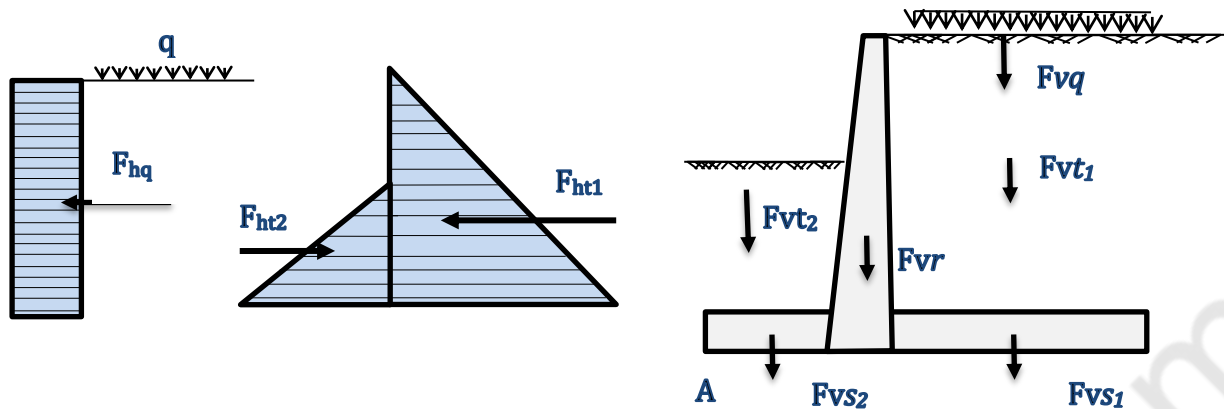




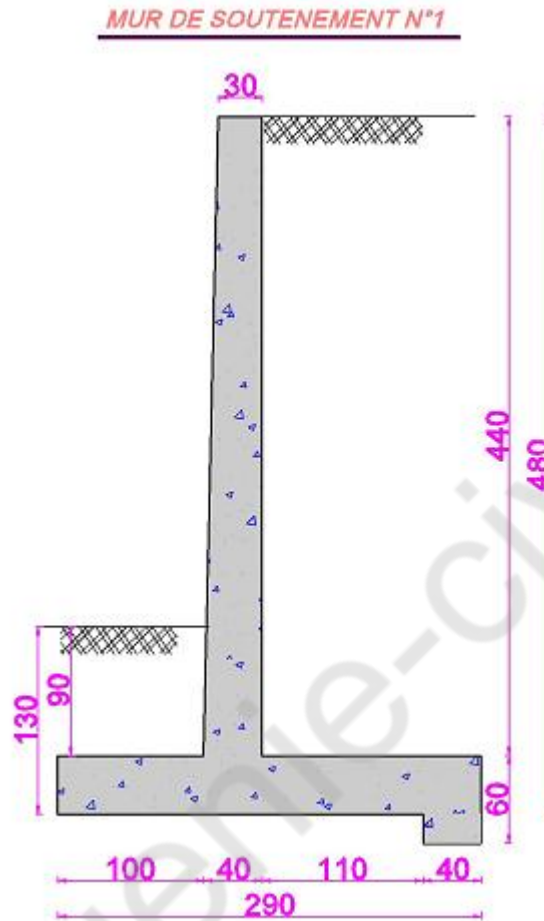
Fht₂ : la force de poussée des terres avant	$F_{ht_2} = K_a \cdot \gamma_h \cdot \frac{h_2^2}{2}$
Fht₁ : la force de poussée des terres arrière	$F_{ht_1} = K_a \cdot \gamma_h \cdot \frac{H^2}{2}$
Fhq : la poussée des terres dues à la surcharge q	$F_{hq} = K_a \cdot q \cdot H$
Fvr : poids propre de rideau	$F_{vr} = \gamma_h \cdot \frac{(E_h + E_b) \cdot H}{2}$
Fvs₂ : poids propre de la semelle avant	$F_{vs_2} = \gamma_b \cdot (E_s \cdot b_2)$
Fvs₁ : poids propre de la semelle arrière	$F_{vs_1} = \gamma_b \cdot (E_s \cdot b_1)$
Fvt₂ : poids des terres avant	$F_{vt_2} = \gamma_h \cdot h_2 \cdot b_2$
Fvt₁ : poids des terres arrière	$F_{vt_1} = \gamma_h \cdot h_1 \cdot b_1$
Fvq : poids due à la surcharge q	$F_{vq} = q \cdot b_1$

II.7.3 Calcul des efforts agissants sur le mur (Moments / A)

Poussées des terres avant	$F_{ht_2} \cdot \frac{h_2}{3}$
Poussées des terres arrière	$F_{ht_1} \cdot \frac{H}{3}$
Poussées Surcharge	$F_{hq} \cdot \frac{H}{3}$
Poids du rideau	$F_{vr} \cdot \left(\frac{2 \cdot E_b}{3} + b_2 \right)$
Poids de la semelle avant	$F_{vs_2} \cdot \frac{b_2}{2}$
Poids de la semelle arrière	$F_{vs_1} \cdot \left(\frac{b_1}{2} + E_b + b_2 \right)$
Poids des terres avant	$F_{vt_2} \cdot \frac{b_2}{2}$
Poids des terres arrière	$F_{vt_1} \cdot \left(\frac{b_1}{2} + E_b + b_2 \right)$
Poids de la surcharge	$F_{vq} \cdot \left(\frac{b_1}{2} + E_b + b_2 \right)$

II.7.4 Mur de soutènement N°01 avec contrefort

II.7.3.1 Dimensionnement du mur



II.7.3.2 Stabilité du mur

Il noter que la poussée des terres est une action permanente et doit donc être affectée du coefficient 1,35 ; tandis que la surcharge sur le remblai est une action variable à laquelle doit être appliqué le coefficient 1,5. Toutefois ces coefficients ne sont pas à prendre en considération lorsqu'ils agissent dans un sens favorable pour l'effet étudié.

	Les forces horizontales			Les forces verticales					
Les forces	Fht ₂	Fht ₁	Fhq	Fvt ₂	Fvt ₁	Fvr	Fvs ₂	Fvs ₁	Fvq
Les valeurs des forces (KN)	4,534	61,814	5,203	17,82	130,68	42,00	10,00	15,00	6,00
Le bras de levier(m)	0,433	1,6	2,4	0,5	2,15	1,223	0,5	2,15	2,150
Le moment /A (KN.m)	1,964	98,902	12,487	8,91	280,962	51,40	5,00	32,25	12,90

a) Stabilité au glissement

$$\sum F \text{ horizontales} = 1,35 * (F_{ht_1} - F_{ht_2}) + 1,5 * (F_{hq}) = 85,133 \text{ KN.m}$$

$$\sum F \text{ verticales} = F_{vr} + F_{vt_1} + F_{vt_2} + F_{vs_2} + F_{vs_1} + F_{vq} = 221,50 \text{ KN.m}$$

$$\frac{\sum F \text{ horizontales}}{\sum F \text{ verticales}} = \frac{85,133}{221,50} = 0,384 < f; \quad f = 0.6 \quad \dots \text{ la condition est satisfaite donc}$$

pas de risque de glissement.

b) Stabilité au renversement

$$\sum F \text{ renversants} = 1,35 * (F_{ht_1} \cdot \frac{H}{3} - F_{ht_2} \cdot \frac{h_2}{3}) + 1,5 * (F_{hq} \cdot \frac{H}{2}) = 149,597 \text{ KN.m}$$

$$\sum F \text{ stabilisants} = F_{vr} \cdot (\frac{2 \cdot E_b}{3} + b_2) + F_{vt_1} \cdot (\frac{b_1}{2} + E_b + b_2) + F_{vt_2} \cdot \frac{b_2}{2} + F_{vs_2} \cdot \frac{b_2}{2} + F_{vs_1} \cdot (\frac{b_1}{2} + E_b + b_2) + F_{vq} \cdot (\frac{b_1}{2} + E_b + b_2)$$

$$\sum F \text{ stabilisants} = 391,422 \text{ KN.m}$$

$$\frac{\sum F \text{ stabilisants}}{\sum F \text{ renversants}} = \frac{391,422}{149,597} = 2,61 > 2 \quad \dots \text{ la condition est satisfaite, donc pas de}$$

risque de renversement.

c) Stabilité au poinçonnement

♦ Vérification à ELS

$$M_{s1} = F_{vr} \cdot (\frac{2 \cdot E_b}{3} + b_2) + F_{vt_1} \cdot (\frac{b_1}{2} + E_b + b_2) + F_{vt_2} \cdot \frac{b_2}{2} + F_{vs_2} \cdot \frac{b_2}{2} + F_{vs_1} \cdot (\frac{b_1}{2} + E_b + b_2) + F_{vq} \cdot (\frac{b_1}{2} + E_b + b_2)$$

$$M_{s1} = 391,48 \text{ KN.m}$$

$$M_{s2} = F_{ht_1} * \frac{H}{3} - F_{ht_2} \cdot \frac{h_2}{3} + F_{hq} * \frac{H}{2} = 109,425 \text{ KN.m}$$

$$M_s = M_{s1} - M_{s2} = 281,997 \text{ KN.m}$$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} e = \frac{B}{2} - \frac{M_s}{\sum F_v} = \frac{2,3}{2} - \frac{281,997}{221,5} = (1,45 - 1,273) = 0,177 \text{ m} \\ M_G = \sum F_v * e = 221,5 * 0,177 = 39,178 \text{ KN.m} \end{array} \right.$$

♦ Vérification des contraintes de sol

$$\begin{cases} \sigma_{\min} = \frac{\sum F_v}{B} - \frac{6.M_G}{B^2} = 0,048 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\max} = \frac{\sum F_v}{B} + \frac{6.M_G}{B^2} = 0,104 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\text{moy}} = \frac{3.\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{4} = 0,090 \text{ MPa.} \end{cases}$$

♦ Vérification à ELU

$$M_{u1} = 1,35 * \left[F_{vr} \cdot \left(\frac{2.Eb}{3} + b_2 \right) + F_{vt1} \cdot \left(\frac{b_1}{2} + E_b + b_2 \right) + F_{vt2} \cdot \frac{b_2}{2} + F_{vs2} \cdot \frac{b_2}{2} + F_{vs1} \cdot \left(\frac{b_1}{2} + E_b + b_2 \right) \right] + 1,5 * F_{vq} \cdot \left(\frac{b_1}{2} + E_b + b_2 \right)$$

$$M_{u1} = 527,707 \text{ KN.m}$$

$$M_{u2} = 1,35 * \left(F_{ht1} \cdot \frac{H}{3} - F_{ht2} \cdot \frac{h_2}{3} \right) + 1,5 * \left(F_{hq} \cdot \frac{H}{2} \right) = 149,597 \text{ KN.m}$$

$$M_u = M_{u1} - M_{u2} = 378,106 \text{ KN.m}$$

$$\begin{cases} M_G = \sum F_v * e = 299,925 * 0,189 = 56,785 \text{ KN.m} \\ \Rightarrow e = \frac{B}{2} - \frac{M_u}{\sum F_v} = \frac{2,3}{2} - \frac{378,106}{299,925} = (1,45 - 1,260) = 0,189 \text{ m} \end{cases}$$

♦ Vérification des contraintes de sol

$$\begin{cases} \sigma_{\min} = \frac{\sum F_v}{B} - \frac{6.M_G}{B^2} = 0,063 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\max} = \frac{\sum F_v}{B} + \frac{6.M_G}{B^2} = 0,144 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\text{moy}} = \frac{3.\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{4} = 0,124 \text{ MPa.} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \sigma_{\text{moy}} \leq \sigma_{\text{adm}} \text{ , pas de risque de poinçonnement}$$

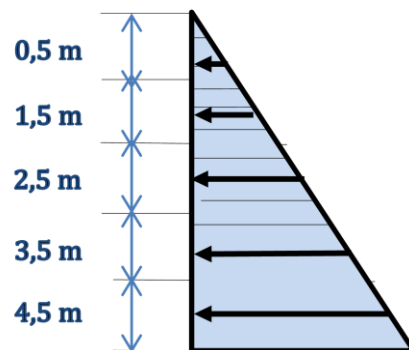
II.7.3.3 Calcul et ferrailage les éléments du mur

a) Calcul du rideau

Nous décomposerons le rideau en tranches horizontales de 1m de hauteur et nous prendrons, comme pression moyenne dans chaque tranche, la pression régnant à mi-hauteur.

Nous donnerons le calcul complet pour la cinquième tranche, pour les autres tranches le calcul serait analogue.

♦ calcul à ELU



$$Z_5 = 4,5 \rightarrow P = 1,35.(K_a.\gamma_h.Z) + 1,5.(K_a.q.Z) = 39,76 \text{ KN.}$$

$$M_t = \frac{P * L^2}{10} = \frac{39,76 * 5,25^2}{10} = 109,60 \text{ KN.m} \quad \text{tel que L: entre-axe des contrefort.}$$

$$M_a = \frac{P * L^2}{16} = \frac{39,76 * 5,25^2}{16} = 68,50 \text{ KN.m}$$

	M_u (KN*m)	μ_{bu}	α	Z (m)	A (cm ²)	$A_{adopté}$ (cm ²)
Moment en travée	109,60	0,056	0,072	0,359	9,60	7T14=10,78
Moment en appui	68,50	0,035	0,044	0,365	5,91	7 T12=7.92

♦ vérification de l'effort tranchant

$$V_u = \frac{P * L}{2} = 104,37 \text{ KN.}$$

$$\tau_u = \frac{V}{b * d} = \frac{104,37 * 10^{-3}}{1 * 0,37} = 0,282 \text{ MPa.}$$

$$\tau_u \leq \bar{\tau} = \min(0,1 * f_{c28}; 3 \text{ MPa}) = 2,5 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

b) Calcul du contrefort

Ils considérés comme des consoles encastrées dans les semelles et soumises aux efforts par le rideau .leur section est en T dont la largeur de la table **b** est déterminer comme les planchers.

Si **P** la pression agissant sur le rideau à la base et **L** l'écartement des contreforts.

♦ Calcul à ELU

A la base du contrefort nous avons :

$$P = 1,35.(K_a.\gamma_h.h.L) + 1,5.(K_a.q.h.L) = 204,43 \text{ KN.}$$

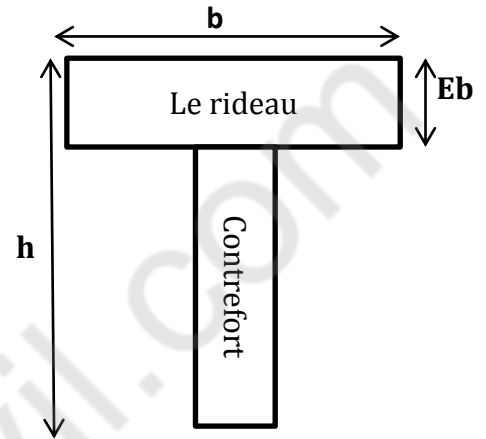
$$M_u = \frac{P * h}{2} \times \frac{h}{3} = \frac{204,43 * 4,4^2}{2 \times 3} = 659,627 \text{ KN.m}$$

Nous prendrons comme largeur de la table de compression **b**.

$$\frac{b - b_0}{2} < \frac{L}{10} \Rightarrow b = \frac{2 \times L}{10} + b_0 = 1,25 \text{ m.}$$

$$M_{TU} = f_{bu} \cdot b \cdot E_b \cdot \left(d - \frac{E_b}{2}\right) \quad \text{tel que : } d = h - e$$

$$M_{TU} = 14,20 \cdot 10^3 \times 1,25 \times 0,40 \times \left(1,44 - \frac{0,4}{2}\right) = 8804 \text{ KN.m} < M_u \rightarrow \text{calcul d'une section rectangulaire}(b \times h)$$



	M_u (KN*m)	μ_{bu}	α	Z (m)	A (cm ²)	A_{adopté} (cm ²)
contrefort	659,627	0,122	0,148	1,354	13,91	3T20+3T16=15,46

♦ vérification de l'effort tranchant

$$V_u = \frac{P * h_1}{2} = 449,746 \text{ KN.}$$

$$\tau_u = \frac{V}{b * d} = \frac{449,746 \cdot 10^{-3}}{1 * 1,44} = 0,312 \text{ MPa.}$$

$$\tau_u \leq \bar{\tau} = \min(0,1 * f_{c28} ; 3 \text{ MPa}) = 2,5 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

♦ Vérification de la jonction table nervure au cisaillement

$$\tau_u = \frac{V_u \left(\frac{b - b_0}{2} \right)}{0,9 \times b \times d \times h_0} = \frac{449,746 \times 10^{-3} \times \left(\frac{1,25 - 0,2}{2} \right)}{0,9 \times 1,00 \times 0,37 \times 0,4} = 1,76 \text{ MPa}$$

$$\tau_u = 1,76 \text{ MPa} < \bar{\tau}_u = 3,25 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{C'est vérifié.}$$

♦ Vérification des contraintes

On doit vérifier :

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I} \cdot Y \leq \bar{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_s = 15 \cdot \sigma_{bc} \cdot \left(\frac{d-y}{y} \right) \leq \bar{\sigma}_s = 240 \text{ MPa.}$$

	Y (cm)	I (cm ⁴)	M _s (KN*m)	σ _{bc} (MPa)	σ _{bc} ≤ σ̄ _{bc}	σ _s (MPa)	σ _s ≤ σ̄ _s
Contrefort	7,919	120938,836	142,827	9,345	vérifier	210,63	vérifier

c) Calcul de la semelle

La semelle est soumise à son poids propre, aux du remblai, des surcharge sur le remblai, et aux réactions du sol.

♦ Calcul des contraintes agissantes sur la semelle

♦ Calcul à ELU

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{semelle} = \frac{1,35 \cdot Fvs_1}{L \cdot b_1} = \frac{1,35 \cdot Fvs_2}{L \cdot b_2} = 0,135 \text{ MPa.} \\ \sigma_{terre_1 + surcharge} = \frac{1,35 \cdot Fvt_1 + 1,5 \cdot Fvq}{L \cdot b_1} = 0,123 \text{ MPa.} \Rightarrow \begin{cases} \sigma_{semelle \text{ avant}} = 0,0135 + 0,025 = 0,038 \text{ MPa.} \\ \sigma_{semelle \text{ arrière}} = 0,0135 + 0,123 = 0,137 \text{ MPa.} \end{cases} \\ \sigma_{terre_2} = \frac{1,35 \cdot Fvt_2}{L \cdot b_2} = 0,025 \text{ MPa.} \end{array} \right.$$

D'après les résultats du calcul de stabilité on a $\begin{cases} \sigma_{max} = 0,144 \text{ MPa.} \\ \sigma_{min} = 0,063 \text{ MPa.} \end{cases}$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{max2} = \sigma_{max} - \sigma_{semelle \text{ avant}} = 0,106 \text{ MPa.} \\ \sigma_{max1} = \sigma_{semelle \text{ arrière}} - \sigma_{min} = 0,074 \text{ MPa.} \\ \sigma_{min2} = \frac{((b_1 + Eb) \cdot \sigma_{max} + b_2 \cdot \sigma_{min})}{B} - \sigma_{semelle \text{ avant}} = 0,078 \text{ MPa.} \\ \sigma_{min1} = \sigma_{semelle \text{ arrière}} - \frac{(b_1 \cdot \sigma_{max} + (b_2 + Eb) \cdot \sigma_{min})}{B} = 0,032 \text{ MPa.} \end{array} \right.$$

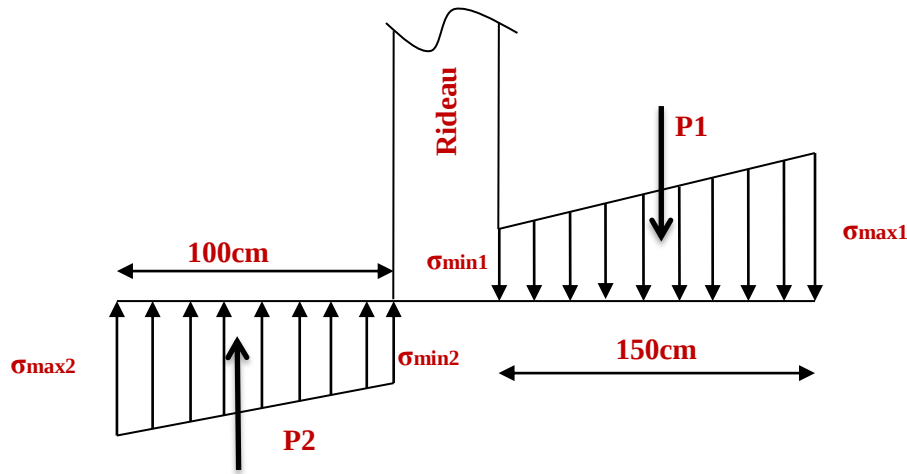


Diagramme des contraintes

$$\begin{cases} M_{u1} = \left(\frac{\sigma_{\min 1} \cdot b_1^2}{2} \right) + \left(\frac{(\sigma_{\max 1} - \sigma_{\min 1}) \cdot b_1^2}{3} \right) = 67,50 \text{ KN.m} \\ M_{u2} = \left(\frac{\sigma_{\min 2} \cdot b_2^2}{2} \right) + \left(\frac{(\sigma_{\max 2} - \sigma_{\min 2}) \cdot b_2^2}{3} \right) = 48,33 \text{ KN.m} \end{cases}$$

	M_u (KN*m)	μ_{bu}	α	Z (m)	A (cm ²)	$A_{\text{adopté}}$ (cm ²)
Semelle arrière	67,50	0,035	0,045	0,363	5,658	5T14=7,70
Semelle avant	48,33	0,025	0,032	0,365	4,028	5T12=5,65

♦ calcul à ELS

$$\begin{cases} \sigma_{\text{semelle}} = \frac{Fvs_1}{L \cdot b_1} = \frac{Fvs_2}{L \cdot b_2} = 0,01 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\text{terre}_1 + \text{surchage}} = \frac{Fvt_1 + Fvq}{L \cdot b_1} = 0,091 \text{ MPa.} \Rightarrow \begin{cases} \sigma_{\text{semelle avant}} = 0,010 + 0,0178 = 0,028 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\text{semelle arrière}} = 0,010 + 0,091 = 0,101 \text{ MPa.} \end{cases} \\ \sigma_{\text{terre}_2} = \frac{Fvt_2}{L \cdot b_2} = 0,0178 \text{ MPa.} \end{cases}$$

D'après les résultats du calcul de stabilité on a $\begin{cases} \sigma_{\max} = 0,104 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\min} = 0,048 \text{ MPa.} \end{cases}$

$$\begin{cases} \sigma_{\max 2} = \sigma_{\max} - \sigma_{\text{semelle avant}} = 0,076 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\max 1} = \sigma_{\text{semelle arrière}} - \sigma_{\min} = 0,053 \text{ MPa} \\ \sigma_{\min 2} = \frac{((b_1 + Eb) \cdot \sigma_{\max} + b_2 \cdot \sigma_{\min})}{B} - \sigma_{\text{semelle avant}} = 0,057 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\min 1} = \sigma_{\text{semelle arrière}} - \frac{(b_1 \cdot \sigma_{\max} + (b_2 + Eb) \cdot \sigma_{\min})}{B} = 0,024 \text{ MPa.} \end{cases}$$

♦ Vérification des contraintes

On doit vérifier :

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I} \cdot Y \leq \bar{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa.}$$

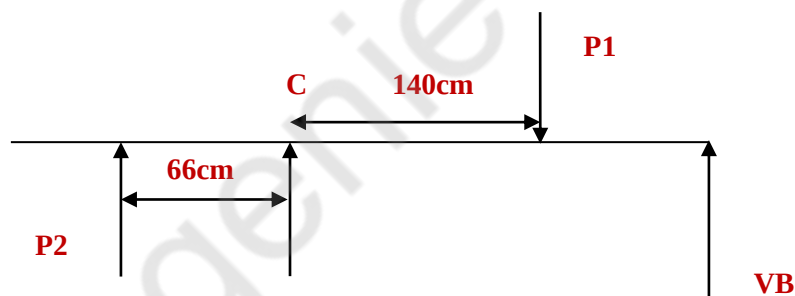
$$\sigma_s = 15 \cdot \sigma_{bc} \cdot \left(\frac{d-y}{y} \right) \leq \bar{\sigma}_s = 240 \text{ MPa.}$$

	Y (cm)	I (cm ⁴)	M _s (KN*m)	σ _{bc} (MPa)	σ _{bc} ≤ σ̄ _{bc}	σ _s (MPa)	σ _s ≤ σ̄ _s
Semelle arrière	6,737	78881,133	48,750	2,452	vérifier	157,63	vérifier
Semelle avant	8,299	117902,36	34,833	4,164	vérifier	73,78	vérifier

d) Calcul de la bêche

La bêche considérée comme une poutre semi-encastée s'appuyant sur les contreforts et recevant les réactions de la semelle.

Pour déterminer la réaction de la semelle sur la bêche, prenons les moments des forces par rapport à C.



$$\begin{cases} P_1 = \left(\frac{(\sigma_{\max 1} + \sigma_{\min 1}) \cdot b_1}{2} \right) = 103,50 \text{ KN} \\ P_2 = \left(\frac{(\sigma_{\max 2} + \sigma_{\min 2}) \cdot b_2}{2} \right) = 76,00 \text{ KN} \end{cases} \Rightarrow V_B = \frac{(P_1 \times 1,40) + (P_2 \times 0,66)}{1,90} = 80,87 \text{ KN.}$$

Le poids propre de la bêche au-dessous de la semelle :

$$F_{V_B} = 0,40 \times 0,60 \times 25 \times 1,00 = 6,00 \text{ KN.}$$

charge totale par ml :

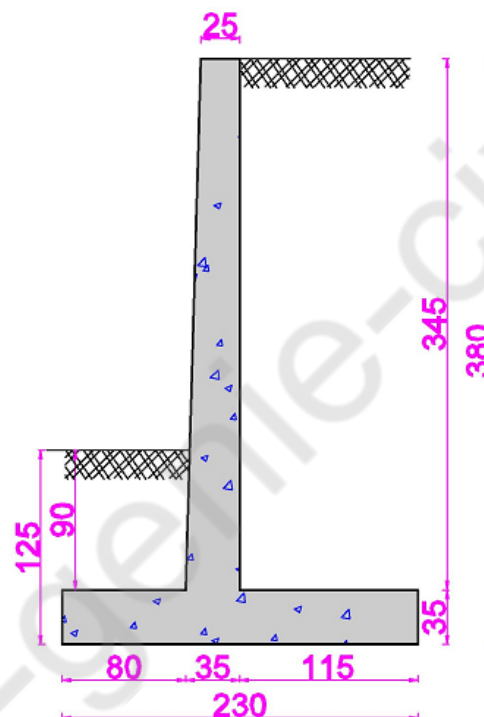
$$1,35 \cdot F_{V_B} + V_B = 88,973 \text{ KN} \Rightarrow \begin{cases} M_t = 145,233 \text{ KN.m} \\ M_a = 78,607 \text{ KN.m} \end{cases}$$

	M_u (KN*m)	μ_{bu}	α	Z (m)	A (cm ²)	$A_{adopté}$ (cm ²)
Moment en travée	145,23	0,035	0,045	0,53	7,78	3T20=9.42
Moment en appui	78,607	0,019	0,024	0,528	4,720	3T16=5.56

II.7.5 Mur de soutènement N°02 sans contrefort

II.7.4.1 Dimensionnement du mur

MUR DE SOUTÈNEMENT N°2



II.7.4.2 Stabilité du mur

	Les forces horizontales			Les forces verticales					
Les forces	Fht ₂	Fht ₁	Fhq	Fvt ₂	Fvt ₁	Fvr	Fvs ₂	Fvs ₁	Fvq
Les valeurs des forces (KN)	4,192	38,741	4,119	14,256	78,557	28,50	7,00	10,063	4,60
Le bras de levier(m)	0,416	1,26	1,90	0,40	1,727	1,03	0,40	1,727	1,727
Le moment /A (KN.m)	1,74	48,81	7,826	5,70	135,668	29,355	2,80	17,370	7,94

a) Stabilité au glissement

$$\sum F \text{ horizontales} = 1,35 * (F_{ht_1} - F_{ht_2}) + 1,5 * (F_{hq}) = 52,820 \text{ KN.m}$$

$$\sum F \text{ verticales} = F_{vr} + F_{vt_1} + F_{vt_2} + F_{vs_2} + F_{vs_1} + F_{vq} = 142,976 \text{ KN.m}$$

$$\frac{\sum F \text{ horizontales}}{\sum F \text{ verticales}} = \frac{52,820}{142,976} = 0,369 < f; f = 0.6 \dots\dots\dots \text{la condition est satisfaite donc}$$

pas de risque de glissement.

b) Stabilité au renversement

$$\sum F \text{ renversants} = 1,35 * (F_{ht_1} \cdot \frac{H}{3} - F_{ht_2} \cdot \frac{h_2}{3}) + 1,5 * (F_{hq} \cdot \frac{H}{2}) = 75,628 \text{ KN.m}$$

$$\sum F \text{ stabilisants} = F_{vr} \cdot (\frac{2 \cdot E_b}{3} + b_2) + F_{vt_1} \cdot (\frac{b_1}{2} + E_b + b_2) + F_{vt_2} \cdot \frac{b_2}{2} + F_{vs_2} \cdot \frac{b_2}{2} + F_{vs_1} \cdot (\frac{b_1}{2} + E_b + b_2) + F_{vq} \cdot (\frac{b_1}{2} + E_b + b_2)$$

$$\sum F \text{ stabilisants} = 197,763 \text{ KN.m}$$

$$\frac{\sum F \text{ stabilisants}}{\sum F \text{ renversants}} = \frac{197,763}{75,628} = 2,61 > 2 \dots\dots\dots \text{la condition est satisfaite, donc pas de}$$

risque de renversement.

c) Stabilité au poinçonnement

♦ Vérification à ELS

$$\begin{cases} M_G = \sum F_v * e \\ e = \frac{B}{2} - \frac{M_s}{\sum F_v} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} e = \frac{2,3}{2} - \frac{142,867}{142,976} = (1,15 - 0,998) = 0,151 \text{ m} \\ M_G = \sum F_v * e = 142,976 * 0,151 = 21,589 \text{ KN.m} \end{cases}$$

♦ Vérification des contraintes de sol

$$\begin{cases} \sigma_{\min} = \frac{\sum F_v}{B} - \frac{6 \cdot M_G}{B^2} = 0,037 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\max} = \frac{\sum F_v}{B} + \frac{6 \cdot M_G}{B^2} = 0,087 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\text{moy}} = \frac{3 \cdot \sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{4} = 0,0745 \text{ MPa.} \end{cases}$$

♦ Vérification à ELU

$$\begin{cases} M_G = \sum F_v * e \\ e = \frac{B}{2} - \frac{M_u}{\sum F_v} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} e = \frac{2,3}{2} - \frac{190,198}{193,707} = (1,15 - 1,355) = 0,168 \text{ m} \\ M_G = \sum F_v * e = 193,707 * 0,168 = 32,542 \text{ KN.m} \end{cases}$$

♦ Vérification des contraintes de sol

$$\begin{cases} \sigma_{\min} = \frac{\sum F_v}{B} - \frac{6.M_G}{B^2} = \frac{193,707}{2,3} - \frac{6 * 32,542}{2,3^2} = 0,047 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\max} = \frac{\sum F_v}{B} + \frac{6.M_G}{B^2} = \frac{193,707}{2,3} + \frac{6 * 32,542}{2,3^2} = 0,121 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\text{moy}} = \frac{3.\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{4} = 0,102 \text{ MPa.} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \sigma_{\text{moy}} \leq \sigma_{\text{adm}}, \text{ pas de risque de poinçonnement}$$

II.7.3.3 Calcul et ferrailage les éléments du mur N°02

a) Ferrailage du rideau

Pour la détermination des armatures du rideau, nous étudierons la section d'encastrement du rideau sur la semelle, c'est-à-dire la section située à 3,80 m au-dessous du sommet du mur.

♦ calcul à ELU

$$M_u = 1,35 * \left[(K_a \cdot \gamma_h \cdot \frac{h_1^2}{2} \cdot \frac{h_1}{3}) - (K_a \cdot \gamma_h \cdot \frac{(h_2 - E_s)^2}{3} \cdot \frac{(h_2 - E_s)}{3}) \right] + 1,5 * (K_a \cdot q \cdot h_1 \cdot \frac{h_1}{2})$$

$$M_u = 58,373 \text{ KN.m}$$

$$\mu_{bu} = \frac{M_u}{b \cdot d^2 \cdot f_{bu}} \text{ tel que : } f_{bu} = \frac{0,85 \cdot f_{c28}}{1,5} = 14,2 \text{ MPa.}$$

$$\mu_{bu} = \frac{58,373 \cdot 10^{-3}}{1 * 0,32^2 * 14,2} = 0,04$$

$$z = d(1 - 0,4 \cdot \alpha) \text{ tel que : } \alpha = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{bu}}) / 0,8 = 0,051 \Rightarrow z = 0,313 \text{ m.}$$

$$A = \frac{M_u}{Z \cdot f_{st}} = \frac{58,373 \cdot 10^{-3}}{0,313 * 384} = 5,362 \text{ cm}^2.$$

	M_u (KN*m)	μ_{bu}	α	Z (m)	A (cm ²)	A_{adopté} (cm ²)
Rideau	58,373	0,04	0,051	0,313	5,362	5T14=7.70

♦ **vérification de l'effort tranchant**

$$V_u = 1,35 * \left[(K_a \cdot \gamma_h \cdot \frac{h_1^2}{2}) - (K_a \cdot \gamma_h \cdot \frac{(h_2 - E_s)^2}{3}) \right] + 1,5 * (K_a \cdot q \cdot h_1) = 44,408 \text{ KN.}$$

$$\tau_u = \frac{V}{b * d} = \frac{44,408 \cdot 10^3}{1 * 0,32} = 0,138 \text{ MPa.}$$

$$\tau_u \leq \bar{\tau} = \min(0,1 * f_{c28}; 3 \text{ MPa}) = 2,5 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

♦ **Vérification des contraintes à ELS**

♦ **Contraintes dans le béton**

$$\frac{E_b}{2} \cdot y^2 + 15 \cdot A \cdot y - 15 \cdot A \cdot y \Rightarrow y = 9,083 \text{ cm.}$$

$$I = \frac{E_b}{3} \cdot y^3 + 15 \cdot A \cdot (d - y)^2 = 119512,519 \text{ cm}^4.$$

$$M_s = \left[(K_a \cdot \gamma_h \cdot \frac{h_1^2}{2} \cdot \frac{h_1}{3}) - (K_a \cdot \gamma_h \cdot \frac{(h_2 - E_s)^2}{3} \cdot \frac{(h_2 - E_s)}{3}) \right] + (K_a \cdot q \cdot h_1 \cdot \frac{h_1}{2}) = 42,522 \text{ KN.m}$$

$$\sigma_{bc} = \frac{M_s}{I} \cdot y = \frac{42,522}{119512,519} * 9,083 = 3,232 \text{ MPa} \leq \bar{\sigma}_{bc} = 0,6 f_{c28} = 15 \text{ MPa.}$$

♦ **Contraintes dans l'acier**

$$\sigma_s = 15 \cdot \sigma_{bc} \cdot (\frac{d - y}{y}) = 15 * 3,232 * (\frac{32 - 9,083}{9,083}) = 122,318 \text{ MPa}$$

$$\bar{\sigma}_s = \min(\frac{2}{3} f_e, 150 * 1,6) = 240 \text{ MPa.}$$

	Y (cm)	I (cm ⁴)	M _s (KN*m)	σ _{bc} (MPa)	σ _{bc} ≤ σ̄ _{bc}	σ _s (MPa)	σ _s ≤ σ̄ _s
Rideau	9,083	119512,519	42,522	3,232	vérifier	122,323	vérifier

b) Calcul de la semelle

La semelle est soumise à son poids propre, aux du remblai, des surcharge sur le remblai, et aux réactions du sol.

♦ Calcul des contraintes agissantes sur la semelle

♦ à ELU

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{\text{semelle}} = \frac{1,35.Fvs_1}{L.b_1} = \frac{1,35.Fvs_2}{L.b_2} = 0,012 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\text{terre}_1 + \text{surcharge}} = \frac{1,35.Fvt_1 + 1,5.Fvq}{L.b_1} = 0,0982 \text{ MPa.} \Rightarrow \begin{cases} \sigma_{\text{semelle avant}} = 0,012 + 0,024 = 0,036 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\text{semelle arri\`ere}} = 0,012 + 0,098 = 0,110 \text{ MPa.} \end{cases} \\ \sigma_{\text{terre}_2} = \frac{1,35.Fvt_2}{L.b_2} = 0,024 \text{ MPa.} \end{array} \right.$$

D'après les résultats du calcul de stabilité on a $\begin{cases} \sigma_{\min} = 0,0473 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\max} = 0,121 \text{ MPa.} \end{cases}$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{\max 2} = \sigma_{\max} - \sigma_{\text{semelle avant}} = 0,085 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\max 1} = \sigma_{\text{semelle arri\`ere}} - \sigma_{\min} = 0,063 \text{ MPa} \\ \sigma_{\min 2} = \frac{((b_1 + Eb) \cdot \sigma_{\max} + b_2 \cdot \sigma_{\min})}{B} - \sigma_{\text{semelle avant}} = 0,059 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\min 1} = \sigma_{\text{semelle arri\`ere}} - \frac{(b_1 \cdot \sigma_{\max} + (b_2 + Eb) \cdot \sigma_{\min})}{B} = 0,026 \text{ MPa.} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} M_{u1} = \left(\frac{\sigma_{\min 1} \cdot b_1^2}{2} \right) + \left(\frac{(\sigma_{\max 1} - \sigma_{\min 1}) \cdot b_1^2}{3} \right) = 33,503 \text{ KN.m} \\ M_{u2} = \left(\frac{\sigma_{\min 2} \cdot b_2^2}{2} \right) + \left(\frac{(\sigma_{\max 1} - \sigma_{\min 2}) \cdot b_2^2}{3} \right) = 24,427 \text{ KN.m} \end{array} \right.$$

	M_u (KN*m)	μ_{bu}	α	Z (m)	A (cm ²)	$A_{\text{adopté}}$ (cm ²)
Semelle arri\`ere	33,503	0,023	0,029	0,316	3,048	5T14=7.70
Semelle avant	24,427	0,017	0,021	0,317	2,215	5T12=5.65

♦ Calcul à ELS

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{\text{semelle}} = \frac{Fvs_1}{L.b_1} = \frac{Fvs_2}{L.b_2} = 0,009 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\text{terre}_1 + \text{surcharge}} = \frac{Fvt_1 + Fvq}{L.b_1} = 0,072 \text{ MPa.} \Rightarrow \begin{cases} \sigma_{\text{semelle avant}} = 0,009 + 0,018 = 0,027 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\text{semelle arri\`ere}} = 0,009 + 0,072 = 0,081 \text{ MPa.} \end{cases} \\ \sigma_{\text{terre}_2} = \frac{Fvt_2}{L.b_2} = 0,0178 \text{ MPa.} \end{array} \right.$$

D'après les résultats du calcul de stabilité on a $\begin{cases} \sigma_{\max} = 0,087 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\min} = 0,037 \text{ MPa.} \end{cases}$

$$\begin{cases} \sigma_{\max 2} = \sigma_{\max} - \sigma_{\text{semelle avant}} = 0,06 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\max 1} = \sigma_{\text{semelle arrière}} - \sigma_{\min} = 0,044 \text{ MPa} \\ \sigma_{\min 2} = \frac{((b_1 + Eb) \cdot \sigma_{\max} + b_2 \cdot \sigma_{\min})}{B} - \sigma_{\text{semelle avant}} = 0,043 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\min 1} = \sigma_{\text{semelle arrière}} - \frac{(b_1 \cdot \sigma_{\max} + (b_2 + Eb) \cdot \sigma_{\min})}{B} = 0,019 \text{ MPa.} \end{cases}$$

✦ Vérification des contraintes

On doit vérifier :

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{\text{ser}}}{I} \cdot Y \leq \bar{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa.}$$

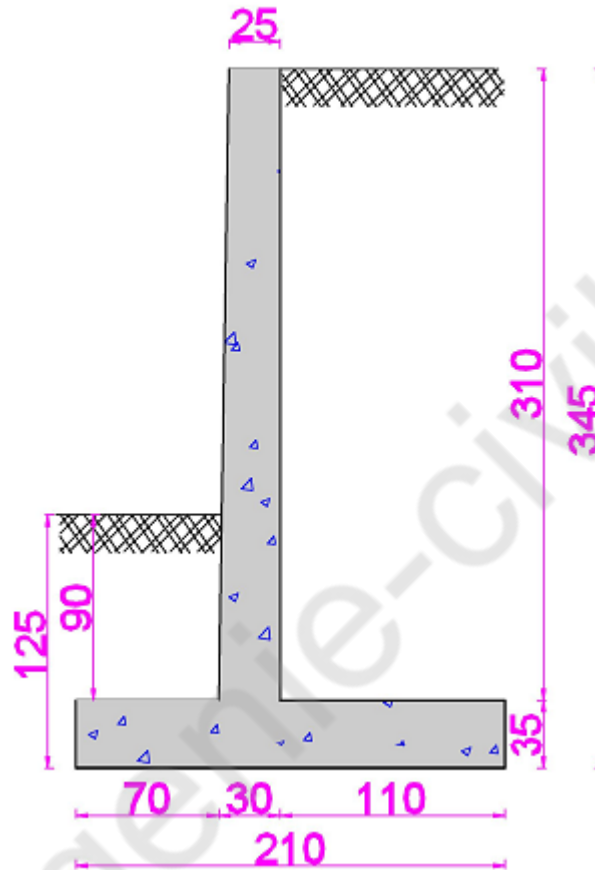
$$\sigma_s = 15 \cdot \sigma_{bc} \cdot \left(\frac{d-y}{y} \right) \leq \bar{\sigma}_s = 240 \text{ MPa.}$$

	Y (cm)	I (cm ⁴)	M _s (KN*m)	σ _{bc} (MPa)	σ _{bc} ≤ σ̄ _{bc}	σ _s (MPa)	σ _s ≤ σ̄ _s
Semelle arrière	6,219	57867,024	23,585	2,535	vérifier	157,63	vérifier
Semelle avant	7,645	86073,918	17,387	1,544	vérifier	73,78	vérifier

II.7.6 Mur de soutènement N°03 sans contrefort

II.7.5.1 Dimensionnement du mur

MUR DE SOUTÈNEMENT N°2



II.7.5.2 Stabilité du mur

	Les forces horizontales			Les forces verticales					
Les forces	Fht ₂	Fht ₁	Fhq	Fvt ₂	Fvt ₁	Fvr	Fvs ₂	Fvs ₁	Fvq
Les valeurs des forces (KN)	4,192	38,741	4,119	14,256	78,557	28,50	7,00	10,063	4,60
Le bras de levier(m)	0,416	1,26	1,90	0,40	1,727	1,03	0,40	1,727	1,727
Le moment /A (KN.m)	1,74	48,81	7,826	5,70	135,668	29,355	2,80	17,370	7,94

a) Stabilité au glissement

$$\frac{\sum F \text{ horizontales}}{\sum F \text{ verticales}} = \frac{43,505}{122,700} = 0,354 < f; f = 0.6 \dots \dots \dots \text{la condition est satisfaite donc}$$

pas de risque de glissement.

b) Stabilité au renversement

$\frac{\sum F_{\text{stabilisants}}}{\sum F_{\text{renversants}}} = \frac{152,600}{57,167} = 2,66 > 2$ la condition est satisfaite, donc pas de risque de renversement.

c) Stabilité au poinçonnement

♦ Vérification à ELS

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{\min} = \frac{\sum F_v}{B} - \frac{6.M_G}{B^2} = 0,034 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\max} = \frac{\sum F_v}{B} + \frac{6.M_G}{B^2} = 0,083 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\text{moy}} = \frac{3.\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{4} = 0,0915 \text{ MPa.} \end{array} \right.$$

♦ Vérification à ELU

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{\min} = \frac{\sum F_v}{B} - \frac{6.M_G}{B^2} = 0,043 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\max} = \frac{\sum F_v}{B} + \frac{6.M_G}{B^2} = 0,116 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\text{moy}} = \frac{3.\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{4} = 0,097 \text{ MPa.} \end{array} \right.$$

$\Rightarrow \sigma_{\text{moy}} \leq \sigma_{\text{adm}}$, pas de risque de poinçonnement

II.7.5.3 Calcul et ferrailage les éléments du mur N°03

a) Ferrailage de rideau

♦ calcul à ELU

	M_u (KN*m)	μ_{bu}	α	Z (m)	A (cm ²)	$A_{\text{adopté}}$ (cm ²)
Rideau	44,922	0,043	0.055	0,264	4,892	5T12=5.65

♦ **vérification de l'effort tranchant**

$$V_u = 1,35 * \left[(K_a \cdot \gamma_h \cdot \frac{h_1^2}{2}) - (K_a \cdot \gamma_h \cdot \frac{(h_2 - E_s)^2}{3}) \right] + 1,5 * (K_a \cdot q \cdot h_1) = 38,960 \text{ KN.}$$

$$\tau_u = \frac{V}{b * d} = \frac{38,960 \cdot 10^{-3}}{1 * 0,27} = 0,144 \text{ MPa.}$$

$$\tau_u \leq \bar{\tau} = \min(0,1 * f_{c28}; 3 \text{ MPa}) = 2,5 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

$$\Rightarrow \sigma_{bc} \leq \bar{\sigma}_{bc}, \text{ Condition vérifiée}$$

♦ **Vérification des contraintes**

On doit vérifier :

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I} \cdot Y \leq \bar{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_s = 15 \cdot \sigma_{bc} \cdot \left(\frac{d - y}{y} \right) \leq \bar{\sigma}_s = 240 \text{ MPa.}$$

Y (cm)	I (cm ⁴)	M _s (KN*m)	σ _{bc} (MPa)	σ _s (MPa)	σ _{bc} ≤ σ̄ _{bc}	σ _s ≤ σ̄ _s
8,222	81997,650	32,678	3,277	157,63	Vérifier	Vérifier

b) Calcul de la semelle

La semelle est soumise à son poids propre, aux du remblai, des surcharge sur le remblai, et aux réactions du sol.

♦ **Calcul des contraintes agissantes sur la semelle**

♦ **à ELU**

D'après les résultats du calcul de stabilité on a $\begin{cases} \sigma_{min} = 0,043 \text{ MPa.} \\ \sigma_{max} = 0,116 \text{ MPa.} \end{cases}$

$$\begin{cases} \sigma_{max2} = \sigma_{max} - \sigma_{semelle \text{ avant}} = 0,082 \text{ MPa.} \\ \sigma_{max1} = \sigma_{semelle \text{ arrière}} - \sigma_{min} = 0,057 \text{ MPa} \\ \sigma_{min2} = \frac{((b_1 + Eb) \cdot \sigma_{max} + b_2 \cdot \sigma_{min})}{B} - \sigma_{semelle \text{ avant}} = 0,058 \text{ MPa.} \\ \sigma_{min1} = \sigma_{semelle \text{ arrière}} - \frac{(b_1 \cdot \sigma_{max} + (b_2 + Eb) \cdot \sigma_{min})}{B} = 0,019 \text{ MPa.} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M_{u1} = 26,822 \text{ KN.m} \\ M_{u2} = 18,130 \text{ KN.m} \end{cases}$$

	M_u (KN*m)	μ_{bu}	α	Z (m)	A (cm ²)	$A_{adopté}$ (cm ²)
Semelle arrière	26,822	0,026	0,033	0,266	2,899	5T12=5.65
Semelle avant	18,13	0,018	0,023	0,268	1,945	5T12=5.65

♦ Calcul à ELS

D'après les résultats du calcul de stabilité on a $\begin{cases} \sigma_{\max} = 0,083 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\min} = 0,034 \text{ MPa.} \end{cases}$

$$\begin{cases} \sigma_{\max 2} = \sigma_{\max} - \sigma_{\text{semelle avant}} = 0,058 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\max 1} = \sigma_{\text{semelle arrière}} - \sigma_{\min} = 0,04 \text{ MPa} \\ \sigma_{\min 2} = \frac{((b_1 + Eb) \cdot \sigma_{\max} + b_2 \cdot \sigma_{\min})}{B} - \sigma_{\text{semelle avant}} = 0,042 \text{ MPa.} \\ \sigma_{\min 1} = \sigma_{\text{semelle arrière}} - \frac{(b_1 \cdot \sigma_{\max} + (b_2 + Eb) \cdot \sigma_{\min})}{B} = 0,014 \text{ MPa.} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M_{s1} = 18,957 \text{ KN.m} \\ M_{s2} = 12,903 \text{ KN.m} \end{cases}$$

♦ Vérification des contraintes

On doit vérifier :

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{\text{ser}}}{I} \cdot Y \leq \bar{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_s = 15 \cdot \sigma_{bc} \cdot \left(\frac{d-y}{y} \right) \leq \bar{\sigma}_s = 240 \text{ MPa.}$$

	Y (cm)	I (cm ⁴)	M_s (KN*m)	σ_{bc} (MPa)	$\sigma_{bc} \leq \bar{\sigma}_{bc}$	σ_s (MPa)	$\sigma_s \leq \bar{\sigma}_s$
Semelle arrière	5,658	40198,717	18,957	2,668	vérifier	150,955	vérifier
Semelle avant	6,939	59430,277	12,903	1,507	vérifier	67,130	vérifier