

# SERIE DE TD SUR LA FLEXION SIMPLE

## Exercice N°1

Déterminer les armatures d'une poutre de section rectangulaire de dimensions 250 x 500 mm soumise à l'action des charges uniformément réparties :

- Les charges permanentes  $G = 20 \text{ kN / m}$
- Les charges utiles  $Q = 22 \text{ kN / m}$ .

La portée calculée de la poutre  $l = 6,0 \text{ m}$ . Les armatures longitudinales de la poutre sont en acier Fe E 400, type 1. Le béton a la résistance caractéristique à la compression  $f_{c28} = 20 \text{ MPa}$  et à la traction  $f_{t28} = 1,8 \text{ MPa}$ . Fissuration préjudiciable.

**Solution :**

### 1) Calcul à l'ELU (fig.1):

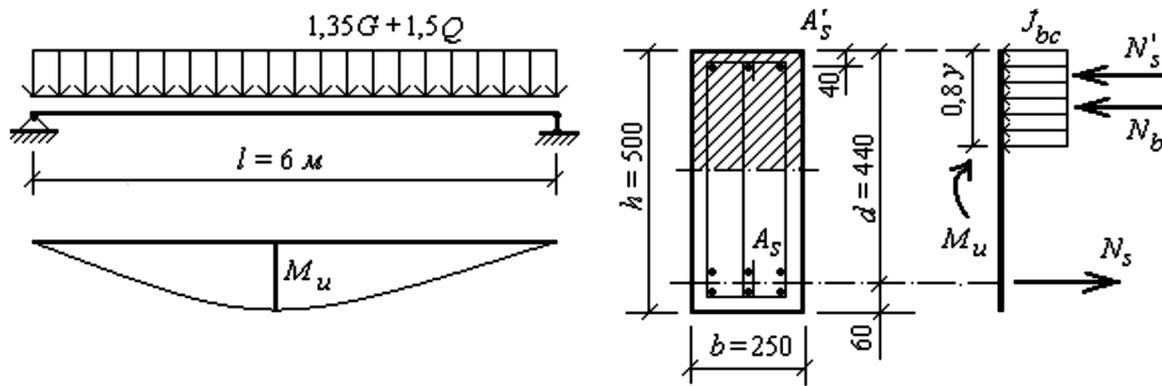


Fig.1

En faisant le calcul, vous trouverez que la section admet des armatures tendues ( $A_s > 23,08 \text{ cm}^2$ ), et des armatures comprimées ( $A'_s > 3,99 \text{ cm}^2$ )

### 2) Vérification à l'ELS (fig.2) :

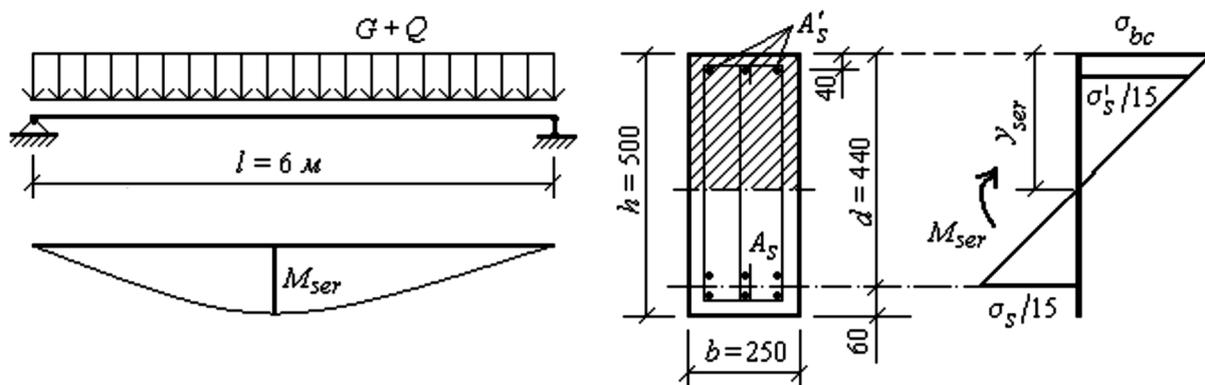


Fig.2

# SERIE DE TD SUR LA FLEXION SIMPLE

Il s'agit de vérifier les contraintes. Après avoir calculé la nouvelle position de l'axe neutre  $y_{ser}$  et le moment d'inertie de la section I, on se rend compte que la contrainte de compression du béton n'est pas vérifiée. On calcule donc de nouvelles armatures à l'ELS (Voir cours).

Les nouvelles armatures sont :  $A'_s > 12,57 \text{ cm}^2$  ;  $A_s > 24,77 \text{ cm}^2$ , Soit 3HA25 dans la zone comprimée et 6 HA25 dans la zone tendue (fig.3).

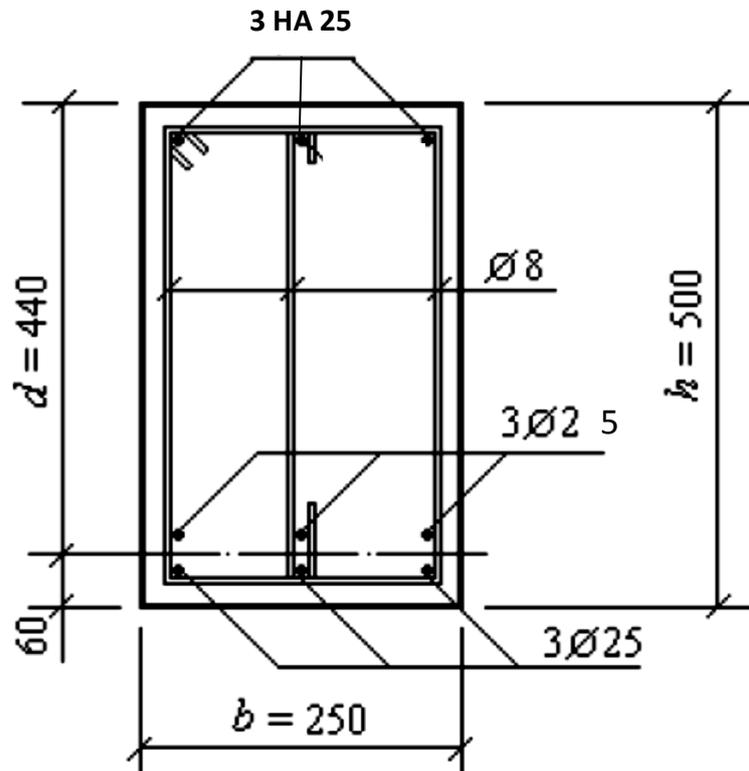


Fig.3

## Exercice N°2

La poutre présentée sur la figure 1 (exercice N°1) avec les dimensions de la section  $b \times h = 250 \times 600 \text{ mm}$  et la hauteur utile  $600 - 60 = 540 \text{ mm}$ . On demande de déterminer le ferrailage de la poutre pour état-limite ultime et de faire la vérification de ce ferrailage pour état-limite de service en fissuration peu nuisible (1<sup>er</sup> cas) et en fissuration préjudiciable (2<sup>ième</sup> cas).

**Réponse :**

### 1) Calcul à l'ELU

A l'ELU, la section sera armée par des armatures tendues uniquement (se référer au cours pour la méthode de calcul) :  $A_s > 18,85 \text{ cm}^2$  (6 HA20).

### 2) Vérification à l'ELS :

**a) En fissuration peu nuisible**, seule la contrainte dans le béton est vérifiée (Il n'y'a pas de limite sur les armatures tendues). En procédant comme en cours, vous trouverez que la contrainte dans le béton à l'ELS  $\sigma_{bc} > \bar{\sigma}_b$

on renforce donc la zone comprimée avec des armatures comprimées, on trouve (voir cours :  $A'_s > 3,39 \text{ cm}^2$  (soit 3 HA12). (Fig.4)

# SERIE DE TD SUR LA FLEXION SIMPLE

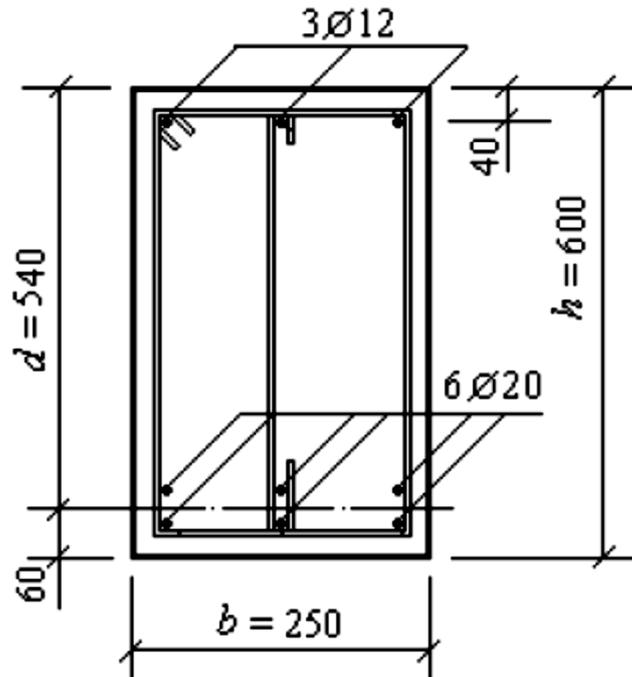


Fig.4

b) En fissuration préjudiciable, on peut vérifier aisément que la contrainte dans le béton comprimée dépasse la contrainte admissible, on calcule donc de nouvelles armatures comprimées et des armatures tendues (Voir cours).

On trouve (fig.5) :

- Dans la zone comprimée :  $A'_s > 1,89 \text{ cm}^2$  (Soit 3 HA10)
- Dans la zone tendue :  $A_s > 20,64 \text{ cm}^2$  (Soit 6 HA 25)

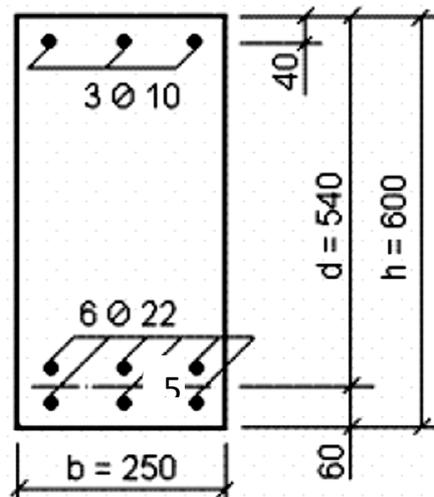


Fig.5

# SERIE DE TD SUR LA FLEXION SIMPLE

## Exercice N°3

**Déterminer à l'ELU** les armatures de la section en  $T$  représentée sur la figure 6 et soumise à un moment  $M_u = 460 \text{ kN m}$ . Les armatures sont en acier  $Fe E 400$ . La résistance caractéristique du béton est  $f_{c28} = 20 \text{ MPa}$ ,

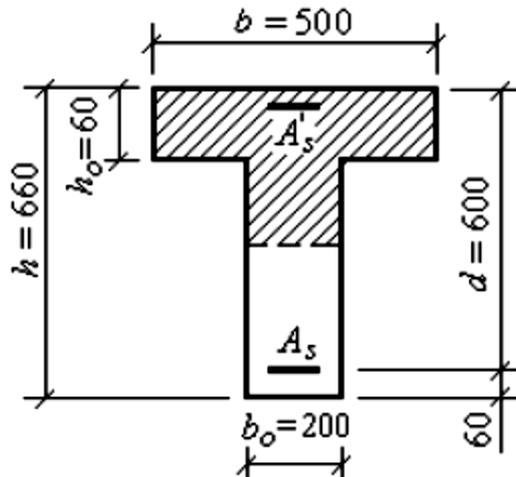


Fig.6

### Solution :

L'exercice nous demande de faire le calcul à l'ELU uniquement (en pratique, le calcul se fait à l'ELU avec vérification à l'ELS).

Comme on l'a déjà vu en cours, il faut d'abord déterminer la position de l'axe neutre. Pour ce, il faudrait calculer le moment  $M_t$  équilibré par la table de compression seule. Vous remarquerez en faisant le calcul que ce moment équilibré par la table est inférieur au moment de sollicitation  $M_u$ . L'axe neutre se situe donc dans la nervure ce qui signifie que la table et une partie de la nervure sont comprimées. On calcule donc un moment  $M_{u2}$  et un moment réduit  $\mu_2$ . Vous trouverez une valeur supérieure au moment réduit limite  $\mu_1 = 0.392$  pour les armatures HAFéE400.

On calcule donc des armatures comprimées et des armatures tendues (voir cours). On trouve :

$A'_s \geq 1.26 \text{ cm}^2$  dans la zone comprimée (Soit 3 HA10);  $A_s \geq 27,95 \text{ cm}^2$  pour la zone tendue (soit 6 HA25). Voir fig.7.

# SERIE DE TD SUR LA FLEXION SIMPLE

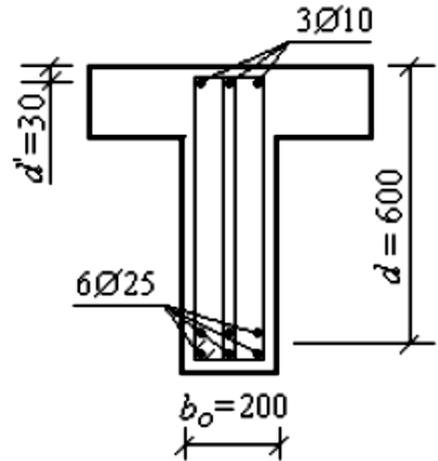


Fig.7

## Exercice N°4

Soit à déterminer à l'ELU, les armatures de la section en  $T$  (figure 8a) soumise à un moment fléchissant  $M_u = 200 \text{ kN m}$ . Les armatures sont en acier  $Fe E 400$ . Le béton a la résistance caractéristique  $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$ .

### Solution :

Ici vous constaterez, en calculant le moment  $M_t$  équilibré par la table de compression qu'il est supérieur au moment  $M_u$ . On calculera donc une section rectangulaire de largeur  $b = 100 \text{ cm}$ .

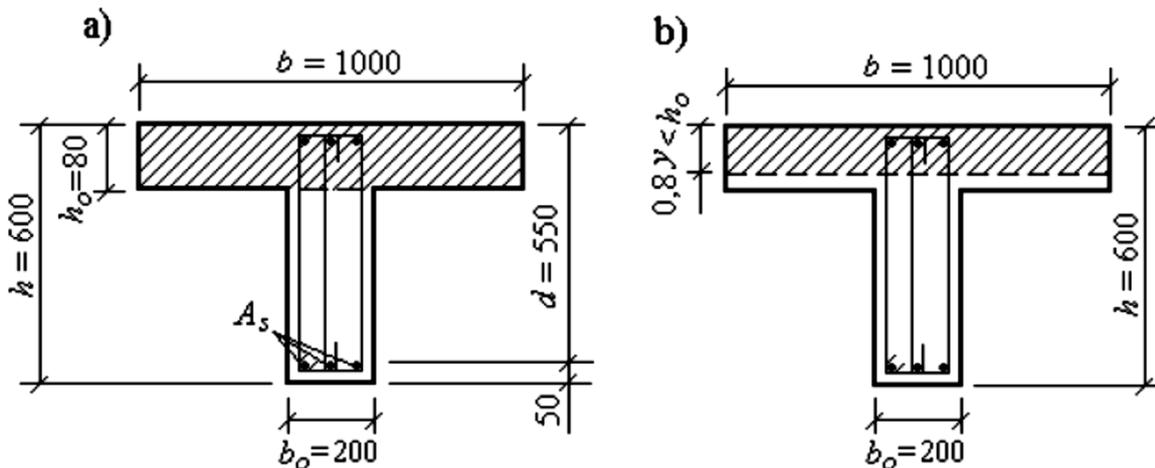


Fig.8

On sait calculer une section rectangulaire (voir cours).

En faisant le calcul conformément au cours (calcul des sections rectangulaire en flexion simple) vous trouverez que la section admet uniquement des armatures tendues :  $A_s \geq 10.70$

# SERIE DE TD SUR LA FLEXION SIMPLE

cm<sup>2</sup>. En utilisant la table d'armatures on choisit : 3HA25 pour le ferrailage en zone tendue. Et des armatures de montage (3HA12 par exemple) en zone comprimée.

## Exercice 6

Déterminer les armatures de la section en  $T$  (figure 9) soumise à l'ELU à un moment fléchissant  $M_u = 1\text{MNm}$  (méga Newton mètre) et à l'ELS à un moment fléchissant  $M_u = 0.7\text{MNm}$  (méga Newton mètre). Les armatures sont en acier  $Fe E 500$ . Le béton a la résistance caractéristique  $f_{c28} = 25\text{MPa}$ .

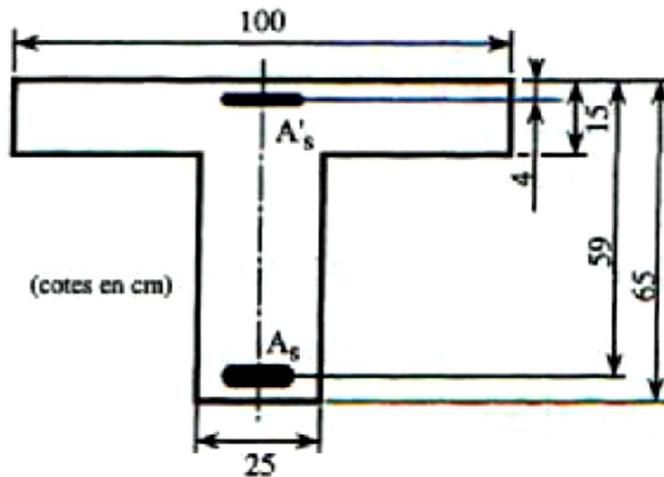


Fig.9

## Solution

### 1) Calcul à l'ELU

En procédant de la même façon que pour les exercices 4 et 5, on trouve que l'axe neutre se trouve dans la nervure (car  $M_t < M_u$ ) (Voir cours) et en faisant le calcul vous trouverez que la section admet uniquement des armatures tendues :

**$A_s \geq 44.2\text{ cm}^2$  (Evidemment, cette section est très difficile à placer dans la section car trop importante !)**

### Remarque :

Si vous prenez la même section avec un moment  $M_u = 0.5\text{ MN.m}$ , vous remarquerez que l'axe neutre se situe dans la table (le calcul se fera pour une section rectangulaire de même largeur = 100cm et de même hauteur).

### 2) Vérification à l'ELS

A l'ELS, on détermine la nouvelle position de l'axe neutre (voir comment en cours). Si l'axe neutre se situe dans la table, on fait comme pour une section rectangulaire en flexion simple à l'ELS (voir cours), sinon on continue comme pour une section en T à l'ELS (voir cours).

# SERIE DE TD SUR LA FLEXION SIMPLE

Ici pour cet exercice, vous trouverez que l'axe neutre se situe dans la nervure à l'ELS ( $y_{ser} > h_0$ ). On continue donc comme pour une section en T.

Après avoir calculé  $y_{ser}$ , le moment d'inertie  $I$  de la section et les contraintes  $\sigma_{bc}$  et  $\sigma_s$ , vous constaterez que :

$$\sigma_{bc} \leq \bar{\sigma}_b$$

$$\sigma_s > \bar{\sigma}_s$$

On calcule donc une nouvelle section d'armatures tendues par la formule appropriée (voir cours) et on trouvera :  $A_s \geq 55,7 \text{ cm}^2$  !!!!

Cette section est impossible à placer dans la nervure de 25 cm. Il est donc préférable de revoir les dimensions de cette poutre.

## Comment utiliser la table d'armatures ?

- **La 1<sup>ère</sup> ligne horizontalement : le nombre d'armatures**
- **La 1<sup>ère</sup> colonne : Désignation et diamètre des armatures**
- **Exemple : 3 armatures HA12 ont une section globale de  $3,39 \text{ cm}^2$  ; 6 armatures HA14 ont une section totale de  $9,24 \text{ cm}^2$  ; 6 HA14+3HA12 :  $12,63 \text{ cm}^2$**

**Tableau des sections des barres indépendantes**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
HA 6	0,28	0,57	0,85	1,13	1,41	1,70	1,98	2,26	2,54
HA 8	0,50	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,52
HA 10	0,79	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07
HA 12	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,18
HA 14	1,54	3,08	4,62	6,16	7,70	9,24	10,78	12,32	13,85
HA 16	2,01	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,10
HA 20	3,14	6,28	9,42	12,57	15,71	18,85	21,99	25,13	28,27
HA 25	4,91	9,82	14,73	19,63	24,54	29,45	34,36	39,27	44,18
HA 32	8,04	16,08	24,13	32,17	40,21	48,25	56,30	64,34	72,38
HA 40	12,57	25,13	37,70	50,27	62,83	75,40	87,96	100,53	113,10

La masse volumique de l'acier est  $7800 \text{ kg/m}^3$