

Calcul de pile :

Données :

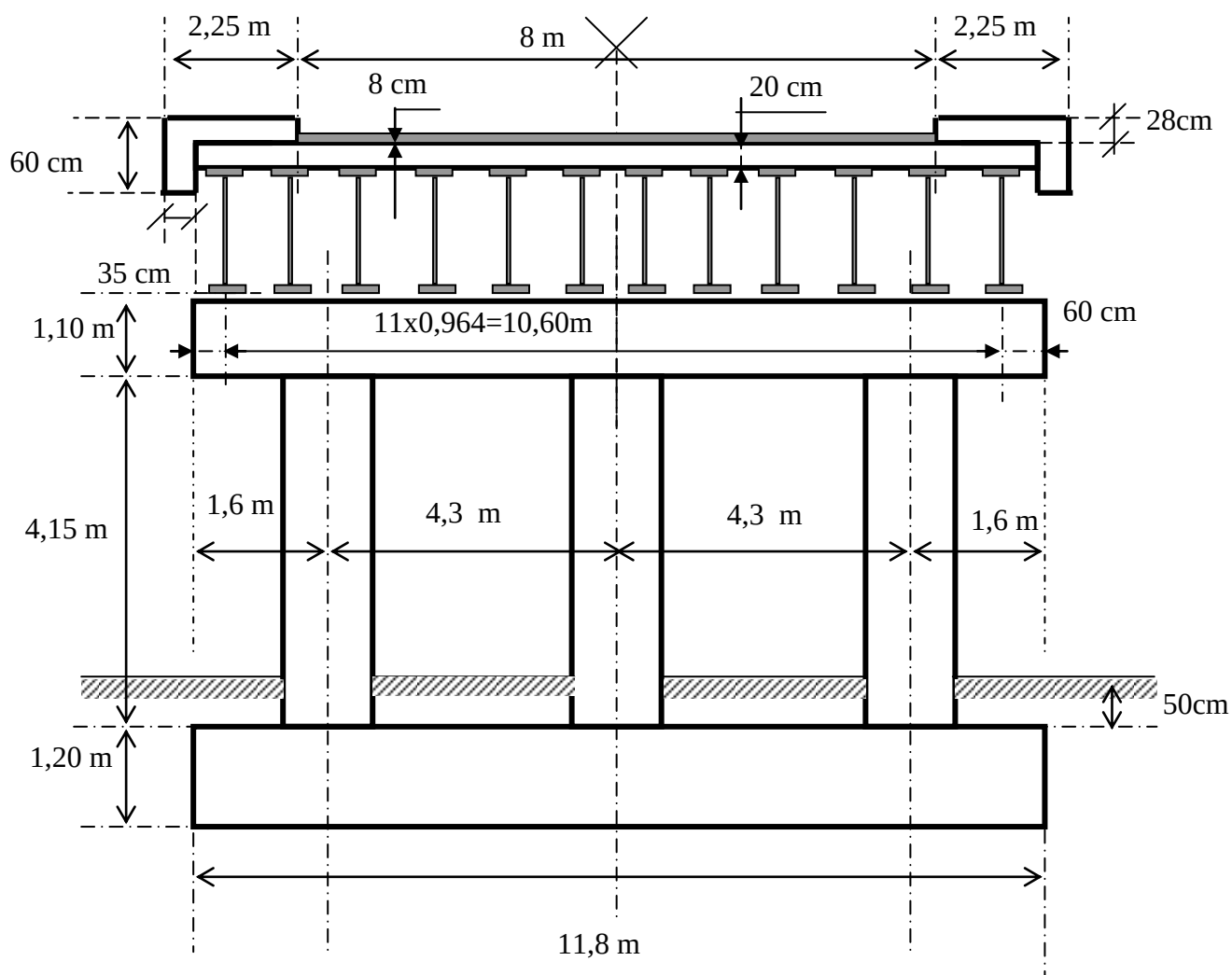
Pont à poutres de portée 24,5, m à deux travées isostatiques :

Chaussée= 8 m ; trottoirs : 2 x 2,25 m

Surcharges : A(l), Bc, Mc120

Tablier : 12 poutres+dalle de 20 cm + revêtement de 08 cm

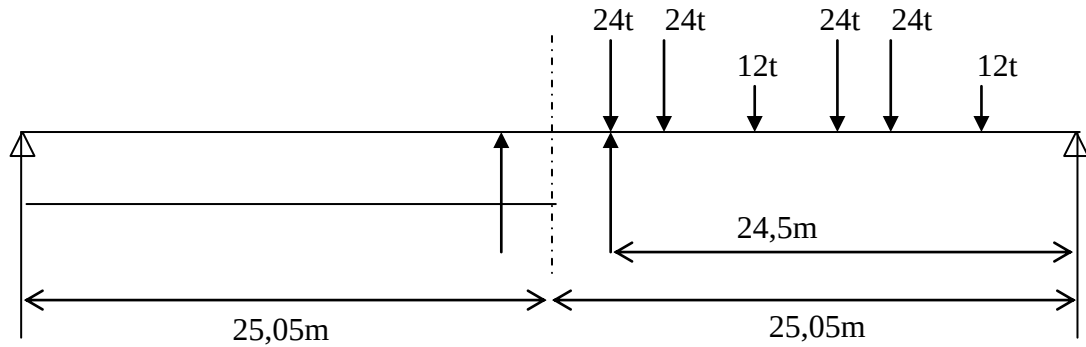
Coupe transversale



a/ Système Bc :

$$S=2 \times 2 \times 30=120 \text{ t} , G=536,30 \text{ t} ; \delta_{Bc}=1,10$$

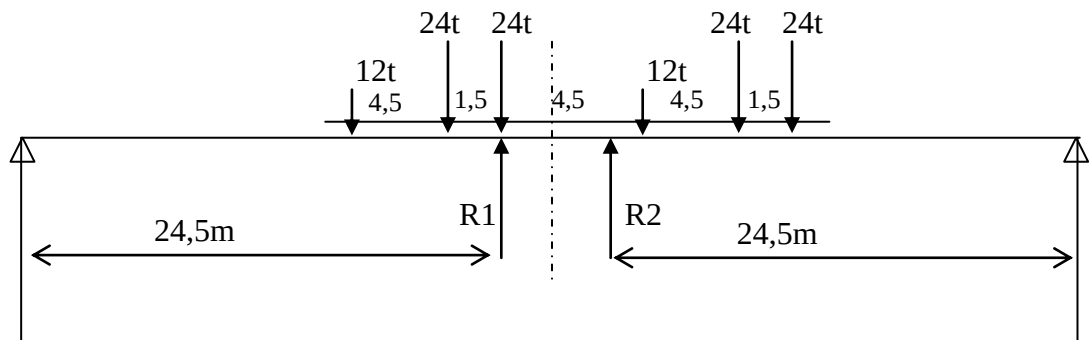
Chargement 1: 2 voies chargées sur 1 seule travée.



Poutres : longueur=25,50 m, portée : 24,5m

$$R = \frac{1}{24,5} \cdot [24 \times 24,5 + 24 \times 23 + 12 \times 18,50 + 24 \times 14 + 24 \times 12,5 + 12 \times 8] = 85,50 \text{ t}$$

Chargement 2 : 2voies chargées sur les deux travées :



$$R1 = \frac{1}{24,5} \cdot [12 \times 18,50 + 24 \times 23 + 24 \times 24,5] = 55,60 \text{ t}$$

$$R2 = \frac{1}{24,5} \cdot [12 \times 21,10 + 24 \times 16,60 + 24 \times 15,10] = 41,40 \text{ t}$$

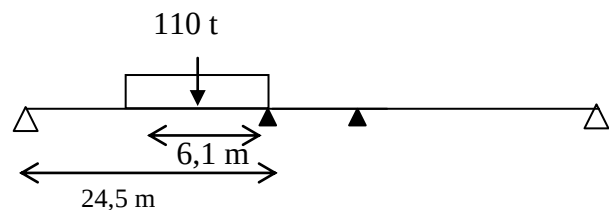
$$RT(R1+R2)=97,00 \times 1,10 \times 1,1=117,37 \text{ t}$$

c/ Convoi MC₁₂₀:

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 24,5} + \frac{0,6}{1 + 4 \cdot \frac{536,30}{110}} = 1,10$$

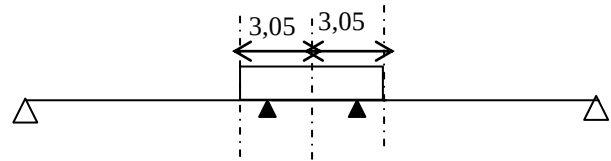
Chargement 1 :

$$R_{T1} = (110 / 24,5) \times 21,45 \times 1,10 = 106 \text{ t}$$



Chargement 2 :

$$R_{T2} = (23,525 / 24,5) \times 110 \times 1,1 = 116,2 \text{ t}$$

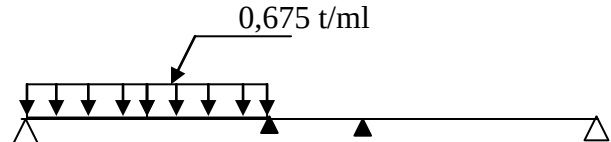


d/ Surcharges de trottoirs : 150 kg/m²

$$0,15 \times 2,25 \times 2 = 0,675 \text{ t/ml (deux trottoirs chargés)}$$

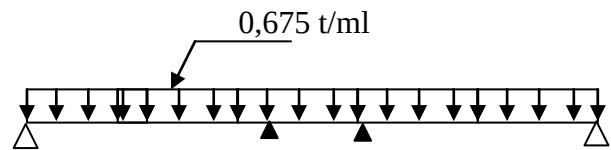
1 travée chargée

$$R = 0,675 \times 25,5 / 2 = 8,60 \text{ t}$$



2 Travées chargées

$$R = 0,675 \times 25,5 = 17,20 \text{ t}$$



Réactions Totales :

Combinaisons de charges :

ELS:	G+1,2 (A(l)+tr)	ELU	1,35 G+1,6 (A(l)+tr)
	G+1,2 (Bc+trot)		1,35 G+1,6 (Bc+trot)
	G+ Mc120		1,35 G+1,35 Mc120

Avec RG=536,3 t

		Els	Elu
A(l)+trott	160	728,3	980,005
Bc+trott	134,57	697,784	939,317
Mc120	116,2	652,5	880,875

La réaction maximale est donnée par (A (l) + trottoir)

$$\text{ELS : } C_p + 1,2(A(l) + \text{Trott}) \quad 536,3 + 1,2 \times (142,8 + 17,20) = 728,30 \text{ t}$$

$$\text{ELU: } 1,35 C_p + 1,6 (A(l) + \text{Trott}) \quad 1,35 \times 536,3 + 1,6 \times (142,8 + 17,20) = 980,005 \text{ t}$$

I₃ : pile (béton 2,5t/m³ ; terre 2t/m³)

- Chevêtre : $1,8 \times 1,10 \times 11,80 \times 2,5 = 58,40 \text{ t}$
- Fûts : $(3 \times \pi / 4) \times (1,00)^2 \times 4,15 \times 2,5 = 24,40 \text{ t}$
- Semelle : $11,8 \times 4,20 \times 1,20 \times 2,5 = 148,68 \text{ t}$
- Poids des terres sur semelle : $2[(0,5 \times 4,2 \times 11,8) - (3 \times \pi / 4) \times (1,00)^2 \times 0,5] = 47,21 \text{ t}$
- **Le poids total : $V_2 = 58,4 + 24,4 + 148,68 + 47,21 = 278,69 \text{ t}$**

I4 : Sollicitations horizontales :

a/ Freinage du à A (I) : $A(I) = \frac{0,70 \times 51 \times 8}{2} = \frac{285,6}{2} = 142,8 \text{ t}$ (2 travées chargées)

$$H = \frac{142,8}{20 + 0,0035 \cdot S} = \frac{142,8}{20 + 0,0035 \times 51 \times 8} = 6,65 \text{ t}$$

$$M = 6,65 \cdot (1,2 + 4,15 + 1,10 + 0,20) = 44,22 \text{ tm}$$

a/ Freinage du à Bc : (F=30t)

$$M = \frac{1}{2} \cdot 30 \cdot 6,65 = 99,75 \text{ t}$$

c/ Séisme :

$$G = 536,30 \text{ t} \quad V = 536,30 + 278,69 = 815 \text{ t}$$

$$H = 0,10 \times 815 = 81,50 \text{ t}$$

$$M = 0,10 \times (536,3 \times 6,65 + 58,40 \times 5,90 + 24,40 \times 3,275 + 148,68 \times 0,6 + 47,21 \times 1,45) = 414,853 \text{ t}$$

II Stabilité :

II-1 Glissement :

$$\varphi = 30^\circ; \quad \bar{\sigma} = 3 \text{ bars}$$

$$\frac{H}{V} < \frac{\tan\left(\frac{2}{3}\varphi\right)}{1,5} = \mu = 0,242 \quad \text{cas normal}$$

$$\frac{H}{V} < \frac{\tan\left(\frac{2}{3}\varphi\right)}{1} = \mu = 0,364 \quad \text{cas sismique}$$

1^{er} cas : sans séisme :

Sous A : $H = 1,6 \times 6,65 = 10,64 \text{ t}$

$$V = G + \text{Pile} + A(I) = 536,30 + 278,69 + 142,8 = 957,79 \text{ t}$$

$$\frac{H}{V} = \frac{10,64}{957,79} = 0,011 \quad \text{verifié}$$

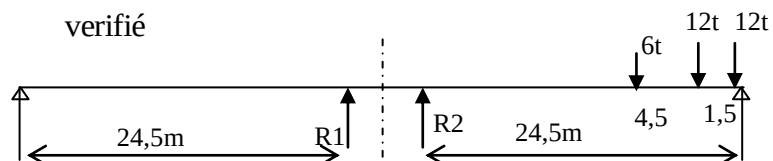
Sous Bc : $H = 1,6 \times 15 = 24 \text{ t}$

(Un seul camion supposé freiner et disposé pour avoir V_{Min})

$$V_{\text{Min}} = 2,204 \times 1,1 \times 1,2 = 2,91 \text{ t}$$

$$V = G + \text{Pile} + Bc = 536,30 + 278,69 + 2,91 = 817,9 \text{ t}$$

$$\frac{H}{V} = \frac{24}{817,9} = 0,029 \quad \text{verifié}$$



2^{eme} cas : avec séisme : (séisme h+ séisme verticale vers le haut)

$$H=81,5 \text{ t}$$

$$V=815 \times (1-0,07)=815 \times 0,93=757,95 \text{ t}$$

$$i = tg \frac{2}{3} \varphi = 0,364 \quad ; \quad \frac{H}{V} = \frac{81,5}{757,95} = 0,107 \quad \text{verifié}$$

II.2 Renversement :

1^{er} cas : sans séisme :

- Sous A : ; $M_r=1,6 \times 44,22=70,752 \text{ t}$
 $V_{(G+Pile+ A (l))}=957,79 \text{ t}$; $M_s=V \cdot 2,1=957,79 \cdot 2,1=2011,359 \text{ t}$
 $\frac{M_s}{M_r} = 28,428 \geq 1,5 \quad \text{verifié}$
- Sous Bc : $M_r=1,6 \times 15 \times 6,65=159,6 \text{ tm}$
(Un seul camion supposé freiner et disposé pour avoir V_{Min})
 $V_{\text{Min}}=2,204 \times 1,1 \times 1,2=2,91 \text{ t}$
 $V_{(G+Pile+ Bc)}=817,9 \text{ t}$; $M_s=(536,30+278,69) \cdot 2,1+2,91 \cdot (0,55)=1720,5055 \text{ tm}$
 $\frac{M_s}{M_r} = 10,78 \geq 1,5 \quad \text{verifié}$

2^{eme} cas : avec séisme : (séisme h+ séisme verticale vers le haut)

$$G=536,30 \text{ t} \quad V=536,30+278,69=815 \text{ t}$$

$$M_r=0,10 \times (536,3 \times 6,65 + 58,40 \times 5,90 + 24,40 \times 3,275 + 148,68 \times 0,6 + 47,21 \times 1,45) \\ = 414,853 \text{ t}$$

$$M_s=815 \times (1-0,07) \cdot 2,1=815 \times 0,93 \times 2,1=1591,695 \text{ tm}$$

$$\frac{M_s}{M_r} = 3,836 \geq 1 \quad \text{verifié } H=81,5 \text{ t}$$

II.2 Contraintes :

1^{er} cas : sans séisme :

ELS

$$P=(536,3+278,69)+1,2(142,8+17,2)=1007 \text{ t}$$

$$M=1,2 \times 44,22=53,064 \text{ tm}$$

$$\sigma_{\text{Max}} = \frac{1007}{4,2 \times 11,8} + \frac{53,064 \times 6}{11,8 \times (4,2)^2} = 21,849 \text{ t/m}^2 < 30 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_{\text{Max}} = 20,32 - 1,529 = 18,791 \text{ t/m}^2 > 0 \text{ min}$$

$$\sigma_{\text{ref}} = \frac{3\sigma_{\text{max}} + \sigma_{\text{min}}}{4} = 21,0845 \text{ t/m}^2 < 30 \text{ t/m}^2$$

ELU

$$P=1,35(536,3+287,69)+1,6(142,8+17,2)=1356,24 \text{ t}$$

$$M=1,6 \times 44,22=70,752 \text{ tm}$$

$$\sigma_{Max} = \frac{1356,24}{4,2 \times 11,8} + \frac{70,752 \times 6}{11,8 \times (4,2)^2} = 29,4 \text{ t/m}^2 < 30 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_{Max} = 27,365 - 2,039 = 25,326 \text{ t/m}^2 > 0 \quad \text{Min}$$

$$\sigma_{ref} = \frac{3\sigma_{max} + \sigma_{min}}{4} = 28,3815 \text{ t/m}^2 < 30 \text{ t/m}^2 \quad \text{Vérifié}$$

2^{eme} cas : avec séisme : (Séisme H+ séisme vertical vers le bas)

$$N=815 \text{ t} , M=414,853 \text{ t}$$

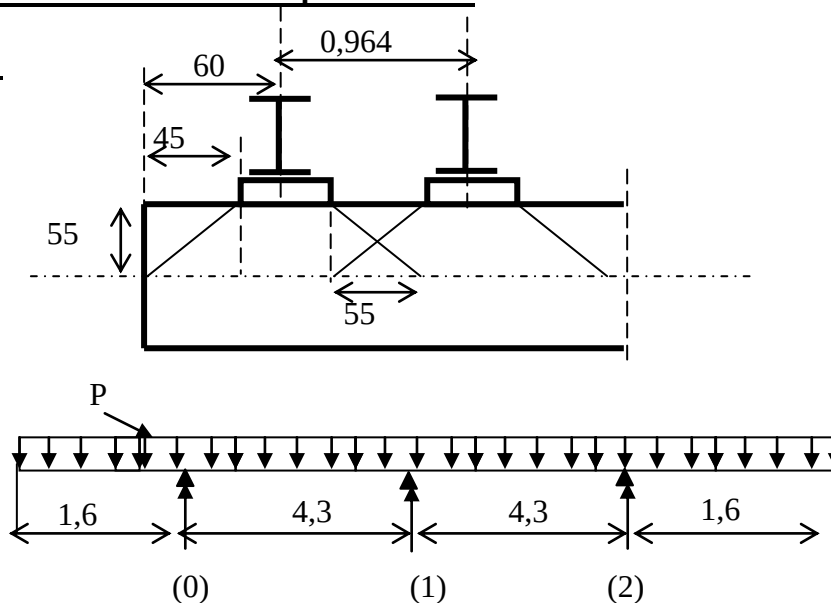
$$\sigma_{Max} = \frac{815 \times 1,07}{4,2 \times 11,8} + \frac{414,853 \times 6}{11,8 \times (4,2)^2} = 29,55 \text{ t/m}^2 < 30 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_{Min} = 17,596 - 11,958 = 5,638 \text{ t/m}^2 > 0$$

$$\sigma_{ref} = \frac{3\sigma_{max} + \sigma_{min}}{4} = 23,572 \text{ t/m}^2 < 30 \text{ t/m}^2 \quad \text{Vérifié}$$

III. Calcul des sollicitations dans chaque élément :

III.1 Chevêtre :



E.I.S :

$$P1 = \frac{536,30 + 1,2 \cdot (142,8 + 17,2)}{11,8} = 61,72 \text{ t/ml} \quad (\text{Tablier + surcharges})$$

$$P2 = 1,8 \cdot 1,10 \cdot 2,5 = 4,95 \text{ t/ml} \quad (\text{Poids du chevêtre})$$

$$P = 61,72 + 4,95 = 66,67 \text{ t/ml}$$

E.I.U :

$$P1 = \frac{1,35 \times 536,30 + 1,6 \cdot (142,8 + 17,2)}{11,8} = 83,051 \text{ t/ml} \quad (\text{Tablier + surcharges})$$

$$P2 = 1,35 \times (1,8 \cdot 1,10 \cdot 2,5) = 6,6825 \text{ t/ml} \quad (\text{Poids du chevêtre})$$

$$P = 83,051 + 6,6825 = 89,734 \text{ t/ml}$$

Moments fléchissant :

a) Sur appui :

E.L.S

$$M_0 = -66,67 \cdot \frac{(1,6)^2}{2} = -85,34 \text{ t.m}$$

$$M_1 = \frac{1}{4 \times 4,3} \left[-66,67 \times \frac{(4,3)^3}{4} \cdot 2 + 2 \times 4,3 \times 85,34 \right] = -111,42 \text{ t.m}$$

$$M_2 = M_1 = -85,34 \text{ t.m} \quad \text{M2=M0}$$

E.L.U

$$M_0 = -100,95 \text{ t.m} ; \quad M_1 = -156,922 \text{ t.m} ; \quad M_2 = -100,95 \text{ t.m}$$

a) En travée :

$$M(x) = P \cdot l \cdot \frac{x}{2} - P \frac{x^2}{2} - M_0 \cdot \left(1 - \frac{x}{l}\right) - M_1 \cdot \left(\frac{x}{l}\right)$$

$$M'(x) = P \cdot \frac{l}{2} - P \cdot x + \frac{M_0}{l} - \frac{M_1}{l} \quad ; \quad M'(x) = 0 \Rightarrow x = \frac{l}{2} + \frac{M_0}{P \cdot l} - \frac{M_1}{P \cdot l}$$

E.L.S

$$x = \frac{4,3}{2} + \frac{85,34 - 111,42}{66,67 \times 4,30} = 2,06 \text{ m}$$

$$M_{\text{Travée}} = 66,67 \times 4,30 \times \frac{2,06}{2} - 66,67 \times \frac{(2,06)^2}{2} - 85,34 \times \left(1 - \frac{2,06}{4,30}\right) - 111,42 \times \left(\frac{2,06}{4,30}\right) = 56 \text{ t.m}$$

E.L.U

$$X=2\text{m}$$

$$M_{\text{Travée}} = 89,734 \times 4,30 \times \frac{2,0}{2} - 89,734 \times \frac{(2,0)^2}{2} - 100,95 \times \left(1 - \frac{2,0}{4,30}\right) - 156,922 \times \left(\frac{2,0}{4,30}\right) = 79,40 \text{ t.m}$$

Efforts tranchants :

E.L.S

$$T_0 G = 66,67 \times 1,6 = 106,68 \text{ t}$$

$$T_0 D = 66,67 \times \frac{4,3}{2} + \frac{85,34 - 111,42}{4,3} = 137,28 \text{ t} \quad (x=0)$$

$$T_1 G = 66,67 \times \frac{4,3}{2} - \left(\frac{85,34 - 111,42}{4,3}\right) = 149,41 \text{ t} \quad (x=l=4,3)$$

E.L.U

$$M_0 = -100,95 \text{ t.m} ; \quad M_1 = -156,922 \text{ t.m} ; \quad M_2 = -100,95 \text{ t.m}$$

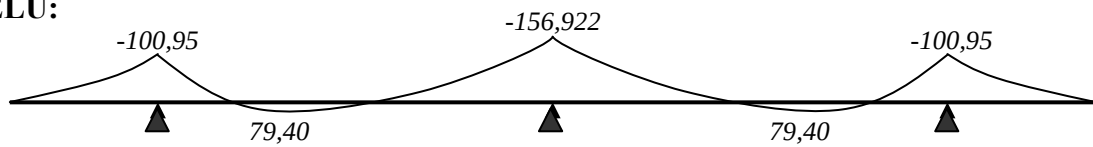
$$T_0 G = 89,734 \times 1,6 = 143,57 \text{ t}$$

$$T_0 D = 89,734 \times \frac{4,3}{2} + \frac{100,95 - 156,922}{4,3} = 179,91 \text{ t} \quad (x=0)$$

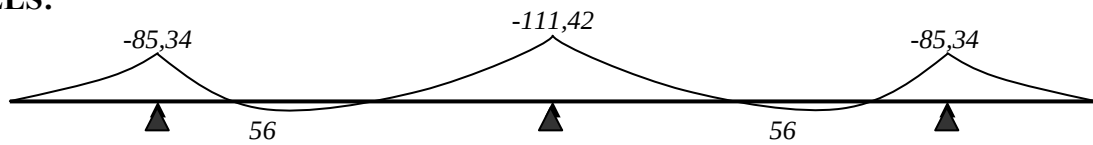
$$T_1 G = 89,734 \times \frac{4,3}{2} - \left(\frac{100,95 - 156,922}{4,3} \right) = 205,945 \text{ t} \quad (x=l=4,3)$$

Les diagrammes des moments fléchissant :

A L'ELU:

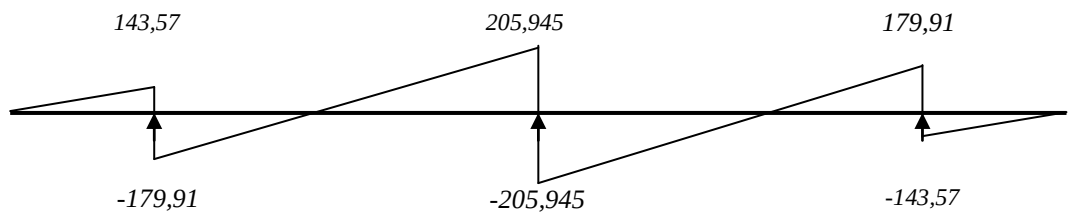


A L'ELS:

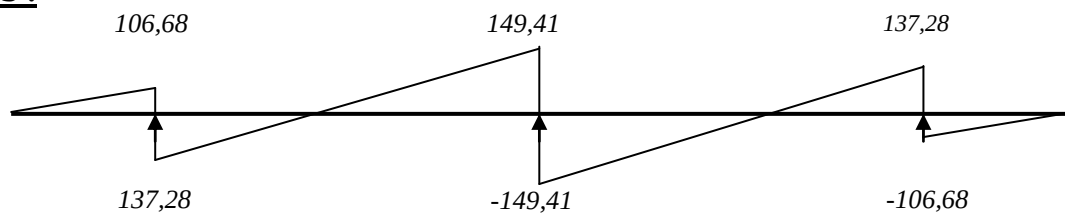


Les diagrammes des efforts tranchants :

A l'ELU :



A l'ELS :

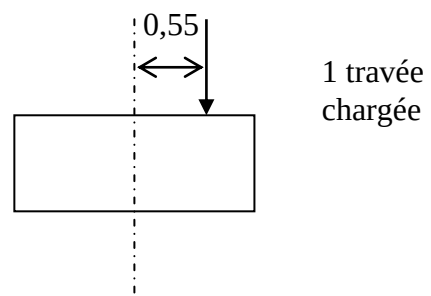


Moment de torsion :

On prend **une travée chargée**, la réaction maximale dans notre cas est donnée par la combinaison (A (I) +Trott)

$$\text{E.L.S } M_t = (106,10 + 8,6) \times 1,2 \times 0,55 = 75,70 \text{ tm}$$

$$\text{E.L.U } M_t = (106,10 + 8,6) \times 1,6 \times 0,55 = 100,936 \text{ tm}$$



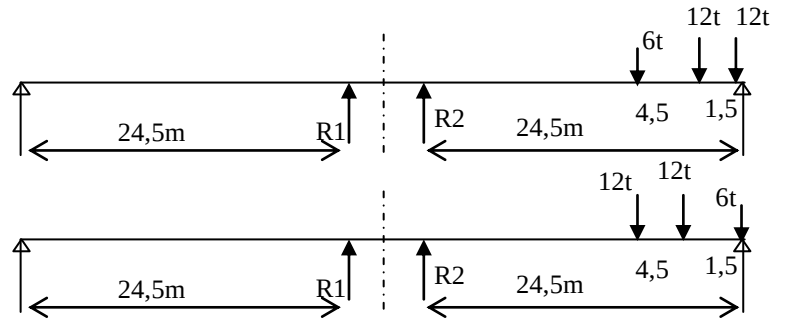
III.3 Fûts :

III.3-1 : Sans séisme :

Nbcmin

1 er cas :

2eme cas :



La réaction N sur le fut est calculée par la relation : $V = T_0G + T_0D$

Sous le poids du tablier et du chevêtre : $N = 184,412 \text{ t}$

Poids du fut : $\frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \times 4,15 \times 2,5 = 8,144 \text{ t}$

La réaction N sous les charges permanentes est : $N = 192,556 \text{ t}$

Le pieu est supposé encastrer au niveau de la semelle, d'où le bras de levier est de 5,45 m

$$H = \frac{1,04 \times 8 \times 25,5}{20 + 0,0035 \times 25,5 \times 8} = 10,24 \text{ t} \quad \text{donc } M = 3,413 \times 5,45 = 18,91 \text{ tm pour chaque fut}$$

$$H = \frac{30}{2} \times \frac{1}{3} = 5 \text{ t/fut} \quad \text{D'où } M = 5 \times 5,45 = 27,25 \text{ tm (pour chaque fut)}$$

1 travée chargée :

	N (ELU)	RG	R(elu)	ML=(R1-R2).0,55	freinage	Mt (ELU)	e0 (Mu/Nu)
A	33,055	192,556	312,8386	19,47	9,301	46,0336	0,14714808
B	32,078	192,556	311,2754	18,9666667	27,25	73,9466667	0,23756027
Bcmin	0,903	192,556	261,3954	1,6005	27,25	41,0392	0,15700047
	1,594	192,556	262,501	2,828	27,25	48,1248	0,18333187
Mc120	32,86	192,556	304,3116	19,4333333	0	31,0933333	0,10217597

$$H = \frac{6,65}{3} \text{ t pour chaque fut donc } M = 2,217 \times 5,45 = 12,083 \text{ tm pour chaque fut}$$

2 travées chargées

	N (ELU)	RG	R(elu)	ML=(R1-R2).0,55	freinage	Mtot (ELU)	e0 (Mu/Nu)
A	44,28	192,556	330,7986	0	12,08	19,328	0,0584283
B	36,394	192,556	318,181	7,81	27,25	56,096	0,17630217
Mc120	36,03	192,556	308,5911	0	0	0	0

Flambement

Vérification au flambement :

$$\lambda = \frac{l_f}{i}; i = \sqrt{\frac{I}{B}}; I = \frac{\pi \cdot \phi^4}{64} = 490,625 \text{ cm}^4$$

$$B = \frac{\pi \cdot \phi^3}{4} = 7850 \text{ cm}^3$$

$$i = 0,228 \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{2,905}{0,228} = 12,74$$

$$l_f = 0,7 \times l_0 = 0,7 \times 4,15 = 2,905 \text{ m}$$

$$\text{Pour que le fut ne flambe pas, il faut que : } \lambda < \lambda' = \max \left(50, \min \left(\frac{67e_0}{\phi}, 100 \right) \right)$$

$$\lambda = 13,104 < \lambda' = 50 \Rightarrow \text{ Il n'y pas risque de flambement.}$$

III.3-1 : avec séisme :

$$V = 192,556 \times 0,93 = 179,077 \text{ t} \quad ((0,93=1-0,07) \quad \text{séisme vertical})$$

$$H = 192,556 \times 0,10 = 19,255 \text{ t}$$

$$M = (536,30 \times 5,45 + 58,41 \times 4,7 + 24,432 \times 2,075) \times 0,10 / 3 = 108,268 \text{ tm}$$

$$E_0 = M/N = 0,6 \text{ m}$$

$$\lambda = 13,104 < \lambda' = 50 \Rightarrow \text{ Il n'y pas risque de flambement}$$

Le fut sera ferrailer en flexion composée.

Le poteau sera calculé par les nouvelles sollicitations : N_u et M_u calculé avec la nouvelle excentricité $e = e_0 + e_a + e_2$

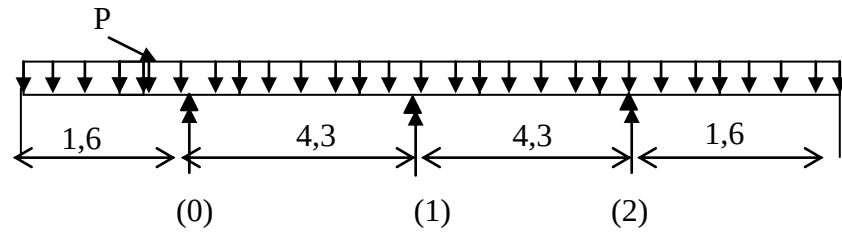
$$e_a = \max(2\text{cm}; \frac{l}{250})$$

$$e_2 = \frac{3lf^2}{10^4 \cdot h} (2 + \alpha \cdot \phi)$$

avec $\alpha=0$ car $M_g=0$

III.4 semelle :

III.4-1 sans séisme :



E.L.S

$$P1 = \text{Réaction du sol} = \frac{3.\sigma_{Max} + \sigma_{Min}}{4}$$

$$P1 = \frac{21,849 \times 3 + 18,791}{4} = 21,084 \text{ t/m}^2 \Rightarrow P1 = 88,55 \text{ t/ml}$$

P2 : poids de la semelle.

$$P2 = 1,20 \times 2,5 \times 4,2 = 12,6 \text{ t/ml}$$

P3 : poids des terres

$$P3 = 0,50 \times 4,2 \times 2 = 4,2 \text{ t/ml}$$

$$P = P1 - P2 - P3 = 88,55 - 12,6 - 4,2 = 71,75 \text{ t/ml}$$

Moments sur appui :

$$M_0 = -71,75 \cdot \frac{(1,6)^2}{2} = -91,84 \text{ t.m}$$

$$M_1 = \frac{1}{4 \times 4,3} \left[-71,75 \times \frac{(4,3)^3}{4} \cdot 2 + 2 \times 4,3 \times 91,84 \right] = -119,91 \text{ t.m}$$

$$M_2 = -91,84 \text{ t.m}$$

Moments en travée :

$$x = \frac{4,3}{2} + \frac{91,84 - 119,91}{71,75 \times 4,30} = 2,06 \text{ m}$$

$$M_{Travée} = 71,75 \times 4,30 \times \frac{2,06}{2} - 71,75 \times \frac{(2,06)^2}{2} - 91,84 \times \left(1 - \frac{2,06}{4,30}\right) - 119,91 \times \left(\frac{2,06}{4,30}\right) = 60,25 \text{ t.m}$$

E.L.U

$$P1 = \text{Réaction du sol} = \frac{3.\sigma_{Max} + \sigma_{Min}}{4}$$

$$P1 = \frac{29,4 \times 3 + 25,326}{4} = 28,38 \text{ t/m}^2 \Rightarrow P1 = 119,196 \text{ t/ml}$$

$$P = P1 - P2 - P3 = 119,196 - 1,35 (12,6 + 4,2) = 96,516 \text{ t/ml}$$

Moments sur appui :

$$M_0 = -96,516 \cdot \frac{(1,6)^2}{2} = -123,54 \text{ t.m}$$

$$M_1 = \frac{1}{4 \times 4,3} \left[-96,516x \frac{(4,3)^3}{4} \cdot 2 + 2 \times 4,3 \times 123,54 \right] = -161,3 \text{ t.m}$$

$$M_2 = -123,54 \text{ t.m}$$

Moments en travée :

$$x = \frac{4,3}{2} + \frac{123,54 - 161,3}{96,516 \times 4,30} = 2,06 \text{ m}$$

$$M_{Travée} = 96,516 \times 4,30 \times \frac{2,06}{2} - 96,516x \frac{(2,06)^2}{2} - 123,54x \left(1 - \frac{2,06}{4,30} \right) - 161,3x \left(\frac{2,06}{4,30} \right) = 81,05 \text{ t.m}$$

Efforts tranchants :

E.L.S

$$T_{0G} = 71,75 \times 1,6 = 114,8 \text{ t}$$

$$T_0D = 71,75x \frac{4,3}{2} + \frac{91,84 - 119,91}{4,3} = 147,73 \text{ t} \quad (x=0)$$

$$T_1G = 71,75x \frac{4,3}{2} - \left(\frac{91,84 - 119,54}{4,3} 91 \right) = 160,70 \text{ t} \quad (x=l=4,3)$$

E.L.U

$$T_{0G} = 96,516 \times 1,6 = 154,425 \text{ t}$$

$$T_0D = 96,516x \frac{4,3}{2} + \frac{123,54 - 161,3}{4,3} = 198,728 \text{ t} \quad (x=0)$$

$$T_1G = 96,516x \frac{4,3}{2} - \frac{123,54 - 161,3}{4,3} = 216,29 \text{ t} \quad (x=l=4,3)$$

III.4.2 Avec séisme :

$$\sigma_{Max} = 29,55 \text{ t/m}^2 ; \quad \sigma_{Min} = 5,638 \text{ t/m}^2$$

$$P1 = 23,572 \text{ t/m}^2 \Rightarrow P1 = 23,572 \times 4,2 = 99 \text{ t/ml}$$

$$P = 97,86 - ((12,6 + 4,2) \times 1,07) = 79,884 \text{ t/ml}$$