

1/ Ferrailage des poutres :

Le calcul est fait à la flexion simple, car les poutres sont sollicitées par des moments fléchissement et efforts tranchants.

Remarque : Pour le ferrailage des poutres, nous prendrons la poutre qui à un moment maximum.

1/ L'E.L.U : a/ En travée :

Les données : **Matériaux :** Béton : $f_{c28}=25\text{MPA}$.

Acier : FeE400 type 1.

Coffrage : $b=30\text{cm}$, $h=40\text{cm}$, $d=36\text{cm}$,

$C=C'=2\text{cm}$.

Sollicitation : $M_u=45.30\text{KN.m}$

Etapas de calcul :

$$\mu_u = \frac{M_u}{b d^2 f_{bu}} = \frac{45.30 \times 10^3}{30 \times 36^2 \times 14.17} = 0.082$$

Pivot A section simple armature.

Lire de tableau α_u, β_u : $\begin{cases} \alpha_u=0.1071 \\ \beta_u=0.957 \end{cases}$

$$Z_u = \beta_u \times d = 0.957 \times 36$$

$$\text{AN : } Z_u = 35,1\text{cm}$$

***Calcul des armatures :**

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \cdot \sigma_{st}} = \frac{45.30 \times 10^3}{35,1 \times 348}$$

$$\text{AN : } A_{st} = 3.71\text{cm}^2$$

***Condition de non-fragilité:**

$$A_{st_{min}} = \frac{0.23 b d f_{t28}}{f_e} = \frac{0.23 \times 30 \times 36 \times 2.1}{400}$$

$$\text{AN : } A_{st_{min}} = 1.30\text{cm}^2$$

$$A_{st_c} > A_{st_{min}} \Rightarrow A_{st_f} = A_{st_c} = 3.71\text{cm}^2$$

Donc on adopte : 6HA12=6.79cm²

b/ En Appui : $M_{au}=71.25\text{KN.m}$

Les données : **Matériaux :** Béton : $f_{c28}=25\text{MPA}$.

Acier : FeE400 type 1.

Coffrage : $b=30\text{cm}$, $h=40\text{cm}$, $d=36\text{cm}$,

$C=C'=2\text{cm}$.

Sollicitation : $M_u=71.25\text{KN.m}$

Etapas de calcul :

$$\mu_u = \frac{M_u}{b d^2 f_{bu}} = \frac{71.25 \times 10^3}{30 \times 36^2 \times 14.17} = 0.13$$

Chapitre VI

Lire de tableau α_u, β_u : $\begin{cases} \alpha_u=0.1748 \\ \beta_u=0.930 \end{cases}$

$$Z_u = \beta_u \times d = 0.930 \times 36$$

$$\text{AN : } Z_u = 33,48 \text{ cm}$$

*Calcul des armatures:

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \cdot \sigma_{st}} = \frac{71.25 \times 10^3}{33,48 \times 348}$$

$$\text{AN : } A_{st} = 6,11 \text{ cm}^2$$

*Condition de non-fragilité:

$$A_{st_{\min}} = \frac{0.23 b d f_{t28}}{f_e} = \frac{0.23 \times 30 \times 36 \times 2.1}{400}$$

$$\text{AN : } A_{st_{\min}} = 1.30 \text{ cm}^2$$

$$A_{st_c} > A_{st_{\min}} \Rightarrow A_{st_f} = A_{st_c} = 6,11 \text{ cm}^2$$

Donc on adopte : 6HA12 = 6.79 cm²

*Ferrailage transversal :

Matériaux : Béton : $f_{c28} = 25 \text{ MPA}$.

Acier Rond lisse : FeE240 $f_e = 235 \text{ MPA}$.

Coffrage : $b = 30 \text{ cm}$, $h = 40 \text{ cm}$, $d = 36 \text{ cm}$, $C = C' = 2 \text{ cm}$.

1/Vérification :

***Vérification à l'effort tranchant :** D'après l'article A.5.1.1 de règles B.A.E.L-91

On doit avoir : $\tau_u = \frac{V_u}{bd} \leq \min(0.13 f_{c28} ; 5 \text{ MPA}) = 3.25 \text{ MPA}$.

$$V_u = 94.08 \text{ KN}$$

$$\tau_u = \frac{V_u}{bd} = \frac{94.08 \times 10^3}{0.30 \times 0.36} = 0.87 \text{ MPA} < 3.25 \text{ MPA} \quad \text{Donc c'est vérifié.}$$

***Armatures transversales :** Disposition constructive

Diamètre : $\phi_t \leq \min\left(\frac{h}{35} ; \phi_L ; \frac{b}{10}\right) \Rightarrow \text{Article A.7.2.2 B.A.E.L-91}$

$$\phi_t \leq \min\left(\frac{400}{35} ; 12 ; \frac{300}{10}\right) \Rightarrow \phi_t \leq \min(11.42 ; 12 ; 30) \text{ mm}$$

On adopte un cadre et un étrier $\phi_t = 6 \text{ mm}$ pour la section des armatures transversales
 $A_t = 1.13 \text{ cm}^2$.

***Espacement des armatures transversales :**

*Il doit être inférieur ou égal à la plus petite des trois valeurs suivantes :

$$S_t \leq \min(40 \text{ cm} ; a + 10 ; 15 \phi_L) \Rightarrow S_t \leq \min(40 ; (30 + 10) ; (15 \times 1.2)) \text{ cm} \Rightarrow S_t \leq 18 \text{ cm}$$

\Rightarrow On adopte un espacement $S_t = 15 \text{ cm}$

***Vérification complémentaire :**

1/ Espacement minimal :

$$7 \text{ cm} \leq S_t \leq \min(0.9d ; 40 \text{ cm}) \Rightarrow 7 \text{ cm} \leq S_t \leq 34.2 \text{ cm}$$

$$7 \text{ cm} \leq 15 \text{ cm} \leq 34.2 \text{ cm} \dots \dots \dots \text{Donc c'est vérifié.}$$

*Selon l'article A.7.4.2.2 D'après (7) page 50

***En zone nodale :** $S_t \leq \min(10 \phi_L ; 15 \text{ cm}) \Rightarrow S_t \leq \min(10 \times 1.2 ; 15 \text{ cm})$

$$\Rightarrow S_t \leq \min(12 ; 15) \text{ cm}$$

$$\Rightarrow S_t \leq 12 \text{ cm} \Rightarrow S_t = 10 \text{ cm}$$

Chapitre VI

***En zone courante :** $S_t \leq 15\phi_L \Rightarrow S_t \leq 15 \times 1.2 \Rightarrow S_t \leq 18\text{cm} \Rightarrow \boxed{S_t=15\text{cm}}$

2/ Section minimale d'armature :

$$\frac{A_t \cdot f_e}{b \cdot S_t} \leq \max\left(\frac{\tau_u}{2}; 0.4\text{MPa}\right) \Rightarrow \frac{A_t \cdot f_e}{b \cdot S_t} \leq \max(0.41; 0.4\text{MPa})$$

$$\Rightarrow A_t \leq \frac{30 \times 18}{235 \times 0.41} \Rightarrow A_t = 5.60\text{cm}^2$$

***Vérification de la limite de déformation :** (D'après C.B.A.93 page 127)

Il sera inutile de calculer la flèche si les conditions suivantes sont remplies

$$1/ \frac{h}{L} \geq \frac{1}{16} \Rightarrow 0.08 \geq 0.06 \dots \dots \dots \text{OK}$$

$$2/ \frac{h}{L} \geq \frac{M_t}{10M_o} \Rightarrow 0.08 \geq 0.06 \dots \dots \dots \text{OK}$$

$$3/ \frac{A}{bd} \leq \frac{4.2}{f_e} \Rightarrow 0.005 \leq 0.010 \dots \dots \dots \text{OK}$$

\Rightarrow Donc la flèche est vérifiée.

*Vérification de la contrainte du béton :

Généralement si la fissuration est considérée peu préjudiciable, on ne vérifie que la contrainte du béton :

$$\overline{\sigma}_{bc} = 0.6f_{c28} = 0.6 \times 25 \qquad \text{AN : } \overline{\sigma}_{bc} = 15\text{MPa}$$

$$\sigma_{bc} = k \cdot y < \overline{\sigma}_{bc}$$

$$by^2 + 30(A_s + A_{s'})y - 30(d \cdot A_s + d' \cdot A_{s'}) = 0 \qquad \Rightarrow A_{s'} = 0$$

$$by^2 + 30A_s - 30(d \cdot A_s) = 0$$

$$30y^2 + 30(6.79)y - 30(36 \times 6.79) = 0$$

$$30y^2 + 203.7y - 7333.2 = 0$$

$$\Delta = (203.7)^2 - 4(30)(-7333.2) = 970365.69$$

$$\sqrt{\Delta} = 959.93$$

$$y = \frac{-203.7 + 959.93}{2 \times 30} \qquad \text{AN : } y = 12.60\text{cm}$$

*Moment d'inertie :

$$I_o = \frac{by^3}{3} + 15(A_s(d-y)^2) = \frac{30 \times 12.60^3}{3} + 15(6.79 \times (36 - 12.60)^2) \qquad \text{AN : } I_o = 75772.75\text{cm}^4$$

$$K = \frac{M_{ser}}{I_o} = \frac{51 \times 10^3}{75772.75} \qquad \text{AN : } K = 0.67\text{KN/m}^2$$

$$\sigma_{bc} = k \cdot y = 0.67 \times 12.60 = 8.44\text{MPa} < \overline{\sigma}_{bc} = 15\text{MPa} \qquad \Rightarrow \text{C'est vérifié}$$

*Méthode de Caquot :

Série de Caquot : (7-8-9-10-11-13-16-20-25-30-35-40)

$$m = \text{ent} \frac{L}{2} = \frac{5}{2} = 2,5$$

*Longueur de seulement

$$L_s = 40 \phi_L \qquad \text{AN : } L_s = 48\text{cm}$$