

## Examen S2 Structures en Béton Armé

### Questions (7pts)

1. Citer les conditions d'application de la méthode Albiges et Goulet.
2. Citer trois critères de choix d'un système de contreventement.
3. Démontrer la condition de l'équilibre extérieur à la base d'un voile à plusieurs files d'ouvertures dans le cas des ouvertures moyennes.
4. Représenter trois systèmes de contreventement.
5. Déterminer l'expression de la longueur  $l_t$  de la zone tendue pour un voile plein de longueur  $l$  soumise à la flexion composée (partiellement comprimée).
6. Donner la condition nécessaire pour la stabilité au renversement d'un bâtiment à plusieurs étages.

### Exercice 1 (7 pts)

On considère un voile à une seule file d'ouverture présenté sur la figure ci-dessous. Déterminer les efforts internes dans les niveaux 0, 1 et 2, en considérant un vent triangulaire avec  $T_1=26t$ .

Vérifier l'équilibre à la base du voile.

$$n=7$$

$$I_1=0,45\text{m}^4$$

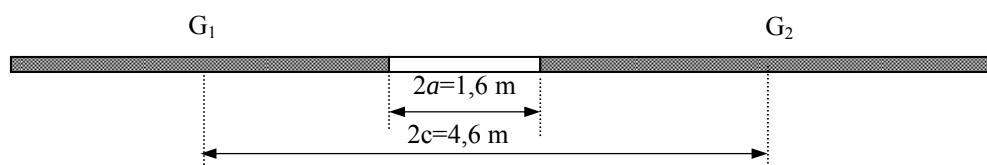
$$I_2=0,45\text{m}^4$$

$$I=7,25\text{ m}^4$$

$$m=1,38\text{ m}^3$$

$$h_e=2,8\text{m}$$

$$\omega=0,3179 \quad ; \quad \alpha=\omega.H=8,9$$



### Exercice 2 (6 pts)

On considère un linteau avec les dimensions suivantes :

$$l = 1,4\text{ m}$$

$$h = 0,8\text{ m}$$

$$e = 0,2\text{ m}$$

$$d' = 0,04\text{m}$$

Calculer et représenter les armatures du linteau en considérant un béton  $f_{c28}=25\text{MPa}$  et un acier FeE400 avec :  $V = 240\text{ kN}$  et  $M=160\text{ kN.m}$

## Corrigé Type

1. Conditions d'application de la méthode Albiges et Goulet : **(2p)**

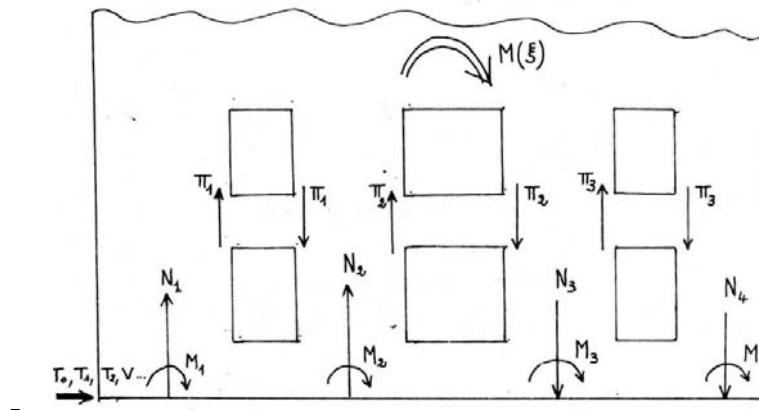
- nombre d'étage au moins égal à 7 ;
- hauteur d'étage constante ;
- les refends présentent sur toute la hauteur du bâtiment des caractéristiques géométriques et mécaniques constante ;
- la méthode n'est pas utilisable dans le cas où les refends sont constitués de matériaux de qualité décroissant avec la hauteur ;

Les linteaux qui lient les deux éléments de refends ont tous mêmes caractéristiques géométriques ;

2. critères de choix d'un système de contreventement : **(1,5p)**

- Nombre d'étage
- La zone sismique
- La forme de bâtiment (Symétrie du plan ou non). **(1P)**

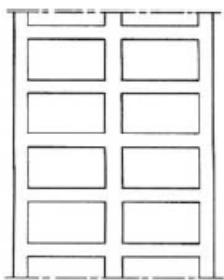
3.



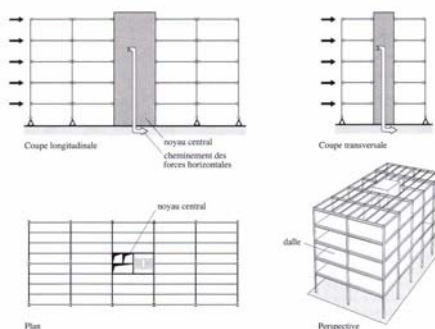
- L'équilibre extérieur est donné par la relation suivante :

$$M(\xi) = M_1(\xi) + M_2(\xi) + M_3(\xi) + \dots + 2N_1(\xi) \cdot (c_1 + c_2 + c_3 + \dots) + 2N_2(\xi) \cdot (c_2 + c_3 + \dots) + 2N_3(\xi) \cdot (c_3 + \dots) + \dots$$

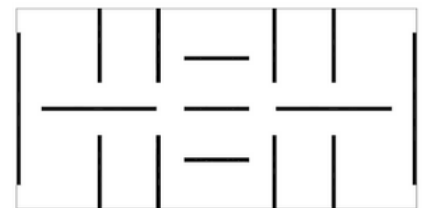
4. Représenter trois systèmes contreventement **(1,5P)**



(1) portique auto-stable

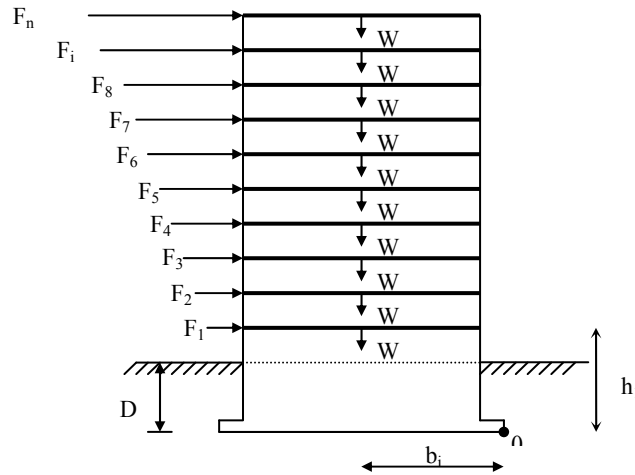


(2) Noyau de stabilité



(3) voiles de contreventement

5. Condition nécessaire pour la stabilité au renversement d'un bâtiment à plusieurs étages **(1p)**



$$M_{sta} = \sum W_i b_i \quad M_{renv} = \sum F_i h_i \quad Cs = M_{sta} / M_{renv} > 1,5$$

## Exercice 2 (6 pts)

**Contrainte de cisaillement :**  $\tau_b = \frac{\bar{V}}{b_0 d}$  avec  $\bar{V} = 1,4 V_u \text{ calcul}$

$$\tau = \frac{336000}{152000} = 2,21 \text{ MPa} \geq \tau = 0,06.f_{c28} = 1,5 \text{ MPa}.$$

Dans ce cas il y a lieu de disposer le ferrailage longitudinal (supérieur et inférieur), transversaux et en zone courant (armatures de peau) suivant les minimum réglementaires. Les efforts (M, N) sont repris suivants des bielles diagonales (de compression et de traction) suivant l'axe moyen des armatures diagonales ( $A_D$ ) à disposer obligatoirement le calcul de ces armatures se fait suivant le formule.

### • Ferrailage de linteau :

**Armatures diagonales** «  $A_D$  » :

$$A_D = \frac{V}{2 f_e \sin \alpha} \quad \text{avec : } \tan \alpha = \frac{h - 2d'}{l} \Rightarrow \tan \alpha = 0,51 \Rightarrow \sin \alpha = 0,457 \quad (V = V \text{ calcul sans majoration})$$

$$A_D = \frac{240000}{2.40000.0,457} = 6,56 \text{ cm}^2.$$

$$A_{D \min} = 0,0015.b.h = 2,4 \text{ cm}^2.$$

$$\Rightarrow A_D = 6,56 \text{ cm}^2 \quad \text{Soit : } 6 \text{ T12} = 6,78 \text{ cm}^2.$$

**Armatures longitudinales** «  $A_L ; A_L'$  » :

$$(A_L ; A_L') \geq 0,0015.b.h = 2,4 \text{ cm}^2.$$

On adopte : 4 T10 pour  $A_L$  et 4 T10 pour  $A_L'$ .

**Armatures transversales** «  $A_t$  » :

$$\tau_b > 0,025 f_{c28} \rightarrow A_t \geq 0,0025 .b.S_t.$$

$$S_t \leq \frac{h}{4} = \frac{80}{4} = 20 \text{ cm} \quad \text{soit : } S_t = 20 \text{ cm}.$$

$$A_{t \min} \geq 0,0025 . 20 . 20 = 1 \text{ cm}^2.$$

On adopte 6 cadre ( $\phi 6$ ) avec  $e = 20 \text{ cm}$ .

**Armature de zone courante** (armatures de peau «  $A_c$  ») :

Ces aciers doivent être disposés en 2 nappes suivant le minimum réglementaires :

$$A_c \geq 0,0020 .b.h = 3,2 \text{ cm}^2.$$

Pour les deux nappe soit 4T10 = 3,14 cm<sup>2</sup>.

$$\begin{aligned} \Pi(\xi) &= F_1 \phi(\alpha, \xi) \quad \text{avec} \quad F_1 = \frac{T_1 \cdot m \cdot h}{I} & ; & \quad \phi(\alpha, \xi) = 1 - \xi^2 - \frac{2}{\alpha^2} + \frac{2 - \alpha^2}{\alpha^2} \frac{ch \alpha (1 - \xi)}{ch \alpha} + \frac{2}{\alpha} \frac{sh \alpha \xi}{ch \alpha} & ; & \quad \xi = x/H \\ N(\xi) &= \frac{T_1 H m}{I} \Lambda(\alpha, \xi) & ; & \quad \Lambda(\alpha, \xi) = \frac{1}{3} (2 - 3\xi + \xi^3) + \frac{2}{\alpha^2} \xi + \frac{2 - \alpha^2}{\alpha^3 ch \alpha} sh \alpha (1 - \xi) - \frac{2}{\alpha^2} \frac{ch \alpha \xi}{ch \alpha} \\ M_1 &= \frac{I_1}{I_1 + I_2} T_1 H \left( \frac{2 - 3\xi + \xi^3}{3} - \frac{2cm}{I} \Lambda(\alpha, \xi) \right) & ; & \quad M_2 = \frac{I_2}{I_1 + I_2} T_1 H \left( \frac{2 - 3\xi + \xi^3}{3} - \frac{2cm}{I} \Lambda(\alpha, \xi) \right) \end{aligned}$$

## 1. Efforts internes

| Niv | x(m) | $\xi$ | $\alpha \cdot \xi$ | $\alpha(1-\xi)$ | $(1-\xi)$ | $\phi(\alpha, \xi)$ | $\Pi$  | $\frac{1}{3}(2-3\xi+\xi^3)$ | $\Lambda(\alpha, \xi)$ | $\frac{2cm}{I} \Lambda(\alpha, \xi)$ | $\left( \frac{2-3\xi+\xi^3}{3} - \frac{2cm}{I} \Lambda(\alpha, \xi) \right)$ | M <sub>1</sub> | M <sub>2</sub> | N       |
|-----|------|-------|--------------------|-----------------|-----------|---------------------|--------|-----------------------------|------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|---------|
| 7   |      |       |                    |                 |           |                     |        |                             |                        |                                      |                                                                              |                |                |         |
| 6   |      |       |                    |                 |           |                     |        |                             |                        |                                      |                                                                              |                |                |         |
| 5   |      |       |                    |                 |           |                     |        |                             |                        |                                      |                                                                              |                |                |         |
| 4   |      |       |                    |                 |           |                     |        |                             |                        |                                      |                                                                              |                |                |         |
| 3   |      |       |                    |                 |           |                     |        |                             |                        |                                      |                                                                              |                |                |         |
| 2   | 5,6  | 0,28  | 2,5428             | 6,357           | 0,714     | 0,81684             | 7,8128 | 0,38872692                  | 0,387284               | 0,339100507                          | 0,049626412                                                                  | 12,6448        | 12,64481       | 37,5664 |
| 1   | 2,8  | 0,14  | 1,2714             | 7,628           | 0,857     | 0,68109             | 6,5144 | 0,52478134                  | 0,497661               | 0,435745689                          | 0,089035652                                                                  | 22,6862        | 22,68628       | 48,2730 |
| 0   | 0    | 0     | 0                  | 8,9             | 1         | 0                   | 0      | 0,66666667                  | 0,557137               | 0,48782168                           | 0,178844987                                                                  | 45,5697        | 45,56970       | 54,0421 |

**2. Vérification de l'équilibre pour  $\xi=0$**   $M(\xi) = -T_1 H \left( \frac{2 - 3\xi + \xi^3}{3} \right) = 339,73$

**M<sub>1</sub>+M<sub>2</sub>+2Nc=339,73 C.V**

$\tau_b = \frac{\bar{V}}{b_0 d}$  avec  $\bar{V} = 1,4 V_{u \text{ calcul}}$  ( $b_0$  épaisseur du linteau ou du voile ;  $d$  : hauteur utile = 0,9h ;  $h$  : hauteur totale de la section brute)

**Si  $\tau_b \leq 0,06 f_{c28} \rightarrow A_t, A_b$ , et  $A_c \neq 0$**   $A_t \geq \frac{M}{z \cdot f_e}$   $z = h - 2d'$  ; **si  $\lambda_g = \frac{l}{h} > 1 \Rightarrow s \leq \frac{A_t \cdot f_e \cdot z}{\bar{V}}$  ;  $A_D = 0$**

**Si  $\tau_b > 0,06 f_{c28} \rightarrow A_t, A_b$ , et  $A_c$**  suivant les minimums réglementaires et  $A_D = \frac{V}{2f_e \sin \alpha}$  avec :  $tg \alpha = \frac{h - 2d'}{l}$   $V = V_{\text{calcul}}$  (sans majoration)

**(A<sub>t</sub>, A'<sub>t</sub>) ≥ 0,0015.b.h ; A<sub>D</sub> ≥ 0,0015.b.h ; A<sub>c</sub> ≥ 0,002b.h ; pour  $\tau_b \leq 0,025 f_{c28}$  : A<sub>t</sub> ≥ 0,0015.b.s ; pour  $\tau_b > 0,025 f_{c28}$  : A<sub>t</sub> ≥ 0,0025.b.s (s ≤ h/4)**