

بسم الله الرحمن الرحيم

« اللهم بك أصبحنا، وبك أمسينا، وبك فينا، وبك نموت
واليك النشور »

- إذا أصبحت -

« اللهم إني أصبحت أشهدك وأشهد حملة عرشك ،
وملائكتك وجميع خلقك أنك أنت الله لا إله إلا أنت
وحدك لا شريك لك ، وأن محمداً عبدك ورسولك »
- 4 مرات -

« سبي الله لا إله إلا هو عليه توكلت وهو رب العرش
العظيم »

- 7 مرات -

« رضيت بالله رباً، وبالإسلام ديناً، وبمحمد صلى الله عليه
وسلم نبياً »

- 3 مرات -

« سبحان الله وبحمده : عدد خلقه ، ورضا نفسه ، وزنة
عرشه و مبادئ كلماته »

- 3 مرات -

« أستغفر الله وأتوب إليه »

- 100 مرة -

E - M - D N° 02 DE BETON ARME

E N° 01 : (08 P^{ts})

CONNEMENT D'UN TIRANT RECTILIGNE EN BETON ARME DE 15.00 M DE LONGUEUR

Données :

- Béton : Résistance caractéristique à 28 j est de 25 MPa ;
- Aciers : Longitudinaux : H.A FeE400 type 1 ;
Transversaux : R.L FeE240 ($f_e = 235$ MPa) ;
- Barres livrées en longueur de 12.00 m de long ;
- La structure est soumise aux intempéries « Fissuration préjudiciable » ;
- Enrobage des aciers est de 30 mm ; $C_g = 25$ mm ;
- Tirant rectiligne bi encastré de longueur 15.00 m; soumis à un effort normal de traction centré : $N_G = 210$ KN ; $N_{QS} = 150$ KN

- 1/ Déterminer le ferrailage longitudinal ;
- 2/ Déterminer le ferrailage transversal ;
- 3/ Déterminer l'espacement des armatures transversales en zone courante et en zone de recouvrement (prendre le cas d'une seule zone de recouvrement) ;
- 4/ Déterminer La section du béton B du tirant ;
- 5/ Dessiner une coupe transversale en zone courante et en zone de recouvrement

E N° 02 : (06 P^{ts})

CONNEMENT D'UN POTEAU DE SECTION RECTANGULAIRE D'UN BATIMENT
PAR VOILES

- Béton : Résistance caractéristique à 28 j d'âge est de 25 MPa ;
- Aciers : H.A FeE400 type 1 ;
- Poteau central de longueur de flambement 0.7 x 5.00 m ;
- de section rectangulaire 25 x 35 cm² ; soumis à un effort normal de compression centré : $N_U = 1.3$ MN ;
- (Plus de la moitié des charges sera appliquée après 90 j d'âge du béton)

R

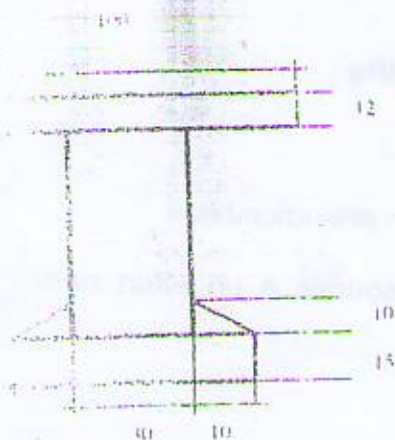
- 1/ Déterminer le ferrailage longitudinal et transversal du poteau ;
- 2/ Vérifier toutes les dispositions constructives ;
- 3/ Dessiner une coupe transversale montrant le ferrailage adopté.

Exercice N° 03 : (06P^{ts})

Dimensionnement d'une section en T avec talon à la flexion simple

Données :

- Béton : $f_{c28} = 30 \text{ MPa}$;
- Aciers : H.A FeE 400 type 1 ;
- La fissuration est jugée peu nuisible ;
- Sollicitations : $M_G = 330 \text{ KNm}$; $M_{QB} = 490 \text{ KNm}$



Questions :

- 1/ Déterminer le ferrailage de la section ;
- 2/ Choix des barres et représentation sur une coupe transversale ;

Autorisés (Le cours de l'ENTP uniquement)

Red &

et ultime peut atteindre :

1. perte d'équilibre statique
2. déformation plastique excessive.
3. instabilité de forme (flambement).
4. transformation de la structure ou mécanisme (rupture)

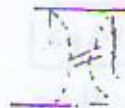
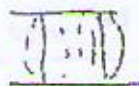
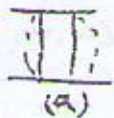
2°/ Implication de la sécurité :

- Stabilité de la structure
- Comportement en service.

3°/ Classification des actions :

- Action des charges permanentes : * poids propre de la structure
- " " " d'exploitation : - effort dynamique
- vibration.
- Action des charge climatique - vent - neige.
- " " " hydrométrique ← pluie
← retrait
- " Accidentelle → séisme → tassement

4°/ Les phase de Comportement lors de l'écrasement d'éprouvette :



- 1/ non fissuration 2/ microfissuration - Rupture

5°/ La f entre résistance caractéristique et résistance moyen :

la $R_c = R_m + \text{écart type}$

$R_c \rightarrow$ il y a l'écart type

$R_m \rightarrow$ il n'y a pas l'écart type

6°/ Principale Fonction de l'adhérence :

- 1- Ancrage et scellement des barres.
- 2- Entraînement des armatures.
- 3- Répartition des ~~contraintes~~ fissuration par les armatures.

7°/ Les avantages

- Souplesse d'utilisation
- l'économie d'entretien
- Résistance au feu
- " au efforts accidentels

Les inconvénients :

- temps de réalisation est long
- poids propre est importants
- difficulté de modification

classe de béton b25
 HA
 type 1 $\rightarrow f_{ct} = 400 \text{ MPa}$
 armées -
 ciment - gravier - sable
 état ELU en compression
 4h $\rightarrow \gamma_b = 1$
 durable $\rightarrow \gamma_b = 1,5$

$$\frac{0,85}{\gamma_b} f_{ct} = \frac{0,85}{1,5} \cdot 400 = 226,67 \text{ MPa}$$

limite à ELU en compression
 action accidentelle $\rightarrow \gamma_b = 1,15$

$$\frac{0,85}{\gamma_b} f_{ct} = \frac{0,85}{1,15} \cdot 400 = 294,78 \text{ MPa}$$

$$\frac{5}{4,76 + 0,83(5)} \cdot 75 = 14,03$$

$$= 0,6 + 0,06 f_{ct} = 1,44 \text{ MPa}$$

$$E_s = 1,2 \cdot 10^5$$

$$E_s = 2 \cdot 10^5$$

$$\epsilon_s = \frac{f_c}{\gamma_s E_s} = \frac{400}{(1,15)(200000)} = 1,73 \cdot 10^{-3}$$

générale:

$$\epsilon_s > \epsilon_s \Rightarrow \sigma_s = E \epsilon_s = 200000 \times 1,2 \cdot 10^{-3}$$

$$[\sigma_s = 240 \text{ MPa}]$$

$$\epsilon_s < \epsilon_s \Rightarrow \sigma_s = \frac{f_c}{\gamma_s} = \frac{400}{1,15}$$

$$[\sigma_s = 347,87 \text{ MPa}]$$

durabilité jugée préjudiciable

$$= \max(240, 110 \sqrt{\eta f_{ct}})$$

$$\max(240, 110 \sqrt{1,6 \times 2,1})$$

$$= 240 \text{ MPa}$$

$$q_G = 10,00 \text{ kN/ml}$$

$$q_{QG} = 15,00 \text{ kN/ml}$$

$$q_{sm} = 1,00 \text{ kN/ml}$$

$$H_w = 1 \text{ k/ml}$$

$$q_G$$



$$M = 11,25 \text{ kN.m}$$

$$q_{QG}$$



$$M = 5,625 \text{ kN.m}$$

$$M = 5,625 \text{ kN.m}$$

$$q_{sm}$$



$$M = 1,125 \text{ kN.m}$$

$$M = 1,125 \text{ kN.m}$$

$$M = 1,1 \text{ kN.m}$$

$$M = 1,1 \text{ kN.m}$$

Combinaison:

$$1,35 M_G + 1,5 M_{QG} + M_W + M_{sm} = 26,25$$

$$1,35 M_G + 1,5 M_W + 1,3(0,77) M_{QG} + M_{sm} = 24,19$$

$$1,35 M_G + 1,5 M_{sm} + 1,3(0,77) M_{QG} + M_W$$

$$= 24,10$$

$$\Rightarrow M_{max} \text{ elu} = 26,25 \text{ kN.m}$$

* $M_{min} \text{ elu}$?

$$M_{min} \text{ elu} = A + B$$

$$\min(1,35 G, G) + \min((G, -W, Q_s) \cdot 1,1)$$

$$= M_G - M_W(1,5) = 9 \text{ kN.m}$$

$$f_{ct} = 20$$

$$l = l' = 4 \text{ m}$$

$$M_{uo} = 2(0,6 - 0,19 - 0,04)$$

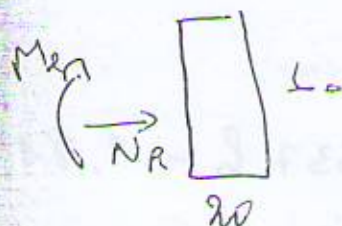
$$= 2(0,37) = 0,74$$

$$M_c = 0,6 \times 0,1 \times 11,33 \left((0,6 - 0,04) - \frac{0,1}{2} \right) = 0,35$$

$$M_{uo} > M_c$$

$$M_R = 0,51 \text{ MN} \cdot \text{m}$$

$$N_R = 1,55 \text{ MN}$$



Pour l'axe : 02

$$M_{xr} = 14,28 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$N_{xr} = 178,57 \text{ KN}$$

$$e_{xi} = -0,08 \text{ m}$$

Id. vice Co

SET

$$A_{min1} = \frac{N_f \cdot e_{ax}}{(e_{ax} + e_{ax'}) f_c}$$

$$N_f = \frac{p_v'}{e_s - f_v'} \quad \text{B fig} \quad , \quad p = \frac{1}{6 v v'}$$

$f = \frac{1}{3}$ section rectangulaire

$$N_f = \frac{\frac{1}{3} \left(\frac{0,5}{2} \right)}{\left(-0,08 - \frac{1}{3} \times \frac{0,5}{2} \right)}$$

$$\times 0,5 \times 0,2 \times 2,1 = -0,107 \text{ k}$$

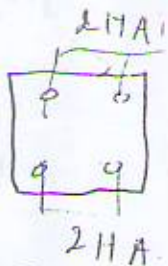
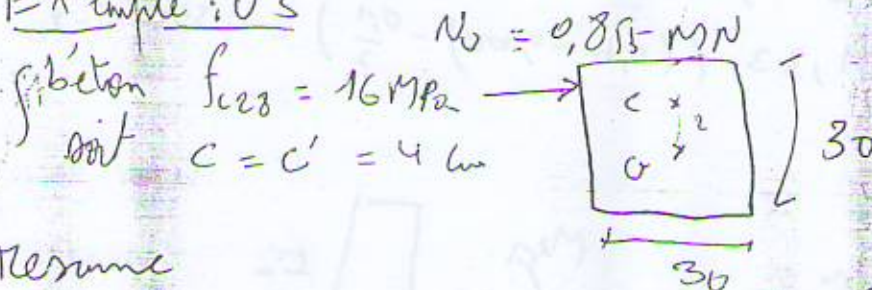
$$A_{min1} = \frac{0,107 \times 0,2}{(0,28 + 0,12) 400} = 0,8 \text{ cm}^2 < 2,26 \text{ cm}^2$$

$$A_{min2} = \frac{0,107 \times 0,28}{(0,28 + 0,12) 400} = 1,88 \text{ cm}^2 < 6,28$$

$$\frac{0,25 \times 0,12}{(0,45 - 0,05) \cdot 348} = 2,15 \text{ cm} \quad (2 \text{ HA } 12)$$

$$A_2 = \frac{0,25 \times 0,12}{(0,45 - 0,05) \cdot 348} = 5,03 \text{ cm}^2 \quad (2 \text{ HA } 20)$$

Exemple : 03



Resume

$$A = (0,337 h - 0,81 c') b h \cdot f_{bv}$$

$$f_{bv} = \frac{0,85 \times 16}{1,5} = 9,06$$

$$A = 0,056$$

$$M_{02} = N_0 \left(\frac{h}{2} - c + 0,02 \right) = 0,055 (0,15 - 0,04 + 0,02)$$

$$M_{02} = 0,11$$

$$\beta = 0,077$$

$$A < B \Rightarrow \text{S.E.C}$$

$$c = 0,084$$

$$B < c \Rightarrow A = 0 \quad A_s' = 0$$

$$\psi = 0,93$$

$$\epsilon_s' = 2,64 \cdot 10^{-3} \quad \sigma_s' = 348 \text{ MPa}$$

$$A_s' = 2,814$$

EX: A_{min} (CNF)

$$\begin{cases} M_{max} = 89,3 \text{ KN.m} \\ N_{max} = 114,3 \text{ KN} \quad (\text{traction}) \end{cases}$$

$$A_{min} = 0,23 \frac{f_{ct28}}{f_c} b \cdot d \frac{e_0 - 0,45d}{e_0 - 0,185d}$$

$$e_0 = \frac{|M_{max}|}{N_{max}} = \frac{89,3}{-114,3} = -0,77 < -(0,54 - \frac{0,6}{2})$$

$$C = 0,24$$

\Rightarrow don S.P.T

$$A_{min} = 0,23 \frac{2,1}{400} \times 25 \times 54 \frac{-0,78 - 0,45 \times 0,54}{-0,78 - 0,185 \times 0,54} = 1,8 \text{ cm}^2$$

EX 102

$$M_{UG} = 20 \text{ KN.m}$$

$$N_U = 250 \text{ KN} \quad (\text{tract})$$

idem q (11)

$$\text{soit } e = e' = 5 \text{ cm}$$

$$GC = e = \frac{50}{250} = -0,09$$

e étant à l'intérieur de la section \rightarrow SET

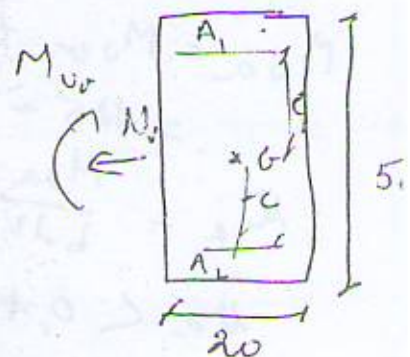
$$A_1 = \frac{N_U e_0}{(d - e') \sigma_s}$$

$$M_{UG} = A_1 \sigma_s (d - e') = N_U$$

$$e_{ax} = \frac{h}{2} - e' + e = 0,5 - 5 + 8 = 28 \text{ cm}$$

$$e_{ay} = \frac{h}{2} - 5 - 8 = 12 \text{ cm}$$

$$N_U \approx 348 \text{ MPa}$$



dimensionnement à l'ELUR en Fc

$$M_G = 125 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$N_G = 160 \text{ KN}$$

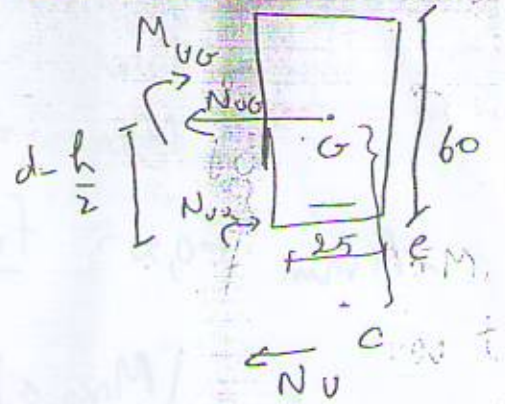
$$\text{béton } f_{c28} = 25 \text{ MPa}$$

$$\text{Acier HA Fe E 400 type 1}$$

fissuration peu nuisible

$$M_{ser} = 89,30 \text{ KN} \cdot \text{m}, N_{ser} = 114,30 \text{ KN}$$

$$G_c = \frac{M}{N} = \frac{125}{160} = 0,78$$



C étant à l'extérieur de la section \rightarrow SPC (SPT)
on calcule A_s et A'_s par assimilation F.S

$$M_{ua} = M_{Gc} + N_G \left(d - \frac{h}{2} \right) = 125 + 160 \left(0,4 \times 0,6 - \frac{0,6}{2} \right) = 86,6 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$\mu_a = \frac{M_{ua}}{b d^2 f_{b0}} = \frac{86,6 \cdot 10^{-3}}{0,25 \times (0,54)^2 \times 14,17} = 0,004$$

$$\mu_a < 0,186 \text{ domaine 1} \quad A'_s = 0$$

$$\xi_s = 10\% > \xi_{es} \Rightarrow \sigma_s = 348 \text{ MPa}$$

$$\alpha = \frac{1 - \sqrt{1 - 2\mu}}{0,8} = 0,11$$

$$\beta = 0,54 (1 - 0,4 \times 0,11) = 0,52$$

$$A_s = \frac{10^4}{348} \left(\frac{86,6}{0,52} - (-0,16) \right) = 9,4 \text{ cm}^2$$

KALEM

$$\text{soit } 2 \text{ HA } 16 + 2 \text{ HA } 20 / 10,3 \text{ cm}^2$$

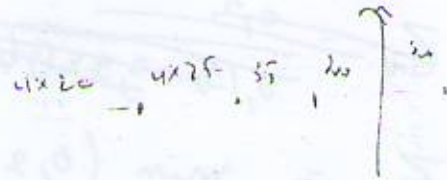
cond de non fiss

2/ hypothèse de Caquot étant justifiée donc en fait
la règle de Caquot

$$n = \frac{L}{z} = \frac{8}{2} = 4 \text{ m}$$

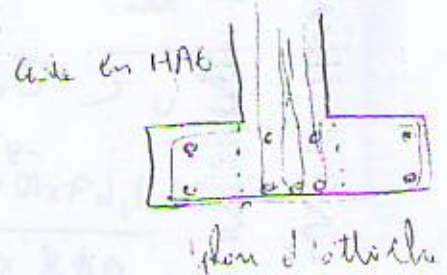
$$S_{\frac{L}{2}} = 5$$

$$5 + 4 \times 11 + 4 \times 13 + 4 \times 16 + 4 \times 20 + 4 \times 25 + 35 + 20$$



3/ selon tension

$$\sigma_u' = \frac{V_u}{0,9d} \cdot \frac{A_{s2}}{A_s} \cdot \frac{1}{h}$$



$$= \frac{0,35}{0,9 \times 0,69} \cdot \frac{4,02}{18,1} \cdot \frac{1}{0,13} = 0,98 \text{ MPa} < \bar{\sigma}_u = 3,33 \text{ MPa}$$

$$A_s > \frac{R_d S_r (\sigma_u' - \sigma_{u0})}{\left(\frac{f_c}{\gamma_s}\right) (\sin \alpha + \cos \alpha) \left(\frac{400}{1,15}\right) (0 + 1)} = \frac{2,13 \times 11 (0,98 - 0)}{\left(\frac{400}{1,15}\right) (0 + 1)} = 0,402$$

$$\text{soit } 2 \text{ HA6} = 0,57$$

$$Z_v = \frac{V_v}{b \cdot d}$$

$$Z_v = \frac{0,35}{0,18 \times 0,68} = 2,88$$

$$Z_v = \frac{0,3}{0,18 \times 0,68} = 2,72$$

$$Z_{v\text{adm}} = \min \left(0,2 \times \frac{25}{1,5} ; 5 \right) = (3,33, 5) = 3,33$$

$$Z_v < Z_{v\text{adm}}$$

$$A_c = 1,67$$

$$S_c \leq \frac{1,67 \times 10^4 \times 0,9 \times 400}{0,18 \times 1,5 (1,28 \times 1,3)} = 0,17$$

$$Z_v^r = \frac{V_v^r}{b \cdot d} = \frac{2 \times 0,5}{3 \times 0,174} = 0,95$$

$$Z_v^r = \frac{V_v^r}{b \cdot d} = \frac{0,5}{0,18 \times 0,68} = 2,45$$

$$S_{c1} \leq \frac{\phi_c \cdot A_c \cdot \min \left(\frac{24}{f_{ct}}, \frac{12}{f_{ct}}, 1,4 \right)}{b \cdot d_s (Z_v^r - 0,8 f_{ct} \cdot \pi)} = \frac{1,58 \times 0,9 \times 400 (1 + e)}{18 \times 1,5 (2,45 - 0,8 \times 1,4)}$$

$$\leq 11,20 \text{ cm}$$

$$S_{t2} \leq \min (0,9 \times 68, 40) = 40 \text{ cm}$$

$$S_{c3} \leq \frac{1,58 \times 400}{0,4 \times 18} = 87,8$$

donc $S_t \leq 11,2 \text{ cm}$ soit $S_t = 11 \text{ cm}$

$$\sigma_{bc} = \frac{2 \times 0,18}{0,56 \times 0,4} = 1,6 \text{ MPa} \leq \frac{0,8 \times 25}{1,5} = 13,33 \text{ MPa}$$

→ vérification de A_s inf

$$A_{s \text{ inf}} \geq \frac{V_0}{f_{ct}} = \frac{0,18}{348} \cdot 10^4 = 5,17$$

2 HA 16 + HA 20 = 6,47 suffisent pour équilibrer

V_0

* Calcul de longueur de scellement

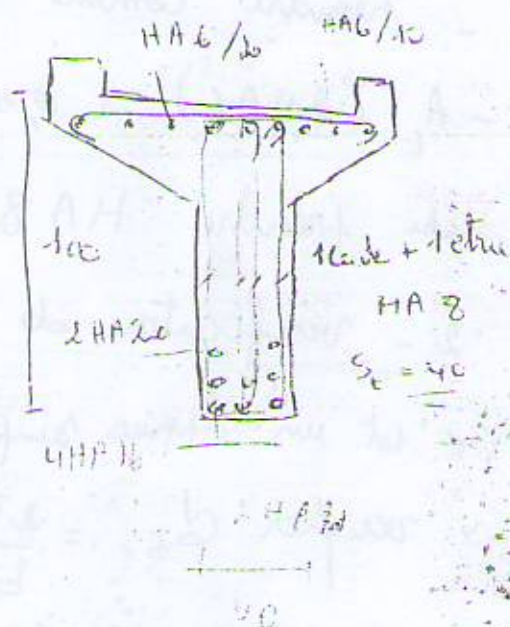
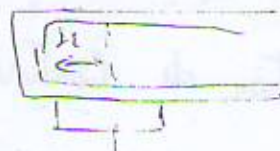
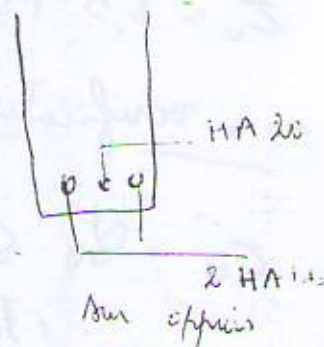
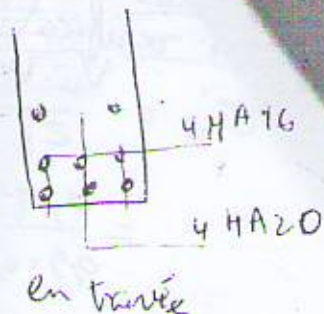
Nappes inf.

$$l_{a_{q_0}} = l_s - 24,69 \phi = (35 - 24,69) \phi = 10,31 \phi > a_{\min}$$

$$l_{a_{q_0}} (\phi_{20}) = 22 \text{ cm}$$

Nappes sup.

$$l_{a_{q_0}} (\phi_{14}) = 14 \times 1,4 \approx 16$$



1. verification du plan d'attache console - âme

1. verification de τ_v

$$\tau_v = \frac{V_0 \cdot b_1}{2 b h_0} = \frac{V_0 (b - b_n)}{2 b} \cdot \frac{1}{h_0}$$

$$= \frac{0,18}{0,9 \times 0,9} \cdot \frac{(2 - 0,4)}{2 \times 2} \cdot \frac{1}{0,12} = 0,74 \text{ MPa} < \bar{\tau}_v$$



$$\bar{\tau}_v = 2,5 \text{ MPa}$$

1. verification de la règle des coutures

$$\tau_v - \sigma_v \leq A_t \cdot \frac{f_c}{\gamma_s} \cdot \frac{(\sin \alpha + \cos \alpha)}{h_0 \cdot S_c}$$

$$S_c \leq \frac{A_t \cdot \left(\frac{f_c}{\gamma_s} \right) (\sin \alpha + \cos \alpha)}{h_0 (\tau_v - \sigma_v)} = \frac{0,28 \left(\frac{400}{1,5} \right) (\sin 90 + \cos 90)}{0,12 (0,74 - 0)} = 10,91$$

↳ l'armature de la flexion local ne peut pas remplir la fonction de couture → la solution

- prendre comme armature de flexion local HA6/10a

$$A_t (2HA6) = 0,57 \text{ cm}^2 \rightarrow S_c \leq 22 \text{ cm}$$

- ou prendre HA8

2. verification de la zone d'apuis

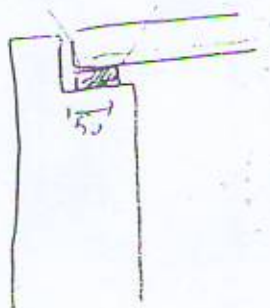
c'est un appui simple

$$\rightarrow \text{verifier } G_{bc} = \frac{2 V_0}{b_0 a} \leq 0,8 \frac{f_{cs}}{\gamma_b}$$

$$a = 50 + 2 \times 3 = 56 \text{ cm}$$

$$\frac{3,75 \times 0,18}{0,4 \times 25} \leq 0,56 \leq 0,9 = 0,9$$

$$0,0675 \leq 0,56 \leq 0,81$$



$$S_{t1} \leq \frac{2,01 \times 0,9 \times 400 \left(\cos \frac{\pi}{2} + \sin \frac{\pi}{2} \right)}{40 \times 1,15 (0,45 - 0,3 \times 2,1 \times 1)} \leq 0 \quad (\text{non})$$

\Rightarrow ~~min~~ min disposition constructive

$$S_{t2} \leq \min [0,9d, 40 \text{ cm}] = 0,4 \text{ m}$$

$$S_{t3} \leq \frac{2,01 \times 1100}{0,4 \times 0,4} \quad s = 50,25 \text{ cm}$$

donc $S_t = 40 \text{ cm}$

répartition des cadres le long de la poutre.

$S_r = 40 \text{ cm}$ espacement maintenu le long de la poutre

de l'armature transversale

choix

soit d'une armature transversale droite
choisir un cadre + un triers (selon la
disposition de l'armature longitudinale)



choix de diamètre $\phi_t \leq \min \left(\frac{100}{35}, \frac{40}{10}, 1,4 \right)$

$$\phi_t \leq 1,4 \text{ cm}$$

$$\text{soit } \phi_t = 8$$

calcul de l'espacement du cadre au voisinage de l'appui

→ S_t (mécaniquement nécessaire)

$$S_t \leq \frac{A_t \cdot 0,9 f_c (\cos \alpha + \sin \alpha)}{b \cdot \sigma_s (\tau_u - 0,3 f_{yk})}$$

τ_u la contrainte de cisaillement réduite

$$\tau_u = \frac{U_d^r}{b \cdot d}$$

$$U_d^r = 180,225 - \frac{36,045 \times 1}{2} = 162,2 \text{ kN}$$

$$\tau_u = \frac{162,2 \times 10^3}{0,4 \times 0,9} = 0,45 \text{ MPa}$$

$$A_t = 2,01 \text{ cm}^2 \quad \text{section de } 4 \phi 8$$

$$\alpha = \frac{\pi}{2}$$

$$K = 1$$

$$I_b = 0,4 \cdot \frac{1}{3} + (2-0,4) \frac{(0,1)^3}{3} = \cancel{0,466} \text{ or } \cancel{0,1778} \quad 0,062$$

$$v = \frac{0,4 \times 1 + (2-0,4) \cdot (0,1)}{2 [0,4 \times 1 + (2-0,4) \cdot 0,1]} = \cancel{0,44} \quad 0,371$$

$$v' = 1 - 0,44 = \cancel{0,56} \quad 0,628$$

$$A_{\min} = \frac{\cancel{0,66 \times 2,1}}{0,81 \times 1 \times 0,44 \times 400} = \cancel{9,42} \cdot 10^{-4}$$

$$A_{\min} = \frac{\cancel{0,1778 \times 2,1}}{0,81 \times 1 \times \cancel{0,56} \times 400} = \cancel{20,57} \cdot 10^{-4}$$

$$A_{\min} = 6, \text{ cm}$$

$$A_s > 19,03 \text{ cm}$$

Choix d'armature

4 HA 16

4 HA 20

$$\underline{20,61 \text{ cm}^2}$$

Calcul d'armature transversale

$$\tau_{v \max} = \frac{V_v^{\max}}{b_0 d}$$

$$V_v^{\max} = q_v \frac{l}{2} = 36,045 \cdot \frac{10}{2} = 180,225 \text{ kN}$$

$$\tau_{v \max} = \frac{180,225 \cdot 10^{-3}}{0,4 \times 0,9} = 0,5 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v \text{ adm}} = \min \left(0,15 \cdot \frac{25}{1,5}, 4 \right) = \min (2,5, 4) = 2,5$$

Donc on a $\tau_{v, \max} < \tau_{v \text{ adm}}$

(201)

statique équivalent de la poutre :

$$(0,4 \times 1) \times 2,5 =$$

$$q_2 = 2 \left[\frac{0,12 \times 0,08}{2} \times 0,8 \right] 2,5 =$$

$$q_3 = 2 \left[(0,1 \times 0,11) \times 2,5 \right] =$$

$$q_4 = 0,2 \text{ KN/ml}$$

$$q_5 = 1,8 \times 1 = 1,8 \text{ KN/ml}$$

$$q_6 = 16,7 \text{ KN/ml}$$

$$q_8 = 1,8 \times 5 = 9 \text{ KN/ml}$$

$$q_{\text{sur}} = 16,7 + 9 = 25,7 \text{ KN/ml}$$

$$q_{\text{alt}} = 1,35(16,7) + 1,5(9) = 36,045 \text{ KN/ml}$$

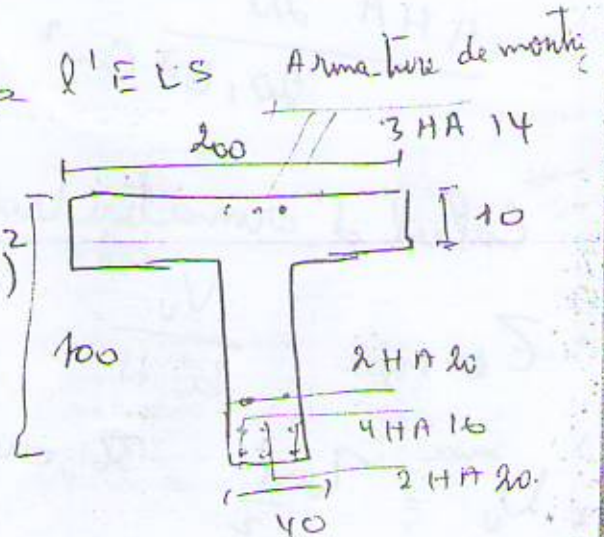
$$M_{\text{sur}} = 25,7 \frac{(10)^2}{8} = 321,25 \text{ KN.m}$$

$$M_{\text{alt}} = 36,045 \cdot \frac{(10)^2}{8} = 450,562 \text{ KN.m}$$

fixe préjud \rightarrow dimensionnement à l'E.L.S

$$M_{bt} = \frac{201,63}{30} \left(\frac{0,9 \times 1 - \frac{0,1}{3}}{(0,9 - 0,1) \frac{8}{3}} \right) \times 2 \times (0,1)^2$$

$$= 0,145 \text{ MN}$$



$$M_{\text{sur}} > M_{bt}$$

$$z \leq 0,94 \times 0,9 = 0,846$$

$$z = 0,93 \times 0,9 = 0,837$$

$$A_{\text{sur}} = \frac{321,25}{0,837 \times 201,63} = 19,035$$

$$A_{\text{min}} =$$

Aer

$$\overline{M}_1 = \frac{1}{2} \times 1 \times 15 \times 0,089 = 0,6675 \text{ MN} = 667,5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{min}} < M_1$$

$$\overline{z} = \min(0,089, 0,168) = 0,089$$

$$A_{\text{ser}} = \frac{2,608 \cdot 10^{-3}}{0,089 \times 201,63} = 0,145 = 1,45 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 2,608$$

$$A_{\text{min}} = \frac{0,23 \times 2,1}{400 \times 1 \times 0,9 \times 0,12} = 0,01$$

$$A_{\text{min}} = 0,23 \frac{2,1}{400} \times 0,9 \times 0,12 \times 1 = 1,3 \text{ cm}^2$$

$$\text{choix des barres } 6 \text{ HA } 6 = 1,7 \text{ cm}^2$$

armature long transversale

$$\frac{V_u}{V_{u, \text{max}} b \cdot d}$$

$$V_{u, \text{max}} = 9_{\text{max}} l + l_{\text{max}}$$

$$V_{u, \text{max}} = 2,5 \times 0,8 + 1 \times 0,7 + 0,25 + 0,2 = 3,15 \text{ kN}$$

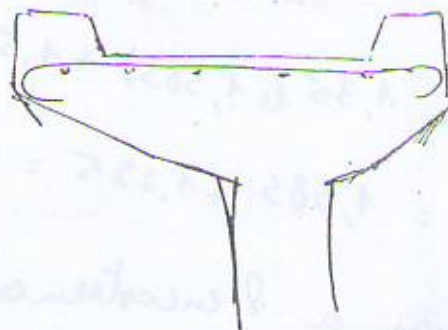
$$V_{Q_B, \text{max}} = 5 \times 0,7 = 3,5 \text{ kN}$$

$$V_{u, \text{max}} = 1,35 (3,15) + 1,5 (3,5) = 9,5 \text{ kN}$$

$$\tau_{u, \text{max}} = \frac{9,5 \cdot 10^{-3}}{1 \times 0,108} = 0,088 \text{ MPa}$$

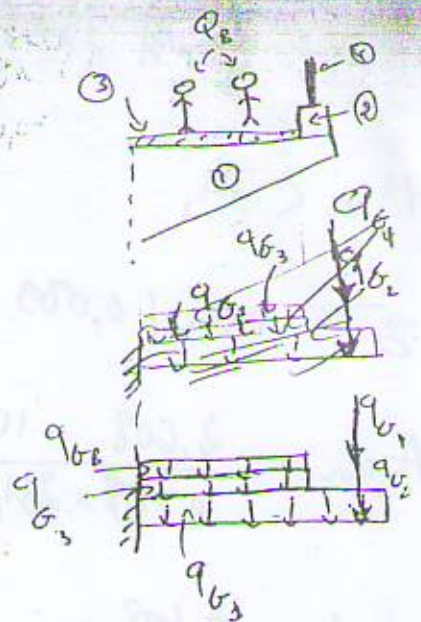
$$\tau_u = 0,07 f_{cs} / \gamma_b = \frac{0,07 \times 25}{1,5} = 1,17 \text{ MPa}$$

$$\tau_{u, \text{max}} < \tau_u \text{ on n'a pas besoin d'armature transversale}$$



calcul pour 1 ml

$$\left[\frac{0,8 \times 0,12}{2} \times 0,8 \times 1 \right] \times 25 / 0,8 = 2,5 \text{ KN/ml}$$



$$G_2 = (0,1 \times 0,1 \times 1) 25 = 0,25 \text{ KN}$$

$$G_3 = \frac{(0,7 \times 1 \times 1)}{0,7} = 1 \text{ KN/ml}$$

$$G_4 = 0,2 \text{ KN/ml}$$

$$q_{G5} = 5 \text{ KN/ml}$$

1 max. = l'encastrement

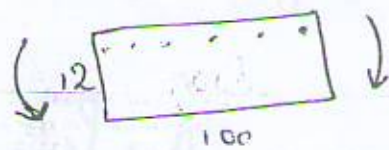
$$q_{G6}^{\text{max}} = q \frac{l^2}{2} + Pl = 2,5 \frac{(0,8)^2}{2} + \frac{1 \times (0,7)^2}{2} + (0,15 + 0,2) 0,75 = 1,383 \text{ KN.m}$$

$$q_{G6}^{\text{max}} = 5 \frac{(0,7)^2}{2} = 1,225 \text{ KN.m}$$

$$M_{G6}^{\text{max}} = 1,35 (1,383) + 1,5 (1,225) = 3,704 \text{ KN.m}$$

$$M_{G6} = 1,383 + 1,225 = 2,608 \text{ KN.m}$$

la section a l'encastrement



formulation préjudiciable \rightarrow dimensionnement a l'Els

$$\sigma_{bc} = 0,6 \times 25 = 15 \text{ MPa}$$

$$G_{sr} = \min \{ 266,67, 201,63 \} = 201,63$$

$$e = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 201,63} \times 0,9 \times 0,12 = 0,0449 \text{ m}$$

$$z = 0,9 \times 0,12 - \frac{0,0449}{3} = 0,089 \text{ m}$$

(A)

$$\mu > 0,186$$

$$\varepsilon_s = 8,20 \cdot 10^{-3}$$

$$\sigma_s = 348$$

$$A_s = \frac{0,7}{0,475 - 348 \cdot 10^{-3}} = 42,34 \text{ cm}^2$$

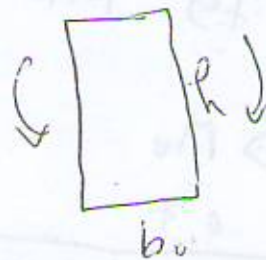
$$\phi \text{ HA } 25 / 44,18$$

EX: 08

idem que l'exo 7 sauf

$$\begin{cases} M_u = -0,7 \text{ MN} \cdot \text{m} \\ M_{ser} = -0,5 \text{ MN} \cdot \text{m} \end{cases}$$

elle se calcule de rectangle



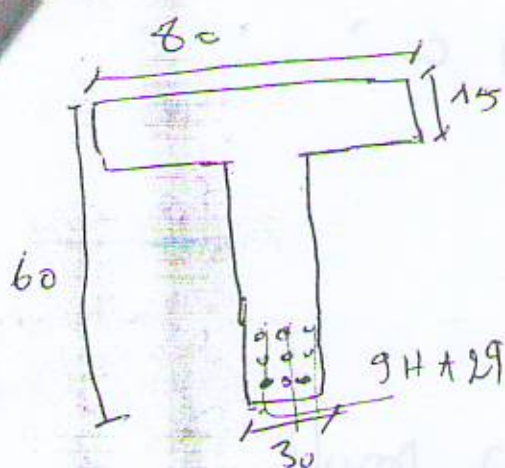
l'armature se distribue dans l'âme



EX 09 : idem que l'exo 7 sauf $f_{ce} = 22 \text{ MPa}$

107

Dimensionnement d'une section en T à l'ELUR



$$\begin{cases} M_0 = 0,7 \text{ MN} \cdot \text{m} \\ M_{\text{ser}} = 0,5 \text{ MN} \cdot \text{m} \end{cases}$$

$$\begin{cases} f_{c20} = 25 \text{ MPa} \\ \text{Aciers HA Fe E 400 type 1} \\ f_{\text{issu}} \text{ peu nuisible} \end{cases}$$

$$M_t = 0,8 \times 0,15 \times 14,17 \left(0,9 \times 0,6 - \frac{0,15}{2} \right) \quad f_{bc} = 14,17$$

$$= 0,79 \text{ MN} \cdot \text{m}$$

$$M_t > M_0$$

$$\mu = \frac{0,7}{0,8 \times (0,54)^2 \times 14,17} = 0,211$$

$$\rho = \frac{M_0}{M_{\text{ser}}} = \frac{0,7}{0,5} = 1,4$$

$$\begin{cases} \mu_c = 0,459 \\ \mu_c = 0,299 \end{cases}$$

$$\mu < \mu_c$$

$$\alpha = \frac{1 - \sqrt{1 - 2(0,211)}}{0,8} = 0,299$$

$$z = 0,9 \times 0,6 (1 - 0,4 (0,299)) = 0,475$$

$$M_c = A$$

$$M_c = M_d \cdot \frac{\mu_c}{\mu} = 364,51 \cdot \frac{0,3202}{0,353} = 330,74$$

$$A'_s = \frac{364,51 - 330,74}{(0,9 \times 0,6 - 0,04) \times 348 \cdot 10^3} = 1,96 \cdot 10^{-4}$$

$$= 1,96 \text{ cm}^2$$

$$2 \text{ HA } 12 = 2,26$$

$$A_s = \left[\frac{364,51 - 330,743}{0,9 \times 0,6 - 0,04} + \frac{330,743}{0,432} \right] \cdot \frac{1}{348 \cdot 10^3} = 23,94 \text{ cm}^2$$

$$= 24 \text{ cm}^2$$

$$4 \text{ HA } 25 \quad 2 \text{ HA } 20 \quad / \quad 25,91 \text{ cm}^2$$

2 HA 12

2 HA 20

4 HA 25



E X 1 0 6 verification des contraintes à l'ELS vis-à-vis la durabilité

Dimensionnement de L'ELUR
idem que l'exo 1 (μ_c)

$$\begin{cases} M_u = 364,51 \text{ kN.m} \\ M_{ser} = 249,59 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \text{Béton } f_{c28} = 25 \text{ MPa} \\ \text{Aciers HA Fe E400 type 1} \\ \text{Ferraillage minime} \end{cases}$$

$$\begin{cases} f_{bu} = 14,17 \\ \mu = 0,353 \end{cases}$$

$$\beta = \frac{M_u}{M_{ser}} = \frac{364,51}{249,59}$$

$$c' = 4 \text{ cm}$$

$$\mu > \mu_c$$

$$\Rightarrow \alpha_c = 0,9 \times 0,6 (1 - 0,4 (0,5003)) = 0,432 \text{ m}$$

$$\epsilon_s = 3,5 \cdot 10^{-3} \left(\frac{1}{0,5003} - 1 \right) = 3,49 \cdot 10^{-3}$$

$$\sigma_s = 348 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_s' = \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{0,5003} \cdot \frac{0,9 \times 0,6 - 0,04}{0,9 \times 0,6} = 3,49 \cdot 10^{-3}$$

$$\epsilon_s' = 2,98 \cdot 10^{-3}$$

$$\sigma_s' = 348 \text{ MPa}$$

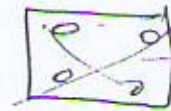
pour EX.03

$$s = 2,14 \text{ cm}^2 \quad \text{soit } 2H12 = 2,26 \text{ cm}^2$$

$$A_{\min} = \max(4 \text{ cm}^2/\text{ml}, 0,2\% B) = \max(4 \text{ cm}^2/\text{ml} \times 0,3, 0,2 \frac{0,3 \times 0,3}{100-8})$$

$$= 4,8 \text{ cm}^2$$

il faut assurer le 4 cm pour force



4H4/4

$$= 6,16 \text{ cm}^2$$

EX:04

M_t

$$M_{oa} > M_t$$

