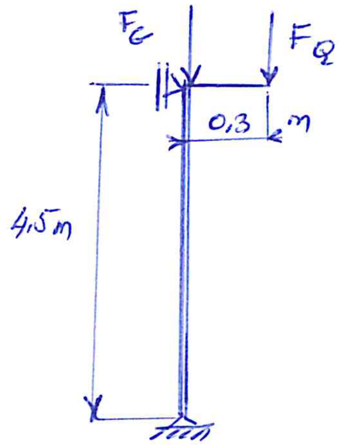
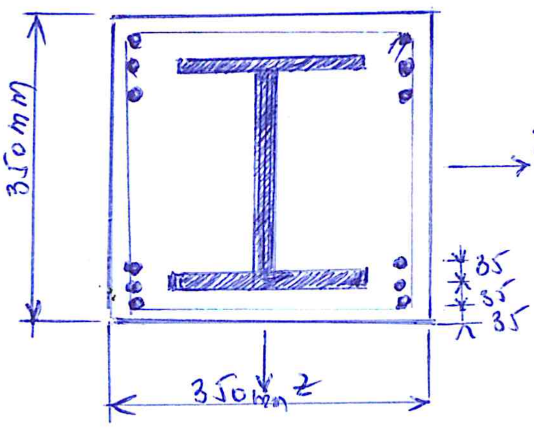
Université Batna 2.
Faculté de Technologie
Département de G.C.
Module CMM - Mast - 1.

- Calcul d'un Poteau Mixte Acier - Béton

Soit un poteau mixte acier-béton soumis à un effort de compression axial et à un moment uni-axial produit par la surcharge d'exploitation excentrée.





1/ Actions en jeu.

- charge Permanente $= F_G = 3510$ KN
- Surcharge d'exploitation $F_Q = 1965$ KN

2/ Béton d'enrobage et armatures et Profilé

$c_z = (350 - 220)/2 = 65$ mm

$40\,mm < c_z < 0.3h = 66$ mm

$c_z > b/6 = 3.4$ mm

$c_y = (350 - 206)/2 = 72$ mm

$40\,mm < c_y < 0.4b = 82.4$ m

- Armature $\phi 16$ - S500
- Béton C40 -
- Profilé HE 200M $F_e E 355$

- 3/ Calculs préliminaires

3.1- Aires des sections transversales.

$A_a = 131.0\ cm^2$, $A_s = 24.1\ cm^2$, $A_c = (35)^2 - (131 + 24.1) = 1069.9\ cm^2$

3.2- Pourcentage d'armatures $= A_s/A_c = \dfrac{24.1}{1069.9} = 2.25\% < 4\%$

3.3. Moment d'inertie =

- Axe y = $I_a = 1.064 \times 10^4\ cm^4$

$I_s = 24.1\,(0.14^2 + 0.105^2 + 0.07^2)/3 = 0.285 \times 10^4\ cm^4$

$I_c = \dfrac{35^4}{12} - 1.064 - 0.285 = 11.156 \times 10^4\ cm^4$

- Axe z - $I_a = 0{,}365 \times 10^4\ cm^4$

$I_s = 24{,}1 \times 0{,}14 = 0{,}472 \times 10^4\ cm^4$

$I_c = 35^4/12 - 0{,}365 - 0{,}472 = 11{,}668 \times 10^4\ cm^4$

4- Valeurs de Base pour les Calculs

- Resistances caracteristiques : $f_y = 355\ MPa = 35{,}5\ KN/cm^2$

$f_{sk} = 500\ MPa = 50{,}0\ KN/cm^2$

$f_{ck} = 40\ MPa = 4{,}00\ KN/cm^2$

- Resistance de Calcul

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_a} = \frac{35{,}5}{1{,}1} = 32{,}27\ KN/cm^2$$

$$f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} = \frac{50{,}0}{1{,}15} = 43{,}48\ KN/cm^2$$

$$f_{cd} = \alpha \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0{,}85\ \frac{4{,}0}{1{,}5} = 2{,}27\ KN/cm^2$$

- Modules d'Elasticité

$E_a = 200\ 000\ MPa = 21\ 000\ KN/cm^2$

$E_s = 200\ 000\ MPa = 21\ 000\ KN/cm^2$

$$E_{cd} = \frac{0{,}8\ E_{cm}}{1{,}35} = 0{,}8\ \frac{35\ 000}{1{,}5} = 20\ 740\ MPa$$

5- Resistance Plastique de la Section sous Charges axiales

> Profilé = $N_{a,Rd} = A_a \cdot f_y = 131{,}0 \times 32{,}27 = 4227{,}4\ KN$

> béton = $N_{c,Rd} = A_c \cdot f_{cd} = 1069{,}9 \times 2{,}27 = 2428{,}7\ KN$

> Armatures = $N_{s,Rd} = A_s \cdot f_{sd} = 24{,}1 \times 43{,}48 = 1047{,}9\ KN$

D'où $N_{pl.Rd} = N_{a,Rd} + N_{c,Rd} + N_{s.Rd}$

$= 4227{,}4 + 2428{,}7 + 1047{,}9 = 7704\ KN.$

6- Parametres de la section transversale δ- (resistance)

$$\delta = \frac{N_{a.Rd}}{N_{pl.Rd}} = \frac{4227{,}4}{7704} = 0{,}55 \Rightarrow 0{,}2 < \delta < 0{,}9$$

7 - Etude du Flambement = on doit le prévoir en compte de l'axe faible du poteau.

7.1 - Actions de Calcul

> $N_{sd} = 3510 + 1965 = 5475$ KN.

7.2 - Rigidité efficace

$$(EI)_e = E_a I_a + E_c I_c + E_s I_s$$
$$= 21000 \times 0.365 + 2074 \times 11.668 + 20000 \times 0.472$$
$$= 41304 \text{ KN.m}^2$$

7.3 - Elancement réduit

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 (EI)_e}{l_f^2} = \frac{\pi^2\, 41304}{4.5^2} = 20131.1 \text{ KN.}$$

$$N_{pl.Rd} = A_a . f_y + A_c . \alpha f_{ck} + A_s f_{sk}$$
$$= 131.0 \times 35.5 + 1069.9 \times 0.85 \times 4.0 + 24.1 \times 50.0$$
$$= 9493.2 \text{ KN.}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl.Rd}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{9493.2}{20131.1}} = 0.688$$

7.4 - Resistance du poteaux aux charges axiales

soit χ coeff. de reduction de l'effort axial

tel que $\chi = 0.732$.

d'où $N_{Rd} = \chi\, N_{pl.Rd} = 0.732 \times 7704 = 5639$ KN.

$N_{Rd} = 5639 \text{ KN} > N_{sd} = 5475.0$ KN.

8 - Calcul de la flexion selon l'axe fort

8.1 - Action de Calcul :

$N_{sd} = 5475.0$ KN

$M_{sd} = N_{sd} \times e = 240 \times 0.3 = 72.$ KN.m

8.2 Rigidité efficace $= 21000 \times 1.064 + 2074 \times 11.156 + 20000 \times 0.285$
$= 51182$ KN. m²

8.3 - Elancement réduit

$$N_{cr} = \frac{\pi^2\, 51182}{4.5^2} = 24945.5\,KN$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{9493.2}{24945.5}} = 0.617$$

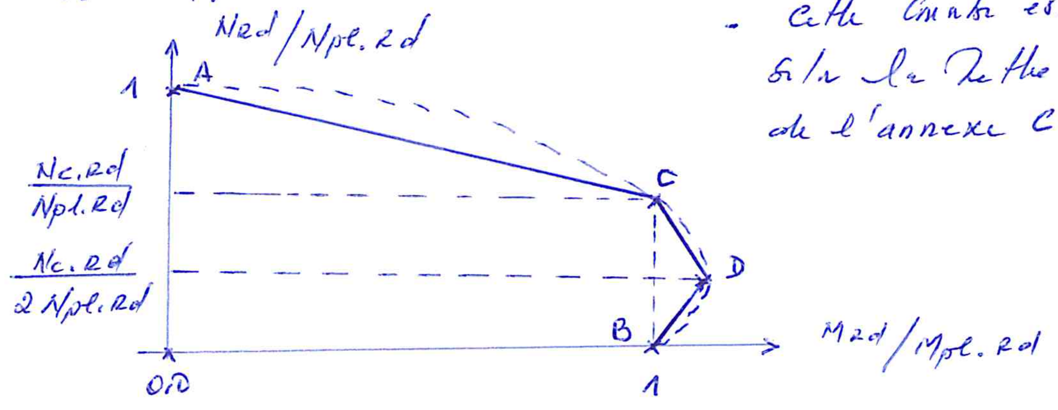
8.4 - Resistance du poteau aux charges axiales

$\chi = 0.828 \Rightarrow N_{Rd} = 0.828 \times 7730.4 = 6378.4\,KN$

9 - Courbe d'interaction de la section transversale

La courbe d'interaction est un outil de verification des sections vis à vis de l'interdependance de l'effort normal et le moment de flexion. La verification à l'effort normal et à la flexion separemment ne suffit pas dans la majorité des cas.

Pour cela on trace une courbe d'interaction N - M.



- cette Courbe est tracé selon la methode de l'annexe C - EC4

- a/ Determination du point D

$$N_D = \frac{N_{c,Rd}}{2} = \frac{N_{pm.Rd}}{2} = \frac{2428.7}{2} = 1214.3\,KN$$

Le moment M_D se determine à partir des caracteristiques de la section

> Module Plastique du profilé (acier).

$$W_{pa} = b \cdot t_f (h - t_f) + t_w (h - 2t_f)^2 / 4$$

$$= 20.6 \times 2.5 \times (22 - 2.5) + 1.5 (22.0 - 5.0)^2 / 4$$

$$= 1113 \ cm^3 = 11.13 \ cm^3$$

> Module plastique des armatures

$$W_{ps} = \sum_{i=1}^{n} A_{si} \cdot Z_i = 2 \times 4 (0.14 + 0.105 + 0.07) = 2.52 \ cm^2 \cdot m$$

où $4.0 \ cm^2 = A_{si}$ = Aire d'une rangée d'armature

> Béton = $W_{pc} = \frac{b_c \cdot h_c^2}{4} - W_{pa} - W_{ps}$

$$= \frac{0.35 \times 35^2}{4} - 11.13 - 2.52 = 93.54 \ cm^2 \cdot m$$

Ainsi le moment maximum $M_D = M_{max,Rd}$ de la courbe d'interaction est =

$$M_D = W_{pa} \cdot f_{yd} + \left(\frac{1}{2}\right) W_{pc} f_{cd} + W_{ps} f_{sd}$$

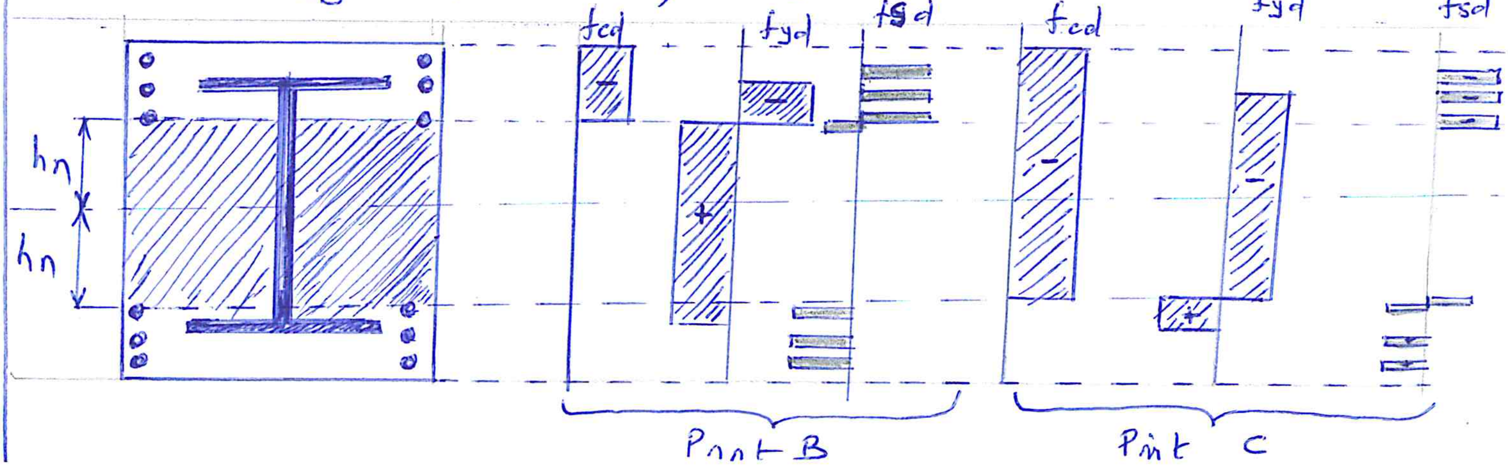
$$= 11.13 \times 32.27 + \frac{1}{2} 93.54 \times 2.27 + 2.52 \times 43.48$$

$$= 574.9 \ KN \cdot m$$

b/ Détermination des points B et C.

Pour cela, l'axe neutre est situé dans la semelle

$N_B = 0.0$; $N_c = N_{cRd} = 2428.7 \ KN$



- on suppose donc que l'axe neutre tombe dans la semelle :

$$h_n < (h - 2t_f)/2 = 7.8 \text{ cm}$$

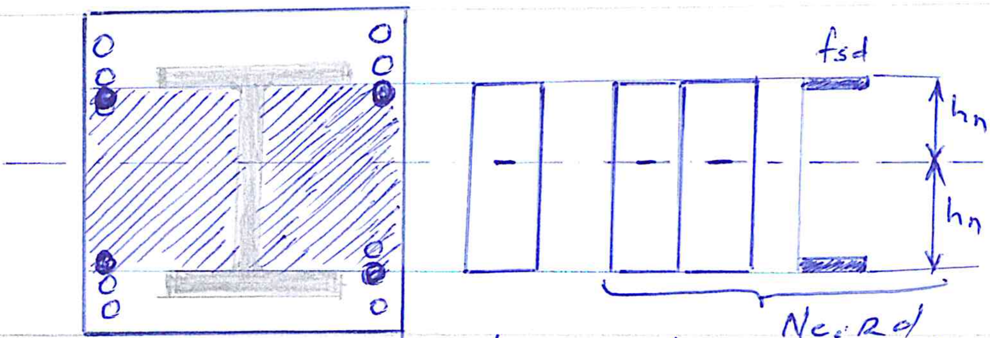
- on suppose aussi que la quantité d'armature située à l'intérieur de la région de hauteur $2h_n$ est :

$n_n = 4 \Rightarrow$ avec une seule rangée d'aire $A_{s,1} = 4 \text{ cm}^2$

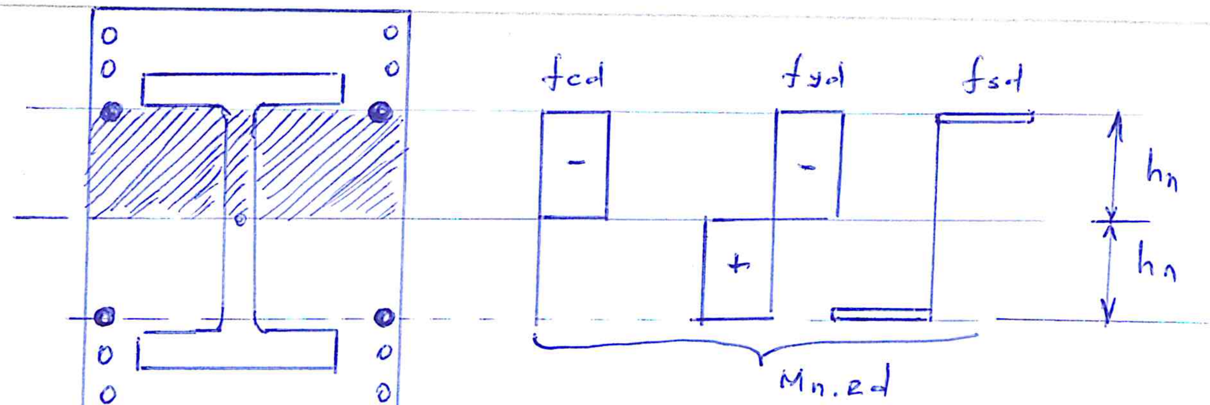
$$h_n = \frac{N_{c,Rd} - n_n \times A_{s1}(2f_{sd} - f_{cd})}{2\{(b_c \times f_{cd} + t_w(2f_{yd} - f_{cd})\}}$$

$$= \frac{2428.7 - 0.4 \times 4.0(2 \times 43.48 - 2.27)}{2\{(35{,}0 \times 2.27 + 1.5(2 \times 32.27 - 2.27)\}}$$

$$= 6.6 \text{ cm} < 7.8 \text{ cm}$$



Resistance plastique de calcul à la flexion $M_{n,Rd}$ de la section de hauteur $2h_n$



$W_{pan} = t_w \cdot h_n^2 = 1.5 \times (6.6)^2 = 0.65\ cm^3 \times 10^2$

La Distance de l'axe passant par le c.d.g. de la section au lit d'armature de la région de hauteur $2h_n$ est supposé $e_n \simeq 6.4$ cm.

D'où $W_{psn} = n_n \cdot A_{s1} \cdot e_n = 0.4 \times 4 \times 0.064 = 0.1\ cm^2 \cdot m$
$= 0.1 \times 10^2\ cm^3$

$W_{pcn} = b_c h_n^2 - W_{pan} - W_{psn}$

$= 35 \times (6.6)^2 - 0.65 - 0.10 = 14.50\ cm^2 \cdot m = 14.5\ 10^2\ cm^3$

- $M_{n.Rd} = W_{pan} \times f_{yd} + \frac{1}{2} W_{pcn} f_{cd} + W_{psn} f_{sd}$

$= 0.65 \times 32.27 + \frac{1}{2} \times 14.5 \times 2.27 + 0.10 \times 43.48$

$= 41.8$ kN.m

- $M_{pl.Rd} = M_B = M_C = M_D - M_{n.Rd} = 574.9 - 41.8$

$= 533.1$ kN.m

10. Tracé de la Courbe d'interaction par la flexion S/r l'axe fort.

> Les Points du Tracé

- $\dfrac{N_A}{N_{pl.Rd}} = 1.0$; $\dfrac{M_A}{M_{pl.Rd}} = 0.0$

- $\dfrac{N_B}{N_{pl.Rd}} = 0.0$; $\dfrac{M_B}{M_{pl.Rd}} = 1.0$

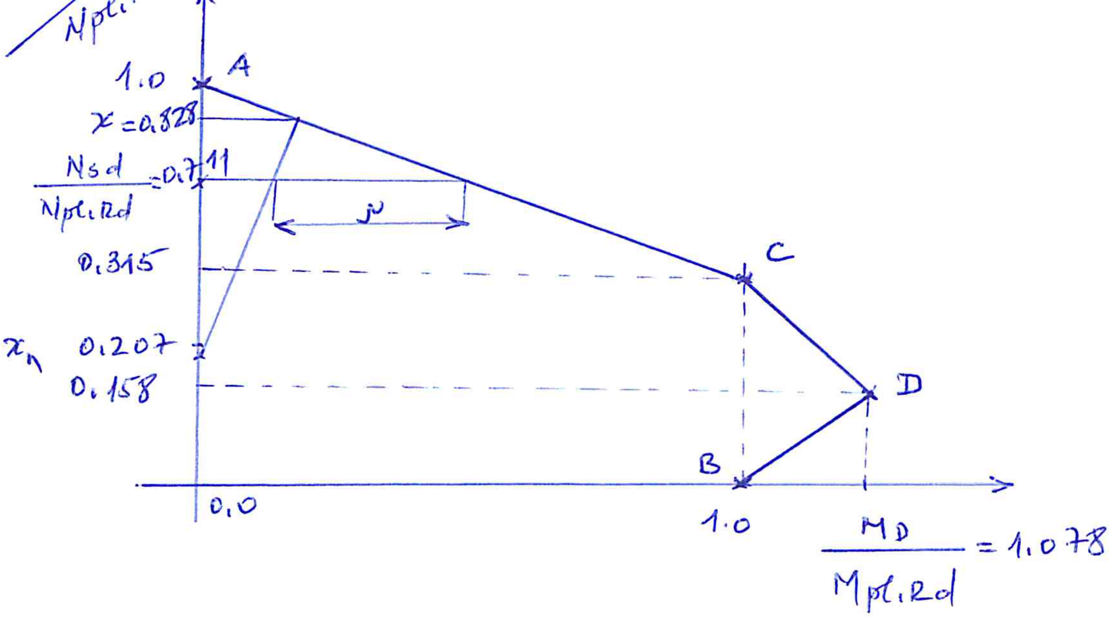
- $\dfrac{N_C}{N_{pl.Rd}} = \dfrac{2428.7}{7703.4} = 0.315$, $\dfrac{M_C}{M_{pl.Rd}} = 1.0$

• $\frac{N_D}{N_{pl.Rd}} = \frac{1214.3}{7703.4} = 0.158$; $\frac{M_D}{M_{pl.Rd}} = \frac{574.9}{533.1} = 1.078$

• $\frac{N_{sd}}{N_{pl.Rd}} = \frac{5475.0}{7703.4} = 0.711$.

$$x_n = x\,\frac{1-r}{4} = 0.828\,\frac{1-0}{4} = 0.207$$

où r = rapport le plus petit au plus grand moment d'extrémité



11- Moment interne

* Distribution du Moment Msd sans effet du 2nd ordre.

$M_{sd} = 72.0$ kN.m

* Valeur de Calcul du Moment fléchissant

La reglementation nous permet d'utiliser un coeff. d'amplification k pour tenir compte des effets du 2e ordre tel que :

$$k = \frac{\beta}{1-\frac{N_{sd}}{N_{pl.Rd}}} = \frac{0.66}{1-\frac{5475.0}{24945.0}} = 0.845 < 1.0$$

Avec : $\beta = 0.66 + 0.44\,r$, avec $\beta \geq 0.44$ et $k \geq 1.0$

où $r = 0$ et $\beta = 0.66$

Les moments du 2e ordre n'ont aucune influence.

$$M_{sd} = 72.0 \text{ KN.m}$$

12 - Resistance en compression et flexion uniaxiale

La courbe d'interaction montre que

$$\mu = 0.157$$

$$M_{sd} = 72.0 \text{ KN.m} < 0.9 \times 0.157 \times 533.1 = 73.3 \text{ KN.m}$$