

Université de Batna 2 -

- Chahid Mustafa Semboulid.

Faculté de Technologie

Département de C.C

- Module = structure mixtes = Acier - béton
Master 1 - structures mixtes.
Module associé par Mr. T. Bouzid.

- Poteaux mixtes soumis à des sollicitations combinées

1. Introduction = Les poteaux en général et les poteaux mixtes acier - béton sont des éléments de structures verticales inamovibles dans les bâtiments et autres constructions civiles - leurs comportements sous l'effet des différents chargés aux quels ils sont soumis obligent l'ingénieur civil à prendre des précautions qui ont parfois entraîné au fil du temps la structure dans son ensemble présente le plus haut degré de sécurité comme le prévoit les différents règlements et codes en vigueur.

Dans ce chapitre, nous allons aborder le comportement des poteaux mixtes sous l'effet des charges combinées à savoir effets, normal et moments de flexion uniaxial ou bi-axial. Il va de soi que dans ce chapitre, il sera également traité de l'interaction effet normal - moment de flexion; comportement que peu d'ingénieur prennent en compte lors des différents vérifications des poteaux qu'ils soient en béton ou en acier.

2. Poteaux mixtes soumis à des sollicitations combinées -

2-1 - Méthode générale - vérifications.

Dans le calcul et la vérification de ce type

de sollicitation, il faut faire un certain nombre de vérifications.

- > vérification des limites d'applicabilité de la méthode simplifiée,
- > vérification de l'enrobage,
- > vérification du vilement des éléments en acier,
- > vérification de l'application de charge et du cisaillement longitudinal,
- > influence des effets du 2^e ordre,
- > vérification de l'interaction moment fléchissant et effort normal M-N.

2-2 - poteaux sollicités par un effort axial de compression et un moment fléchissant uni-axial.

$$\begin{cases} 0 & \left[-N_{x, sd} \text{ et } M_{y, sd} \right. \\ \text{ou } 0 & \left[N_{x, sd} \text{ et } M_{z, sd} \right. \end{cases}$$

- Dans ce cas, il faut vérifier la résistance de la section du poteau =

$$N_{x, sd} \leq N_{pl, Rd}$$

$N_{pl, Rd}$ = valeur de calcul de la résistance plastique à la compression de la section transversale mixte.

Vérification de la stabilité, selon les deux directions de flambement du poteau sous $N_{x, sd}$.

$$N_{x, sd} \leq \min(N_{by, Rd}; N_{bz, Rd})$$

- $N_{by, Rd}, N_{bz, Rd}$ = valeurs de calcul de la résistance de l'élément mixte selon les axes y et z
- La vérification de la stabilité selon les deux axes de flambement du poteau selon l'effort axial $N_{x, sd} =$

$$N_{x, sd} \leq \min(N_{by, Rd},$$

et $N_{bz, Rd}$, deux valeurs de l'effort de calcul de la résistance au flambement de poteau mixte selon les axes y et z .

> La procedure passe par la verification de la resistance de transversale sous l'effet ou effets N_{xsd} et $M_{y,sd}$ et $M_{z,sd}$.

> Une autre verification doit etre elle aussi faite, c'est de l'effet de l'interaction effet normal - Moment fléchissant et cela sous = N_{xsd} et $M_{y,sd}$ ou N_{xsd} et $M_{z,sd}$.

> La stabilité de l'element doit etre aussi verifiée sous = $N_{x,sd}$ et $M_{y,sd}$ ou $N_{x,sd}$ et $M_{z,sd}$

$$\text{de sorte que } = M_{y,sd} \leq 0,9 \mu_y \cdot M_{pl,y} \cdot R_d$$

$$\text{ou } M_{z,sd} \leq 0,9 \mu_z \cdot M_{pl,z} \cdot R_d$$

où μ_y et μ_z = represente de coeff. de l'interaction.

2.3 - Poutres sollicitées par un effet axial de compression et un moment de flexion bi-axial - $N_{x,sd}$, $M_{y,sd}$ et $M_{z,sd}$.

Dans ce cas de figure, il faut verifier la resistance de la section transversale de la poutre: $N_{x,sd} \leq N_{pe,r,d}$ où $N_{pe,r,d}$ represente la valeur de calcul de la resistance plastique à la compression de la section transversale mixte.

Il faut ensuite proceder à la verification de la stabilité de l'element selon les 02 directions de flambement de l'element mixte selon les axes y et z , sous l'effet $N_{x,sd}$ tel que $N_{x,sd} \leq \min(N_{by,r,d}, N_{bz,r,d})$

où $N_{by,r,d}$, $N_{bz,r,d}$ = valeurs de calcul de la resistance au flambement de l'element selon les axes y et z .

- verification de la resistance de la section transversale sous l'effet de = $N_{x,sd}$, $M_{y,sd}$ et $M_{z,sd}$

- interaction = $N_{x,sd}$ et $M_{y,sd}$ ou $N_{x,sd}$ et $M_{z,sd}$ par

- chacun des plans de flambement séparément = xz et xy .
- vérification de la stabilité du poteau sous $N_{x,rd}$ et $M_{y,rd}$ ou $N_{x,rd}$ et $M_{z,rd}$.

La vérification se fait ainsi :

$$N_{x,rd}, M_y \text{ et } M_{z,rd}$$

Les relations de vérification dans ce cas sont comme suit :

$$M_{y,rd} \leq 0,9 \rho_y M_{pl,y,rd} \text{ ou } M_{z,rd} \leq 0,9 \rho_z M_{pl,z,rd}$$

$$\frac{M_{y,rd}}{\rho_y M_{pl,y,rd}} + \frac{M_{z,rd}}{\rho_z M_{pl,z,rd}} \leq 1,0$$

2.4 - Prise en compte des Effets de second ordre

La théorie du 2^{ème} ordre fait intervenir dans les calculs les déformations des éléments de structures. Les poteaux élancés sollicités en compression et flexion peuvent être soumis à des valeurs significatives dues aux effets de second ordre. Les codes de calcul en général et l'E.C4 en particulier exigent de prendre cette influence si les deux conditions suivantes sont satisfaites.

$$\frac{N_{x,rd}}{N_{cr}} > 1,0 \text{ et } \bar{\lambda} > 0,2 (2-r)$$

si l'une des conditions n'est pas remplie, alors cette influence peut être négligée.

Avec $N_{x,rd}$ = valeur de l'effort appliqué (calcul)
 N_{cr} = charges critiques élastiques selon l'axe de flambement considéré.

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 (E I_y)}{L^2} \text{ et } N_{cr,z} = \frac{\pi^2 (E I_z)}{L^2}$$

$\bar{m} = r =$ rapport du m de l'extrémité Max et min avec $-1 \leq r \leq 1$

\bar{I} = Elancement reduit du poteau (axte siln le mode de flambement considere par rapport a l'axe y ou z

L = Longueur de flambement du poteau (axte).

Pour calculer le moment de flexion selon le theorie du second ordre, on fait appel a un coeff. d'amplification (Correction) K -

Et sont que $M_{sd}'' = K M_{sd}'$

$m = K = \frac{\beta}{1 - \frac{N_{sd}}{N_{cr}}}$, $K \geq 1.0$






β = Facteur de moment equivalent

N_{cr} = charge critique elastique du poteau siln l'axe considere y ou z.

- Le calcul du poteau est ainsi fait par la combinaison de la compression N_{sd} et de la flexion : $M_{sd}'' = K M_{sd}'$.

2.5 - imperfections Geometriques

Pour la realisation des structures d'axte, on est souvent confronte a des imperfections geometriques des elements des structures sont lors de leur execution ou lors de leur installation. L'Eccy prend en compte ces anomalies qui sont resumees dans le tableau ci-dessous

section poteau	Limites	Axe flambement	Contraintes de flambement	imperfections
		y-y	b	L/200
		z-z	c	L/150
		y-y	b	L/200
		z-z	c	L/150
	$\delta_s \leq 3\%$	quelconque	a	L/300
	$3\% \leq \delta_s \leq 6\%$	quelconque	b	L/200
		y-y	b	L/200
		z-z	b	L/200
		quelconque	b	L/200

3. Comptes d'interaction

3.1 Calcul de M-N. Remarques.

Pour les poteaux de sections tubulaires, il y a une augmentation de la capacité de résistance Npl.ed. Cette résistance ou capacité est augmentée en raison de l'effet du confinement et du comportement triaxial du béton. Pour cela il faut =

- Elancement réduit = $\bar{\lambda} \leq 0.5$
- valeur maximale de calcul du moment de flexion déterminée par le théorème du second

Mmax.ed sont limités à =

$$M_{max.ed} = N_{x.ed} \cdot \frac{d}{10}$$

3.2 - La résistance plastique en compression de la section brute est =

$$N_{pl.ed} = A_a \cdot \eta_2 \cdot \frac{f_j}{\gamma_{M2}} + A_c \left(\frac{f_{ck}}{\gamma_c} \right) \left(1 - \eta_1 \frac{t}{d} \frac{f_y}{f_{ck}} \right) + A_s \frac{f_{sk}}{\gamma_s}$$

- \bar{n} = Npl.ed. résistance plastique en compression
- = A_a, A_c, A_s : respectivement aire du profilé, du béton et des armatures.
- = f_j = limite élastique de l'acier du profilé
- = f_{ck} = résistance en compression du béton
- = f_{sk} = limite élastique de l'acier d'armature.
- = t = épaisseur de la paroi du profilé
- = $\gamma_{M2}, \gamma_c, \gamma_s$ = coeff. partiel de sécurité à l'ÉLU de l'acier de structure, du béton et des armatures.

3.3 - Excentricité = les coeff. η_1 et η_2 sont déterminés en fonction de l'excentricité = $e = \frac{M_{sd}}{N_{sd}}$

Si $0 \leq \epsilon \leq \frac{d}{10}$ et $\bar{I} < 0.5$

$$\text{Alors } \eta_1 = \eta_{10} \left(1 - 10 \frac{\epsilon}{d}\right)$$

$$\eta_2 = \eta_{20} (1 - \eta_{20}) \left(10 - \frac{\epsilon}{d}\right)$$

où η_{10} et η_{20} pour $\epsilon = 0$ dépendent de \bar{I} de sorte que = $\eta_{10} = 4.9 - 18.5 \bar{I} + 17 \bar{I}^2$ et $\eta_{10} \geq 0$

$$\eta_{20} = 0.25 (3 + 2 \bar{I}) \text{ et } \eta_{20} \leq 1.0$$

• Pour $\epsilon > \frac{d}{10}$ ou $\bar{I} \geq 0.5$

$$\eta_1 = 0 \text{ et } \eta_2 = 1.0$$

3.4. Module d'élasticité et Elancement

L'elancement relatif \bar{I} par le déterminant de la capacité portante de la Colonne est =

$$\bar{I} = \sqrt{\frac{N_{pl, ed}}{N_{cr}}}$$

Alors que la rigidité efficace pour une section recte est déterminée comme le Somme des rigidités des matériaux composant la section recte tel que =

$$(EI)_E = E_a I_a + 0.8 E_{cd} I_c + E_s I_s$$

où I_a, I_s, I_c sont les moments d'inertie des profils du béton et des armatures par rapport à l'axe central.

E_a, E_s = module d'élasticité de profile et des armatures.

$0.8 E_{cd} I_c$ = rigidité flexionnelle effective du béton.

Avec $E_{cd} = \frac{E_{cm}}{\gamma_c}$. chargement à court terme

> Chargement à long terme = et poteaux élancés.

$$\alpha = E_{cd} = \frac{E_{cm}}{\gamma_c} \left(1 - 0.5 \frac{N_{e,sd}}{N_{cr,sd}} \right)$$

\bar{m} . E_{cm} , γ_c = définis par un chargement à court terme.

• $N_{e,sd}$ = valeur de l'effort appliqué.

• $N_{cr,sd}$ = valeur de calcul de la partie de l'effort normal appliqué $N_{e,sd}$ qui agit de façon permanente sur le poteau.

• λ = Elancement réduit par le flambement de l'axe y ou z

• $M_{max,sd}$ = M_{1st}^{nt} de flexion max calculé selon le théorème du 1^{er} ordre.

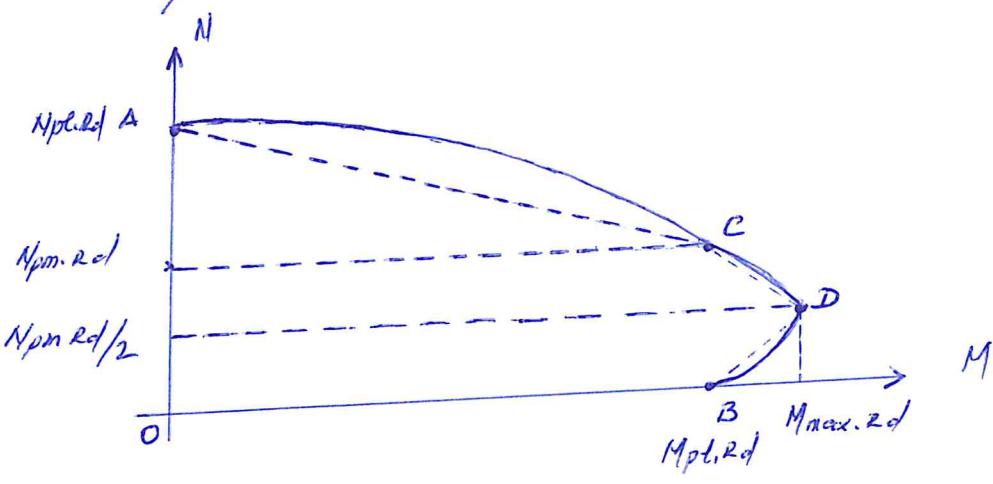
• d = hauteur hors de la tige transversale dans le plan de flexion

• $e = \frac{M_{max,sd}}{N_{e,sd}}$ = excentricité de l'effort axial.

4- Résistance d'une tige soumise à un effort de compression et une flexion

• Que le flexion combinée soit uniaxiale et bi-axiale, on doit utiliser une courbe d'interaction sur le tige transversale (N-M) qui va délimiter le zone de validité des combinaisons = $N_{e,sd} \cdot M_{y,sd}$ ou $N_{e,sd} \cdot M_{z,sd}$

L'ECH propose une méthode simplifiée par le calcul de 05 points caractéristiques de la courbe d'interaction



4.1 - Détermination des points A, B, C, et D de la courbe.

- As point A = La valeur d'interaction présente seulement la contribution de l'effet axial - tel que =
 $N_A = N_{pl,rd}$ et $M_A = 0$

- As point B = La valeur n'est somme qu'à la flexion.
 $N_B = 0$ et $M_B = M_{pl,rd}$

- As point C = Il ya une combinaison de l'effet normal et des moments fléchissant =
 $N_C = N_{pm,rd} = \frac{0,85 A_c \cdot f_{ck}}{\gamma_c}$ et $M_C = M_{pl,rd}$

- As point D = Il ya une combinaison tel que =
 $M_D = 0,5 N_{pm,rd} = 0,5 \frac{0,85 A_c \cdot f_{ck}}{\gamma_c}$
 $M_D = M_{max,pl,rd} = M_{pl,rd} + M_{n,rd}$

pu - le point C
 avec $M_{pl,rd} = (N_{pa} - N_{pan}) \cdot \frac{f_y}{\gamma_a} + (N_{pc} - N_{pcn}) \frac{\alpha f_{ck}}{\gamma_c} + (W_{ps} - W_{psn}) \frac{f_{sk}}{\gamma_s}$

$\bar{n} \Rightarrow N_{pa}, N_{pc}$ et W_{ps} = respectivement module de résistance plastique pu - le profilé, le béton et par l'anneau.

$\Rightarrow N_{pan}, N_{pcn}, W_{psn}$ = module de résistance plastique des parties situés dans la zone 2h par l'axe de construction, par la partie de béton (non prise) et par l'anneau.

α = coeff de réduction dépendant de la section transversale
 (creux $\alpha = 1,0$ - I ou H partiellement ou totalement enrobés $\alpha = 0,85$)

f_y = élasticité de l'axe de construction (limite)

f_{yk} = résistance à la compression du béton

f_{sk} = limite d'élasticité de l'axe de l'anneau.

$\gamma_a, \gamma_c, \gamma_s$ = coeff partiel de sécurité à l'ECU du profilé, du béton et de l'anneau.

- Pour le point D

$$M_{\max. \text{pe. ed}} = M_{\max. \text{ed}} = W_{pe} \frac{f_y}{\gamma_a} + W_{pc} \frac{\alpha_c f_{ck}}{\gamma_c} + W_{ps} \frac{f_{sre}}{\gamma_s}$$

$$\text{et } M_{\text{ed}} = W_{pen} \frac{f_y}{\gamma_a} + W_{pcn} \frac{\alpha_c f_{ck}}{\gamma_c} + W_{psn} \frac{f_{sre}}{\gamma_s}$$

Tous ces calculs ont été réalisés par la détermination de probabilité de rupture la durée d'interaction - en prenant comme hypothèse les blocs de contraintes rectangulaires en supposant le béton tendu fissuré.