

Fiche 1 : Vérification d'une section en Traction (P1-P2)

$$A_{net} = A - n d_0 t \quad (mm^2) \text{ (Section vertical)} (n : \text{nbr de boulons} \parallel d_0 = d_{boulon} + 2 \text{ mm})$$

$$A_{net} = A - n d_0 t + \sum \frac{s^2 t}{4p} \quad (p : \text{distance verticale entre les boulons} \parallel s : \text{distance horizontale entre les boulons})$$

Remarque : Si la cornière est boulonnée du petit coté $\rightarrow A = A_{petit} \times petit \times t$ (On suppose une cornière à ailes égaux).

Si on plusieurs boulons sur une même section $\rightarrow N_{boulon} = \frac{N_{Ed}}{n}$ (et on réduit N_{Ed} au fur et à mesure)

Cas d'un plat à largeur variable : - On interpole est on vérifie pour la section brute tous les sections à la limite des trous

- Pour les sections nettes on vérifie tous les sections passant par 1, 2, 3... boulons

Mode de ruine : En section nette \rightarrow Fragile En section brute \rightarrow Ductile

Fiche 2 : Classification des sections (P5 à P7)

Etape 1 : $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$ Etape 2 : Comparaison de $\left(\frac{c}{t_f}\right)_{semelle}$ (P6) et $\left(\frac{c}{t_w}\right)_{ame}$ (P5)

Remarque : Faire attention si la section est comprimée ou en flexion.

Attention pour la soudure a et a' tel que $a' = \frac{a}{\cos(45)}$ ou cas de courbure r .

Section Tubulaire (P7).

Etape 3 : Classe Section = Classe la plus grande (pire) entre âme et console.

Fiche 3 : Section Efficace (Classe 4 !!) (P3-P4)

Etape 1 : Calcul de k_σ (P3 : Console | P4 : Interne)

Etape 2 : $\sigma_{cr} = k \frac{\pi E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2 \left(\frac{N}{mm^2}\right)$ ($\nu = 0.3$ et $E = 210\,000 \text{ MPa}$)

Etape 3 : $\lambda_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} \rightarrow \rho$ (P3)

Etape 4 : On trouve $b_{eff} \rightarrow b_{non\,eff} = b - b_{eff}$ (P3 : Console | P4 : Interne)

Remarque : $N_{eff} = \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}}$ tel que $(A_{eff} = A_{tot} - A_{non\,eff})$ ($\gamma_{M1} = 1.1$)

Pour trouver Z_G on applique $\sum A_{eff_i} Z_{i\Delta} = A_{tot} Z_G$

Fiche 4 : Résistance en Section. (P8-P9)

| | | | |
|------------|---|---|--|
| Classe 1-2 | | $V_{Ed} \leq V_{pl} = \frac{A_v f_y}{\sqrt{3}}$ $A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$ | $M_{Ed} \leq M_{pl,y} = W_{pl,y} f_y$ $(N \cdot mm \rightarrow KN \cdot m)$ |
| Classe 3 | $N_{Ed} \leq N_{pl} = A_{tot} f_y$ | $\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_{ame}} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3}}$ | $M_{Ed} \leq M_{el,y} = W_{el,y} f_y$ $W_{el,y} = \frac{I_{yy}}{Z_{elmax}} \text{ et } I_{yy} = \sum A_i Z_{iGy}^2 + \sum I_{propre}$ |
| Classe 4 | $N_{Ed} \leq N_{eff} = \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}}$ | $\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_{eff\,ame}} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1} \sqrt{3}}$ | $M_{Ed} \leq M_{eff,y} = \frac{W_{eff,y} f_y}{\gamma_{M1}}$ |

Sollicitation combinées

| Cas de charges combinées | $M + V$ | $M_y + M_z + N$ Ou $M + N$ | $M + N + V$ |
|--------------------------|---------|---|---|
| Classe 1-2 | (P8) | (P8) | On commence par $M_{V,Rd}$ M+V Puis on passe de $M_{V,Rd} \rightarrow M_{N,V,Rd}$ (P8) |
| Classe 3 | | avec $\sigma_x < \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$ avec $\sigma_x = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_y}{I_y} y + \frac{M_z}{I_z} z$ | $\sigma_{VM} < \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ $\tau = \frac{VS}{Ib}$ et $\sigma = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_y}{I_y} y + \frac{M_z}{I_z} z$ S : Moment Statique $S = \sum A_i z_i$ |
| Classe 4 | | Même que Classe 3 mais avec A_{eff} et I_{eff} | Même que Classe 3 mais avec A_{eff} et I_{eff} |

Fiche 5 : Eléments en Compression (P9 à P12).

Etape 1 : Classification de la section (Fiche 2)

Etape 2 : Longueur de Flambement KL (P9)(mm)

Etape 3 : Calcul de $N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$ ($E = 210\,000\text{ MPa}$)($N \rightarrow KN$)

Etape 4 : Calcul de l'élanement $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl}}{N_{cr}}} \left(= \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \right)$ (N_{pl} en $N \rightarrow KN$)

Etape 5 : On cherche le cas de courbe (a, b,...) (P12) \rightarrow On trouve α (P10)

Etape 6 : Calcul de ϕ , $\phi = 0.5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2)$

Etape 7 : Calcul de χ , $\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$

Etape 8 : On vérifie que $N_{Ed} < N_{b,Rd}$ avec $N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$

Fiche 6 : Eléments Fléchis (P13 à P26).

Etape 1 : Classification de la section

Etape 2 : Calcul de M_{cr} (P16) (Moments d'extrémité P17 || Charge transversale P18)

Remarque : Pour un éléments soumis à une charge et moments d'extrémité :

- On calcul $\mu = \pm \frac{qL^2}{8M}$ (Charge uniforme) ou $\mu = \pm \frac{FL}{4M}$ (Charge ponctuelle) (+ si M et F (ou q) même sens, - Sinon)

- On trouve ψ

- On constate C_1 et C_2 (D'après les abaques) (P19 à 26)

NB : Faire attention à la valeur de Z_g (P16)

Etape 3 : Calcul de l'élanement λ_{LT} , $\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{\beta_w W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}}$ (Valeur de β_w P13)

Etape 4 : Calcul de α_{LT} . (P14)

Etape 5 : Calcul de ϕ , $\phi = 0.5(1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT} - 0.2) + \lambda_{LT}^2)$

Etape 6 : Calcul de χ_{LT} , $\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}}$

Etape 7 : Calcul de f (P15) $\rightarrow \chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f}$ ($f = 1$ si le moment est constant sur l'élément)

Etape 8 : On vérifie $M_{Ed} < M_{b,Rd}$ avec $M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT,mod} \beta_w W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}}$ (Valeur de β_w P13)

Fiche 7 : Membrures comprimées et fléchies (P27 à 29).

Etape 1 : Choix de la formule d'après la classe (N.B : Classe 4 non incluse vous pouvez l'ajouter)

| | |
|------------|--|
| Classe 1-2 | $\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{pl,Rd}} + \mu_y \left[\frac{k_{LT}}{\chi_{LT} \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right)} \frac{C_{my} M_{y,Ed}}{C_{yy} M_{pl,y,Rd}} + \alpha^* \frac{C_{mz} M_{z,Ed}}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) C_{yz} M_{pl,z,Rd}} \right] \leq 1$ $\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{pl,Rd}} + \mu_z \left[\beta^* \frac{k_{LT}}{\chi_{LT} \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right)} \frac{C_{my} M_{y,Ed}}{C_{zy} M_{pl,y,Rd}} + \frac{C_{mz} M_{z,Ed}}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) C_{zz} M_{pl,z,Rd}} \right] \leq 1$ |
| Classe 3 | $\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{pl,Rd}} + \mu_y \left[\frac{k_{LT}}{\chi_{LT} \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right)} \frac{C_{my} M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} + \frac{C_{mz} M_{z,Ed}}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) M_{el,z,Rd}} \right] \leq 1$ $\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{pl,Rd}} + \mu_z \left[\beta^* \frac{k_{LT}}{\chi_{LT} \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right)} \frac{C_{my} M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} + \frac{C_{mz} M_{z,Ed}}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) M_{el,z,Rd}} \right] \leq 1$ |

Etape 2 : Calcul de $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$, N_{Ed} et α^*, β^* (P27)

Etape 3 : Calcul de C_{my} et C_{mz} (P29)

Remarque : $C_{my} = C_{my,0}$ (car $a_{LT} = 0$) et $C_{mz} = C_{mz,0}$ (toujours)

Etape 4 : Calcul de N_{cr} , λ , ϕ , χ_y et χ_z (Fiche 5-6)

Etape 5 : Calcul de μ_y , μ_z , w_y , w_z , C_{yy} , C_{yz} , C_{zy} , C_{zz} (P28)

Remarque : $a_{LT} = 0$ (Cas le plus fréquent $I_t \geq I_y$)

$k_{LT} = 1$ (Car $a_{LT} = 0$ ou si il n'y a pas de déversement)

$\chi_{LT} = 1$ (Sans déversement) Sinon on calcul d'après (Fiche 6)

Etape 6 : On vérifie l'équation choisie de l'Etape 1.

Fiche 9 : Moyens d'assemblages.

Résistance d'une soudure :

Etape 1 : Calcul de $N_{pl,Rd}$

Etape 2 : Calcul de $\sum l$ (Longueur de soudure totale)

Etape 3 : $F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd} = \frac{f_u}{\gamma_{M2} \beta_w \sqrt{3}} a$ tel que a : Cordon d'angle et β_w : (P32) $\gamma_{M2} = 1.25$

Etape 4 : On vérifie que $N_{pl,Rd} \leq \sum l \frac{f_u}{\gamma_{M2} \beta_w \sqrt{3}} a$ (N.B: Parfois on cherche a)

Résistance des boulons :

Cisaillement

Etape 1 : Choisir $F_{v,Rd}$ d'après le lieu de cisaillement (P30) (f_{ub} , A_s et A : (P31))

Etape 2 : On calcul $F_{v,Rd,tot} = n F_{v,Rd}$ (n : nombre de boulons total)

Etape 3 : On vérifie $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd,tot}$

Pression diamétrale

On calcul $F_{b,Rd}$ (P30) et on vérifie que $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$

N.B: e_1 , e_2 et p_1 voir (P2)

Traction et cisaillement (F incliné d'un angle θ)

On vérifie que $\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 F_{t,Rd}} \leq 1$ (P30) ($F_{v,Ed} = \sin(\theta) F$ et $F_{t,Ed} = \cos(\theta) F$)

N.B: $F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ tel que $k_2 = 0.9$ (boulon normal) $k_2 = 0.63$ (boulon à tête fraisé)

Fiche 11 : Pieds de poteau. (soumis à un effort N_{ed})

Etape 1 : Calcul $A_{c0} = a_1 b_1$ (a_1 et b_1 dimension de la plaque et on admet A_{c1} (Normalement $A_{c1} = 4A_{c0}$))

Etape 2 : Calcul du débord d , $d = t \sqrt{\frac{f_y}{2k_c f_{ck}} \times \frac{\gamma_c}{\gamma_{M1}}}$ (t : épaisseur | $K_c = \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}}$ | $\gamma_c = 1.5$)

Etape 3 : Calcul de A_{eff} . **N.B. :** Faire attention si le débord extérieur dépasse la platine ou non

Etape 4 : Vérification du béton $\sigma_{(moy,Ed)} = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} \leq \frac{k_c f_{ck}}{\gamma_c} = \sigma_{c,Rd}$

Etape 5 : Vérification de l'acier $M_{Ed} = R_{Ed} e \leq \frac{M_{Rd}}{\gamma_{M1}}$ ($R_{Ed} = \sigma_{(moy,Ed)} b_{eff} d$)

$e = \frac{d}{2}$ et ($b_{eff} =$ Longueur de la semelle + $2d$)

$$M_{Rd} = W_{el} f_y = \frac{b_{eff} t^2}{6} f_y$$

Remarque : Si on a V_{Ed} on vérifie le cisaillement des boulons (Fiche 9)