

Chapitre 5 : Calcul des éléments résistant

5.1 Calcul de la dalle de lanterneau :

La dalle de lanterneau est simplement appuyé sur son pourtour elle est annulaire et supportant une charge uniformément répartie pour notre calcul nous avons utilisé des formules qui donnent les valeurs des moments et effort tranchant et pour l'établissement de ces formules on pourra se reporter aux ouvrages suivant :

LEWE : Pflrdecken :

TIMOSHENKO : théorie des plaques.

5.1.1 Calcul des efforts tranchant :

A/L'ELU :

$M_r = \frac{P}{16} (3+\mu) (r^2-x^2)$ moment qui donne des contraintes dirigé suivant le rayon.

$M_\varphi = \frac{P}{16} [(3+\mu) r^2 - (3\mu+1) x^2]$ moment qui donne des contraintes dirigé suivant la perpendiculaire au rayon.

$$P_x = \frac{1777,54}{S_{lan}} = \frac{1777,54}{\pi \frac{\phi^2}{4}}$$

$$P_x = 566,09$$

$$ax = 0,10 \text{ m}$$

$$r = 0,65 \text{ m}$$

$$M_r = \frac{566,09}{16} (3) (0,65^2 - 0,10^2)$$

$$M_r = 43,78 \text{ kg.m}$$

$$M_\varphi = \frac{566,09}{16} [(3) (0,65^2 - (0,10^2))]$$

$$M_\varphi = 44,49 \text{ kg.m}$$

$$ax = 0,65$$

$$M_r = 0$$

Chapitre 5 : Calcul des éléments résistant

$$M\varphi = \frac{566,09}{16} [3(0,65)^2 - (0,65^2)]$$

$$M\varphi = 29,89 \text{ kg.m}$$

5.2 Calcul de T_x :

$$1/ax=0,1 \quad T_x = \frac{566,04 \times 0,1}{2}$$

$$T_x = 28,30 \text{ kg}$$

$$2/ax=0,65 \quad T_x = \frac{566,04 \times 0,65}{2}$$

$$T_x = 183,97 \text{ kg}$$

b/Calcul a L'ELS : $\mu = 0,2$

$$P_s = 400 \text{ kg /m}^2$$

$$ax=0$$

$$M_r = \frac{P}{16} (3+\mu) (r^2 - x^2)$$

$$M_r = \frac{P}{16} (3+0,2) (0,65^2 - 0,10^2)$$

$$M_r = 33 \text{ kg.m}$$

$$M\varphi = \frac{400}{16} [(3+0,2) (0,65)^2 - (3(0,2) + 1) (0,10)^2]$$

$$M\varphi = 33,35 \text{ kg.m}$$

$$ax=0$$

$$M_r=0$$

$$M\varphi = \frac{400}{16} [(3+0,2) (0,65)^2 - (1,6) (0,65)^2]$$

$$M\varphi = 16,9 \text{ kg.m}$$

$$X=0,1 \quad T_x = \frac{400 \times 0,1}{2} = 20 \text{ kg}$$

$$x=0,65 \quad T_x = \frac{400 \times 0,65}{2} = 130 \text{ kg}$$

5.3 Calcul des armatures radial :

$$M_r = 43,78 \text{ kg.m}$$

Chapitre 5 : Calcul des éléments résistant

$$\mu = \frac{M_r}{bd_r^2 f_{bc}}$$

$$\mu = \frac{43,78}{1 \times (0,07)^2 \times 2 \times 17 \times 10^5}$$

$$\mu = 0,005 \leq \mu_l = 0,392$$

Pas des armatures comprimé $A_s' = 0$

$$\alpha = 1,25 (1 - \sqrt{1 - 2\mu})$$

$$\alpha = 1,25 (1 - \sqrt{1 - 2(0,005)})$$

$$\alpha = 0,006$$

$$Z_r = d_r (1 - 0,4\alpha)$$

$$Z_r = 7(1 - 0,4(0,006))$$

$$Z_r = 6,98 \text{ cm}$$

$$A_r = \frac{M_r}{Z_r \sigma_s}$$

$$A_r = \frac{43,78}{0,0698 \times 348 \times 10^5}$$

$$A_r = 0,18 \text{ cm}^2$$

5.4 Condition de non fragilité :

$$A_{\min} \geq 0,23 b \cdot d \cdot \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$A_{\min} \geq 0,23 \times 100 \times 7 \times \frac{2,4}{400}$$

$$A_{\min} \geq 0,97 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{adopté}} = 1,51 \text{ cm}^2 \text{ soit 3T8 espace de 34 cm}$$

5.5 Calcul des armatures tangentiel :

$$M_\varphi = 44,49 \text{ kg.m}$$

$$d_\varphi = 10 - 3 - 0,4 = 6,6 \text{ cm}$$

$$d_\varphi = 6,6 \text{ cm}$$

$$\mu = \frac{M_\varphi}{bd^2 f_{bc}}$$

Chapitre 5 : Calcul des éléments résistant

$$\mu = \frac{44,49}{0,65 \cdot (0,066)^2 \cdot 17 \cdot 10^5}$$

$$\mu = 0,009 \leq \mu_t = 0,392$$

Pas d'armature comprimé $A_s' \neq \emptyset$

$$\alpha = 1,25 (1 - \sqrt{1 - 2\mu})$$

$$\alpha = 1,25 (1 - \sqrt{1 - 2(0,009)})$$

$$\alpha = 0,011$$

$$Z\varphi = d\varphi (1 - 0,4\alpha)$$

$$Z\varphi = 6,6 [1 - 0,4(0,011)]$$

$$Z\varphi = 6,57 \text{ cm}$$

$$A\varphi = \frac{M\varphi}{Z\varphi \sigma_s}$$

$$A\varphi = \frac{44,49}{0,0657 \cdot 348 \cdot 10^5}$$

$$A\varphi = 0,19 \text{ cm}^2$$

5.5.1 Condition de non fragilité :

$$A_{\min} \geq 0,23 b \cdot d \cdot \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$A_{\min} \geq 0,23 \cdot 65 \cdot 6,6 \cdot 6 \cdot \frac{2,4}{400}$$

$$A_{\min} \geq 0,59 \text{ cm}^2$$

$A_{\text{adopté}} = 1,51 \text{ cm}^2$ soit 3T8 espace de 21 cm

5.6 Vérification a L'ELS :

a) Radial :

$$M_r = 33 \text{ kg.m}$$

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I} \cdot y \leq \overline{\sigma}_{bc} = 18 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{st} = n \cdot \frac{M_{ser}}{I} (d-y) \leq \overline{\sigma}_{st} = 215 \text{ Mpa}$$

Chapitre 5 : Calcul des éléments résistant

$$\frac{by^2}{2} + n.A_s' (y-c) - n.A_s (d-y) = 0$$

$$\frac{by^2}{2} - n.A_s (d-y) = 0$$

$$Y_1 = -2,14$$

$$Y_2 = 1,69$$

5.7 Le moment d'inertie :

$$I = \frac{b}{3} y^3 + n.A_s' (y-c) - n.A_s (d-y)^2$$

$$I = \frac{100}{3} y^3 - 15 \times 1,51 (8-y)^2$$

$$I = 33,33 (1,69)^3 + 15[A_s (d-y)^2]$$

$$I = 1062,71 \text{ cm}^4$$

On a $M_{ser} = 33 \text{ kg.m}$

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I} \cdot y$$

$$\sigma_{bc} = \frac{33}{1062,71} \cdot 1,69$$

$$\sigma_{bc} = 5,24 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_{bc} = 0,524 \text{ Mpa} \leq 18 \text{ Mpa}$$

⇒ Vérifié

$$\text{Pour } \sigma_{st} = n \cdot \frac{M_{ser}}{I} (d-y)$$

$$\sigma_{st} = 15 \cdot \frac{33 \cdot 10^2}{1062,71} (8 - 1,69)$$

$$\sigma_{st} = 293,91 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_{st} = 29,39 \text{ Mpa} \leq 215 \text{ Mpa}$$

⇒ Vérifié

Chapitre 5 : Calcul des éléments résistant

5.8 Vérification à L'ELS :

5.8.1 Armature tangentielle :

$$M_{ser} = 44,49 \text{ kg.m}$$

$$\frac{by^2}{2} - n A_s (d-y) = 0$$

$$\frac{100y^2}{2} - 15 \times 1,51 (7,6-y) = 0$$

$$50 y^2 - 22,65(7,6-y) = 0$$

$$Y_1 = -2,09 \text{ cm}$$

$$Y_2 = 1,64 \text{ cm}$$

On prend $y = 1,64 \text{ cm}$

5.8.2 Le moment d'inertie :

$$I = \frac{b}{3} y^3 + 15 [A_s (d-y)^2]$$

$$I = \frac{100}{3} (1,64)^3 + 15 [1,51 (7,6-1,64)^2]$$

$$I = 951,60 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I} \cdot y$$

$$\sigma_{bc} = \frac{44,49 \times 10^2}{951,60} \cdot 1,64$$

$$\sigma_{bc} = 7,66 \text{ Mpa} \leq 18 \text{ Mpa}$$

⇒ Vérifié

5.8.3 Vérification au cisaillement :

$$\tau_u \leq \bar{\tau}_u$$

$$\tau_u = \frac{T_r}{b \cdot d}$$

$$\tau_u = 26281,42 \text{ kg/m}^2 = 0,262 \text{ Mpa}$$

$$\bar{\tau}_u = 0,05 \times f_{c28}$$

$$\bar{\tau}_u = 0,05 \times 30 = 1,5 \text{ Mpa}$$

Chapitre 5 : Calcul des éléments résistant

$$\tau_u = 0,262 \text{ Mpa} \leq \bar{\tau}_u = 1,5 \text{ Mpa}$$

⇒ Vérifié

5.8.4 La coupole de couverture :

$$\emptyset = 2r = 27,24 \text{ m}$$

$$\frac{\emptyset}{7} = \frac{27,24}{7} = 3,89 > f = 1,75 \text{ m}$$

Nous allons utiliser la méthode proposée par (**Pierre Charon**)

$$S_n = 168,20 \text{ m}^2$$

5.9 ELU :

$$P_c = 1,35G + 1,5Q$$

$$P_c = 1,35(70644) + (25230)$$

$$P_c = 133214,4$$

Charge par unité de la surface due à la coupole

$$P_c = \frac{P_c}{S_n} = \frac{133214,4}{168,20} = 792 \text{ kg/m}^2$$

Charge par unité de la surface due à lanterneau

$$P_a = 1,35(1364,24) + 1,5(413,30)$$

$$P_a = 2461,67 \text{ kg}$$

$$P_a = \frac{P_a}{S_n} = \frac{2461,67}{168,20}$$

$$P_a = 14,64 \text{ kg/m}^2$$

5.9.1 Charge totale :

$$P_u = P_c + P_a$$

$$P_u = 806,64 \text{ kg/m}^2$$

5.9.2 Calcul de la poussée verticale P_1 :

$$P_1 = \frac{r^2 + f^2}{2r} \cdot P_u$$

$$P_1 = \frac{13,62^2 + 1,75^2}{2(13,62)} \cdot 806,64$$

Chapitre 5 : Calcul des éléments résistant

$$P_1 = 5583,90 \text{ kg/ml}$$

$$Q_1 = \frac{r^2 - f^2}{2rf} \cdot P_1$$

$$Q_1 = \frac{13,62^2 - 1,75^2}{2(13,62)(1,75)} \cdot 5583,90$$

$$Q_1 = 21370,61 \text{ kg/ml}$$

5.10 Calcul de la l'effort normal tangentiel a la couverture :

$$N_u = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2}$$

$$N_u = \sqrt{(21370,61)^2 + (5583,90)^2}$$

$$N_u = 22088,07$$

5.10.1 Calcul à L'ELS :

$$P_c = 70644 + 25230$$

$$P_c = 95874$$

Charge par unité de surface due à la coupole

$$P_c = \frac{P_c}{S_n} = \frac{95874}{168,20} = 570 \text{ kg/m}^2$$

$$P_c = 570 \text{ kg/m}^2$$

$$P_a = 1364,24 + 413,30$$

$$P_a = 1777,54 \text{ kg/m}^2$$

$$P_a = \frac{P_a}{S_n} = \frac{1777,54}{168,20}$$

$$P_a = 10,57 \text{ kg/m}^2$$

5.10.1.1 Charge totale :

$$P_s = P_c + P_a$$

$$P_s = 580,57 \text{ kg/m}^2$$

5.10.1.2 Calcul de P_1 :

$$P_1 = \frac{r^2 + f^2}{2r} \cdot P_s$$

Chapitre 5 : Calcul des éléments résistant

$$P_1 = \frac{13,62^2 + 1,75^2}{2(13,62)} \cdot 580,57$$

$$P_1 = 4018,95 \text{ kg/ml}$$

$$Q_1 = \frac{r^2 - f^2}{2rf} \cdot P_1$$

$$Q_1 = \frac{13,62^2 - 1,75^2}{2(13,62)(1,75)} \cdot 4018,95$$

$$Q_1 = 15381,26 \text{ kg/ml}$$

5.10.1.3 Calcul de N_s :

$$N_s = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2}$$

$$N_u = \sqrt{(4018,95)^2 + (15381,26)^2}$$

$$N_s = 15897,64 \text{ kg/ml}$$

5.11 Vérification de $\bar{P}_p \geq P_u$:

$$\bar{P}_p = P_{cr} = \frac{2E}{\sqrt{3(1-\mu^2)}} \cdot \left(\frac{e}{R}\right)^2$$

$$E = 11000^3 \sqrt{f_{c28}} \text{ (module d'élasticité)}$$

$$E = 34179,55$$

R : rayon verticale de la coupole

e : épaisseur de la coupole

μ : Coefficient de poisson

5.11.1 A L'ELU : $\mu=0$

$$P_u = 806,64 \text{ kg/m}^2$$

$$\bar{P}_p = P_{cr} = \frac{2(34179,55)}{\sqrt{3(1-0^2)}} \cdot \left(\frac{0,08}{15,34}\right)^2$$

$$\bar{P}_p = P_{cr} = 1,073 \times 10^5 \text{ kg/m}^2$$

$$\Rightarrow \bar{P}_p \geq P_u \Rightarrow \text{vérifié}$$

5.11.2 A L'ELS : $\mu=0,2$

$$P_s = 580,57 \text{ kg/m}^2$$

Chapitre 5 : Calcul des éléments résistants

$$\bar{P}_P = P_{cr} = \frac{2E}{\sqrt{3(1-\mu^2)}} \cdot \left(\frac{e}{R}\right)^2$$

$$\bar{P}_P = P_{cr} = \frac{2(34179,55)}{\sqrt{3(1-0,2^2)}} \cdot \left(\frac{0,08}{15,34}\right)^2$$

$$\bar{P}_P = P_{cr} = 1,095 \times 10^5 \text{ kg/m}^2$$

$$\Rightarrow \bar{P}_P \geq P_s \Rightarrow \text{vérifié}$$

5.12 Calcul des armatures :

$$A_n = \frac{N_u - \frac{0,85 f_{c28} \cdot B}{\delta_b}}{\sigma_s}$$

$$A_n = \frac{22088,07 - \frac{0,85 \cdot 30 \times 10^5 \cdot (1 \times 0,08)}{1,5}}{348 \times 10^5}$$

$$A_n = -0,003273 \times 10^4$$

$$A_n = -32,73 \text{ cm}^2 < 0$$

On adapte une section d'armature dans les deux sens parce que cette dernière travaille dans les deux sens

$$A_{\min} \geq 0,7\% B \quad (B=8)$$

$$A_{\min} \geq 5,6 \text{ cm}^2 \Rightarrow A_{\text{adopté}} = 6,79 \text{ cm}^2$$

6T12 espace de 16 cm

5.12.1 Armatures de répartition : (en cerces) :

$$A_r = \frac{A_s}{3} \Rightarrow A_r = 2,26 \text{ cm}^2 \Rightarrow A'_{\text{adopté}} = 2,51 \text{ cm}^2$$

Soit 5T8 espace de 20 cm

5.13 Vérification à L'ELS :

5.13.1 Calcul de la contrainte de béton :

$$\sigma_{bc} = \frac{N_{ser}}{B + N \cdot A_s} \leq \bar{\sigma}_{bc} = 18 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{bc} = \frac{15897,64 \times 10^{-1}}{100 \times 8 + 15 \times 6,79} = 1,762 \text{ Mpa} \leq \bar{\sigma}_{bc} = 18 \text{ Mpa}$$

5.13.2 Calcul de σ_s :

Chapitre 5 : Calcul des éléments résistant

$$\sigma_s = n \cdot \sigma_{bc} = 15 \times 1,762 = 26,43 \text{ Mpa} \leq 176 \text{ Mpa}$$

⇒ Vérifié

Donc les armatures à L'ELU conviennent pour résister à L'ELS.

5.13.3 Vérification au cisaillement :

$$\tau_u \leq \bar{\tau}_u$$

$$\tau_u = \frac{T}{b \cdot d} \text{ avec } T = N_u \sin \alpha$$

$$\sin \alpha = \frac{13,62}{15,34} = 0,88$$

$$\alpha = 62,60^\circ$$

$$T = 22088,07 \times 0,88$$

$$T = 19437,50 \text{ kg}$$

On aura donc :

$$\tau_u = \frac{19437,50 \times 10^{-1}}{340,5} = 1,14 \text{ Mpa}$$

$$\bar{\tau}_u = \min(0,1 f_{c28}; 3 \text{ Mpa})$$

$$\bar{\tau}_u = \min(3 \text{ Mpa}; 3 \text{ Mpa})$$

$$\bar{\tau}_u = 3 \text{ Mpa}$$

$$\tau_u \leq \bar{\tau}_u$$

⇒ Vérifié

5.14 Calcul de la ceinture supérieure :

5.14.1 1' ELU :

$$\text{Soit : } Q_1 = N_u \cdot \cos \varphi = 22088,07 \cos(62,60)$$

$$Q_1 = 10164,92 \text{ kg}$$

5.14.1.2 Pour la force de traction totale :

$$F_u = Q_1 \cdot R_{cu}$$

$$R_{cu} = \frac{R_{int} + R_{ext}}{2} = \frac{13,62 + 14,12}{2} = 13,87$$

Chapitre 5 : Calcul des éléments résistant

$$R_{cu} = 13,87 \text{ m}$$

$$\text{Alors : } F_u = 140987,44 \text{ kg}$$

5.14.2 ELS :

$$N_s = 15897,67 \text{ kg/ml}$$

$$\alpha = 62,60^\circ$$

$$Q_{1s} = N_s \cos \alpha = 15897,67 \cos(62,60)$$

$$Q_{1s} = 7316,09 \text{ kg}$$

5.14.2.1 Pour la force de traction normale :

$$F_s = Q_{1s} \cdot R_{cu}$$

$$F_s = 7316,09 \times 13,87 = 101474,16$$

$$F_s = 101474,16 \text{ kg}$$

5.15 Calcul des armatures :

5.15.1 À L'ELU :

$$A_u \geq \frac{F_u}{\sigma_s}$$

$$A_u \geq \frac{140987,44}{348 \times 10^5} = 0,0040 \text{ m}^2$$

$$A_u \geq 40,51 \text{ cm}^2$$

5.15.2 À L'ELS :

$$A_s \geq \frac{F_s}{\sigma_s}$$

$$A_s \geq \frac{101474}{176 \cdot 10^5} = 0,0057$$

$$A_s \geq 57,65 \text{ cm}^2$$

5.15.3 Condition de non fragilité :

$$A \cdot f_c \geq B \cdot f_{t28}$$

$$A \geq \frac{B \cdot f_{t28}}{f_c} \quad A \geq \frac{50 \times 34 \times 2,4}{400}$$

$$A \geq 10,20 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \max\{A_u, A_{ser}, A_{min}\}$$

Chapitre 5 : Calcul des éléments résistant

$$A_s = \max\{40,51; 57,65; 10,20\}$$

$$A_s = 57,65 \text{ cm}^2 \Rightarrow A_{\text{adopté}}$$

5.15.4 Armatures transversales :

5.15.5 L'espace S_t d'armatures transversales :

$$S_t \leq \min(0,9d; 40\text{cm}); \quad d = 0,9 \times 34 = 30,6$$

$$S_t \leq \min(27\text{cm}; 40\text{cm})$$

$$S_t = 20\text{cm}$$

5.15.6 Armatures transversales :

$$\phi_t \leq \text{Min} \left\{ \phi_L, \frac{h_t}{35}, \frac{b}{10} \right\}$$

$$\phi_t \leq \min \left\{ 16\text{mm}, \frac{340}{35}, \frac{500}{10} \right\}$$

$$\phi_t \leq \min \{16\text{mm}, 10\text{mm}, 50\text{mm}\}$$

$$\phi_t \leq 10 \text{ mm on prend de } \phi_8 \text{ avec } S_t = 20\text{cm (une bande de 1m)}$$

5.16 Calcul de la paroi cylindrique :

$$h_{\text{eau}} = 7\text{m}$$

Nous division la cuve en tranche de 1m de hauteur (7tranches).

$$R_{\text{moy}} = \frac{R_{\text{ext}} + R_{\text{int}}}{2} = \frac{13,62 + 13,84}{2} = 13,73 \text{ m}$$

$$R_{\text{moy}} = 13,73 \text{ m}$$

Chapitre 5 : Calcul des éléments résistant

5.17 Ferrailage :

$$A_s = \frac{F_u}{\sigma_s}$$

Tranche	Hauteur (m)	$P_u=1200h$ (kg/m ²)	$P_s=1000.h$ (kg/m ²)	$F_u=P_u \cdot R_{moy}$	$F_s=P_s \cdot R_{moy}$
1	0,5	600	500	8238	6865
2	1,5	1800	1500	24714	20595
3	2,5	3000	2500	41190	34325
4	3,5	4200	3500	57666	48055
5	4,5	5400	4500	74142	61785
6	5,5	6600	5500	90618	75515
7	6,5	7800	6500	107094	89245

8.18 Armatures de peau :

$$A_u = \frac{F_u}{\sigma_s} \quad ; \quad A_s = \frac{F_s}{\sigma_s}$$

F_u	F_s	A_u (cm ²)	A_s (cm ²)	A (cm ²)	A_{peau}	A (cm ²)	$A_{adopté}$
8322	6935	2,36	3,90	13,2	4	13,2	12T12 soit 13,57 cm ²
24966	20595	7,10	11,70	13,2	4	13,2	12T12 soit 13,57 cm ²
41610	34325	11,83	19,50	13,2	4	19,50	18T12 soit 20,36 cm ²
58254	48055	16,57	27,30	13,2	4	27,30	14T12 soit 28,15 cm ²
74898	61785	21,30	35,10	13,2	4	35,10	18T12 soit 36,19 cm ²
91542	75515	26,03	42,90	13,2	4	42,90	14T12 soit 43,93cm ²
108186	89245	30,77	50,70	13,2	4	50,70	18T12 soit 56,55cm ²

Chapitre 5 : Calcul des éléments résistants

5.19 Calcul de l'effort normal :

$$N = P_1 + P_2$$

$$N = 9571,4 \text{ kg/ml}$$

5.19.1 Calcul de N_B :

$$N_B = 0,6 f_{c28} \cdot B$$

$$= 21,06 \times 10^5 \text{ kg/ml}$$

On a $N_B > N \Rightarrow$ on aura un ferrailage minimal.

$$A_{\min} = 0,7\%B$$

5.20 Calcul des descentes de charge :

5.20.1 À L'ELU :

$$P = 1,35G + 1,5Q$$

5.20.1.2 Coupole de couverture :

$$P_{CC} = P \cdot S$$

$$P_{CC} = 792 \times 168,2$$

$$P_{CC} = 133214,4 \text{ kg}$$

5.20.1.3 La ceinture supérieure :

$$P_{CS} = 1,35[b \cdot h \cdot 2\pi R_{\text{moy}} \delta_b]$$

$$R_{\text{moy}} = \frac{R_{\text{ext}} + R_{\text{int}}}{2} = \frac{13,62 + 14,12}{2} = 13,87 \text{ m}$$

$$R_{\text{moy}} = 13,87 \text{ m}$$

$$P_{CS} = 1,35[0,5 \times 0,34 \times 2 \times 3,14 \times 13,87 \times 2500]$$

$$P_{CS} = 49975,69 \text{ kg}$$

5.20.1.4 La paroi cylindrique :

$$P_{PC} = 1,35[2\pi R_{\text{moy}} h \cdot 2 \cdot \delta_b] + 1,35P_{\text{enduit}}$$

$$R_{1\text{moy}} = \frac{R_{\text{ext}} + R_{\text{int}}}{2} = \frac{13,62 + 14,12}{2} = 13,87 \text{ m}$$

$$R_{1\text{moy}} = 13,87 \text{ m}$$

$$P_{PC} = 1,35[2 \times 3,14 \times 13,87 \times 7,3 \times 7,25 \times 0,22 \times 2500] + 1,35 \times 25120$$

Chapitre 5 : Calcul des éléments résistant

$$P_{PC} = 498068,72 \text{ kg}$$

5.20.1.5 Ceinture inférieure :

$$P_{Ci} = 1,35[b.h.2\pi R_{moy}\delta_b]$$

$$R_{2moy} = \frac{R_{ext} + R_{int}}{2} = \frac{14,26 + 13,62}{2} = 13,94 \text{ m}$$

$$R_{2moy} = 13,94 \text{ m}$$

$$P_{Ci} = 1,35[0,64 \times 0,44 \times 2 \times 3,14 \times 13,94 \times 2500]$$

$$P_{Ci} = 83201,05 \text{ kg}$$

5.20.1.6 Calcul de la charge total:

$$\Sigma 1,35G + 1,5Q$$

$$= 133214,4 + 49975,69 + 498068,72 + 83201,05$$

$$= 764459,86 \text{ kg}$$

5.20.1.6.1 Charge par mètre linéaire :

$$P' = \frac{764459,86}{2\pi \cdot R_{2moy}} = \frac{764459,86}{2 \times 3,14 \times 13,94}$$

$$P' = 8732,37 \text{ kg/ml}$$

5.20.1.6.2 Calcul de la poussée totale :

$$Q'_u = \frac{P'}{\text{tg } \alpha} + DH.h$$

$$Q'_u = \frac{8732,37}{\text{tg } 45} + 1200 + 7,25 \times 0,44$$

$$Q'_u = 12560,37 \text{ kg/ml}$$

5.20.1.6.3 Calcul de l'effort de traction :

$$F_u = Q'_u \cdot R_{2moy}$$

$$F_u = 12560,37 \times 13,94$$

$$F_u = 175091,55 \text{ kg}$$

Chapitre 5 : Calcul des éléments résistant

5.20.2 A L'ELS : P= G+Q

5.20.2.1 Coupole de couverture :

$$P_{CC} = P.S$$

$$P_{CC} = 570 \times 168,2$$

$$P_{CC} = 95874 \text{ kg}$$

5.20.2.2 La ceinture supérieure :

$$P_{CS} = [b.h.2\pi R_{moy} \delta_b]$$

$$R_{moy} = \frac{R_{ext} + R_{int}}{2} = \frac{13,62 + 14,12}{2} = 13,87 \text{ m}$$

$$R_{moy} = 13,87 \text{ m}$$

$$P_{CS} = [0,5 \times 0,34 \times 2 \times 3,14 \times 13,87 \times 2500]$$

$$P_{CS} = 37019,03 \text{ kg}$$

5.20.2.3 La paroi cylindrique :

$$P_{PC} = [2\pi R_{moy} h.2.\delta_b] + P_{enduit}$$

$$R_{1moy} = \frac{R_{ext} + R_{int}}{2} = \frac{13,62 + 14,12}{2} = 13,87 \text{ m}$$

$$R_{1moy} = 13,87 \text{ m}$$

$$P_{PC} = [2 \times 3,14 \times 13,87 \times 73 \times 7,25 \times 0,22 \times 2500] + 25120$$

$$P_{PC} = 368939,79 \text{ kg}$$

5.20.2.4 Ceinture inférieure :

$$P_{Ci} = [b.h.2\pi R_{moy} \delta_b]$$

$$R_{2moy} = \frac{R_{ext} + R_{int}}{2} = \frac{14,26 + 13,62}{2} = 13,94 \text{ m}$$

$$R_{2moy} = 13,94 \text{ m}$$

$$P_{Ci} = [0,64 \times 0,44 \times 2 \times 3,14 \times 13,94 \times 2500]$$

$$P_{Ci} = 61630,41 \text{ kg}$$

Chapitre 5 : Calcul des éléments résistant

5.20.2.5 Calcul de la charge total :

$$\Sigma G + Q$$

$$= 563463,23 \text{ kg}$$

5.20.2.5.1 Charge par mètre linéaire :

$$P' = \frac{563463,23}{2\pi.R_{2moy}} = \frac{563463,23}{2 \times 3,14 \times 13,94}$$

$$P' = 6436,40 \text{ kg/ml}$$

5.20.2.5.2 Calcul de la poussée totale :

$$Q'_s = \frac{P'}{\text{tg}\alpha} + DH.h$$

$$Q'_s = \frac{6436,40}{\text{tg } 45} + 1000 + 7,25 \times 0,44$$

$$Q'_u = 9626,4 \text{ kg/ml}$$

5.20.2.5.3 Calcul de l'effort de traction :

$$F_s = Q'_s.R_{2moy}$$

$$F_s = 9626,4 \times 13,94$$

$$F_s = 134192,01 \text{ kg}$$

5.21 Calcul des armatures :

5.21.1 À L'ELU :

$$A_u = \frac{F_u}{\sigma_s}$$

$$A_u = \frac{175091,55}{348.10^5}$$

$$A_u = 50,31 \text{ cm}^2$$

5.21.2 À L'ELS :

$$A_s = \frac{F_s}{\sigma_s}$$

$$A_u = \frac{134192,01}{176.10^5}$$

$$A_s = 76,24 \text{ cm}^2$$

Chapitre 5 : Calcul des éléments résistant

5.21.3 Condition de non fragilité :

$$A_{\min} \cdot f_e \geq B \cdot f_{t28}$$

$$A_{\min} \geq \frac{B \cdot f_{t28}}{f_e} \quad A \geq \frac{64 \times 44 \times 2,4}{400}$$

$$A_{\min} \geq 16,90 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{principale}} = \max\{A_U, A_{\text{ser}}, A_{\text{min}}\}$$

$$A_{\text{principale}} = \max\{50,31; 76,24; 16,90\}$$

$$A_{\text{principale}} = 76,24 \text{ cm}^2 \Rightarrow A_{\text{adopté}} = 80,42 \text{ cm}^2 \text{ soit } 10T32$$

5.22 Armatures transversales :

5.22.1 L'espacement S_t d'armatures transversales :

$$S_t \leq \min(0,9d ; 40\text{cm})$$

$$S_t \leq \min(36\text{cm} ; 40\text{cm})$$

$$S_t = 20\text{cm}$$

5.22.2 Armatures transversales :

$$\phi_t \leq \min\left\{\phi_L, \frac{h_t}{35}, \frac{b}{10}\right\}$$

$$\phi_t \leq \min\{32\text{mm}, 12\text{mm}, 64\text{mm}\}$$

$$\phi_t \leq 12 \text{ mm on prend de } \phi_{10} \text{ avec } S_t = 20\text{cm (une bande de 1m)}$$

5.23 Calcul des efforts :

5.23.1 À L'ELU :

α	$R_{\text{moy}}(\text{m})$	$\Delta=1200$ (Kg/m^3)	$H(\text{m})$	$W=e_p \times \delta_b$ (Kg/m^2)	$P_u(\text{kg})$
45	12,16	1200	9,25	1072,5	764459,86

Chapitre 5 : Calcul des éléments résistant

La superposition des deux efforts $\frac{Q}{\cos 45}$ et $\frac{g}{\tan 45}$ (qui agissent sur un élément unitaire de surface intégrale) donne un effort résultat.

5.23.1.2 L'effort de traction :

$$F_u = \frac{L}{\sin \alpha} \left[\left(\frac{\Delta h}{\cos \alpha} + W \right) \left(R + \frac{L}{2} \right) - \frac{\Delta L \tan \alpha}{\cos \alpha} \left(\frac{R}{2} + \frac{L}{3} \right) \right]$$

$$F_u = \frac{3}{0,71} \left[\left(\frac{1200 \times 9,25}{0,71} + 1072,5 \right) \left(12,16 + \frac{3}{2} \right) - \frac{1200 \times 3 \times 1}{0,71} \left(\frac{12,16}{2} + \frac{3}{3} \right) \right]$$

$$F_u = 812575,37 \text{ kg}$$

5.24 Calcul de l'effort de compression :

5.24.1 Calcul à L'ELS :

$$C_u = \frac{1}{\sin \alpha} \left[P_u + 2\pi L \left(\Delta h + \frac{W}{\cos \alpha} \right) \left(R + \frac{L}{2} \right) - \Delta L \left(\frac{R}{2} + \frac{L}{3} \right) \tan \alpha \right]$$

$$C_u = \frac{1}{0,71} \left[764459,86 + 2 \times 3,14 \times 3 \left(1200 \times 9,25 + \frac{1072,5}{0,71} \right) \left(12,16 + \frac{3}{2} \right) - 1200 \times 3 \left(\frac{12,16}{2} + \frac{3}{3} \right) \tan 45 \right]$$

$$C_u = 5578098,165 \text{ kg}$$

$$W = 790 \text{ kg/m}^3$$

$$F_s = \frac{3}{0,71} \left[\left(\frac{1000 \times 9,25}{0,71} + 790 \right) \left(12,16 + \frac{3}{2} \right) - \frac{1000 \times 3 \times 1}{0,71} \left(\frac{12,16}{2} + \frac{3}{3} \right) \right]$$

$$F_s = 670307,735 \text{ kg}$$

$$C_s = \frac{1}{0,71} \left[563463,23 + 2 \times 3,14 \times 3 \left(1000 \times 9,25 + \frac{790}{0,71} \right) \left(12,16 + \frac{3}{2} \right) - 1000 \times 3 \left(\frac{12,16}{2} + \frac{3}{3} \right) \right]$$

$$C_s = 3209103,50 \text{ kg}$$

5.25 Calcul des armatures :

5.25.1 À L'ELU :

$$A_u = \frac{F_u}{\sigma_s}$$

$$A_u = \frac{812575,372}{348.10^5}$$

Chapitre 5 : Calcul des éléments résistant

$$A_u = 233,49 \text{ cm}^2$$

5.25.2 À L'ELS :

$$A_s = \frac{F_s}{\sigma_s}$$

$$A_u = \frac{670307,735}{176.10^5}$$

$$A_s = 380,856 \text{ cm}^2$$

5.25.3 Condition de non fragilité :

$$A_{\min} \cdot f_e \geq B \cdot f_{t28}$$

$$A_{\min} \geq \frac{B \cdot f_{t28}}{f_e} \quad A_{\min} \geq \frac{100 \times 30 \times 2,4}{400}$$

$$A_{\min} \geq 18 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{principale}} = \max\{A_U, A_{\text{ser}}, A_{\text{min}}\}$$

$$A_{\text{principale}} = \max\{233,49; 380,856; 18\}$$

$$A_{\text{principale}} = 380,856 \text{ cm}^2 \Rightarrow A_{\text{adopté}} = 396,09 \text{ cm}^2 \text{ soit } 38T$$

5.26 Les armatures de répartition seront (rayonnantes) :

$$A_r = \frac{A_s}{4}$$

$$A_r = \frac{396,09}{4} = 99,02 \text{ cm}^2 \text{ soit } 16 T32$$

5.27 Vérification de la compression du béton :

$$\sigma_{bc} \leq \bar{\sigma}_{bc}$$

$$\sigma_{bc} = \frac{C_u}{2\pi \cdot B} = \frac{5578098,165}{2 \times 3,14 \times 3,93 \times 0,30}$$

$$\sigma_{bc} = 7,53 \text{ Mpa} \leq 18 \text{ Mpa}$$

Remarque :

L'effort de compression sera transmis à la ceinture d'appui par l'intermédiaire tronc de cône.

Chapitre 5 : Calcul des éléments résistant

5.28 La chemine :

5.28.1 La dalle annulaire au dessus de la chemine :

5.28.1.1 Charge permanente :

$$G = 2500 \times 0,12 = 300 \text{ kg/m}^2$$

5.28.1.2 Surcharge d'exploitation :

$$Q = 150 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{ELU} : 1,35G + 1,5Q = 630 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{ELS} : G + Q = 450 \text{ kg/m}^2$$

Les moments et les efforts seront donnés par la formule « **M^R BARRES** » :

$$B = \frac{b}{a} = \frac{2,10}{1,05} = 2$$

$$M_{r1} = M_{r2} = M_{r3} = M\varphi_1 = M\varphi_2 = M\varphi_3$$

$$T_{r1} = T_{r2} = T_{r3} ; M_{ru} \neq 0 ; M\varphi \neq 0$$

$$M_{rs} = 0, T_{rs} = 0, M\varphi_s \neq 0, T_{ru} \neq 0$$

ELU :

B	M_{r1} (kg/ml)	M_{ru} (kg/ml)	$M\varphi_u$ (kg/ml)	$M\varphi_s$ (kg/ml)	T_{r3} (kg/ml)	T_{r4} (kg/ml)
2,00	-0,487 qa ²	-0,059 qa ²	-0,335 qa ²	-0,234 qa ²	1,5 qa	0,58 qa
	-338,26	-40,98	-232,68	-162,53	992,25	383,67