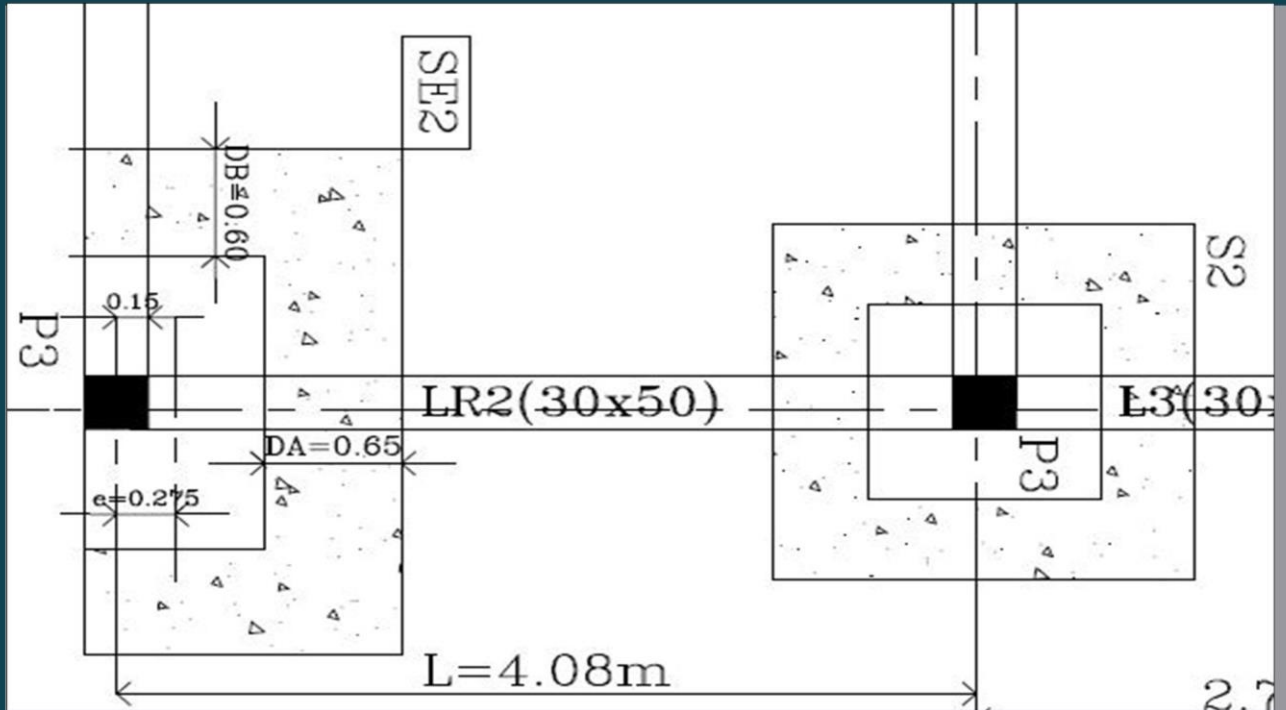


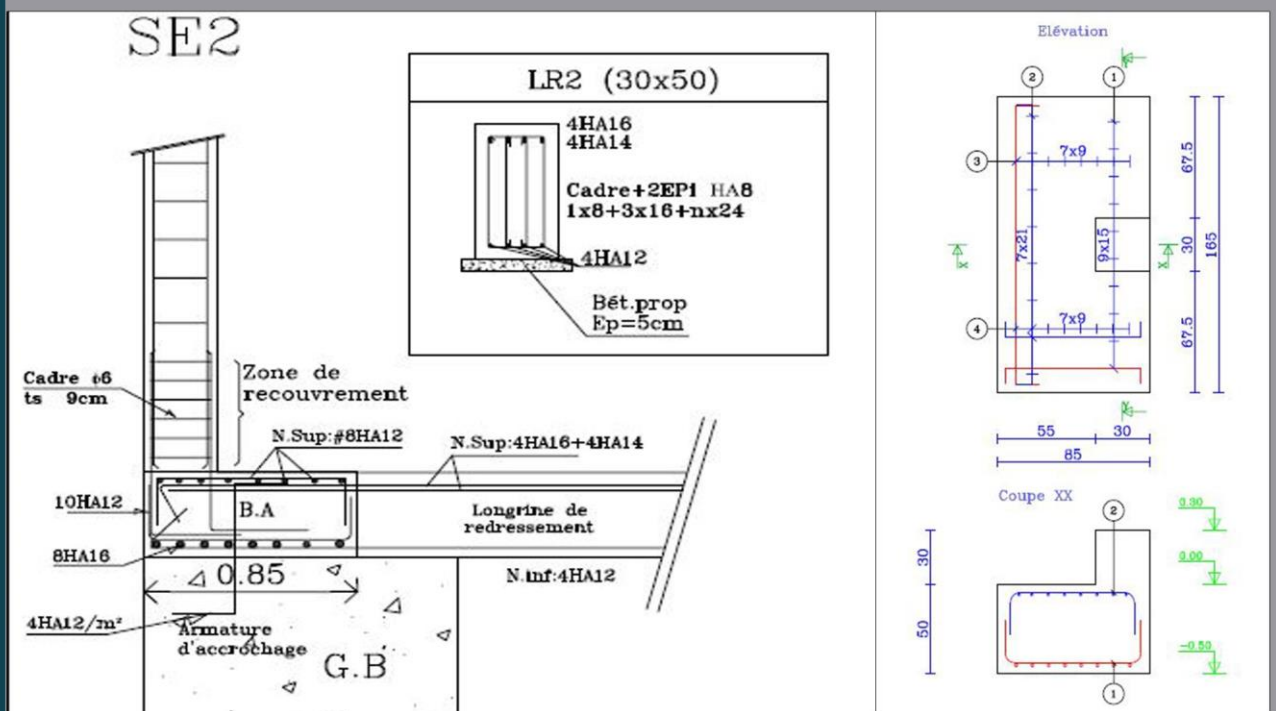


Théorie optimale des semelles excentrées et longrines de redressement



I.C : HEDI AYED LAKHAL

Conforme à L'EC2, L'ACI & BAEL



HEDI AYED LAKHAL

Théorie optimale des semelles excentrées et longrines de redressement

Tome 1

28/09/2021

SUIVANT L'EC2 AVEC COMPARAISON AVEC LE BAEL ET ACI

SOMMAIRE

I- Objet	4
II- Notations et unités	4 - 5
III- Méthode optimale linéaire	6
III-1- Données	6
III-2- Hypothèses et domaine d'application	6 - 7
IV- FORMULAIRE : METHODE LINEAIRE	8
IV- 1 – Détermination de A et B (dimensions de la semelle)	8
IV- 2 – Détermination de la hauteur de la semelle excentrée	8
IV- 3 – Calcul de ferrailage de la semelle excentrée	9
IV-3-a- Méthode des consoles	9
IV-3-b- Méthode linéaire	9
IV- 4 – Calcul des dimensions du gros béton	9
IV- 5 – Calcul de la longrine de redressement	9
IV-6- Calcul de ferrailage de la longrine de redressement	10
IV-6.1- Calcul de ferrailage supérieure	10
IV-6.2- Calcul de ferrailage inférieure	11
IV-7-Armature supérieure de la semelle excentrée :	11
EXEMPLE 1 : (avec gros béton)	12 - 32
EXEMPLE 2 : (sans gros béton)	33 - 38
V- Exemples d'application: Semelle excentrées dans les deux directions et longrine de redressement :	39
Exemple N°1 : (Sans Gros Béton)	39 - 42
Exemple N°2 : (Avec Gros Béton)	43 - 46
CON CLUSION	47
Références bibliographiques	48
ANNEXES	49

I- Objet

L'objet de la méthode proposée dans le présent livre est de permettre le dimensionnement des semelles en béton armé soumis à un effort de compression axial excentré.

Ce dimensionnement suppose la prise en compte des effets du poinçonnement

II- Notations et unités

- $a = h$: Epaisseur du poteau dans le sens du flambement [m].
- b : Largeur du poteau rectangulaire [m].
- f_{ck} : Résistance à la compression du béton [MPa].
- F_{yk} : Limite d'élasticité des aciers [MPa].
- M_g : Charge axiale permanente [MN].
- M_q : Charge axiale variable [MN].
- E.L.S. : Etat limite de service.
- E.L.U. : Etat limite d'ultime
- M_s : Effort normal agissant à l'E.L.S. [MN].
- M_u : Effort normal agissant à l'E.L.U. [MN].
- G : Charge axiale permanente
- Q : Charge axiale variable
- s : Coefficient de Hedi Ayed Lakhal des semelles excentrées
- σ_{GB} : La contrainte à l'E.L.S en bars du Gros béton
- σ_{sol} : La contrainte à l'E.L.S en bars du Sol
- N : Combinaison des charges
- A : Dimensions de la semelle selon x
- B : Dimension de la semelle selon y
- H_s : Hauteur de la semelle
- R : Force majorée
- m : Coefficient de majoration pour tenir compte de l'excentricité de la semelle.
- L : La distance entre axe entre le poteau excentré et le poteau centré la plus proche.
- e : Excentricité de la semelle
- P_{g-SE} : Charge axiale permanente majorée.
- P_{q-SE} : Charge axiale variable majorée.
- P_u : Charge majorée à l'état limite ultime.
- C_a : Le débord de la semelle excentrée dans le sens A .
- C_b : Le débord de la semelle excentrée dans le sens B .

- F_{yk} : Module d'élasticité de l'acier.
- F_{b1} : C'est le ferrailage parallèle à B d'après la méthode des consoles.
- F_{a1} : C'est le ferrailage parallèle à A d'après la méthode des consoles.
- F_{b2} : C'est le ferrailage parallèle à A d'après la méthode linéaire.
- F_{a2} : C'est le ferrailage parallèle à B d'après la méthode linéaire.
- A_{GB} : Dimensions du gros béton selon x
- B_{GB} : Dimensions du gros béton selon y
- H_{GB} : Hauteur du gros béton
- D_A : Débord du gros béton dans le sens de A
- D_B : Débord du gros béton dans le sens de B
- r : Coefficient pour le calcul d'hauteur de la longrine de redressement
- b_{long} : Largeur de la longrine de redressement
- H_{LR} : Hauteur de la longrine de redressement
- L : Distance entre axe des longrines
- cm^2 : Centimètre carré
- C_{ste} : Constante
- HA : Acier à haute adhérence.

III- Méthode optimale

Dans cette partie, on expose les différentes étapes de calcul de la méthode optimale pour le dimensionnement des semelles excentrées avec des exemples d'application.

III-1- Données

- σ_{GB} : La contrainte à l'E.L.S. en bars du Gros béton.
- σ_{sol} : La contrainte à l'E.L.S. en bars du Sol.
- L : Distance entre axes des longrines.
- a : Epaisseur du poteau dans le sens du flambement [m].
- b: Largeur du poteau rectangulaire [m].

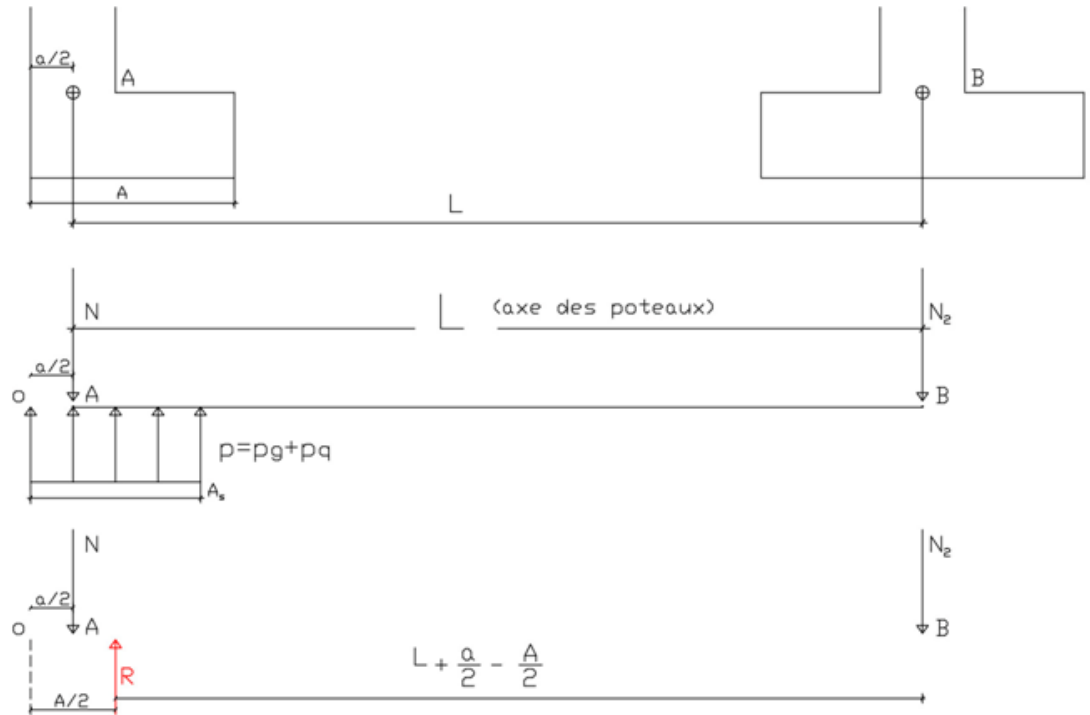
III-2- Hypothèses et domaine d'application

Cette méthode est valable pour les semelles excentrées utilisant un béton (classe du ciment 32.5 N et plus) de résistance caractéristique pouvant atteindre $f_{ck} = 90$ MPa et des aciers dont la limite élastique F_{yk} est comprise entre 300 et 1200 MPa.

Les principales hypothèses et exigences de cette méthode sont résumées dans les points suivants :

- 1- Béton: $12 \text{ MPa} \leq f_{ck} \leq 90 \text{ MPa}$: résistance du béton utilisé.
- 2- Acier: $300 \text{ MPa} \leq F_{yk} \leq 1200 \text{ MPa}$: limite élastique de l'acier.
- 3- Classe du ciment: 32.5 N et plus.

Démonstration :



ou bien:

Par application du principe fondamentale de la statique (PFS), la somme des moments des forces appliquées sur la poutre est nulle en tout point du plan, en particulier au point B.

$$\sum M_B = 0 \Leftrightarrow N \times L - R \left[L + \frac{a}{2} - \frac{A}{2} \right] = 0$$

$$\Rightarrow N \times L = R \times \left[\frac{2L+a-A}{2} \right] \Rightarrow R = N \times \frac{L}{\frac{2L+a-A}{2}}$$

$$\Rightarrow R = N \times \frac{2L}{2L+a-A}$$

$$\Rightarrow R = N \times \frac{L}{L+\frac{a-A}{2}} \Rightarrow R = N \times \frac{L}{L-(\frac{A-a}{2})}$$

$$\Rightarrow \boxed{R = N \times \frac{L}{L-e}}$$

IV- FORMULAIRE : METHODE OPTIMALE

On pose $s = \sqrt{\frac{6}{\sigma}}$ Coefficient de Hedi Ayed Lakhal des semelles excentrées [sans unité].

σ : La contrainte à l'E.L.S. en bars (du sol ou du gros béton).

$$\text{Avec } s = \begin{cases} \sqrt{\frac{6}{\sigma_{G.B}}} & \text{si la semelle repose sur le gros béton.} \\ \sqrt{\frac{6}{\sigma_{\text{sol}}}} & \text{si la semelle repose sur le sol directement.} \end{cases}$$

• Remarque :

Si $N < 100t \rightarrow A_{th} = 1.02 \times \frac{3}{4} \times \sqrt{\frac{N \times 1000}{\sigma_s}}$; avec $N = G + Q$

Si $N \geq 100t \rightarrow A_{th} = \frac{4}{5} \times \sqrt{\frac{N \times 1000}{\sigma_s}}$; avec $N = G + Q$

IV-1-Détermination de A et B (dimensions de la semelle) :

Avec : $\begin{cases} A : \text{Petite dimension de la semelle.} \\ B : \text{Grande dimension de la semelle.} \end{cases}$

$A_{th} = s \times \left[\frac{4}{7} \times N + 42 \right]$; avec $N = G + Q$

$B = \frac{R}{A \times \sigma_{GB}}$; avec $R = m \times N$, $m = \text{Max} \left\{ 1.07 ; \frac{L}{L-e} \right\}$, $e = \frac{A-a}{2}$

IV-2-Détermination de la hauteur de la semelle excentrée :

Trois méthodes permettant de calculer la hauteur de la semelle excentrée :

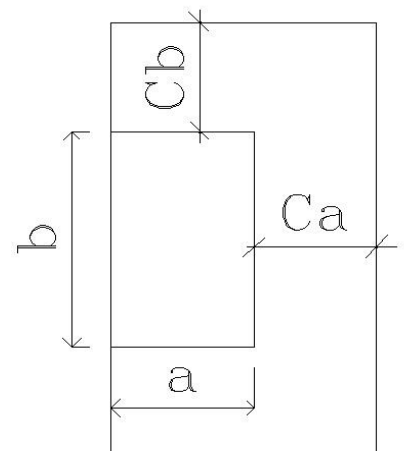
$$- H_s = \frac{5}{13} \times N + 20$$

$$- H_s = \sqrt{\frac{1}{s}} \times \left\{ \left[\min \left\{ \frac{A}{2} ; \frac{B}{4} \right\} \right] + \frac{N}{10} \right\}$$

$$- H_s = \left(\frac{1}{s} \times \frac{13}{20} \times A \right) - 5$$

Pour tenir compte de l'agressivité du milieu, on calcule le coefficient f_0 :

$$f_0 = \begin{cases} 1,1 & \text{en XA1} \\ 1,3 & \text{en XA2} \\ 1,5 & \text{en XA3} \end{cases}$$



• Remarque : $f_0 = 1$ en XC2 lorsque le milieu n'est pas agressif.

IV-3- Calcul de ferrailage de la semelle excentrée :

IV-3-1- Méthode des consoles :

$$P_{g-SE} = \frac{m \times G}{B} ; P_{q-SE} = \frac{m \times Q}{B}$$

$$P_u = 1.35 \times P_{g-SE} + 1.5 \times P_{q-SE}$$

$$C_a = A - a ; C_b = \frac{B-b}{2}$$

$$M_u (t.m) = \frac{C b^2}{2} \times P_u$$

$$F_{b1} = \left(\frac{400}{F_{yk}} \right) \times \frac{f_0 \times M_u \times 10^5}{H_s \times 2800} ; M_u [T.m] ; H_s : [cm]$$

$$F_{a1} = \text{Max} \left\{ \left(\frac{400}{F_{yk}} \right) \times \frac{f_0}{1000} \times B_s \times H_s ; \beta \times \left(\frac{C_a}{C_b} \right) \times F_{b1} \right\} \text{ avec } \beta = \frac{2}{\frac{B}{A} + 1}$$

IV-3-2- Méthode linéaire :

$$F_{b2} = \left(\frac{400}{F_{yk}} \right) \times \frac{2}{5} \times f_0 \times \frac{R \times (B-b)}{8 \times H_s} ; R : [t] ; H_s, B, b : [cm] ; F_{b2} : [cm^2]$$

$$F_{a2} = \text{Max} \left\{ \left(\frac{400}{F_{yk}} \right) \times \frac{f_0}{1000} \times B_s \times H_s ; \beta \times \left(\frac{C_a}{C_b} \right) \times F_{b2} \right\} \text{ avec } \beta = \frac{2}{\frac{B}{A} + 1}$$

IV-4- Calcul des dimensions du gros béton :

$$A_{GB} = 0.73 \times \sqrt{\frac{R \times 1000}{\sigma_{sol}}}$$

$$B_{GB} = 1.02 \times \frac{R}{A \times \sigma_{sol}}$$

$$H_{GB} = \text{Max} \{ 1.43 \times D_A ; 1.6 \times D_B \} ; D_A = A_{GB} - A_s ; D_B = \frac{B_{GB} - B_s}{2}$$

IV-5- Calcul de la longrine de redressement :

$$r = \frac{27}{b_{long}} ; b_{long} [cm]$$

$$M_g = G_m \times e = m \times G \times e ; M_q = Q_m \times e = m \times Q \times e ; |M_s| = M_g + M_q = m \times N \times e$$

$$H_{LR-op} = \text{Max} \left\{ 61 \times \sqrt{r} \times \sqrt{\frac{M_s}{b_{long}}} ; 0.1 L ; \frac{4}{3} a_c \right\} ; \text{ avec } a_c = \sqrt{a \times b}$$

IV-6- Calcul de ferrailage de la longrine de redressement :

IV-6.1- Calcul de ferrailage supérieure :

$$p_g = \frac{2 \times e \times G}{A^2} ; p_q = \frac{2 \times e \times Q}{A^2} ; \text{appliqué sur une distance } A.$$

Démonstration :

L'effort tranchant V_B , sous une charge repartie de longueur A , a comme valeur : $V_B = \frac{-p \cdot A^2}{2L}$ (H1)

et l'effort tranchant V_B sous l'effet d'un couple C , a comme valeur : $V_B = \frac{C}{L} = \frac{Ne}{L}$ (H2)

(H1)=(H2), nous donne comme équation : $\frac{p \cdot A^2}{2L} = \frac{Ne}{L}$ d'où $p = \frac{2Ne}{A^2}$ or $p = G + Q$ par la suite :

$$p_g = \frac{2 \times e \times G}{A^2} ; p_q = \frac{2 \times e \times Q}{A^2}$$

on pose : $\alpha = \frac{L-A-\frac{3a}{2}}{L-a}$; donc : $V_B = \frac{-\alpha \cdot p \cdot A^2}{2L}$; avec $p = p_g + p_q$ (ELS) ; $V_A = \alpha \times p \times \frac{A(2L-A)}{2L}$;

$$\bullet \quad A'_{\text{sup,LR-op}} = \left(\frac{400}{F_{yk}} \right) \times \frac{1.4 \times M_{\text{ser-op}} \times 10^5}{2700 \times H_{\text{LR-op}}} ; \text{ avec } M_{\text{ser-op}} > 0 [\text{t.m}] \text{ et } H_{\text{LR-op}} [\text{cm}]$$

On pose : $\beta = \frac{2}{\frac{B}{A} + 1}$; $m = \text{Max} \left\{ 1.07 ; \frac{L}{L-e} \right\}$;

$$R = m \times N ; V_A = -\beta \left[R \times \frac{a}{A} - N \right] = -\beta \left[m \times N \times \frac{a}{A} - N \right] = -\beta \left[\left(m \times \frac{a}{A} - 1 \right) \times N \right] ;$$

$$V_B = -\beta (R - N) = -\beta [(m-1) \times N]$$

$$x_0 = \frac{A(2L-A)}{2L} \quad \left[x_0 = \frac{VA}{p \times \alpha} \right]$$

$$M_1 = -\frac{1}{2} \times x_0 \times V_A = M_{\text{ser-op}} \text{ (première formule : exacte);}$$

$$M_2 = 1.02 \times V_B \times (L - x_0) = M_{\text{ser-op}} \text{ (deuxième formule: approchée);}$$

$$M_3 = M_\beta = -\frac{\beta \times M_E}{m^3} = M_{\text{ser-op}} \text{ avec } M_E = R \times e \text{ (troisième formule: approchée)}$$

Avec : $\begin{cases} A : \text{petite dimension de la semelle} \\ B : \text{grande dimension de la semelle} \end{cases}$

$$\begin{cases} L_{\text{op}} = 16 \times a \times A \times s ; \text{ si } L \geq L_{\text{op}} \longrightarrow M_{\text{LR}} = \text{cste} = M(L_{\text{op}}) \\ m = \text{Max} \left\{ 1.07 ; \frac{L}{L-e} \right\} ; \end{cases}$$

IV-6.2- Calcul de ferrailage inférieure :

La valeur minimale de l'armature inférieure est égale à $\frac{A'_{sup}}{4}$. En plus, l'armature inférieure est déterminée pour une charge d'exploitation $q = 1,5 \text{ t/m}$.

- $$A_{inf-LR} = \left(\frac{400}{F_{yk}} \right) \times \frac{M_{ult-inf} \times 10^5}{2700 \times H_{LR-op}} ; \text{ avec } M_{ult-inf} > 0 [\text{t.m}] \text{ et } H_{LR-op} [\text{cm}]$$

IV-7-Armature supérieure de la semelle excentrée :

Semelle carrée équivalente de calcul de côté $B_c = \sqrt{\beta} \times B$

$$A_{sup}^{min} = \left(\frac{400}{F_{yk}} \right) \times \frac{f_0}{10} \times H_s \text{ (cm}^2\text{/ml de semelle carrée équivalente de calcul de côté } B_c \text{) avec } H_s [\text{cm}]$$

EXEMPLE 1 (avec gros béton):

POTEAU : 30×30 ; G= 62.64t ; Q= 15.66t → G + Q = 78.3 t = N ; ($\sigma_{GB} = 6 \text{ bars} : E.L.S.$) ;
L= 4.08m ; ($\sigma_{sol} = 2 \text{ bars} : ELS$) ; $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$; $F_{yk} = 400 \text{ MPa}$.

- Suivant la méthode linéaire :

$$A_{th} = s \times \left[\frac{4}{7} \times N + 42 \right] = 1 \times \left[\frac{4}{7} \times 78.3 + 42 \right] = 86.74 \text{ cm} \Rightarrow \boxed{A_{retenue} = 85 \text{ cm}}$$

en effet $s = \sqrt{\frac{6}{\sigma_{G.B}}} = 1$.

- Suivant la méthode racine :

Méthode de racine : Si $N < 100t \rightarrow A_{th,R} = 1.02 \times \frac{3}{4} \times \sqrt{\frac{N \times 1000}{\sigma_s}}$

on remplaçant N par 78.3 t , on obtient : $A_{th,R} = 1.02 \times \frac{3}{4} \times \sqrt{\frac{78.3 \times 1000}{6}} = 87.39 \text{ cm}$.

$$*e = \frac{A-a}{2} = \frac{85-30}{2} = 27.5 \text{ cm}$$

$$*m = \text{Max} \left\{ 1.07 ; \frac{L}{L-e} \right\} = \text{Max} \left\{ 1.07 ; \frac{408}{408-27.5} \right\} = \text{Max} \{ 1.07 ; 1.072 \} = 1.072$$

$$*G_m = G \times m = 62.64 \times 1.072 = 67.15 \text{ t} ; Q_m = Q \times m = 15.66 \times 1.072 = 16.787 \text{ t}$$

$$B = \frac{R}{A \times \sigma_{GB}} = \frac{1.072 \times 78.3}{85 \times 6} = 0.164 \times 1000 = 164 \text{ cm} \Rightarrow \boxed{B_{retenue} = 165 \text{ cm}}$$

Conclusion : Dimension de la semelle : béton armé : 85cm × 165cm

- Détermination de la hauteur de la semelle excentrée.

$$H_s = \frac{5}{13} \times N + 20 = \frac{5}{13} \times 78.3 + 20 = 50.11 \text{ cm}$$

Soit $H_{ret} = 50 \text{ cm}$

Calcul de ferrailage à partir de l'arche semelle: Norme : BAEL (Additif 99)

Fissuration peu préjudiciable: C'est l'équivalent presque à l'EC2 : XA1

Suivant x : 7.92 cm²

Suivant y : 12.14 cm²

→ Ferrailage retenu ; 7HA16 (/y/) × 8 HA12 (/x/).

avec : $G_m = G \times m = 62.64 \times 1.072 = 67.15 \text{ t}$; $Q_m = Q \times m = 15.66 \times 1.072 = 16.787 \text{ t}$

- Calcul de ferrailage de semelle à partir de la méthode linéaire :

$$\checkmark F_{b2} = \left(\frac{400}{F_{yk}} \right) \times \frac{2}{5} \times f_0 \times \frac{R \times (B-b)}{8 \times H_s}; R : [t] ; H_s, B, b : [cm] ; F_{b2} : [cm^2] ; f_0 = 1.3 (XA2)$$

$$\rightarrow \text{A.N: } F_{b2} = \left(\frac{400}{400} \right) \times \frac{2}{5} \times 1.3 \times \frac{1.072 \times 78.3 \times (165-30)}{8 \times 50} = \mathbf{14.73 \text{ cm}^2}$$

$$\checkmark F_{a2} = \text{Max} \left\{ \left(\frac{400}{F_{yk}} \right) \times \frac{f_0}{1000} \times B_s \times H_s ; \beta \times \left(\frac{C_a}{C_b} \right) \times F_{b2} \right\} \text{ avec } \beta = \frac{2}{\frac{B}{A} + 1}$$

$$C_a = A - a = 85 - 30 = 55; C_b = \frac{B-b}{2} = \frac{165-30}{2} = 67.5 \text{ et } \beta = 0.68 ; B_s = 165 \text{ cm et } H_s = 50$$

$$\rightarrow \text{A.N: } F_{a2} = \text{Max} \{ 10.73; 8.16 \} = \mathbf{10.73 \text{ cm}^2}$$

Calcul de ferrailage à partir de la méthode linéaire (XA2)

Suivant x : 10.73 cm²

Suivant y : 14.73 cm²

→ Ferrailage retenu 8HA16 (/y/) × 10HA12 (/x/)

- Calcul de ferrailage de cette semelle dans le cas où le milieu chimique est faiblement agressif (XA1) .

$$F_{b2} (XA1) = [F_{b2} (XA2)] \times \frac{1.1}{1.3} ; \text{A.N. : } F_{b2} (XA1) = 14.73 \times \frac{1.1}{1.3} = 12.47 \text{ cm}^2$$

$$F_{a2} (XA1) = [F_{a2} (XA2)] \times \frac{1.1}{1.3} ; \text{A.N. : } F_{a2} (XA1) = 10.73 \times \frac{1.1}{1.3} = 9.08 \text{ cm}^2$$

Calcul de ferrailage à partir de la méthode linéaire (XA1)

Suivant x : 9.08 cm²

Suivant y : 12.47 cm²

→ Ferrailage retenu 7HA16 (/y/) × 9HA12 (/x/).

- Semelle excentrée : armature supérieure

Semelle carrée équivalente de calcul de coté $B_c = \sqrt{\beta} \times B$

$$A_{sup}^{min} = \left(\frac{400}{F_{yk}} \right) \times \frac{f_0}{10} \times H_s / \text{ml}$$

dans le cas ou le milieu est faiblement agressif : XA1 donc $f_0 = 1.1$ on a :

$$A_{sup}^{min} = \left(\frac{400}{400} \right) \times \frac{1.1}{10} \times 50 \times \sqrt{0.68} \times 1.65 = 7.50 \text{ cm}^2 \text{ soit } \# 7 \text{ HA12 comme nappe supérieure}$$

de notre semelle excentrée.

dans le cas ou le milieu est moyennement agressif : XA2 donc $f_0 = 1.3$ on a :

$$A_{sup}^{min} = \left(\frac{400}{400} \right) \times \frac{1.3}{10} \times 50 \times \sqrt{0.68} \times 1.65 = 8.84 \text{ cm}^2 \text{ soit } \# 8 \text{ HA12 comme nappe supérieure de notre semelle excentrée.}$$

➤ Un calcul avec le logiciel ROBOT, nous donne les résultats suivants :

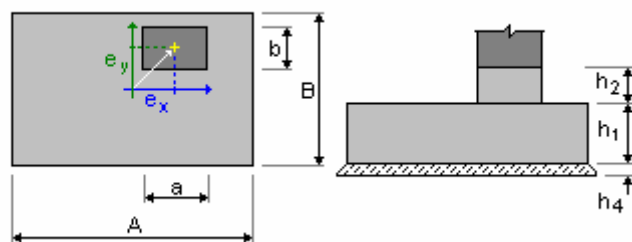
1 Semelle isolée: Semelle 85×165×50 :

1.1 Données de base

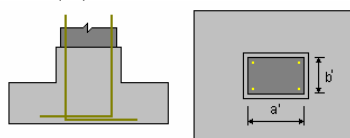
1.1.1 Principes

- Norme pour les calculs géotechniques : DTU 13.12
- Norme pour les calculs béton armé : EN 1992-1-1:2004 AC:2008 : (EC2)
- Forme de la semelle : libre

1.1.2 Géométrie:



A	= 1,65 (m)	a	= 0,30 (m)
B	= 0,85 (m)	b	= 0,30 (m)
h1	= 0,50 (m)	ex	= 0,00 (m)
h2	= 0,00 (m)	ey	= 0,00 (m)
h4	= 0,05 (m)		



a'	= 25,0 (cm)
b'	= 25,0 (cm)
Cnom1	= 6,0 (cm)
Cnom2	= 6,0 (cm)
Écarts de l'enrobage: Cdev = 1,0(cm), Cdur = 0,0(cm)	

1.1.3 Matériaux

- Béton : BETON25; résistance caractéristique = 25,00 MPa
Poids volumique = 2501,36 (kG/m3)
répartition rectangulaire des charges [3.1.7(3)]
- Aciers longitudinaux : type HA 400 résistance caractéristique = 400,00
Classe de ductilité: -
branche horizontale du diagramme contrainte-déformation
- Armature transversale : type HA 400 résistance caractéristique = 400,00

1.1.4 Chargements:

Charges sur la semelle:

Cas	Nature	Groupe	N (kN)	Fx (kN)	Fy (kN)	Mx (kN*m)	My (kN*m)
G1	permanente	1	626,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Q1	d'exploitation	1	157,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Q2	d'exploitation	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

1.1.5 Liste de combinaisons

1/	ELU : 1.35G1
2/	ELU : 1.00G1
3/	ELU : 1.35G1+1.50Q1+1.50Q2
4/	ELU : 1.35G1+1.50Q1
5/	ELU : 1.35G1+1.50Q2
6/	ELU : 1.00G1+1.50Q1+1.50Q2
7/	ELU : 1.00G1+1.50Q1
8/	ELU : 1.00G1+1.50Q2
9/	ELS : 1.00G1
10/	ELS : 1.00G1+1.00Q1+1.00Q2
11/	ELS : 1.00G1+1.00Q1
12/	ELS : 1.00G1+1.00Q2
13/*	ELU : 1.35G1+1.50Q1+1.50Q2
14/*	ELU : 1.35G1+1.50Q1
15/*	ELU : 1.35G1+1.50Q2
16/*	ELU : 1.35G1
17/*	ELU : 1.00G1+1.50Q1+1.50Q2
18/*	ELU : 1.00G1+1.50Q1
19/*	ELU : 1.00G1+1.50Q2
20/*	ELU : 1.00G1
21/*	ELS : 1.00G1+1.00Q1+1.00Q2
22/*	ELS : 1.00G1+1.00Q1
23/*	ELS : 1.00G1+1.00Q2
24/*	ELS : 1.00G1
25/*	ELS : 1.00G1+0.50Q1+0.50Q2
26/*	ELS : 1.00G1+0.50Q1
27/*	ELS : 1.00G1+0.50Q2
28/*	ELS : 1.00G1
29/*	ELS : 1.00G1+0.30Q1+0.30Q2
30/*	ELS : 1.00G1+0.30Q1
31/*	ELS : 1.00G1+0.30Q2
32/*	ELS : 1.00G1

1.2 Dimensionnement géotechnique

1.2.1 Principes

Dimensionnement de la fondation sur:

- Capacité de charge
- Glissement
- Renversment
- Soulèvement

1.2.2 Sol:

Contraintes dans le sol: $\sigma_{ELU} = 0.84 \text{ (MPa)}$ $\sigma_{ELS} = 0.56 \text{ (MPa)}$

Niveau du sol: $N_1 = 0,00 \text{ (m)}$
Niveau maximum de la semelle: $N_a = 0,00 \text{ (m)}$
Niveau du fond de fouille: $N_f = -0,50 \text{ (m)}$

Argiles et limons fermes

- Niveau du sol: 0.00 (m)
- Poids volumique: 2039.43 (kG/m³)
- Poids volumique unitaire: 2692.05 (kG/m³)
- Angle de frottement interne: 30.0 (Deg)
- Cohésion: 0.02 (MPa)

1.2.3 États limites

Calcul des contraintes

Type de sol sous la fondation: uniforme

Combinaison dimensionnante **ELU : 1.35G1+1.50Q1**

Coefficients de chargement: **1.35 * poids de la fondation**
1.35 * poids du sol

Résultats de calculs: au niveau du sol

Poids de la fondation et du sol au-dessus de la fondation: Gr = 23,22 (kN)

Charge dimensionnante:

$N_r = 1103,82 \text{ (kN)}$ $M_x = -0,00 \text{ (kN*m)}$ $M_y = 0,00 \text{ (kN*m)}$
Dimensions équivalentes de la fondation:
 $B' = 1$
 $L' = 1$
Épaisseur du niveau: $D_{\min} = 0,50 \text{ (m)}$

Méthode de calculs de la contrainte de rupture: pressiométrique de contrainte(ELU), (DTU 13.12, 3.22)

$q_{ELU} = 0.84 \text{ (MPa)}$

$q_u = 1.68 \text{ (MPa)}$

Butée de calcul du sol:

$q_{lim} = q_u / \gamma_f = 0.84 \text{ (MPa)}$

$\gamma_f = 2,00$

Contrainte dans le sol: $q_{ref} = 0.79 \text{ (MPa)}$

Coefficient de sécurité: $q_{lim} / q_{ref} = 1.067 > 1$

Soulèvement

Soulèvement ELU

Combinaison dimensionnante **ELU : 1.00G1**

Coefficients de chargement: **1.00 * poids de la fondation**

1.00 * poids du sol

Poids de la fondation et du sol au-dessus de la fondation: $G_r = 17,20 \text{ (kN)}$

Charge dimensionnante:

$N_r = 643,20 \text{ (kN)}$ $M_x = -0,00 \text{ (kN*m)}$ $M_y = 0,00 \text{ (kN*m)}$

Surface de contact $s = 100,00 \text{ (%)}$

$s_{lim} = 10,00 \text{ (%)}$

Soulèvement ELS

Combinaison défavorable: **ELS : 1.00G1**

Coefficients de chargement: **1.00 * poids de la fondation**

1.00 * poids du sol

Poids de la fondation et du sol au-dessus de la fondation: $G_r = 17,20 \text{ (kN)}$

Charge dimensionnante:

$N_r = 643,20 \text{ (kN)}$ $M_x = -0,00 \text{ (kN*m)}$ $M_y = 0,00 \text{ (kN*m)}$

Surface de contact $s = 100,00 \text{ (%)}$

$s_{lim} = 100,00 \text{ (%)}$

Glissement

Combinaison dimensionnante **ELU : 1.00G1**

Coefficients de chargement: **1.00 * poids de la fondation**

1.00 * poids du sol

Poids de la fondation et du sol au-dessus de la fondation: $G_r = 17,20 \text{ (kN)}$

Charge dimensionnante:

$N_r = 643,20 \text{ (kN)}$ $M_x = -0,00 \text{ (kN*m)}$ $M_y = 0,00 \text{ (kN*m)}$

Dimensions équivalentes de la fondation: $A_{\perp} = 1,65 \text{ (m)}$ $B_{\perp} = 0,85 \text{ (m)}$

Surface du glissement: $1,40 \text{ (m}^2\text{)}$

Cohésion: $C = 0.02 \text{ (MPa)}$

Coefficient de frottement fondation - sol: $\tan(\phi) = 0,58$

Valeur de la force de glissement $F = 0,00 \text{ (kN)}$

Valeur de la force empêchant le glissement de la fondation:

- su niveau du sol: $F(\text{stab}) = 349,65 \text{ (kN)}$

Stabilité au glissement: ☐

Renversement

Autour de l'axe OX

Combinaison dimensionnante

ELU : 1.00G1

Coefficients de chargement: **1.00** * poids de la fondation

1.00 * poids du sol

Poids de la fondation et du sol au-dessus de la fondation: Gr = 17,20 (kN)

Charge dimensionnante:

Nr = 643,20 (kN) Mx = -0,00 (kN*m) My = 0,00 (kN*m)

Moment stabilisateur: M_{stab} = 273,36 (kN*m)

Moment de renversement: M_{renv} = 0,00 (kN*m)

Stabilité au renversement: ☐

Autour de l'axe OY

Combinaison défavorable:

ELU : 1.00G1

Coefficients de chargement: **1.00** * poids de la fondation

1.00 * poids du sol

Poids de la fondation et du sol au-dessus de la fondation: Gr = 17,20 (kN)

Charge dimensionnante:

Nr = 643,20 (kN) Mx = -0,00 (kN*m) My = 0,00 (kN*m)

Moment stabilisateur: M_{stab} = 530,64 (kN*m)

Moment de renversement: M_{renv} = 0,00 (kN*m)

Stabilité au renversement: ☐

1.3 Dimensionnement Béton Armé

1.3.1 Principes

- Milieu : XC2
- Classe de structure : S1

1.3.2 Analyse du poinçonnement et du cisaillement

Poinçonnement

Combinaison dimensionnante

ELU : 1.35G1+1.50Q1

Coefficients de chargement: **1.35** * poids de la fondation

1.35 * poids du sol

Charge dimensionnante:

Nr = 1103,82 (kN) Mx = -0,00 (kN*m) My = 0,00 (kN*m)

Longueur du périmètre critique: 2,28 (m)

Force de poinçonnement: 781,44 (kN)

Hauteur efficace de la section heff = 0,43 (m)

Densité du ferrailage: r = 0,23 %

Contrainte de cisaillement: 0,80 (MPa)

Contrainte de cisaillement admissible: 1,91 (MPa)

Coefficient de sécurité: 2,395 > 1

1.3.3 Ferrailage théorique

Semelle isolée:

Aciers inférieurs:

ELU : 1.35G1+1.50Q1+1.50Q2

My = 169,76 (kN*m) A_{sx} = 13,82 (cm²/m) [XA1] .

ELU : 1.35G1+1.50Q1+1.50Q2

Mx = 65,10 (kN*m) A_{sy} = 6,99 (cm²/m)

A_{s min} = 7,27 (cm²/m)

- NOTE DE CALCUL -

➤ Un calcul avec le logiciel ARCHE SEMELLE, nous donne les résultats suivants:

Localisation : Semelle Excentrée 85×165×50 :

I) Hypothèses générales

Unités:

Longueur : Mètre

Force : Tonne Force

Moment : T*m

Contraintes : MegaPa (N/mm²)

Calculs selon les EUROCODES (Europe)

Fck = 25.00 MPa Fyk = 400.00 MPa

gamma b = 1.50 gamma s = 1.15

Masse volumique du béton : 2.500 T /m³

Environnement humide (Wk=0.30 mm)

Charge prolongée ou cyclique

II) Géométrie

Type de semelle : SEMELLE ISOLEE

- PREDIMENSIONNEMENT

La semelle n'est pas prédimensionnée.

- NIVEAUX NGF -

Arase supérieure du fût-poteau : 0.300 m : Niveau bloqué.

Arase supérieure de la semelle : 0.000 m : Niveau bloqué.

Arase inférieure de la semelle : -0.500 m : Niveau non bloqué.

TYPE DE L'ELEMENT PORTE : fût rectangulaire.

Largeur a = 0.300 m

Longueur b = 0.300 m

Hauteur h = 0.300 m

- GEOMETRIE DE LA SEMELLE ISOLEE (sans pans coupés) -

Largeur A de la semelle : $A = 0.850 \text{ m}$

Largeur B de la semelle : $B = 1.650 \text{ m}$

Epaisseur de la semelle : $h = 0.500 \text{ m}$

- DEBORDS DE LA SEMELLE -

Débord gauche $g = 0.275 \text{ m}$

Débord droit $d = 0.275 \text{ m}$

Débord arrière $Ar = 0.675 \text{ m}$

Débord avant $Av = 0.675 \text{ m}$

IV) Charges

- CHARGES SURFACIQUES -

Charge permanente sur le sol : $g = 0.000 \text{ T/m}^2$

Charge d'exploitation sur le sol : $q = 0.000 \text{ T/m}^2$

- TORSEUR -

Position du torseur : $dx = 0.0000 \text{ m}$

$dy = 0.0000 \text{ m}$

$dz = 0.0000 \text{ m}$ / à l'arase inférieure de la semelle

Charge	V	Mx	My	Hx	Hy
	T	Tm	Tm	T	T
Permanente	62.64	0.00	0.00	0.00	0.00
Exploit. 1	15.66	0.00	0.00	0.00	0.00
Exploit. 2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Neige	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Vent1:X+sur.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Vent2:X+dép.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Vent3:X-sur.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Vent4:X-dép.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Vent5:Y+sur.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Vent6:Y+dép.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Vent7:Y-sur.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Vent8:Y-dép.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Séisme 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Charge	V	Mx	My	Hx	Hy
Séisme 2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Séisme 3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Acciden.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

V) Hypothèses de calcul

- HYPOTHESES GENERALES DE CALCUL -

Vent nominal majoré aux ELU par 1.20

Neige nominale majorée aux ELU et ELS par 1.00

Les terres et les surcharges sur la semelle ne sont pas pris en compte pour le calcul des sections d'aciers de la semelle.

La méthode de calcul des aciers choisie quand le moment est nul-Méthode des MOMENTS.

On ne prend pas en compte les dispositions au séisme.

Le pas d'itérations pour le calcul de la section d'aciers est de 0.10 cm²

Il n'y a pas partage de l'effort normal.

Le poids propre du fût n'est pas pris en compte.

- HYPOTHESES SUIVANT LES EUROCODE 7 -

Pour la vérification de la portance du sol aux ELU :

- La répartition de la pression de contact est constant.

- La capacité portante du sol Rd' est saisie : Rd' = 156.0 T

- La capacité portante du sol Rdu est saisie : Rdu = 156.0 T

Pour la vérification du glissement aux ELU :

Elément coulé in-situ

- Angle de frottement entre le terrain et la semelle : $\delta = 1.000\phi'$

VI) Combinaisons effectuées

Combinaison ELU fondamentale 0 : 1.35Gmax+Gmin

Combinaison ELU fondamentale 1 : 1.35Gmax+Gmin+1.50Q1

Combinaison ELS rare 2 : G

Combinaison ELS rare 3 : G+Q1

Combinaison ELS fréquente 4 : G

Combinaison ELS fréquente 5 : G+0.75Q1

VII) Capacité portante du sol de fondation

Surface du sol comprimé : 0.00 m²

Vd : charge de calcul, normale à la base de la semelle.

Rd : capacité portante de calcul du sol de fondation.

Condition à vérifier : $Vd < Rd$

- EUROCODE 7 - CALCULS AUX ELU -

	DRAINE			NON DRAINE		
Nappes	Combi	Vd T	Rd T	Combi	Vd T	Rd T
Aucune	1	110.42	111.23	/	/	/

IX) Glissement

- EUROCODE 7 - CALCULS AUX ELU -

Pas de glissement

XI) Poinçonnement du fût sur la semelle

Combinaison : 1.35G_{max}+G_{min}+1.50Q₁

V_{sd} = 16.43 T/ m

V_{Rd1} = 33.40 T/ m

V_{Rd2} = 53.45 T/ m

V_{Rd3} = 33.40 T/ m

=> Pas de poinçonnement du fût sur la semelle.

XII) Aciers réels

Les aciers de la semelle suivant X ont été calculés par la méthode des MOMENTS.

Moment dimensionnant suivant X = 6.55 Tm

Les aciers de la semelle suivant Y ont été calculés par la méthode des MOMENTS.

Moment dimensionnant suivant Y = 17.07 Tm

Semelle	A théo.	A réel.	Nb.	Fi	Esp.
Sup. X	0.00 cm ²	0.00 cm ²	0	12.0	0.000 m
Inf. X	11.39 cm²	12.44 cm ²	11	12.0	0.145 m
Sup. Y	0.00 cm ²	0.00 cm ²	0	12.0	0.000 m
Inf. Y	11.92 cm²	12.44 cm ²	11	12.0	0.065 m

XIII) Contraintes

Moment ELS suivant X = 4.72 Tm

Suivant l'axe X	Valeur	Limite
Contrainte béton comprimé	1.430 MPa	25.000 MPa
Contrainte aciers tendus bas	86.617 MPa	320.000 MPa
Ouverture fissure fibre sup	0.000 mm	0.300 mm
Ouverture fissure fibre inf	0.028 mm	0.300 mm

Moment ELS suivant Y = 12.30 Tm

Suivant l'axe Y	Valeur	Limite
Contrainte béton comprimé	5.556 MPa	25.000 MPa
Contrainte aciers tendus bas	231.294 MPa	320.000 MPa
Ouverture fissure fibre sup	0.000 mm	0.300 mm
Ouverture fissure fibre inf	0.095 mm	0.300 mm

Or d'après le logiciel ROBOT, on a les armatures inférieures suivantes :

ELU : 1.35G1+1.50Q1+1.50Q2

$M_y = 169,76 \text{ (kN*m)}$ $A_{sx} = 13,82 \text{ (cm}^2\text{/m)}$ [XA1] .

Donc comme A=0.85m donc $A(//y) = 0.85 \times A_{sx} = 0.85 \times 13,82 = \mathbf{11,75 \text{ cm}^2}$ (ARCHE :**11,92 cm²**)

ELU : 1.35G1+1.50Q1+1.50Q2

$M_x = 65,10 \text{ (kN*m)}$ $A_{sy} = 6,99 \text{ (cm}^2\text{/m)}$

$A_{sy \text{ min}} = 7.27 \text{ (cm}^2\text{/m)}$

Donc comme B = 1.65m donc $A(//x) = 1.65 \times A_{smin} = 1.65 \times 7.27 = \mathbf{12.00 \text{ cm}^2}$ (ARCHE :**11.39 cm²**)

- **Gros béton :** ($\sigma_{sol} = 2 \text{ bars} : E.L.S. : 20 \text{ t/m}^2$)

$$A_{GB} = 0.73 \times \sqrt{\frac{R \times 1000}{\sigma_{sol}}} = 0.73 \times \sqrt{\frac{1.072 \times 78.3 \times 1000}{2}} = 149.55 = A_{th}$$

$\rightarrow A_{ret} = 150 \text{ cm}$

$$B_{GB} = 1.02 \times \frac{R}{A \times \sigma_{sol}} = 1.02 \times \frac{1.072 \times 78.3 \times 1000}{150 \times 2} = 285.39 \Rightarrow B = 285 \text{ cm}$$

En effet, $1.5 \times 2.85 \times 20 \text{ t/m}^2 = 85.5 \text{ t} > R = 1.072 \times 78.3 = 83.94 \text{ t} : \text{OK}$

- **Hauteur du gros béton :**

$$H_{GB} = \text{Max} \{1.43 \times D_A ; 1.6 \times D_B\} \text{ OR } D_A = A_{GB} - A_S = 1.50 - 0.85 = 0.65$$

$$D_B = \frac{B_{GB} - B_S}{2} = \frac{2.85 - 1.65}{2} = 0.6$$

$$1.6 \times 0.6 = 0.96 ; 1.43 \times 0.65 = 0.93 \Rightarrow \text{MAX} \{0.93 ; 0.96\} = 0.96 ; \text{ soit } H_{GB} = 95 \text{ cm}$$

- **Calcul de la longrine de redressement :**

$$r = \frac{27}{b_{lon}} ; b_{lon} [\text{cm}] ; |M_s| = M_g + M_q = m \times N \times e$$

$$H_{LR-op} = \text{Max} \left\{ 61 \times \sqrt{r} \times \sqrt{\frac{M_s}{b_{long}}} ; 0.1 L ; \frac{4}{3} a_c \right\} ; \text{ avec } a_c = \sqrt{a \times b}$$

$$b_{lon} = 30 \text{ cm donc } r = \frac{27}{b_{lon}} = 0.9$$

$$M_s = e \times R = 23.14 \text{ t.m} \rightarrow$$

$$\text{A.N. : } H_{LR-op} = \text{MAX} \left\{ 61 \times \sqrt{0.9} \times \sqrt{\frac{23.08}{30}} = 50.81 \text{ cm} ; 0.1 \times 408 = 40.8 \text{ cm} ; 1.33 \times 30 = 40 \right\}$$

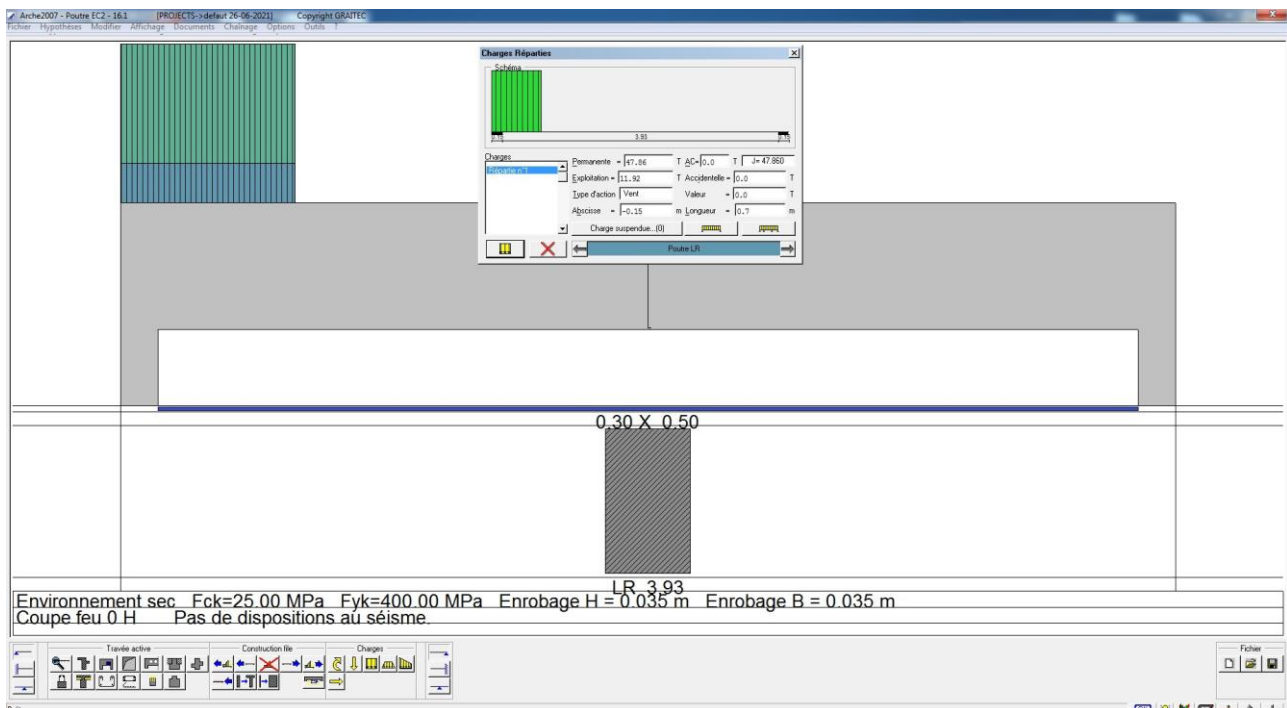
$$\Rightarrow H_{LR-op} = 50 \text{ cm}$$

- **Calcul de ferrailage de la longrine de redressement : LR (30x50)**

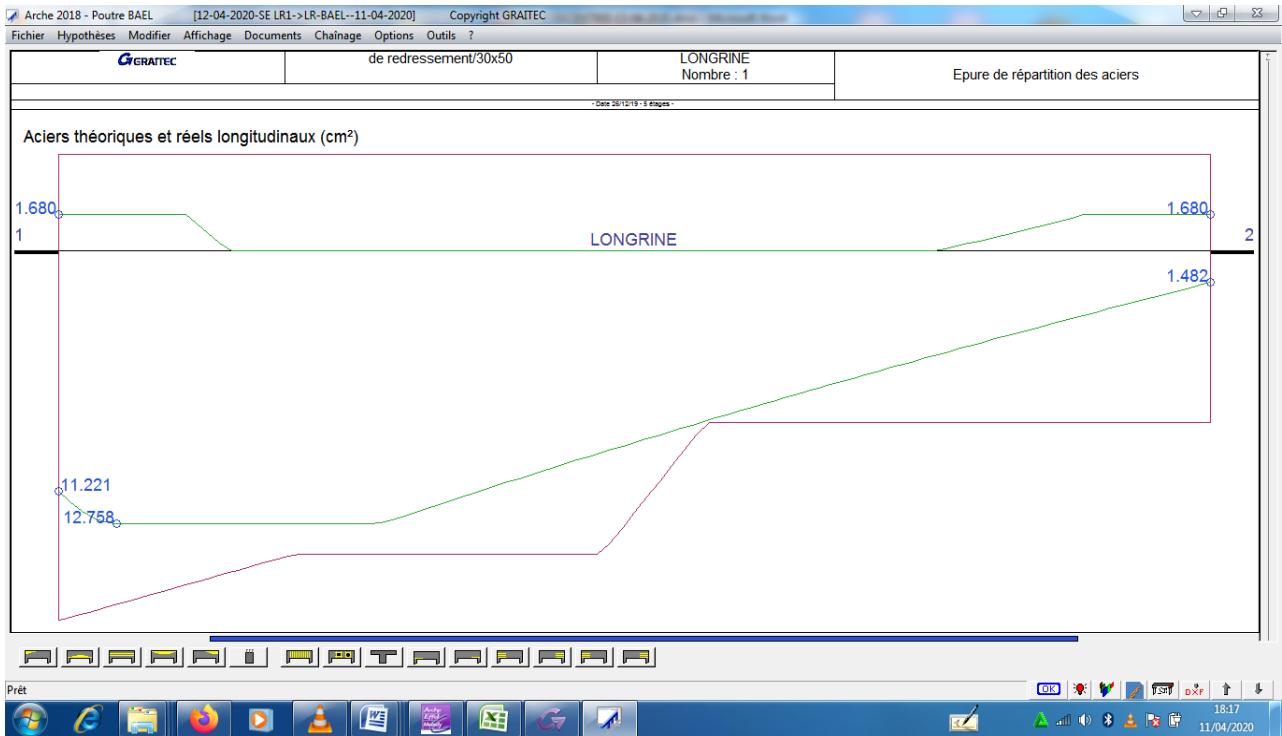
- **Calcul de ferrailage supérieur a partir du logiciel arche poutre :**

$$p_g = \frac{2 \times e \times G}{A^2} = \frac{2 \times 0.275 \times 62.64}{0.85^2} = 47.86 \text{ t/ml}$$

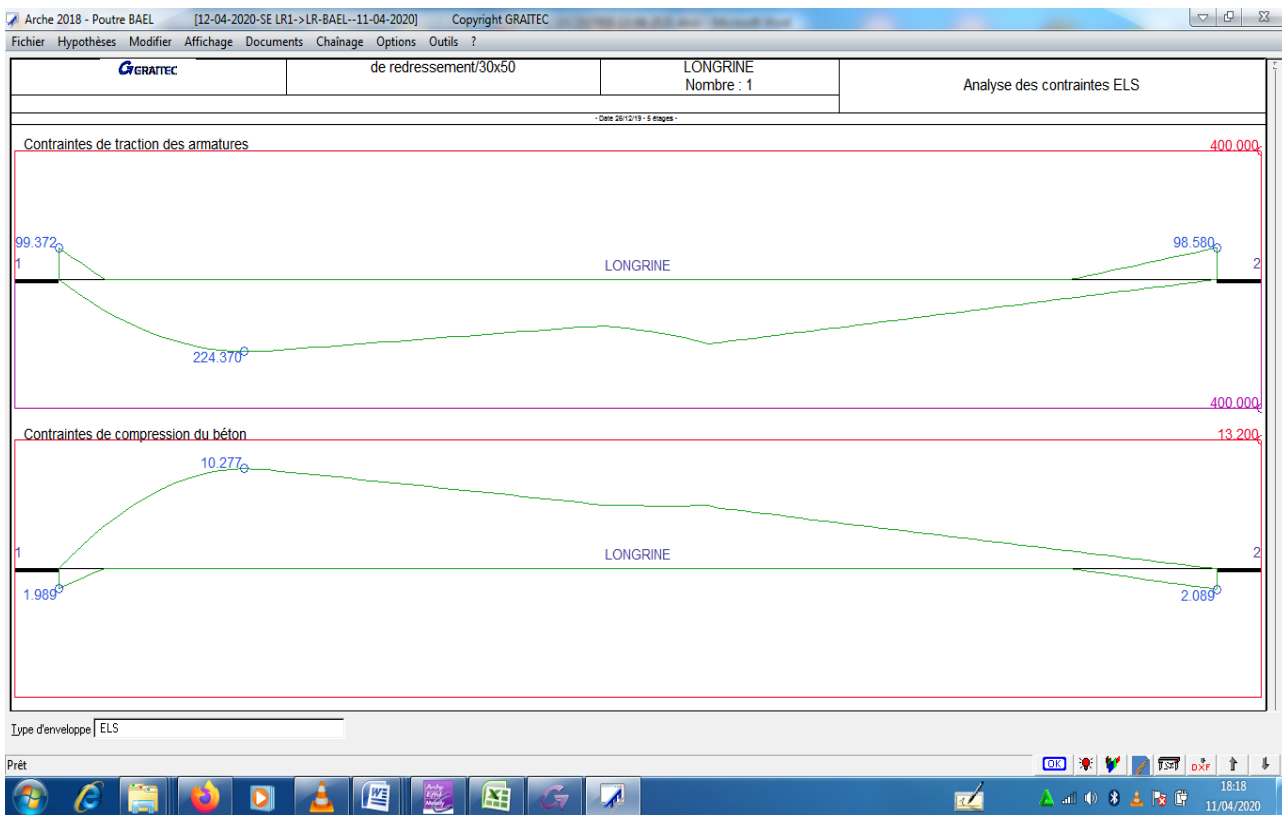
$$p_q = \frac{2 \times e \times Q}{A^2} = \frac{2 \times 0.275 \times 15.66}{0.85^2} = 11.92 \text{ t/ml}$$



✚ Pour le calcul automatique sur arche poutre, on applique une charge répartie sur une distance $A-0.5 \times a$.

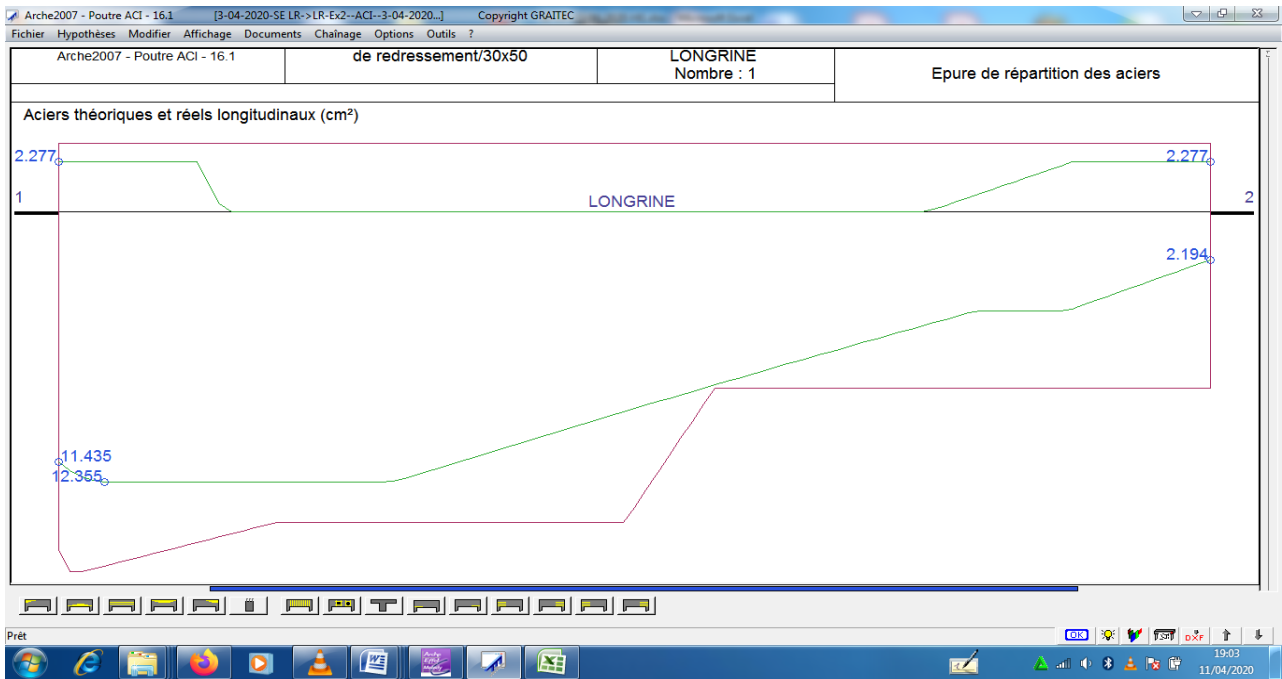


⇒ Acier théorique automatique supérieur = $12.758 \text{ cm}^2 \Rightarrow 4\text{HA}16+4\text{HA}14$ (14.16 cm^2) : comme armature supérieure de la longrine de redressement (norme BAEL).

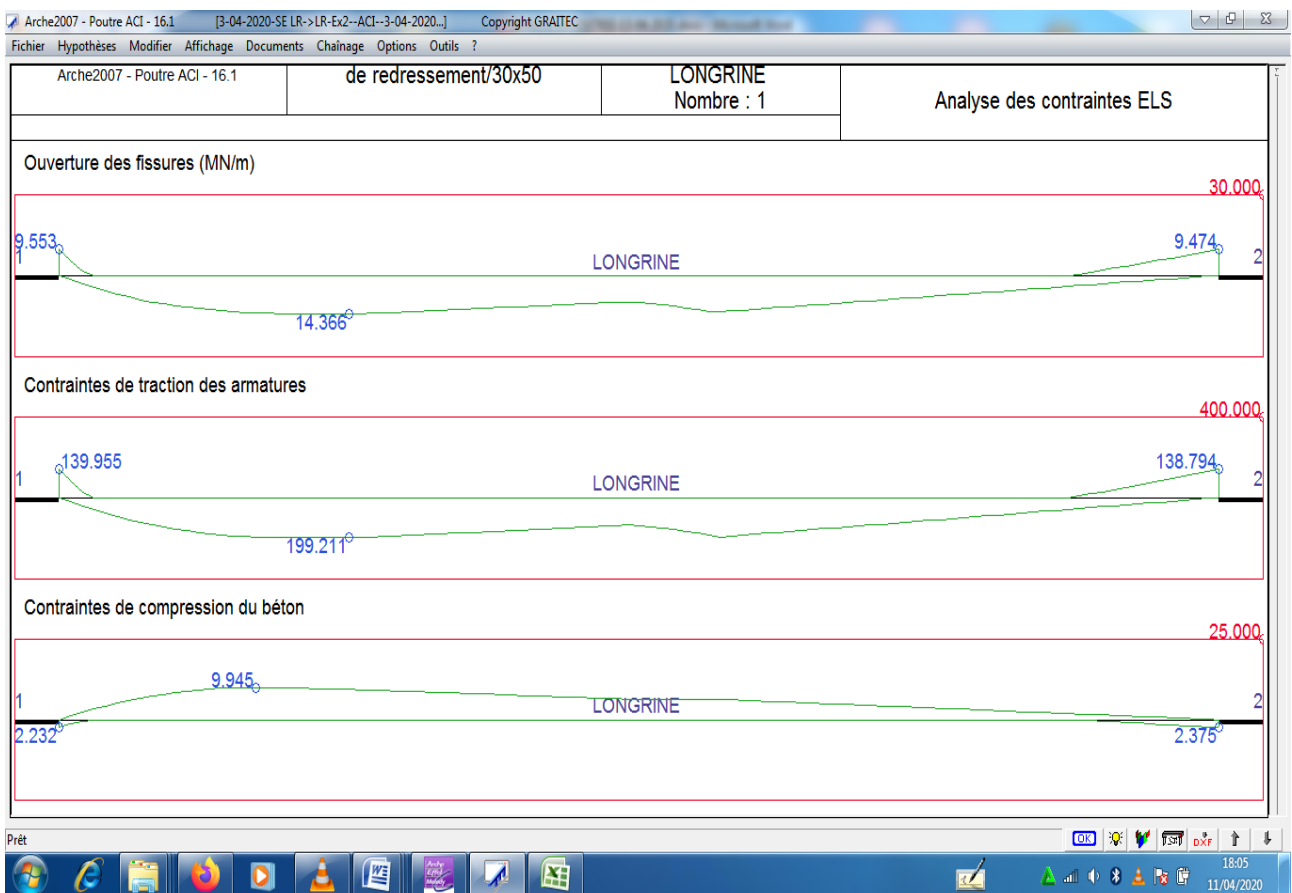


Analyse des contraintes ELS (BAEL).

✚ Pour le calcul automatique sur arche poutre, on appliquant la norme ACI, on trouve le résultat suivant :

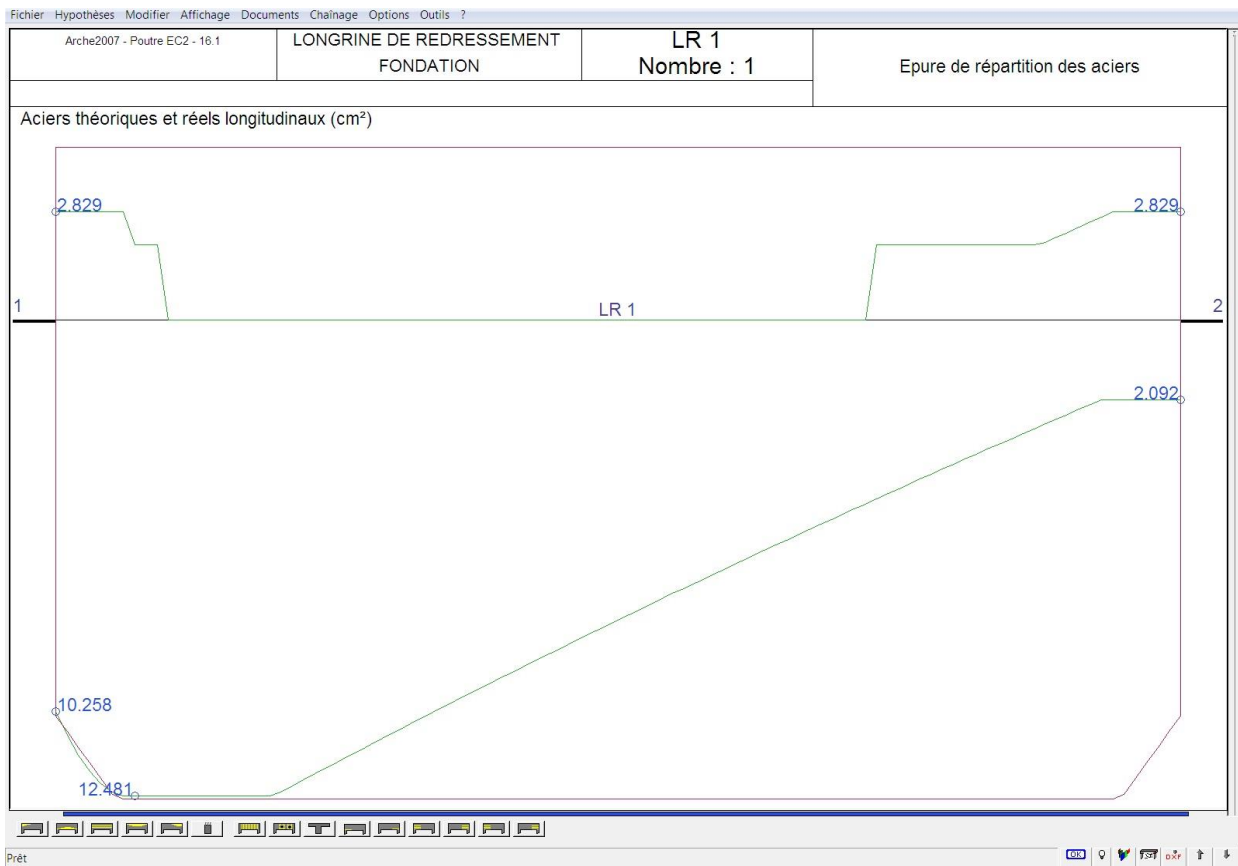


⇒ Acier théorique automatique supérieur = $12.355 \text{ cm}^2 \Rightarrow 4\text{HA}16+4\text{HA}14 (14.16 \text{ cm}^2)$: comme armature supérieure de la longrine de redressement (norme ACI).

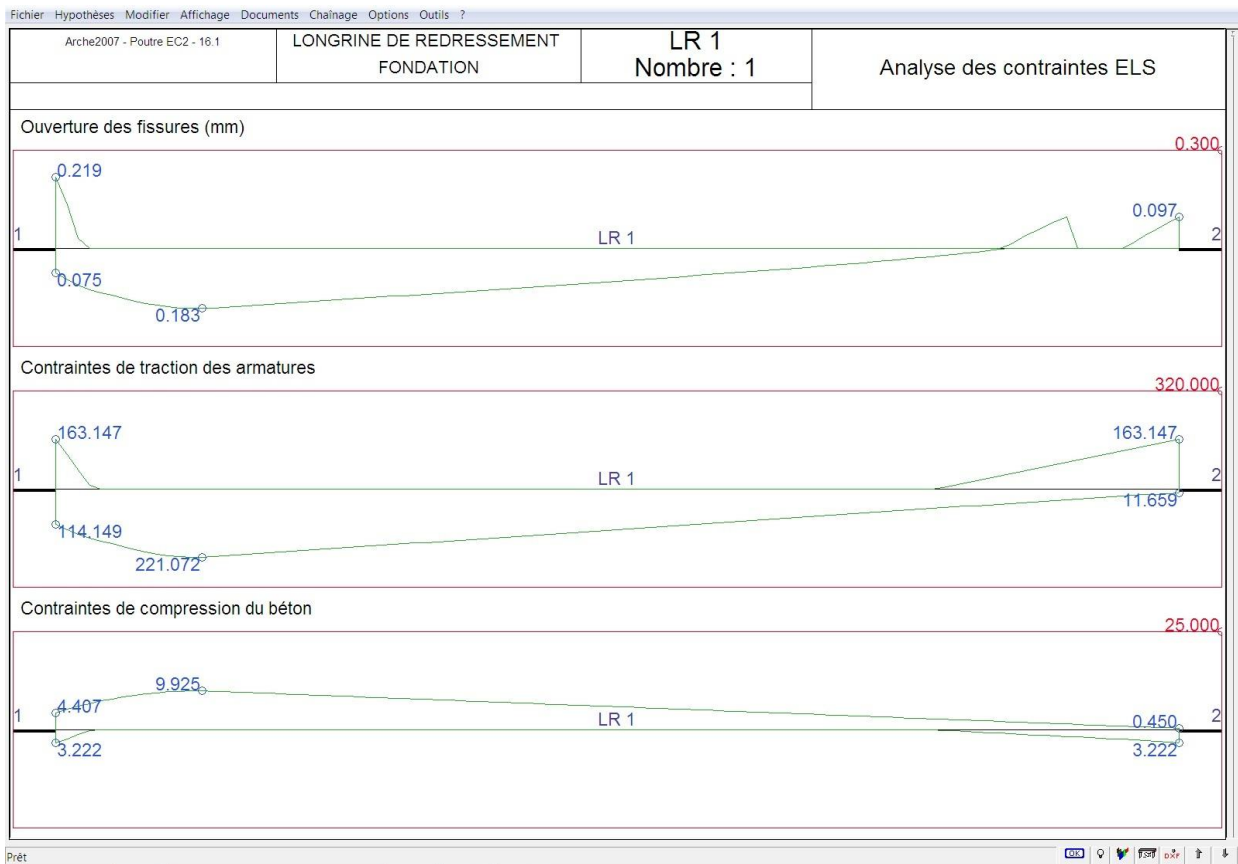


Analyse des contraintes ELS (ACI).

✚ Pour le calcul automatique sur arche poutre, on appliquant la norme EC2, on trouve le résultat suivant :



⇒ Acier théorique automatique supérieur = 12.481 cm² ⇒ 4HA16+4HA14 (14.2 cm²) : comme armature supérieure de la longrine de redressement (norme EC2).



Analyse des contraintes ELS (EC2).

- Dans les normes BAEL et ACI, on remarque que pour une hauteur du longrine de redressement égale à 50 cm (H-op: solution optimale), au lieu de 45 cm le ferrailage augmente, ce qui est inattendue , en plus le ferrailage reste constant même avec des hauteurs supérieures à 50cm , d'où la définition suivante :

La hauteur optimale d'une longrine de redressement est la hauteur qui lorsqu'elle augmente, l'armature automatique supérieure reste constante.

- **Calcul de ferrailage supérieur manuellement :**

$$p_g = \frac{2 \times e \times G}{A^2} = \frac{2 \times 0.275 \times 62.64}{0.85^2} = 47.86 \text{ t/ml}$$

$$p_q = \frac{2 \times e \times Q}{A^2} = \frac{2 \times 0.275 \times 15.66}{0.85^2} = 11.92 \text{ t/ml}$$

$$\alpha = \frac{L-A-\frac{3a}{2}}{L-a} ; A.N \alpha = 0.735$$

$$\beta = \frac{2}{\frac{B}{A} + 1} ; A.N \beta = 0.68$$

$$V_A = -\beta [(m \times \frac{a}{A} - 1) \times N] ; A.N : V_A = 33.1 \text{ t.}$$

$$V_B = -\beta [(m-1) \times N] ; A.N : V_B = -3.83 \text{ t.}$$

Calcul du moment:

$$\text{Le moment est maximal pour } x = x_0 = \frac{A(2L-A)}{2L} ; A.N : x_0 = 0.7615 \text{ m.}$$

➤ La formule exacte pour déterminer le moment maximal est la suivante :

$$M_{RDM} = \frac{1}{2} \times V_A \times x_0 ; A.N : M_1 = -12.600 \text{ t.m}$$

➤ Deuxième formule approchée pour déterminer le moment maximal :

$$M_2 = m^{\frac{1}{4}} \times V_B \times (L - x_0) ; A.N : M_2 = -12.648 \text{ t.m}$$

➤ Troisième formule pour déterminer le moment maximal :

$$M_\beta = -\frac{\beta \times M_E}{\frac{3}{m}} \text{ avec } M_E = R \times e ; A.N : M_2 = -12.916 \text{ t.m}$$

Conclusion:

Méthode	exacte	Approchée 2	Approchée 3
Moment max (ELS) [t.m]	-12.600	-12.648	-12.916

D'où, l'armature supérieure de cette longrine est :

$$A'_{\text{sup,LR-op}} = \left(\frac{400}{F_{yk}} \right) \times \frac{1.4 \times M_{\text{ser-op}} \times 10^5}{2700 \times H_{\text{LR-op}}} ; \text{A.N :}$$

$$A'_{\text{sup,LR-op}} = \left(\frac{400}{400} \right) \times \frac{1.4 \times 12.6 \times 10^5}{2700 \times 50} = 13.07 \text{ cm}^2 \text{ (Arche poutre BAEL: 12,766 cm}^2\text{)}.$$

soit : 4HA16+4HA14 (14.16 cm²) : comme armature supérieure.

- **Calcul de ferrailage inférieur manuellement :**

Le poids propre de cette longrine optimale (30×45) est: $g = 0.34 \text{ t/m}$.

Pour une charge d'exploitation $q=1.5 \text{ t/m}$, on obtient comme $p_u=2.71 \text{ t/m}$.

$$M_{u-\text{max-inf}} (\text{a mi travée}) = \frac{p_u \times L_n^2}{8} ; \text{A.N : } M_{u-\text{max-inf}} = 5.23 \text{ t.m}$$

Le ferrailage correspondant est le suivant :

$$A_{\text{inf-LR}} = \left(\frac{400}{F_{yk}} \right) \times \frac{M_{\text{ult-inf}} \times 10^5}{2700 \times H_{\text{LR-op}}} ; \text{A.N : } A_{\text{inf-LR}} = \left(\frac{400}{400} \right) \times \frac{5.23 \times 10^5}{2700 \times 50} = 3.87 \text{ cm}^2$$

$$\text{or } A_{\text{inf}} - \min = \frac{A'_{\text{sup}}}{4} = \frac{14.16}{4} = 3.54 \text{ cm}^2 < 3.87 \text{ cm}^2 : \text{OK} .$$

Conclusion: L'armature inférieure de notre longrine de redressement est 4 HA12 (4.52 cm²).

- **Déterminons les armatures transversales dans la longrine:**

- espacement maximal transversal égal à 20ϕ avec ϕ : diamètre inférieure de la longrine de redressement.

dans notre cas on a comme armature inférieure 4 HA12 donc 24 cm est l'espacement maximal.

Longrine : $b = 30\text{cm}$ et $H = 50 \text{ cm}$.

$z = 0.77H$ d'ou $z = 38.5\text{cm}$.

$\theta = 40^\circ$ donc $\cotg\theta + \tg\theta = 2$; $\cotg\theta = 1.19$

$$v = 0.6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \text{ or } f_{ck} = 25 \text{ MPa}.$$

donc $v=0.54$

$$V_{Rd,max} = \frac{v \times b \times z \times f_{cd}}{\cotg\theta + \tg\theta} ; \text{or } f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1.5} = 16.7 \text{ MPa}$$

$$\text{A.N : } V_{Rd,max} = 0.52 \text{ MN soit } V_{Rd,max} = 52 \text{ t} > 1.4 \times 33.1 = 46.34 \text{ t}$$

donc le non-écrasement des bielles est vérifié .

L'équation de l'effort tranchant s'écrit :

$$V_{Ed}(x) = 1.4 \times [V_A - \frac{V_A}{x_0} x] \text{ pour } x \in [0; A=0.85\text{m}]$$

$$\text{A.N : } V_{Ed}(x) = 46.33 - 60.85 x \text{ pour } x \in [0; A=0.85\text{m}]$$

ainsi ,il est possible de calculer l'effort tranchant régnant à la distance $d=0.87H=0.435 \text{ m}$ du nu de l'appui:

$$V_{Ed}(d = 0.435) = 46.33 - 60.85 \times 0.435 = 19.86 \text{ t}$$

Répartition des armatures transversales le la poutre :

- a partir de l'appui de rive ,vers la droite la section d'armatures transversales, par mètre de longrine de redressement , est égale à :

$$\left(\frac{A_{sw}}{s_0}\right) = \frac{V_{Ed}(d)}{z \times f_{ywd} \times \cotg \theta} = \frac{0.1986}{0.385 \times 347 \times 1.19} = 12 \text{ cm}^2/\text{ml} .$$

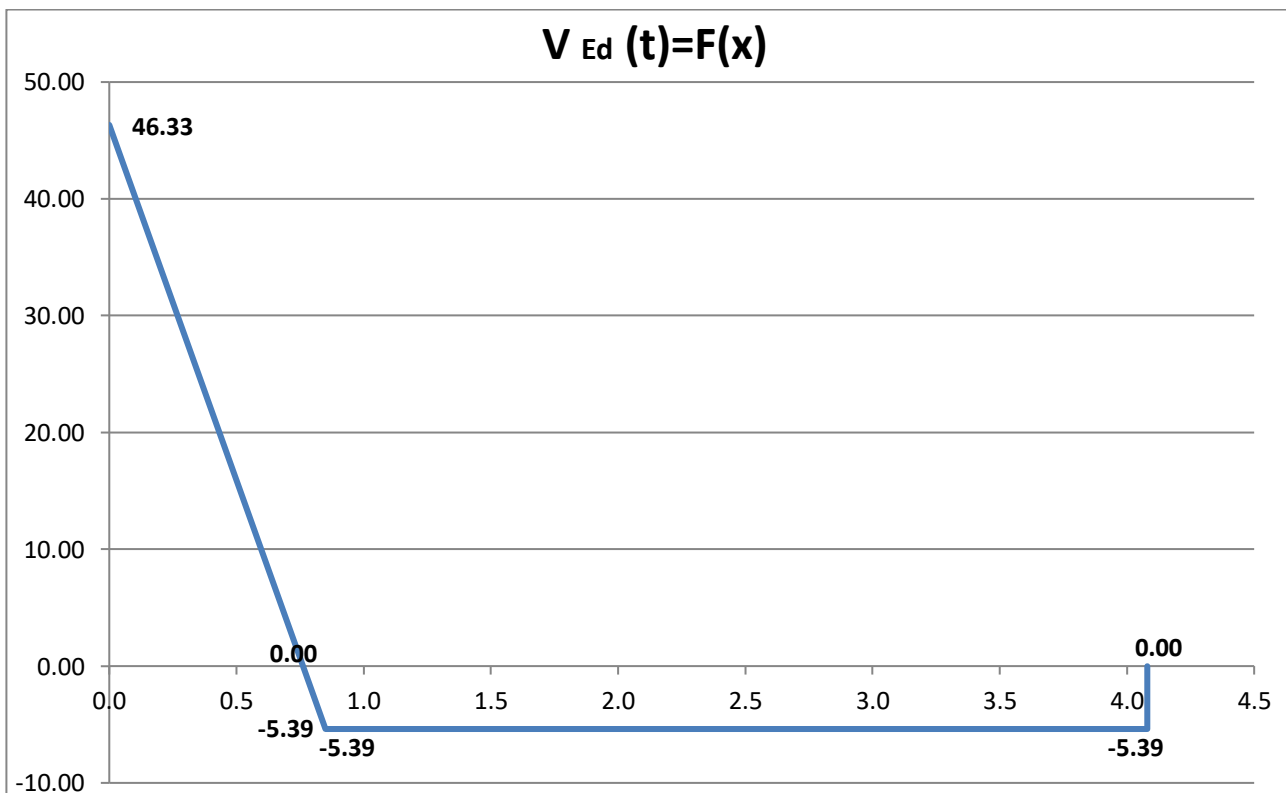
si on prend comme armature un cadre + deux epingles HA8 , on obtient comme espacement théorique

$$\text{des armatures transversales de : } s_0 = \frac{4 \times 0.5}{12} = 0.167 \text{ m}$$

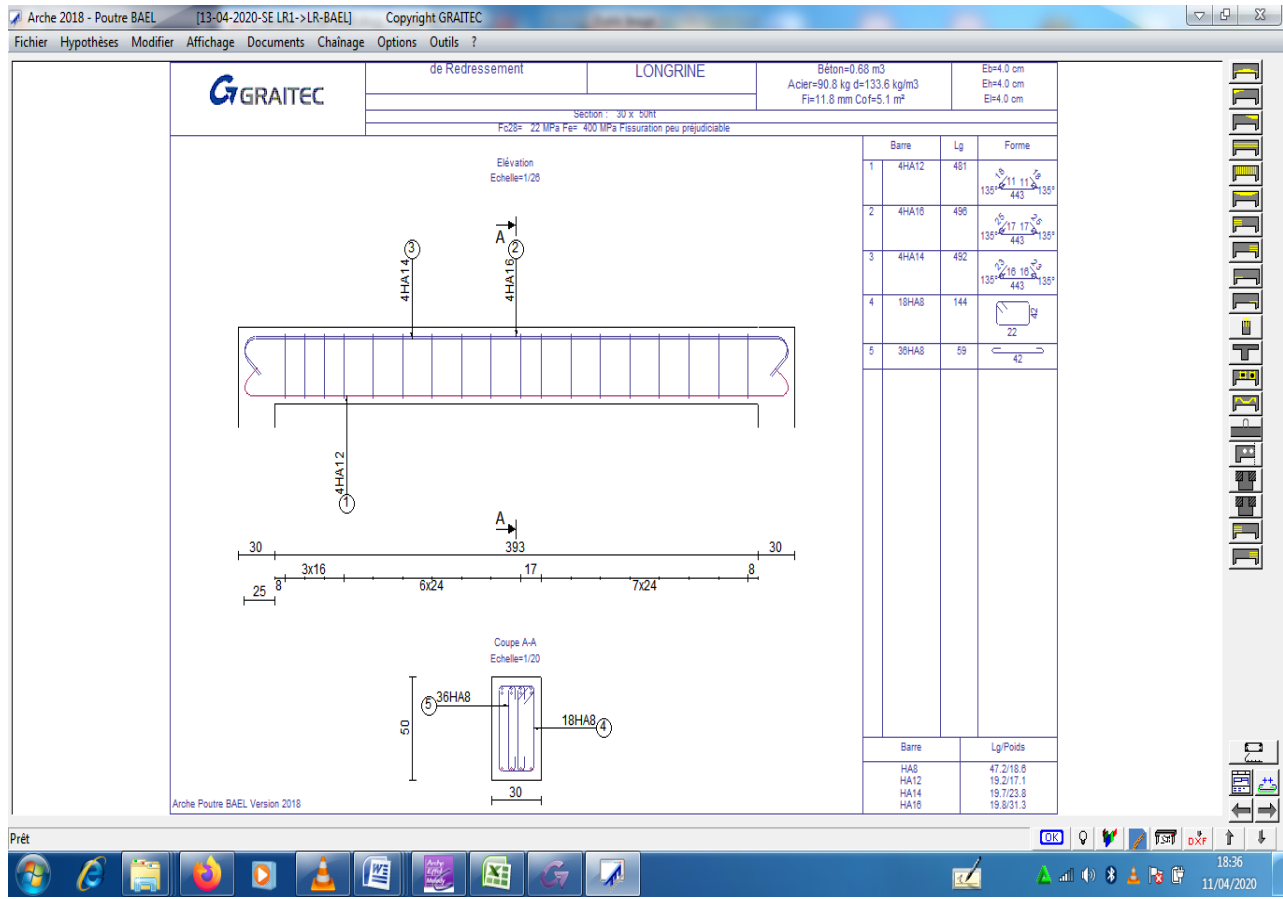
répartie sur une distanceégale à $\frac{2}{3} A = 0.56 \text{ m}$: soit comme espacement :

$$1 \times 0.08 + 3 \times 0.16 + n \times 0.24$$

remarque pour $x > A=0.85\text{m}$: $V_{Ed}(x) = 1.4 \times V_B$



Courbe de l'effort tranchant à l'ELU en fonction de x.



Ferrailage de la longrine de redressement 30× 50

L'équation du moment s'écrit :

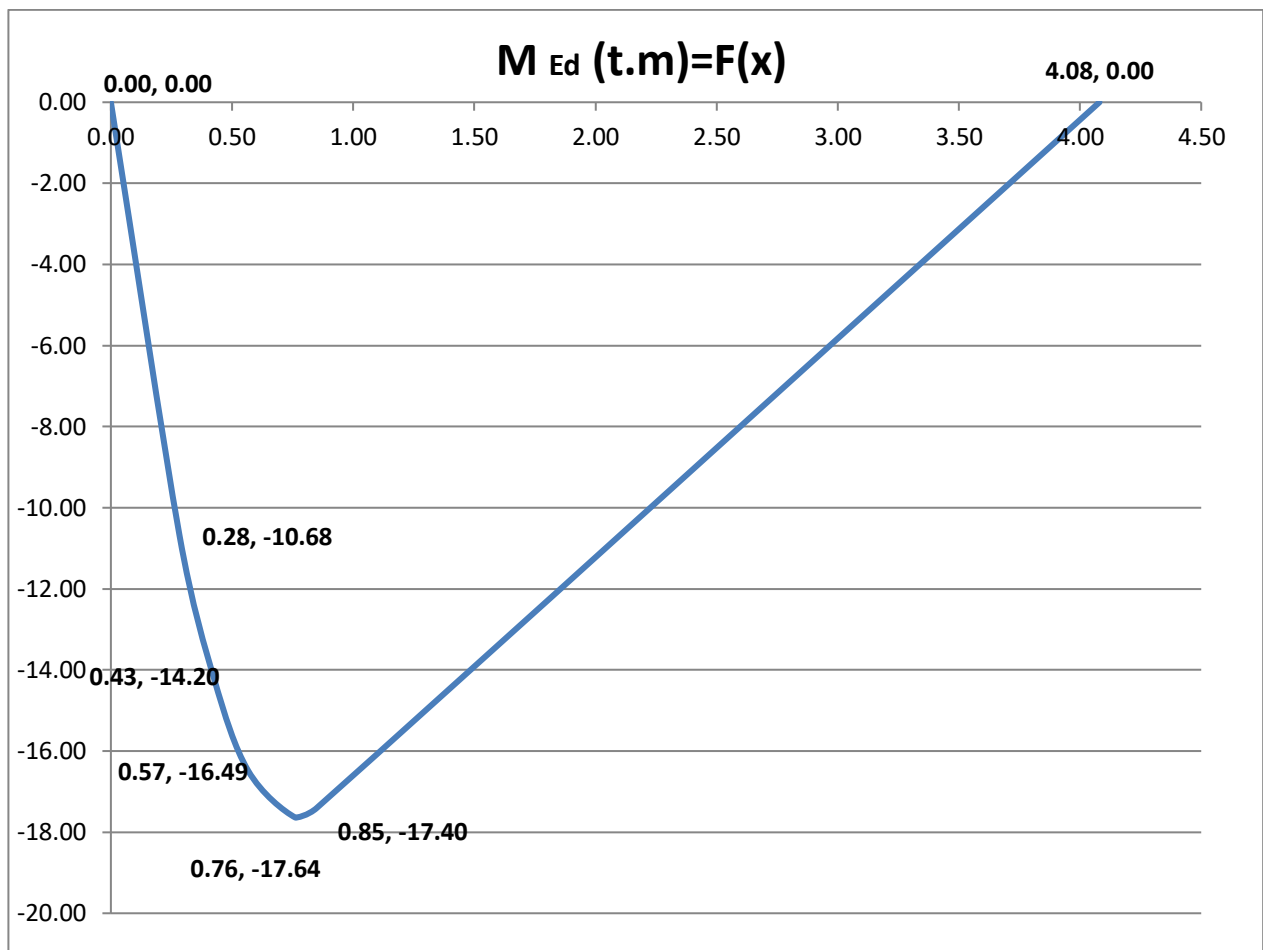
$$M(x) = -1.4 \times V_A x + \frac{1}{2} \times 1.4 \times \frac{V_A}{x_0} x^2 \text{ pour } x \in [0; A=0.85\text{m}]$$

$$\text{d'ou : } M(x) = -46.331 x + 30.423 x^2 \text{ pour } x \in [0; A=0.85\text{m}]$$

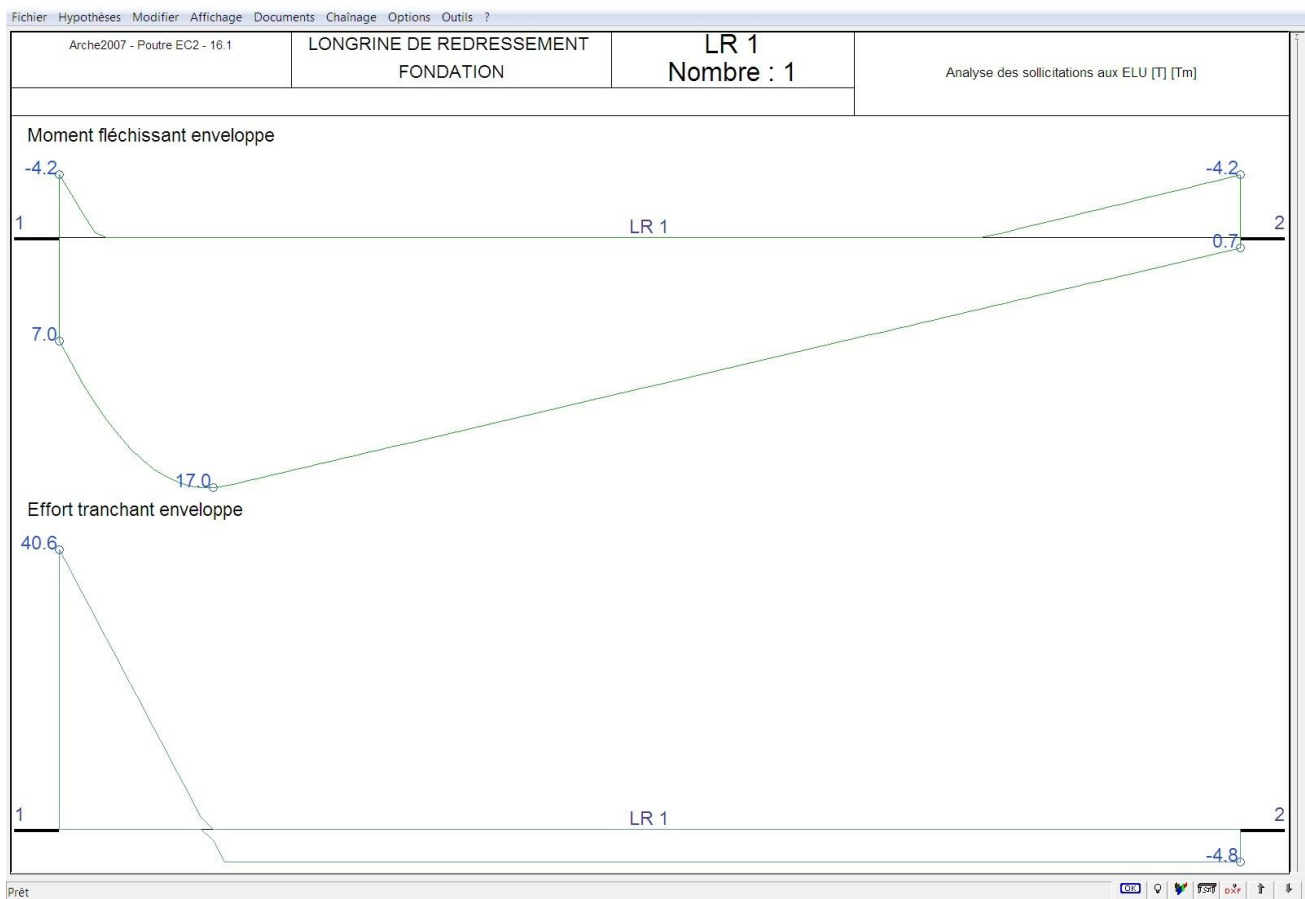
$$M(x) = -1.4 \times V_B x + 1.4 \times V_B L \text{ pour } x \in [A=0.85\text{m} ; L=4.08\text{m}]$$

$$M(x) = 5.39x - 22 \text{ pour } x \in [A=0.85\text{m} ; L=4.08\text{m}]$$

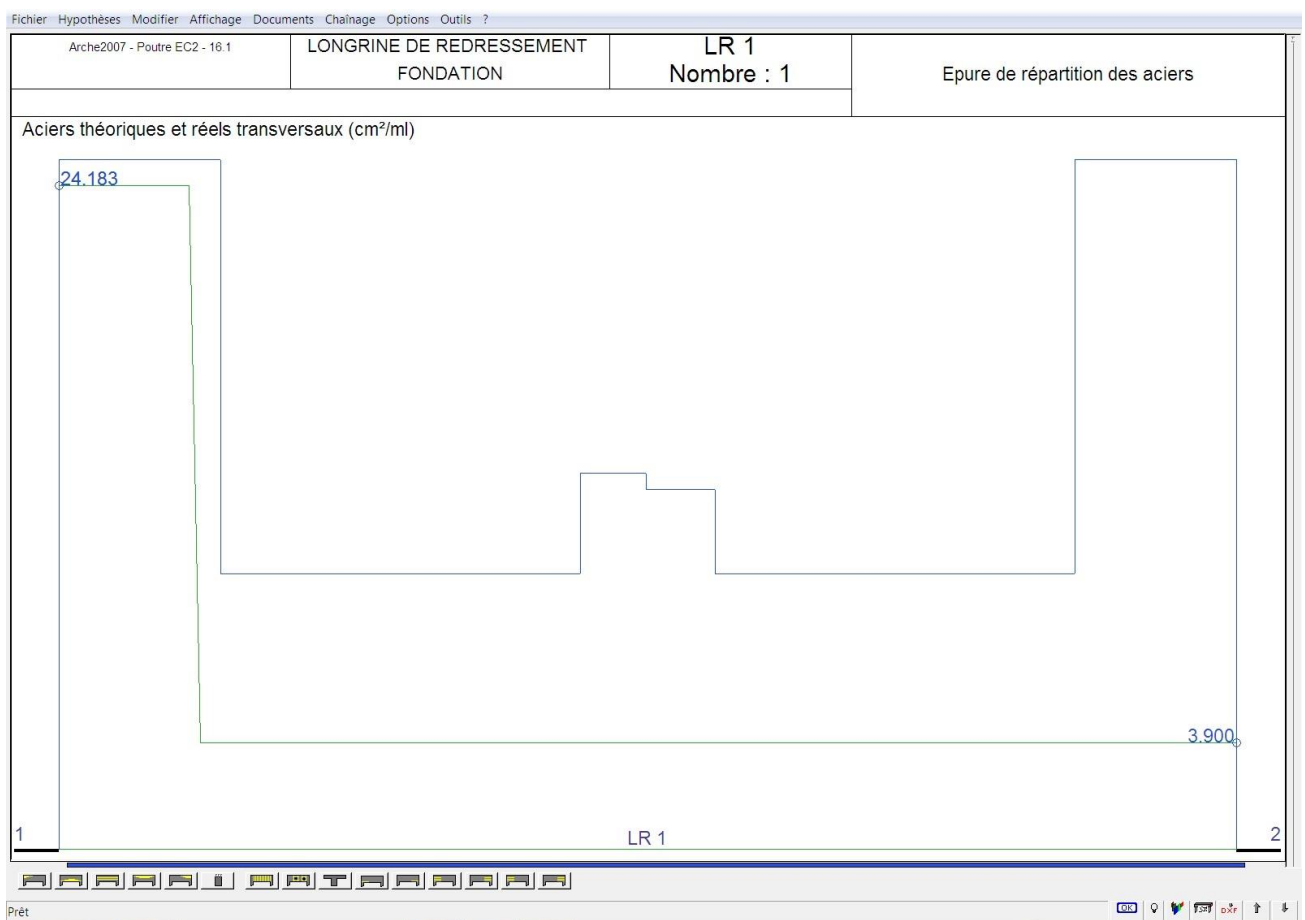
$$\text{pour } x = 0.85\text{m} = A ; M_c = -17.4 \text{ t.m (ELU)}$$



Courbe de moment à l'ELU en fonction de x.



Courbe de moment et effort tranchant à l'ELU (norme EC2)



Aciers théorique et réels transversaux (norme EC2)

EXEMPLE 2 (sans gros béton) :

POTEAU : 25×25 ; G = 30 t ; Q = 7.5 t → G + Q = 37.5 t = N ; L = 4m ; ($\sigma_{sol} = 3 \text{ bars}$: ELS) ;

$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$; $F_{yk} = 500 \text{ MPa}$.

- Suivant la méthode linéaire :

$$A_{th} = s \times \left[\frac{4}{7} \times N + 42 \right] = 1.414 \times \left[\frac{4}{7} \times 37.5 + 42 \right] = 89.70 \text{ cm} \Rightarrow \boxed{A_{retenue} = 90 \text{ cm}}$$

en effet $s = \sqrt{\frac{6}{\sigma_s}} = 1.414$.

$$*e = \frac{A-a}{2} = \frac{90-25}{2} = 32.5 \text{ cm}$$

$$*m = \text{Max} \left\{ 1.07 ; b \frac{L}{L-e} \right\} = \text{Max} \left\{ 1.07 ; \frac{400}{400-32.5} \right\} = \text{Max} \{ 1.07 ; 1.088 \} = 1.088$$

$$*G_m = G \times m = 30 \times 1.088 = 32.65 \text{ t} ; Q_m = Q \times m = 7.5 \times 1.088 = 8.16 \text{ t}$$

$$B = \frac{R}{A \times \sigma_{GB}} = \frac{1.088 \times 37.5}{90 \times 3} = 0.151 \times 1000 = 151 \text{ cm} \Rightarrow \boxed{B_{retenue} = 155 \text{ cm}}$$

Conclusion : Dimension de la semelle : béton armé : 90cm x155cm

- Détermination de la hauteur de la semelle excentrée.

$$H_s = \frac{5}{13} \times N + 20 = \frac{5}{13} \times 37.5 + 20 = 34.42 \text{ cm}$$

$$\text{Soit } H_{ret} = 35 \text{ cm}$$

Calcul de ferrailage à partir de l'arche semelle: Norme : BAEL (Additif 99)

Fissuration peu préjudiciable: C'est l'équivalent presque à l'EC2 : XA1

Suivant x : 3.90 cm²

Suivant y : 6.95 cm²

→ Ferrailage retenu ; 7 HA12 (/y/) × 6HA10 (/x/).

avec : $G_m = G \times m = 30 \times 1.088 = 32.65 \text{ t}$; $Q_m = Q \times m = 7.5 \times 1.088 = 8.16 \text{ t}$

- Calcul de ferrailage de semelle à partir de la méthode linéaire :

$$\checkmark F_{b2} = \left(\frac{400}{F_{yk}} \right) \times \frac{2}{5} \times f_0 \times \frac{R \times (B-b)}{8 \times H_s}; R : [t] ; H_s, B, b : [cm] ; F_{b2} : [cm^2] ; f_0 = 1.3 (XA2)$$

$$\rightarrow \text{A.N: } F_{b2} = \left(\frac{400}{500} \right) \times \frac{2}{5} \times 1.3 \times \frac{1.088 \times 37.5 \times (155-25)}{8 \times 35} = \mathbf{7.88 \text{ cm}^2}$$

$$\checkmark F_{a2} = \text{Max} \left\{ \left(\frac{400}{F_{yk}} \right) \times \frac{f_0}{1000} \times B_s \times H_s ; \beta \times \left(\frac{Ca}{Cb} \right) \times F_{b2} \right\} \text{ avec } \beta = \frac{2}{\frac{B}{A} + 1}$$

$$C_a = A - a = 90 - 25 = 65; C_b = \frac{B-b}{2} = \frac{155-25}{2} = 65 \text{ et } \beta = 0.735 ; B_s = 155\text{cm et } H_s = 35$$

$$\rightarrow \text{A.N: } F_{a2} = \text{Max} \{ 5.64 ; 5.79 \} = \mathbf{5.79 \text{ cm}^2}$$

Calcul de ferrailage à partir de la méthode linéaire (XA2)

Suivant x : 5.79 cm²

Suivant y : 7.88 cm²

→ Ferrailage retenu 7HA12 (/y/) × 8HA10 (/x/)

- Calcul de ferrailage de cette semelle dans le cas où le milieu chimique est faiblement agressif (XA1) .

$$- F_{b2} (XA1) = [F_{b2} (XA2)] \times \frac{1.1}{1.3}; \text{A.N : } F_{b2} (XA1) = 7.88 \times \frac{1.1}{1.3} = 6.67 \text{ cm}^2$$

$$- F_{a2} (XA1) = [F_{a2} (XA2)] \times \frac{1.1}{1.3}; \text{A.N : } F_{a2} (XA1) = 5.79 \times \frac{1.1}{1.3} = 4.90 \text{ cm}^2$$

Calcul de ferrailage à partir de la méthode linéaire (XA1)

Suivant x : 4.90 cm²

Suivant y : 6.67 cm²

→ Ferrailage retenu 6HA12 (/y/) × 7HA10 (/x/).

- **Semelle excentrée : armature supérieure**

Semelle carrée équivalente de calcul de coté $B_c = \sqrt{\beta} \times B$

$$A_{sup}^{min} = \left(\frac{400}{F_{yk}} \right) \times \frac{f_0}{10} \times H_s / \text{ml} .$$

dans le cas ou le milieu est faiblement agressif : XA1 donc $f_0 = 1.1$ on a :

$$A_{sup}^{min} = \left(\frac{400}{500} \right) \times \frac{1.1}{10} \times 35 \times \sqrt{0.735} \times 1.55 = 4.09 \text{ cm}^2 \text{ soit } \# 6 \text{ HA10 comme nappe supérieure de notre semelle excentrée.}$$

dans le cas ou le milieu est moyennement agressif : XA2 donc $f_0 = 1.3$ on a :

$$A_{sup}^{min} = \left(\frac{400}{500} \right) \times \frac{1.3}{10} \times 35 \times \sqrt{0.735} \times 1.55 = 4.83 \text{ cm}^2 \text{ soit } \# 7 \text{ HA10 comme nappe supérieure}$$

de notre semelle excentrée.

- **Calcul de la longrine de redressement :**

$$r = \frac{27}{b_{lon}} ; b_{long} [\text{cm}] ; |M_s| = M_g + M_q = m \times N \times e$$

$$H_{LR-op} = \text{MAX} \left\{ 61 \times \sqrt{r} \times \sqrt{\frac{M_s}{b_{long}}} ; 0.1 L ; \frac{4}{3} a_c \right\} ; \text{avec } a_c = \sqrt{a \times b}$$

$$b_{lon} = 25 \text{ cm donc } r = \frac{27}{b_{lon}} = 1.08 .$$

$$M_s = e \times R = 13.27 \text{ t.m} \rightarrow$$

$$\text{A.N. : } H_{LR-op} = \text{Max} \left\{ 61 \times \sqrt{1.08} \times \sqrt{\frac{13.27}{25}} = 46.18 \text{ cm} ; 0.1 \times 400 = 40 \text{ cm} ; 1.33 \times 25 = 33.25 \right\}$$

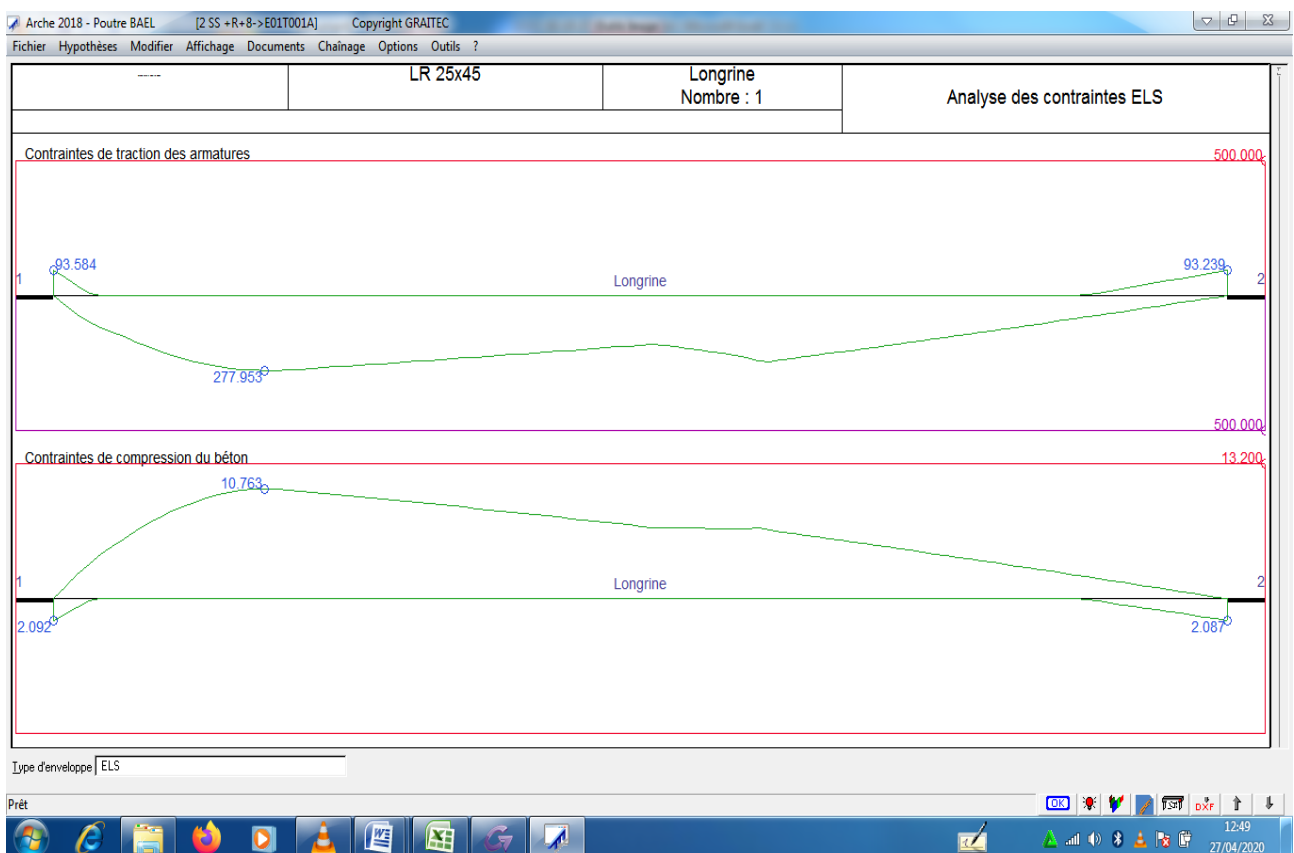
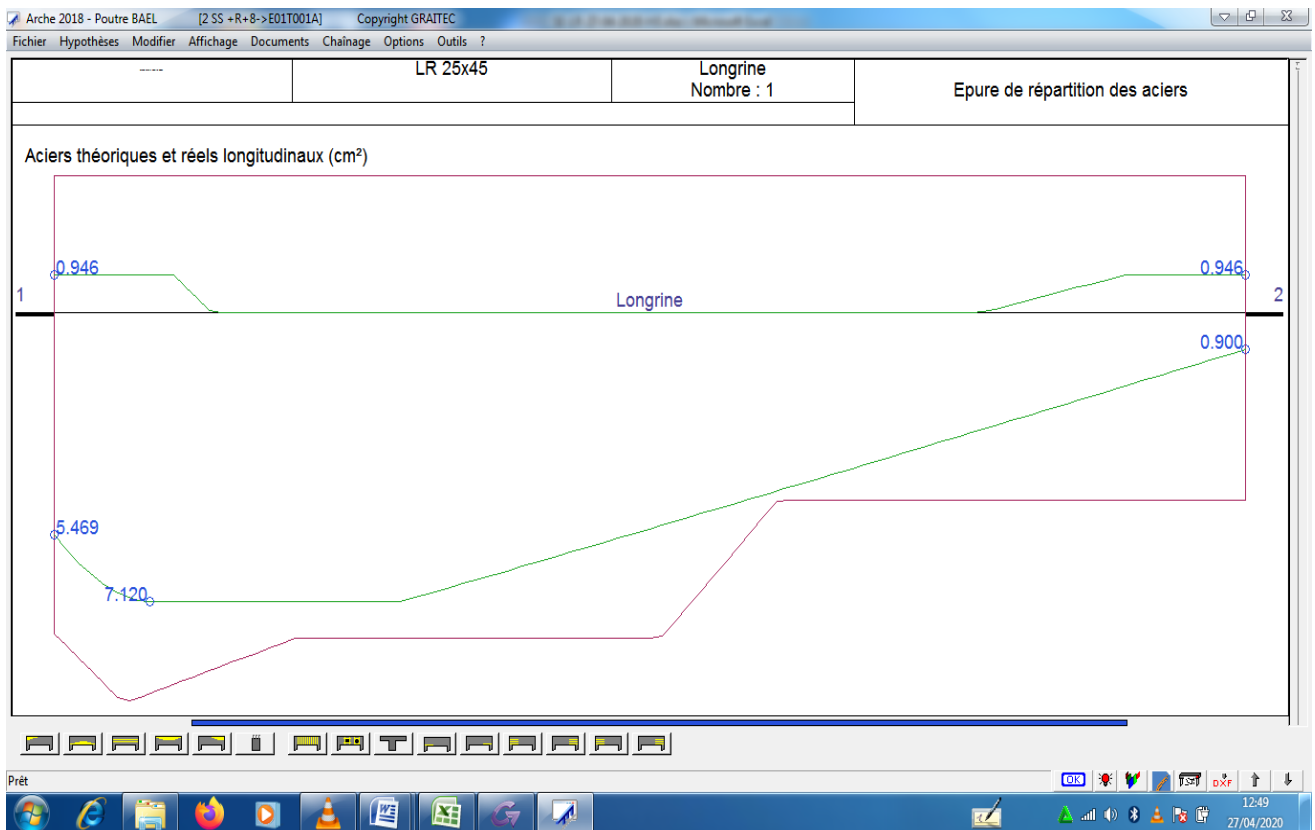
$$\Rightarrow \boxed{H_{LR-op} = 45 \text{ cm}}$$

- **Calcul de ferrailage de la longrine de redressement : LR (25x45)**

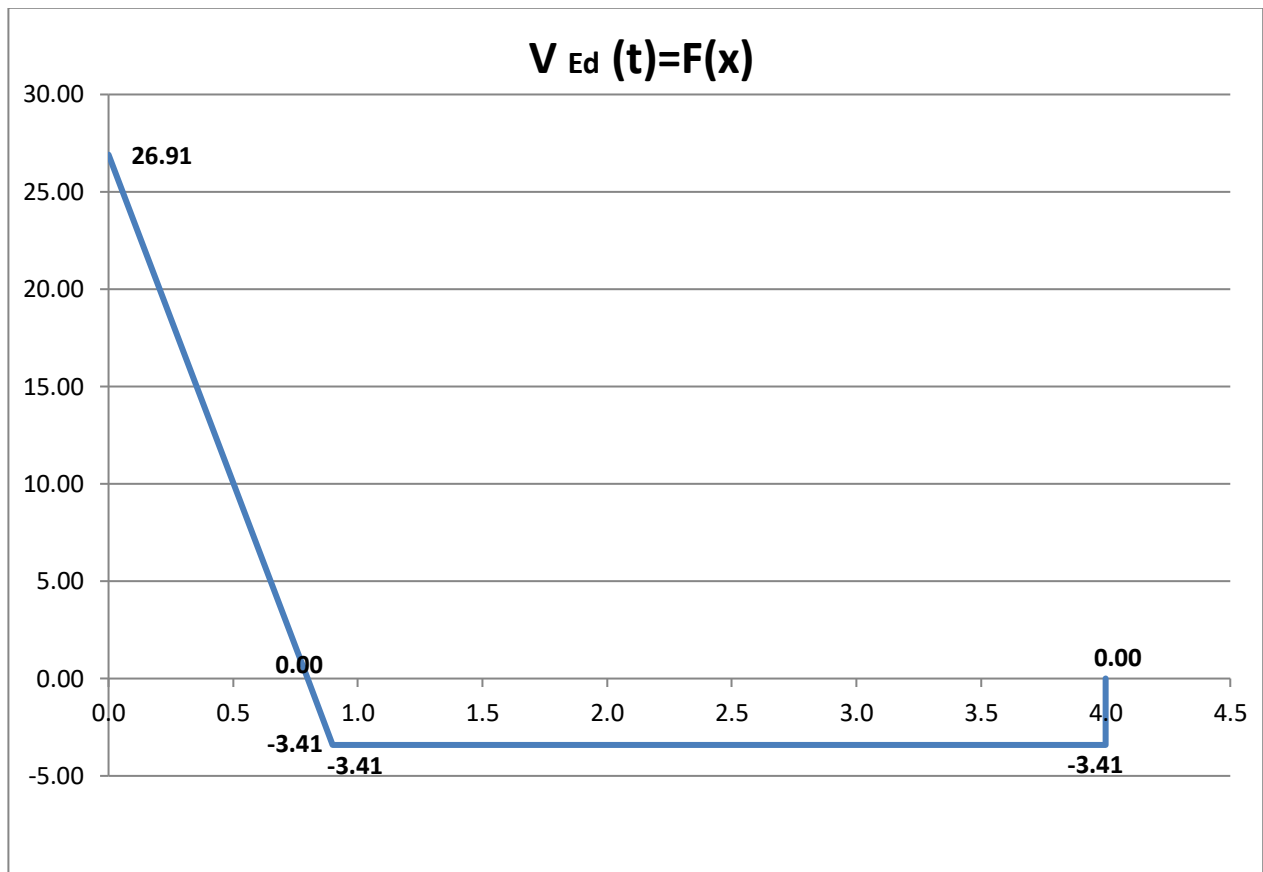
- **Calcul de ferrailage supérieur a partir du logiciel arche poutre :**

$$p_g = \frac{2 \times e \times G}{A^2} = \frac{2 \times 0.325 \times 30}{0.9^2} = 24.07 \text{ t/ml}$$

$$p_q = \frac{2 \times e \times Q}{A^2} = \frac{2 \times 0.325 \times 7.5}{0.9^2} = 6.02 \text{ t/m}$$



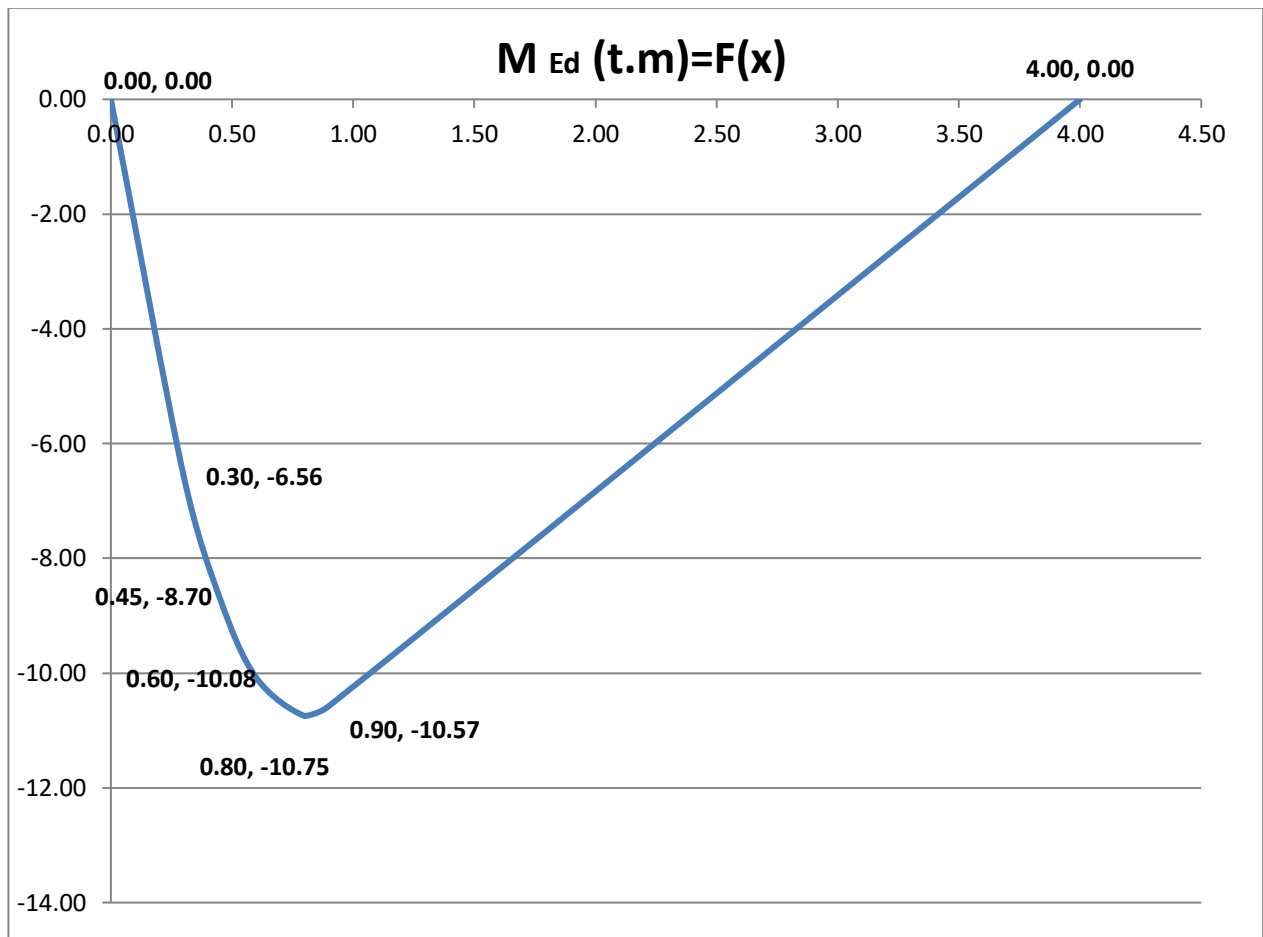
Donc on obtient comme ferrailage supérieur de notre longrine de redressement : 3HA14+3HA12



Courbe de l'effort tranchant à l'ELU en fonction de x.

x (m)	0,0	0,80	0,90	0,90	4,00	4,00
$V_{Ed}(t)$	26,91	0,00	-3,41	-3,41	-3,41	0,00

x (m)	0,00	0,30	0,45	0,60	0,80	0,90	4,00
$M_{Ed}(t)$	0,00	-6,56	-8,70	-10,08	-10,75	-10,57	0,00

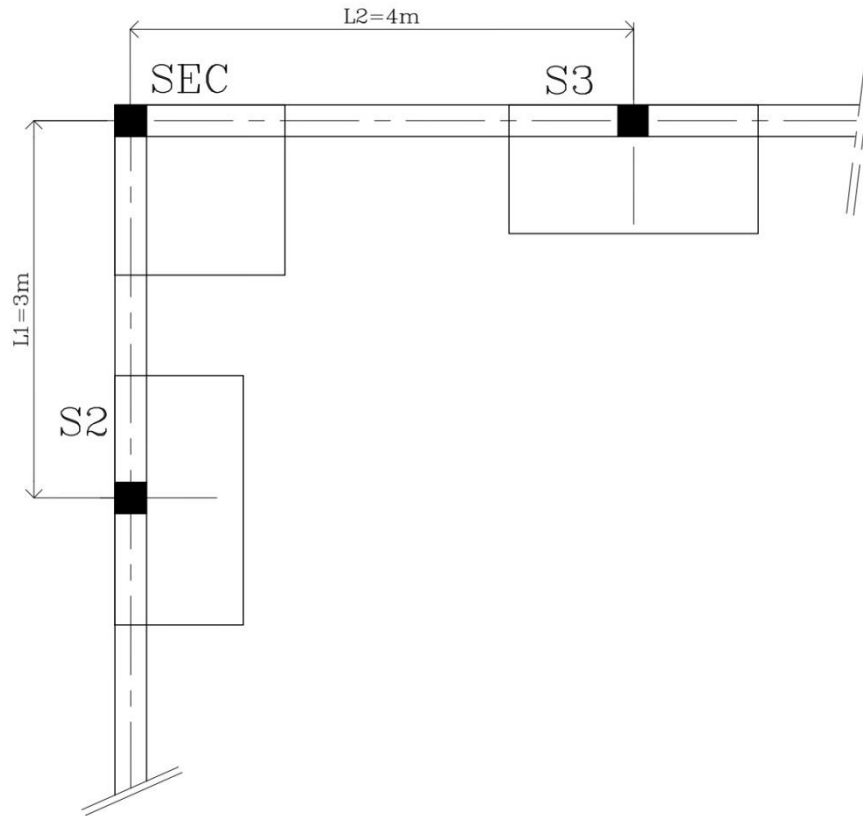


Courbe de moment à l'ELU en fonction de x.

Remarque : $x_0 = 0.7988$ m.

V- Exemples d'application: Semelle excentrées dans les deux directions et longrine de redressement:

Exemple N°1 : (Sans Gros Béton)



Hypothèses : $\sigma_{\text{sol}}(\text{ELU}) = 0.5 \text{ MPa}$

Poteau : 25×25 ; $G = 40\text{t}$; $Q = 10\text{t}$

- La semelle repose directement sur le sol, sans gros béton.
- Déterminer les dimensions de la semelle SEC ainsi que celle de la longrine de redressement.

1) Dimensionnement de la semelle :

$$L = \min \{ L_1 ; L_2 \} = \min \{ 3 ; 4 \} = 3\text{m}$$

$$m = \text{Max} \left\{ 1.07 ; \frac{L}{L-e} \right\} \rightarrow \text{A.N} : \frac{L}{L-e} = ?$$

1^{er} itération : $m = 1.1 \times \sqrt[3]{s}$

N.B : Le calcul se fait avec $\sigma_{\text{sol}}(\text{ELS})$ et non pas avec $\sigma_{\text{sol}}(\text{ELU})$; donc on calcul $\sigma_{\text{sol}}(\text{ELS})$:

$$\rightarrow \sigma_{\text{sol}}(\text{ELS}) = \frac{\sigma_{\text{sol}}(\text{ELU})}{1.4} = \frac{0.5}{1.4} = 0.357 \text{ MPa} = 3.57 \text{ bar}$$

$$\text{A.N: } s = \sqrt{\frac{6}{\sigma_{\text{sol}}(\text{ELS})}} = \sqrt{\frac{6}{3.57}} = 1.296$$

$$m_1 = 1.1 \times \sqrt[3]{s} = 1.1 \times \sqrt[3]{1.296} = 1.199$$

$$G_{m1} = m_1 \times G = 1.199 \times 40 = 47.96t$$

$$Q_{m1} = m_1 \times Q = 1.199 \times 10 = 11.99t$$

$$N_{m1(ELS)} = G_{m1} + Q_{m1} = 47.96 + 11.99 = 59.95t$$

$$N_{m1(ELU)} = 1.35 \times G_{m1} + 1.5 \times Q_{m1} = 1.35 \times 47.96 + 1.5 \times 11.99 = 82.73t$$

La semelle excentrée d'angle S_1 est un semelle carrée dont le côté est le suivant :

$$A_1 = \sqrt{\frac{1.05 \times N_{m1(ELU)}}{\sigma_{sol(ELU)}}} = \sqrt{\frac{1.05 \times 0.82731}{0.5}} = 1.318m \approx 1.32m$$

→ Soit une semelle : 1.35×1.35

$$H_s = \frac{1}{s} \times \left[\frac{A}{3} + \frac{N}{7} \right] ; \text{ avec } s=1.296 ; A=1.35m=135cm ; N=G+Q=50t$$

Remarque: **A en cm** et **N en t**

$$A.N: H_s = \frac{1}{1.296} \times \left[\frac{135}{3} + \frac{50}{7} \right] = 40.23cm$$

→ Soit $H_s = 40cm$

⇒ **Conclusion : Semelle : $1.35 \times 1.35 \times 0.40$**

Vérification du coefficient m :

$$A_s = 1.35 \rightarrow e_1 = \frac{A_s - a_{pot}}{2} = \frac{1.35 - 0.25}{2} = 0.55m$$

$$\rightarrow \frac{L}{L-e} = \frac{3}{3-0.55} = 1.22$$

$$m = \text{Max} \left\{ 1.07 ; \frac{L}{L-e} \right\} = \text{Max} \left\{ 1.07 ; \frac{L}{L-e} \right\} = 1.22$$

2^{ème} itération : Supposé $m_2 = 1.22$

$$G_{m2} = m_2 \times G = 1.22 \times 40 = 48.8t$$

$$Q_{m2} = m_2 \times Q = 1.22 \times 10 = 12.2t$$

$$N_{m2(ELS)} = G_{m2} + Q_{m2} = 48.8 + 12.2 = 61t$$

$$N_{m2(ELU)} = 1.35 \times G_{m2} + 1.5 \times Q_{m2} = 1.35 \times 48.8 + 1.5 \times 12.2 = 84.18t$$

La semelle excentrée d'angle S_1 est un semelle carrée dont le côté est le suivant :

$$A_2 = \sqrt{\frac{1.05 \times N_{m2(ELU)}}{\sigma_{sol(ELU)}}} = \sqrt{\frac{1.05 \times 0.8418}{0.5}} = 1.329m \approx 1.33m$$

→ Soit une semelle : **$1.35 \times 1.35 \times 0.40$**

2) Ferrailage de la semelle :

1^{ère} Méthode : Méthode des consoles :

$$m_2 = 1.22$$

$$p_u = \frac{N_u m_2}{A} ; A_s = 1.35m$$

$$A.N: p_u = \frac{84.18}{1.35} = 62.35 \text{ t} = 0.6235 \text{ MN}$$

$$M_u = \frac{(A-a)^2}{4} \times p_u$$

$$A.N: M_u = \frac{(1.35-0.25)^2}{4} \times 0.6235 = 0.189 \text{ MN.m}$$

$$F_c = \frac{f_0 \times M_u}{z \times \sigma_{su}} ; z = 0.8 \times H \text{ et } f_0 = 1.1 \text{ (suivant le classe d'exposition XA1)}$$

$$A.N: F_c = \frac{1.1 \times 0.189 \times 1.15}{0.8 \times 0.4 \times 400} \times 10^4 = 18.68 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Nappe inférieure : \# 13HA14 (EC2)}$$

Pour déterminer le ferrailage de la nappe supérieure :

$$N_{\text{Sup}} = 0.5 \times N_{\text{inf}}$$

$$A.N: N_{\text{Sup}} = 0.5 \times 18.68 = 9.34 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Nappe supérieure : \# 12HA10}$$

Remarque très importante: Dans le cas où la norme utilisé est le B.A.E.L il faut multiplier le ferrailage trouvé on utilisant la méthode des consoles (F_c) par 1.1 (Fissuration préjudiciable).

$$\text{Dans notre cas le ferrailage suivant le B.A.E.L} = 18.68 \times 1.1 = 20.55 \text{ cm}^2$$

$\rightarrow$ **Nappe inférieure : \# 14HA14 (B.A.E.L)**

2^{ème} Méthode : Méthode des bielles :

$$F_b = f_0 \times \frac{\pi}{2} \times \frac{N_u (A-a) \times 1.15}{8 \times 0.8 \times H_s \times F_{yk}}$$

avec : $F_{yk} = 400 \text{ MPa}$: nuance de l'acier

$$H_s = 0.40m$$

$$f_0 = 1.1 \text{ (en XA1, classe d'exposition)}$$

$$N_u \text{ (majoré)} \rightarrow N_{m2 \text{ (ELU)}} = 78.66t$$

$$F_b = 1.1 \times \frac{\pi}{2} \times \frac{0.8418 (1.35 - 0.25) \times 1.15}{8 \times 0.8 \times 0.40 \times 400} \times 10^4 = 17.97 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Nappe inférieure : \# 12HA14 (EC2)}$$

➤ **Remarque :** La méthode des consoles est la méthode la plus exacte tant que la méthode des bielles est une méthode professionnelle plus rapide.

3) Calcul de la longrine de redressement: il faut calculer les longrines de redressement à partir du M:

$$r = \frac{27}{b_{long}}$$

$$M_g = G_m \times e = m_2 \times G \times e_2$$

$$M_q = Q_m \times e = m_2 \times Q \times e_2$$

$$|M_S| = M_g + M_q = m_2 \times N_{(ELS)} \times e_2$$

$$\text{A.N: } |M_S| = 1.22 \times 50 \times 0.55 = 33.55$$

$$H_{LR\text{ OP}} = \text{Max} \left\{ 47 \times \sqrt{r} \times \sqrt{\frac{M_S}{b_{long}}}; 0.1 L; \frac{4}{3} a_c \right\}$$

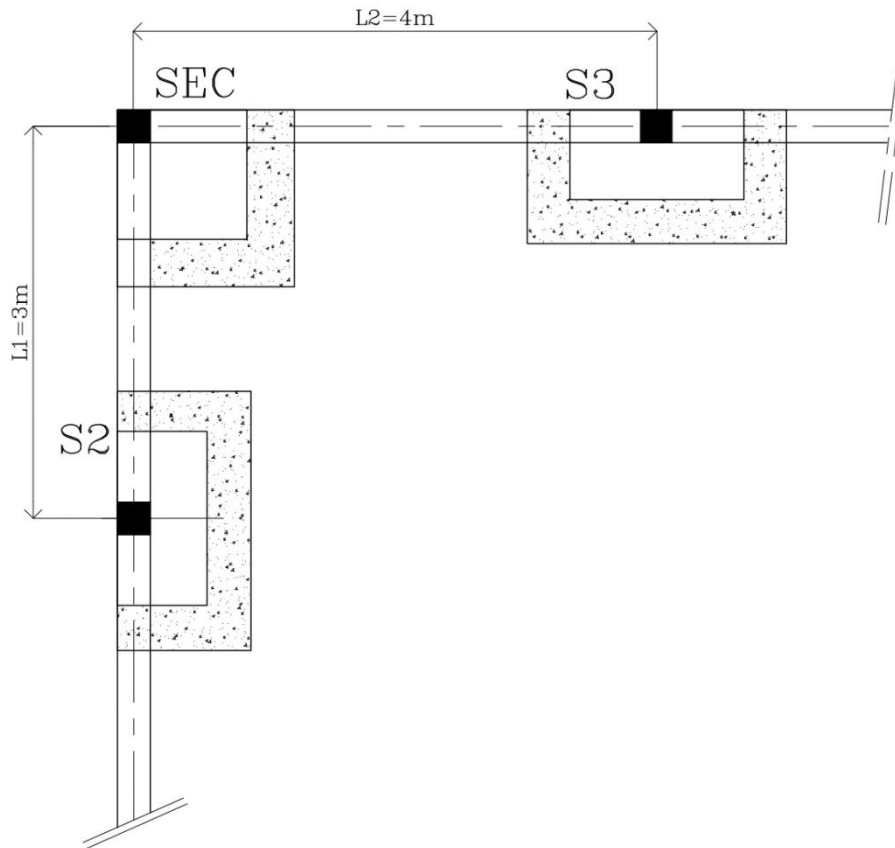
$$r = \frac{27}{b_{long}} = \frac{27}{25} = 1.08$$

$$H_{LR\text{ OP}} = 47 \times \sqrt{1.08} \times \sqrt{\frac{33.55}{25}} \rightarrow \text{Soit } H_{LR} = 56.58 \text{ cm} \rightarrow \text{Soit } H_{LR} = 60 \text{ cm}$$

$$\left. \begin{aligned} p_g &= \frac{2 \times e \times G}{A^2}; \text{ A.N: } p_g = \frac{2 \times 0.55 \times 40}{1.35^2} = 24.14 \\ p_q &= \frac{2 \times e \times Q}{A^2}; \text{ A.N: } p_q = \frac{2 \times 0.55 \times 10}{1.35^2} = 6.04 \end{aligned} \right\} \text{appliqué sur une distance } A_s - \frac{a}{2} = 1.225 \text{ m}$$

$$L \text{ entre nus du longrine} = 3 - \frac{a}{2} = 3 - \frac{0.25}{2} = 2.875 \text{ m}$$

Exemple N°2 : (Avec Gros Béton)



Hypothèses : $\sigma_{sol} (ELU) = 0.84 \text{ MPa}$

Poteau : 25×25 ; G = 40t ; Q = 10t

- Déterminer les dimensions de la semelle SEC ainsi que celle de la longrine de redressement.

I. Calcul du ferrailage du semelle excentrée avec la méthode des consoles :

4) Dimensionnement de la semelle :

$$L = \min \{ L_1 ; L_2 \} = \min \{ 3 ; 4 \} = 3\text{m}$$

$$m = \text{Max} \left\{ 1.07 ; \frac{L}{L-e} \right\} \rightarrow \text{A.N} : \frac{L}{L-e} = ?$$

1^{er} itération : $m = 1.1 \times \sqrt[3]{s}$

N.B : Le calcul se fait avec $\sigma_{sol} (ELS)$ et non pas avec $\sigma_{sol} (ELU)$; donc on calcul $\sigma_{sol} (ELS)$:

$$\rightarrow \sigma_{sol} (ELS) = \frac{\sigma_{sol} (ELU)}{1.4} = \frac{0.84}{1.4} = 0.6 \text{ MPa} = 6 \text{ bar}$$

$$\text{A.N: } s = \sqrt{\frac{6}{\sigma_{sol} (ELS)}} = \sqrt{\frac{6}{6}} = 1$$

$$m_1 = 1.1 \times \sqrt[3]{s} = 1.1 \times \sqrt[3]{1} = 1.1$$

$$G_{m1} = m_1 \times G = 1.1 \times 40 = 44t$$

$$Q_{m1} = m_1 \times Q = 1.1 \times 10 = 11t$$

$$N_{m1(ELS)} = G_{m1} + Q_{m1} = 44 + 11 = 55t$$

$$N_{m1(ELU)} = 1.35 \times G_{m1} + 1.5 \times Q_{m1} = 1.35 \times 44 + 1.5 \times 11 = 75.9t$$

La semelle excentrée d'angle S_1 est un semelle carrée dont le côté est le suivant :

$$A_1 = \sqrt{\frac{1.05 \times N_{m1(ELU)}}{\sigma_{sol(ELU)}}} = \sqrt{\frac{1.05 \times 0.759}{0.84}} = 0.974m \approx 1m$$

→ Soit une semelle : 1.00×1.00

$$H_s = \frac{1}{s} \times \left[\frac{A}{4} + \frac{N}{7} \right] ; \text{ avec } s=1 ; A=1m=100cm ; N=G+Q=50t$$

Remarque: **A en cm** et **N en t**

$$A.N: H_s = \frac{1}{1} \times \left[\frac{100}{4} + \frac{50}{7} \right] = 40.47cm$$

→ Soit $H_s = 40cm$

⇒ **Conclusion : Semelle : $1.00 \times 1.00 \times 0.40$**

Vérification du coefficient m :

$$A_s = 1.00 \rightarrow e_1 = \frac{A_s - a_{pot}}{2} = \frac{1.00 - 0.25}{2} = 0.375m$$

$$\rightarrow \frac{L}{L - e_1} = \frac{3}{3 - 0.375} = 1.143$$

$$m = \text{Max} \left\{ 1.07 ; \frac{L}{L - e_1} \right\} = \text{Max} \{ 1.07 ; 1.14 \} = 1.14$$

2^{ème} itération : Supposé $m_2 = 1.14$

$$G_{m2} = m_2 \times G = 1.14 \times 40 = 45.6t$$

$$Q_{m2} = m_2 \times Q = 1.14 \times 10 = 11.4t$$

$$N_{m2(ELS)} = G_{m2} + Q_{m2} = 45.6 + 11.4 = 57t$$

$$N_{m2(ELU)} = 1.35 \times G_{m2} + 1.5 \times Q_{m2} = 1.35 \times 45.6 + 1.5 \times 11.4 = 78.66t$$

La semelle excentrée d'angle S_1 est un semelle carrée dont le côté est le suivant :

$$A_2 = \sqrt{\frac{1.05 \times N_{m2(ELU)}}{\sigma_{sol(ELU)}}} = \sqrt{\frac{1.05 \times 0.7866}{0.84}} = 0.992m \approx 1m$$

5) Ferrailage de la semelle :

1^{ère} Méthode : Méthode des consoles :

$$m_2 = 1.14$$

$$p_u = \frac{N_u m_2}{A} ; A_s = 1m$$

$$A.N: p_u = \frac{78.66}{1} = 78.66 \text{ t} = 0.7866 \text{ MN}$$

$$M_u = \frac{(A-a)^2}{4} \times p_u$$

$$A.N: M_u = \frac{(1.00-0.25)^2}{4} \times 0.7866 = 0.1106 \text{ MN.m}$$

$$F_c = \frac{f_0 \times M_u}{z \times \sigma_{su}} ; z = 0.8 \times H \text{ et } f_0 = 1.1 \text{ (suivant le classe d'exposition XA1)}$$

$$A.N: F_c = \frac{1.1 \times 0.1106 \times 1.15}{0.8 \times 0.4 \times 400} \times 10^4 = 10.93 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Nappe inférieure : \# 8HA14 (EC2)}$$

Pour déterminer le ferrailage de la nappe supérieure :

$$N_{\text{Sup}} = 0.5 \times N_{\text{inf}}$$

$$A.N: N_{\text{Sup}} = 0.5 \times 10.93 = 5.47 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Nappe supérieure : \# 7HA10}$$

Remarque très importante: Dans le cas où la norme utilisé est le B.A.E.L il faut multiplier le ferrailage trouvé on utilisant la méthode des consoles (F_c) par 1.1 (Fissuration préjudiciable).

$$\text{Dans notre cas le ferrailage suivant le B.A.E.L} = 10.93 \times 1.1 = 12.02 \text{ cm}^2$$

$\rightarrow$ **Nappe inférieure : \# 8HA14 (B.A.E.L)**

2^{ème} Méthode : Méthode des bielles :

$$F_b = f_0 \times \frac{\pi}{2} \times \frac{N_u (A-a) \times 1.15}{8 \times 0.8 \times H_s \times F_{yk}}$$

avec : $F_{yk} = 400 \text{ MPa}$: nuance de l'acier

$$H_s = 0.40m$$

$$f_0 = 1.1 \text{ (en XA1, classe d'exposition)}$$

$$N_u \text{ (majoré)} \rightarrow N_{m2(ELU)} = 78.66t$$

$$F_b = 1.1 \times \frac{\pi}{2} \times \frac{0.7866 (1.00 - 0.25) \times 1.15}{8 \times 0.8 \times 0.40 \times 400} \times 10^4 = 11.45 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Nappe inférieure : \# 8HA14 (EC2)}$$

➤ **Remarque :** La méthode des consoles est la méthode la plus exacte tant que la méthode des bielles est une méthode professionnelle plus rapide.

6) Calcul de gros béton :

$$\sigma_{\text{Sol}} (\text{ELS}) = 0.2 \text{ MPa} = 2 \text{ bar}$$

$$\sigma_{\text{Sol}} (\text{ELU}) = \sigma_{\text{Sol}} (\text{ELS}) \times 1.4 = 0.28 \text{ MPa} = 2.8 \text{ bar}$$

$$A_{\text{GB}} = \sqrt{\frac{1.1 \times N_{\text{m2}} (\text{ELU})}{\sigma_{\text{Sol}} (\text{ELU})}} = \sqrt{\frac{1.1 \times 0.7866}{0.28}} = 1.76 \text{ m} \approx 1.8 \text{ m}$$

$$H_{\text{GB}} = 1.43 \times D_A ; \text{ avec } D_A = A_{\text{GB}} - A_s$$

$$\text{A.N : } D_A = 1.8 - 1 = 0.8 \text{ m}$$

$$H_{\text{GB}} = 1.43 \times 0.8 = 1.15 \text{ m}$$

⇒ **Conclusion : Gros béton : 1.80 × 1.80 × 1.15**

7) Calcul de la longrine de redressement: il faut calculer les longrines de redressement à partir du M:

$$r = \frac{27}{b_{\text{long}}}$$

$$M_g = G_m \times e = m_2 \times G \times e_2$$

$$M_q = Q_m \times e = m_2 \times Q \times e_2$$

$$|M_s| = M_g + M_q = m_2 \times N_{(\text{ELS})} \times e_2$$

$$\text{A.N: } |M_s| = 1.14 \times 50 \times 0.375 = 21.38$$

$$H_{\text{LR OP}} = \text{Max} \left\{ 47 \times \sqrt{r} \times \sqrt{\frac{M_s}{b_{\text{long}}}} ; 0.1 L ; \frac{4}{3} a_c \right\}$$

$$r = \frac{27}{b_{\text{long}}} = \frac{27}{25} = 1.08$$

$$H_{\text{LR OP}} = 47 \times \sqrt{1.08} \times \sqrt{\frac{21.38}{25}} \rightarrow \text{Soit } H_{\text{LR}} = 45.17 \text{ cm} \rightarrow \text{Soit } H_{\text{LR}} = 45 \text{ cm}$$

$$\left. \begin{aligned} p_g &= \frac{2 \times e \times G}{A^2} ; \text{ A.N: } p_g = \frac{2 \times 0.375 \times 40}{1.00^2} = 30 \\ p_q &= \frac{2 \times e \times Q}{A^2} ; \text{ A.N: } p_q = \frac{2 \times 0.375 \times 10}{1.00^2} = 7.5 \end{aligned} \right\} \text{ appliqué sur une distance } A_s - \frac{a}{2} = 0.875 \text{ m}$$

$$L \text{ entre nus du longrine} = 3 - \frac{a}{2} = 3 - \frac{0.25}{2} = 2.875 \text{ m}$$

CONCLUSION

Le présent ouvrage présente une méthode simple (se basant sur des équations linéaires) intitulée méthode optimale des semelles excentrées et des longrines de redressement.

La validation de cette méthode est basée sur la vérification par des logiciels.

Références bibliographiques

[1]**Thonier H**, 1992. Conception et calcul des structures de bâtiment, Tome 1 (B.A.E.L), Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France : 349 pages.

[2]**Damien Ricotier**, Edition : Le Moniteur (2012). Dimensionnement des structures en béton selon l'Eurocode 2 de ferrailage : 631 pages.

ANNEXES

Arche Semelle 3D BAEI Version 16.1

Semelle EXC/85x165x50

SEX

Béton=0.73 m3 Cof=2.9 m²

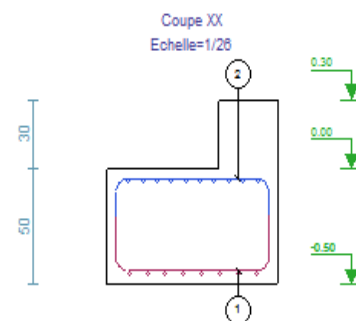
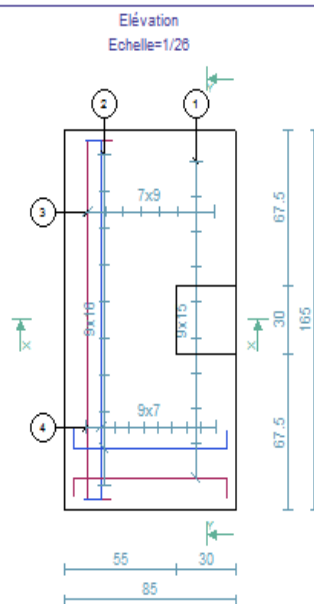
Acier=56.1 kg d=77.1 kg/m³

Fi=12.4 mm

ESem=4.0 cm

EPu=2.5 cm

G.B. = 0.0 cm



Barre	Lg	Forme
1 10HA12	118	90° 77 90°
2 10HA10	112	90° 77 90°
3 8HA16	213	90° 157 90°
4 10HA10	192	90° 157 90°

Barre	Lg/Poids
HA10	30.5/18.8
HA12	11.8/10.5
HA16	17.0/26.9

18:09
11/04/2020

Théorie optimale des semelles excentrées et longrines de redressement

Ce livre est le résultat de 7 ans de recherche. Il est basé sur le calcul des semelles excentrées et longrines de redressement en se basant sur la RDM et en cherchant l'état optimal. Les équations sont linéaires dans le domaine économique.

Un exercice avec correction très détaillée permettent de faciliter la compréhension de cette nouvelle théorie.



HEDI AYED LAKHAL

- Ingénieur conseil en génie civil à Nabeul, Tunisie depuis 2008 (Diplômé de l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Gabes (2004)
- Ancien enseignant universitaire.
- Formateur expert pour les ingénieurs (logiciels Arche et Robot) depuis 2010
- Auteur inscrit à l'OTDAV.
- Fondateur de la théorie pseudo linéaire en béton armé (Allemagne 2016).

