le RPA 99/2003(Art 10.1.2) :

$$\begin{cases} A_{x \min} = 0.10\% \times b \times h \\ A_{x \min} = 0.10\% \times 100 \times 20 = 2.00 \text{ cm}^2/\text{ml} \end{cases}$$

D'après le BAEL91 :

$$\begin{cases} A_{x \min} = A_{y \min} \times \left(\frac{3 - \alpha}{2}\right) \\ A_{x \min} = 1.6 \times \left(\frac{3 - 0.76}{2}\right) = 1.79 \text{ cm}^2/\text{ml} \end{cases}$$

Donc : $A_{adoptée} = \max(A_t \text{ calculé} ; A_{\min \text{ RPA}} ; A_{\min \text{ BAEL}})$

Tableau VII-46 : Le ferrailage de quatre blocs de siège d'APC suivant le sens X

Blocs	$A_{adoptée} (cm^2)$	$A_{choisi} (cm^2)$
A1	6.62	5T12×2=11.31
A2	12.41	6T12×2=13.57
B1	11.00	6T12×2=13.57
B2	11.00	6T12×2=13.57

b. Vérification de l'effort tranchant :

On doit vérifier que : $\tau_u \leq \bar{\tau}_u$

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_u = \frac{V_u}{b \times d} \quad \text{BAEL 91 mod 99 (ArtA. 5.1,1)} \\ \bar{\tau}_u = \max\left(\frac{0.2 \times f_{c28}}{\gamma_b} ; 5 \text{ MPa}\right) \quad \text{BAEL 91 mod99 (Art A. 5.1.211)} \\ \bar{\tau}_u = \max\left(\frac{0.2 \times 25}{1.5} ; 5 \text{ MPa}\right) = \max(3.33 \text{ MPa} ; 5 \text{ MPa}) = 5 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

On a : $\alpha = 0.76 > 0.4$ donc :

$$\left\{ \begin{array}{l} V_x = q_u \times \frac{L_x}{2 \times \left(1 + \frac{\alpha}{2}\right)} \\ V_y = \frac{q_u \times L_x}{3} \leq V_x \end{array} \right.$$

Tableau VII-47 : L'effort tranchant de quatre blocs de siège d'APC.

Blocs	$q_u (kN/m^2)$	$L_x (m)$	$V_x (kN)$	$V_y (kN)$	$V_{\max} (kN)$
A1	32.60	4.85	57.28	52.70	57.28
A2	32.60	6.50	76.77	70.63	76.77
B1	32.60	6.15	72.64	66.83	72.64
B2	32.60	6.15	72.64	66.83	72.64

Tableau VII-48 : Vérification de l'effort tranchant de quatre blocs de siège d'APC.

Blocs	$V_{\max} (kN)$	b(cm)	d(cm)	$\tau_u (MPa)$	$\bar{\tau}_u (MPa)$	Observation
A1	57.28	100	18	0.320	5	Condition vérifier
A2	76.77	100	18	0.426	5	Condition vérifier
B1	72.64	100	18	0.403	5	Condition vérifier
B2	72.64	100	18	0.403	5	Condition vérifier

Puisque cette condition a été vérifiée, donc les armatures transversales ne sont pas nécessaires.

c. Vérification à l'ELS :

La charge pondérée à l'ELS :

$$\begin{cases} \sigma_{\min} = P_2 = 7.35 \text{ kN/m}^2 \\ \sigma_{\max} = P_1 + P_2 = 28.66 \text{ kN/m}^2 \\ \sigma_{\text{moy}} = \frac{(3 \times \sigma_{\max}) + \sigma_{\min}}{4} = 23.33 \text{ kN/m}^2 \\ q_s = \sigma_{\text{moy}} = 20.58 \times 1\text{m} = 23.33 \text{ kN/ml} \end{cases}$$

Calcul du moment isostatique :

$$\begin{cases} \text{suivant X: } M_{0x} = \mu_x \times q_s \times L_x^2 \\ \text{suivant Y: } M_{0y} = \mu_y \times M_{0x} \end{cases} \text{ avec: } \begin{cases} \mu_x = 0.0608 \\ \mu_y = 0.5274 \end{cases}$$

Tableau VII-49 : Moment isostatique du quatre blocs de siège d'APC.

Blocs	q_u (kN/m ²)	L_x (m)	M_{0x} (kN. m)	M_{0y} (kN. m)
A1	23.33	4.85	33.37	17.60
A2	23.33	6.50	59.93	31.6
B1	23.33	6.15	53.65	28.30
B2	23.33	6.15	53.65	28.30

Calcul du moment en travée :

$$\begin{cases} \text{suivant X: } M_{tx} = 0.85 \times M_{0x} \\ \text{suivant Y: } M_{ty} = 0.85 \times M_{0y} \end{cases}$$

Tableau VII-50 : Moment isostatique du quatre blocs de siège d'APC.

Blocs	M_{tx} (kN. m)	M_{ty} (kN. m)
A1	28.36	14.96
A2	50.94	26.86
B1	45.60	24.05
B2	45.60	24.05

Vérification des contraintes :

On doit vérifier que :

$$\begin{cases} \sigma_{bc} \leq \overline{\sigma}_{bc} \\ \sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I} \times y \quad \text{précis de calcul BA page: 130 (2.2; formule: 6)} \\ \overline{\sigma}_{bc} = 0.6 \times f_{c28} \quad \text{BAEL91 mod 99 (Art A. 4.5,2)} \end{cases}$$

$$\text{Et : } \begin{cases} \sigma_{st} \leq \overline{\sigma}_{st} \\ \sigma_{st} = 15 \times \frac{M_{ser}}{I} \times (d - y) \quad \text{précis de calcul BA page: 130 (2.2; formule: 8)} \\ \overline{\sigma}_{st} = \min(\frac{2}{3} f_e ; 150\eta) \quad \text{Précis de calcul BA page: 84(2.3)} \\ \overline{\sigma}_{st} = 240 \text{ MPa (FeE400)} \quad \text{fissuration préjudiciale} \end{cases}$$

Sens X :

Exemple da calcul bloc A1 :

- **Position de l'axe neutre :**

Déterminée avec l'équation des moments statiques :

On a: $d = 18 \text{ cm}$; $b = 100 \text{ cm}$; $\eta = 15$; $A'_s = 0 \text{ cm}^2$; $A_s = 11.31 \text{ cm}^2$

$$S = \frac{b \times y_1^2}{2} + \eta \times A'_s \times (h_0 - C') - \eta \times A_s \times (d - y_1) = 0$$

$$\rightarrow S = \frac{100 \times y_1^2}{2} - 15 \times 11.31 \times (18 - y_1)$$

$$\rightarrow 50y_1^2 + 169.65y_1 - 3053.7 = 0$$

$$\rightarrow \sqrt{\Delta} = 799.70 \quad \rightarrow \begin{cases} y_{1(1)} = -9.69 \text{ cm (inadmissible)} \\ y_{1(2)} = 6.30 \text{ cm} \end{cases}$$

Tableau VII-51 : Position de l'axe neutre suivant X du quatre blocs de siège d'APC.

Blocs	d (cm)	b (cm)	η	A'_s (cm ²)	A_s (cm ²)	$y_{1(2)}$ (cm)
A2	18	100	15	0	13.57	6.76
B1	18	100	15	0	13.57	6.76
B2	18	100	15	0	13.57	6.76

- **Calcul de moment d'inertie I_x :**

$$I_x = \frac{b \times y_1^3}{3} + \eta \times A'_s \times (h_0 - C') + \eta \times A_s \times (d - y_1)^2$$

$$I_x = \frac{100 \times 6.30^3}{3} + 15 \times 11.31 \times (18 - 6.30)^2 = 31558.29 \text{ cm}^4$$

$$I_x = 31558.29 \text{ cm}^4.$$

Tableau VII-52 : Moment inertie suivant X du quatre blocs de siège d'APC.

Blocs	I_x (cm ⁴)
A2	36013.21
B1	36013.21
B2	36013.21

- **Calcul de contrainte maximale dans le béton comprimé « σ_{bc} » :**

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I_x} \times y_1 = \frac{28.36}{31558.29 \times 10^{-8}} \times 6.30 \times 10^{-2}$$

$$\sigma_{bc} = 5661.52 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{bc} = 5.66 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa} \quad \text{condition vérifier}$$

Tableau VII-53 : La contrainte maximale dans le béton suivant X du quatre blocs de siège d'APC.

Blocs	M_{ser} (kN.m)	y_1 (cm)	I_x (cm ⁴)	σ_{bc} (MPa)	$\overline{\sigma}_{bc}$ (MPa)	Observation
A2	50.94	6.76	36013.21	9.56	15	Condition vérifier
B1	45.60	6.76	36013.21	8.56	15	Condition vérifier
B2	45.60	6.76	36013.21	8.56	15	Condition vérifier

- **Contrainte maximale dans l'acier tendue « σ_{st} » :**

$$\sigma_{st} = \eta \times \frac{M_{ser}}{I_x} \times (d - y_1)$$

$$\sigma_{st} = 15 \times \frac{28.36}{31558.29 \times 10^{-8}} \times (18 - 6.30) \times 10^{-2}$$

$$\sigma_{st} = 157713.87 \text{ kN/m}^2 = 157.71 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma_{st}} = 240 \text{ MPa} \quad \text{C.V}$$

Tableau VII-54 : La contrainte maximale dans l'acier tendu suivant X du quatre blocs de siège d'APC.

Blocs	η	M_{ser} (kN.m)	d (cm)	y_1 (cm)	I_x (cm ⁴)	σ_{st} (MPa)	$\overline{\sigma_{st}}$ (MPa)	Observation
A2	15	50.94	18	6.76	36013.21	238.48	240	Condition vérifier
B1	15	45.60	18	6.76	36013.21	213.48	240	Condition vérifier
B2	15	45.60	18	6.76	36013.21	213.48	240	Condition vérifier

Sens Y :

$$M_{ser} = 14.96 \text{ kN.m}$$

- **Position de l'axe neutre :**

Déterminée avec l'équation des moments statiques :

$$\text{On a: } d = 18 \text{ cm; } b = 100 \text{ cm; } \eta = 15; A'_s = 0 \text{ cm}^2; A_s = 4.52 \text{ cm}^2$$

$$S = \frac{b \times y_1^2}{2} + \eta \times A'_s \times (h_0 - C') - \eta \times A_s \times (d - y_1) = 0$$

$$\rightarrow S = \frac{100 \times y_1^2}{2} - 15 \times 4.52 \times (18 - y_1)$$

$$\rightarrow 50y_1^2 + 67.80y_1 - 1220.4 = 0$$

$$\rightarrow \sqrt{\Delta} = 498.68$$

$$\rightarrow \begin{cases} y_{1(1)} = -5.66 \text{ cm (inadmissible)} \\ y_{1(2)} = 4.31 \text{ cm} \end{cases}$$

Tableau VII-55 : Position de l'axe neutre suivant Y du quatre blocs de siège d'APC

Blocs	d (cm)	b (cm)	η	A'_s (cm ²)	A_s (cm ²)	$y_{1(2)}$ (cm)
A2	18	100	15	0	9.05	5.76
B1	18	100	15	0	9.05	5.76
B2	18	100	15	0	9.05	5.76

- Calcul de moment d'inertie I_x :

$$I_y = \frac{b \times y_1^3}{3} + \eta \times A'_s \times (h_0 - C') + \eta \times A_s \times (d - y_1)^2$$

$$I_y = \frac{100 \times 4.31^3}{3} + 15 \times 4.52 \times (18 - 4.31)^2 = 15375.58 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 15375.58 \text{ cm}^4.$$

Tableau VII-56 : Moment inertie suivant Y du quatre blocs de siège d'APC.

Blocs	$I_x(\text{cm}^4)$
A2	26707.84
B1	26707.84
B2	26707.84

- Calcul de contrainte maximale dans le béton comprimé « σ_{bc} » :

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I_x} \times y_1 = \frac{14.96}{15375.58 \times 10^{-8}} \times 4.31 \times 10^{-2}$$

$$\sigma_{bc} = 4193.51 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{bc} = 4.19 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa} \quad \text{condition vérifier}$$

Tableau VII-57 : La contrainte maximale dans le béton suivant Y du quatre blocs de siège d'APC.

Blocs	M_{ser} (kN.m)	y_1 (cm)	I_x (cm^4)	σ_{bc} (MPa)	$\overline{\sigma}_{bc}$ (MPa)	Observation
A2	26.86	5.76	26707.84	5.79	15	Condition vérifier
B1	24.05	5.76	26707.84	5.19	15	Condition vérifier
B2	24.05	5.76	26707.84	5.19	15	Condition vérifier

- Contrainte maximale dans l'acier tendue « σ_{st} » :

$$\sigma_{st} = \eta \times \frac{M_{ser}}{I_x} \times (d - y_1)$$

$$\sigma_{st} = 15 \times \frac{14.96}{15375.58 \times 10^{-8}} \times (18 - 4.31) \times 10^{-2}$$

$$\sigma_{st} = 199799.71 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{st} = 199.80 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma}_{st} = 240 \text{ MPa} \quad \text{C.V}$$

Tableau VII-58 : La contrainte maximale dans l'acier tendu suivant X du quatre blocs de siège d'APC.

Blocs	η	M_{ser} (kN.m)	d (cm)	y_1 (cm)	I_x (cm^4)	σ_{st} (MPa)	$\overline{\sigma}_{st}$ (MPa)	Observation
A2	15	26.86	18	5.76	26707.84	184.65	240	Condition vérifier
B1	15	24.05	18	5.76	26707.84	165.33	240	Condition vérifier
B2	15	24.05	18	5.76	26707.84	165.33	240	Condition vérifier

Schéma de ferrailage du voile périphérique :

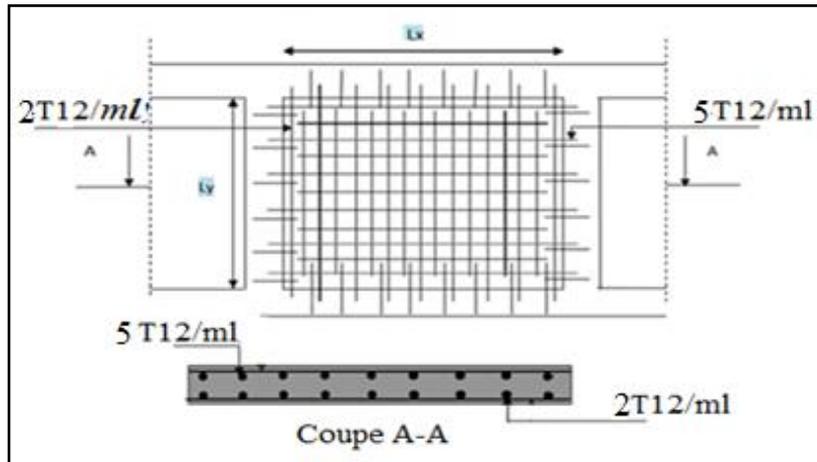


Figure VII-7 : Ferrailage du voile périphérique de la 1^{ère} et la 2^{ème} nappe du bloc A1 de siège APC.

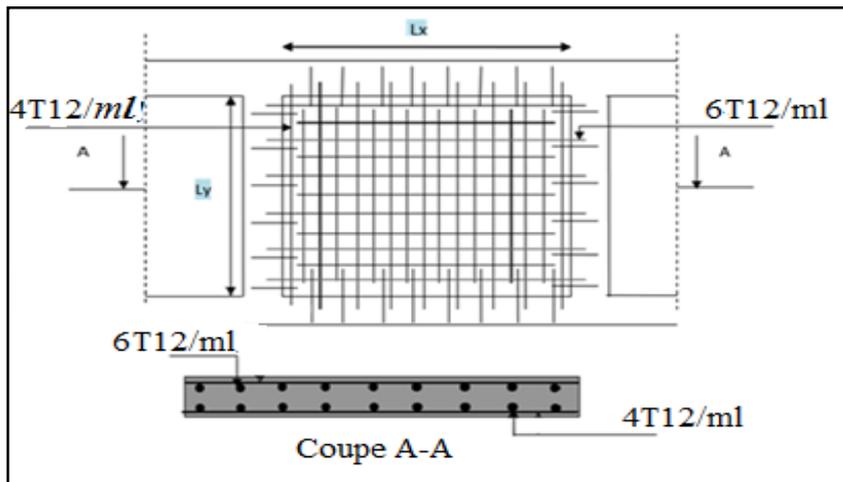


Figure VII-8 : Ferrailage du voile périphérique de la 1^{ère} et la 2^{ème} nappe du trois blocs A2, B1 et B2 de siège APC.