

Tirants: traction simple

Les tirants sont des éléments B.A. soumis à un effort normal de traction.

Ils servent à équilibrer:

- les poussées horizontales, par exemple les poussées engendrées aux appuis par un arc;
- les actions verticales, cas d'utilisation: suspentes.

Condition de sollicitation de traction simple dans une section: le point d'application de l'effort normal de traction N doit coïncider avec le C.d.G. de la section des armatures et de celle du béton.

Démarche

Il s'agit de considérer les états limites afin de:

- déterminer les sections d'acier en fonction de N_u et N_{ser} ;
- contrôler les dispositions réglementaires minimales.

1. Hypothèses d'études

- La résistance du béton tenu n'est pas prise en compte.
- L'effort normal N est uniquement équilibré par les aciers.
- Même centre de surface (C.d.G.) pour la section de béton et pour la section des armatures.
- La condition d'équilibre statique doit être satisfaite:
 - à l'E.L.U.R. → N_u
 - à l'E.L.S. → N_{ser}



Fig. 1: Schéma de principe

Principe de calcul

$$\text{Effort normal de calcul} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Section} \\ \text{des aciers} \end{array} \right\} \times \left\{ \begin{array}{l} \text{Contrainte} \\ \text{de calcul} \end{array} \right\}$$

$$N_u = A_u \times f_{su}$$

$$N_{ser} = A_{ser} \times \sigma_{st}$$

2. Contraintes de calcul

État limite de résistance (E.L.U.R.)

- Déformation de l'acier: $\epsilon_s = 0\text{‰}$ → pivot A
- Contrainte de traction: $f_{su} = f_e \gamma_s$

État limite de service (E.L.S.)

- État limite d'ouverture de fissures. La contrainte de traction des aciers σ_{st} est bornée suivant les cas de fissuration:
 - préjudiciable,
 - très préjudiciable.
- La valeur des contraintes de calcul est fonction de la nuance de l'acier et de la résistance du béton à la traction (voir Annexe 2).

3. Détermination des sections d'armatures

Calcul E.L.U.R.

- Effort normal de traction $N_u = 1,35 G + 1,50 Q$
- Condition d'équilibre statique $N_u = A_{su} \times f_{su}$
- Calcul de la section théorique $A_{su} = N_u / f_{su}$

Calcul E.L.S.

- Effort normal de traction $N_{ser} = G + Q$
- Condition d'équilibre statique $N_{ser} = A_{ser} \times \sigma_{st}$
- Calcul de la section théorique $A_{ser} = N_{ser} / \sigma_{st}$ *

Section théorique à retenir:
 $A = \sup \{ A_u ; A_{ser} \}$

* Voir Annexe 2 pour σ_{st}

Conséquence pratique

Limitation de la section du béton vis-à-vis de la section d'aciers

Condition de non-fragilité
(B.A.F.T. A.4.2)

$$\underbrace{A_s \times f_e}_{\text{Effort de traction des aciers}} \geq \underbrace{B \times f_{t28}}_{\text{Effort de traction du béton}}$$

Notations

A_s : section réelle des aciers tendus
 f_e : limite d'élasticité de l'acier
 B : section totale du béton tendu
 f_{t28} : résistance caractéristique du béton à la traction

4. Dispositions réglementaires minimales

Conditions d'enrobage des aciers

(B.A.E.L. A.7.1)

L'enrobage c de toute armature est au moins égal à :

- 5 cm; ouvrages à la mer
- 3 cm; milieu soumis à des actions agressives
- 3 cm; milieu soumis soit
 - aux intempéries
 - aux condensations
 - aux liquides
- 1 cm; locaux couverts et clos, sans condensation.

Possibilités de bétonnage correct

(B.A.E.L. A.7.2)

$$\phi_t \leq \{h/35; \phi; b_0/10\}$$

$$e_v \geq \{c_g; \phi\}$$

$$e_h \geq \{1,5c_g; \phi\}$$

$$c_t \geq \phi$$

Voir figure 2.

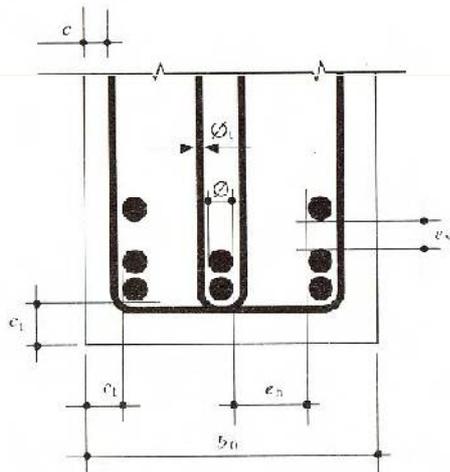


Fig. 2 Projection des aciers et possibilités de bétonnage

Diamètres et écartements

Cas de la fissuration préjudiciable

- Aciers longitudinaux tendus : $\phi \geq 6 \text{ mm}$
- Écartement entre barres : $e_h \leq 4 \phi$ si $\phi \geq 20 \text{ mm}$

Cas de la fissuration très préjudiciable

- Aciers tendus : $\phi \geq 8 \text{ mm}$
- Écartement entre barres : $e_h \leq 3 \phi$ si $\phi \geq 20 \text{ mm}$

Jonction de barres par recouvrement

- Longueur de scellement droit l_s

En pratique :

$$l_s = 40 \phi \text{ pour Fe E 400}$$

$$l_s = 50 \phi \text{ pour Fe E 500}$$

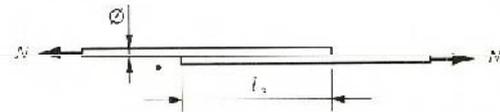


Fig. 3 Jonction de barres par recouvrement

D'ASSIMILATION 1

Déterminer la section d'acier pour un tirant en B. A. soumis à un effort normal de traction simple, appliqué au C. d. G. de la section.

Données

$N_u = 220\ 000\ \text{N}$, ou $0,22\ \text{MN}$ Acier Fe E 400; $\gamma_s = 1,15$; $\eta = 1,6$
 $N_{ser} = 160\ 000\ \text{N}$, ou $0,16\ \text{MN}$ Béton: $f_{c28} = 30\ \text{MPa}$
 Section du tirant: $15\ \text{cm} \times 15\ \text{cm}$ Cas de fissuration préjudiciable

Réponse

Calcul E. L. U. R.

- Contraintes de calcul de l'acier:
 pivot A: $\varepsilon_s = 10\ \text{‰}$
 $f_e / \gamma_s = 348\ \text{MPa}$
- Section théorique d'armature tendue (en cm^2):
 $A_u = N_u / f_{su}$
 $A_u = \frac{0,22}{348} \times 10^4 = 6,32\ \text{cm}^2 *$

Calcul E. L. S.

- Contrainte de calcul: $\bar{\sigma}_{st} = 216\ \text{MPa}$
 (Lire la valeur de $\bar{\sigma}_{st}$ en Annexe 2, pour $f_{c28} = 30\ \text{MPa}$ et fiss. préj.)
- Section théorique d'armature tendue (en cm^2):
 $A_{ser} = \frac{N_{ser}}{\bar{\sigma}_{st}} = \frac{0,16 \times 10^4}{216}\ \text{cm}^2$
 $A_{ser} = 7,41\ \text{cm}^2 > A_u = 6,32\ \text{cm}^2 *$

Choix de la section réelle:

$A_s = 4\ \text{HA}\ 16$ totalisant $8,04\ \text{cm}^2$

Contrôle de la condition de non-fragilité

$A_s \times f_e \geq B \times f_{t28}$
 $8,04 \times 10^{-4} \times 400 > 225 \times 10^{-4} \times 2,40$
 ou: $0,32\ \text{MN} > 0,054\ \text{MN}$

(*) *Remarque:* le calcul E.L.U.R. avec un acier HA Fe E 500 donne $A_u = 5,06\ \text{cm}^2$.

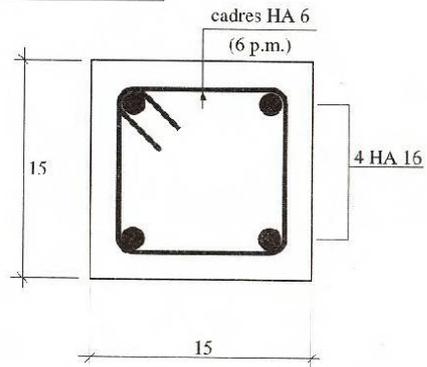


Fig. 4

Section du tirant

D'ASSIMILATION 2

Contrôler les dispositions constructives ci-après d'un tirant de section $20\ \text{cm} \times 20\ \text{cm}$, armé de 4 HA 20 (Voir figure 5).

Béton: $f_{c28} = 25\ \text{MPa}$
 Diamètre des granulats utilisés $c_g \leq 20\ \text{mm}$.
 Cas de fissuration préjudiciable.

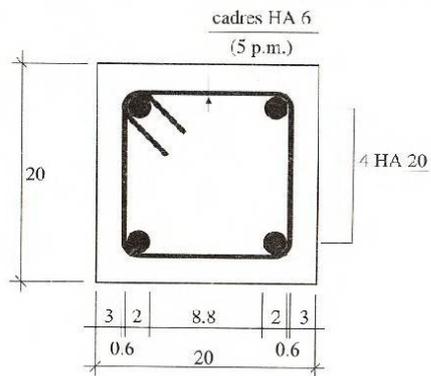


Fig. 5

EXERCICE 3

Données	Réponse
Dispositions constructives minimales	Conformité
Enrobage: $c \geq 3$ cm	Oui
Possibilité de bétonnage correct: $e_h \geq (\varnothing; 1,5 c_g)$ $e_h \leq 4 \varnothing$	(Voir fig. 2) Oui $e_h = 8,8$ cm $>$ 8 cm
Diamètres des cadres: 6 mm Espacement des cadres: 20 cm	Oui Pas de règle particulière en zone courante
Condition de non fragilité: $A_s = 12,57$ cm ² ; $B = 400$ cm ² $f_c = 400$ MPa; $f_{t28} = 2,10$ MPa	Condition: $A_s \times f_c \geq B \times f_{t28}$ vérifiée

Remarques:

- Effort de traction (en admettant la conformité):
 $N_u = 0,437$ MN à l'E.L.U.R. et $N_{ser} = 0,254$ MN à l'E.L.S.
- Avec utilisation d'un acier HA Fe E 500, on a:
 $N_u = 0,546$ MN et N_{ser} est inchangé.

D'ASSIMILATION 3

Déterminer la section d'armature et contrôler les dispositions constructives du tirant horizontal de la figure 6.

Ce tirant relie les montants inclinés d'un portique au niveau des appuis.

Il repose sur le sol et son poids propre n'est pas à prendre en compte.

Il est destiné à équilibrer les poussées horizontales du portique.

Données

- Matériaux:
acier Fe E 400; $n = 1,6$
béton $f_{c28} = 27$ MPa
- Cas de fissuration: très préjudiciable
- Sol jugé agressif
- Effort normal de traction simple:
 $N_u = 0,540$ MN
 $N_{ser} = 0,365$ MN

Réponse

Calcul E. L. U. R.

- Contrainte de calcul de l'acier:
pivot A; $\epsilon_s = 10 \text{‰}$; $f_{su} = 343$ MPa
- Section théorique de l'armature
 $A_u = \frac{0,540}{343} \times 10^4 = 15,52$ cm²

Calcul E. L. S.

- Contrainte de calcul σ_{st} :
 $\sigma_{st} = 170$ MPa (voir Annexe 2)
- Section théorique de l'armature:
 $A_{ser} = \frac{0,365}{170} \times 10^4 = 21,47$ cm²

$A_{ser} > A_u \rightarrow$ **Choix de la section réelle:**
4 HA 20 + 2 HA 25 totalisant 22,39 cm²

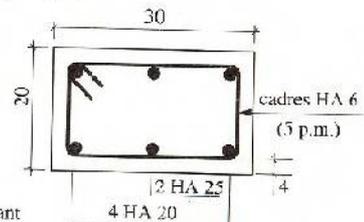
(*) Remarque: le calcul E.L.U.R. avec un acier HA Fe E 500 donne $A_u = 12,42$ cm².

Dispositions constructives minimales

- $c \geq 3$ cm: vérifié
- $e_h = 7,15$ cm $\leq 3 \varnothing$: conforme
- Bétonnage correct assuré (B.A.E.I., A.7.2)
- Même C. d. G. pour l'armature et la section de béton (aciers disposés symétriquement)

Fig. 6

Section du tirant



EXERCICE 4

Rechercher l'état limite déterminant pour la section des armatures d'un tirant (s'agit-il de l'E.L.U.R. ou de l'E.L.S. ?).

Données

$N_u = 0,401 \text{ MN}$ et $N_{ser} = 0,288 \text{ MN}$
 $f_e = 400 \text{ MPa}$; $f_{c28} = 40 \text{ MPa}$
 Cas de fissuration préjudiciable.

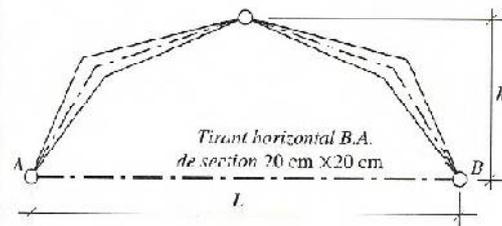
Réponse

$A_u = 11,50 \text{ cm}^2$; $A_{ser} = 11,12 \text{ cm}^2$
 État déterminant: E.L.U.R.

Remarques: dans la majeure partie des cas rencontrés, c'est l'E.L.S. qui est l'état déterminant. L'utilisation d'un acier HA Fe E 500 donnerait pour le calcul à l'E.L.U.R.: $A_u = 9,22 \text{ cm}^2 < 11,12 \text{ cm}^2$.

ETUDE DE CAS

Un atelier industriel est réalisé à l'aide d'éléments préfabriqués formant arcs isostatiques à trois articulations.
 Pour équilibrer les poussées engendrées en pied, un tirant horizontal B.A. repose sur le sol et relie les extrémités distantes de 16 m.
 Déterminer l'armature du tirant soumis à un effort normal de traction simple.



Données

- Matériaux utilisés:
 - béton $f_{c28} = 22 \text{ MPa}$
 - acier Fe E 400; $n = 1,6$
 - (barres du commerce: $L = 12 \text{ m}$)
- Section du tirant prévue: $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$
- Fissuration jugée très préjudiciable
- Efforts normaux:
 - $N_u = 0,420 \text{ MN}$
 - $N_{ser} = 0,300 \text{ MN}$

Fig. 7

Atelier industriel: éléments de la structure

Réponses

Calcul E. L. U. R.

- Contrainte de calcul de l'acier: $f_{st} = 348 \text{ MPa}$
- Section théorique de l'armature: $A_u = \frac{0,420}{348} \times 10^4 = 12,06 \text{ cm}^2$

Calcul E. L. S.

- Contrainte de calcul de l'acier: $\bar{\sigma}_{st} = 158 \text{ MPa}$
- Section théorique de l'armature: $A_{ser} = \frac{0,300}{158} \times 10^4 = 18,99 \text{ cm}^2$

$A_{ser} > A_u \rightarrow$ **Choix de la section réelle:**
 4 HA 25 totalisant $19,63 \text{ cm}^2$

(*) Remarque: le calcul E.L.U.R. avec un acier HA Fe E 500 donne $A_u = 9,66 \text{ cm}^2$.