

**VII.1-Introduction :**

Le voile ou le mur en béton armé est un élément de construction verticale surfacique coulé dans des coffrages à leur emplacement définitif dans la construction.

Ces éléments comprennent habituellement des armatures de comportement fixées forfaitairement et des armatures prises en compte dans les calculs.

On utilise les voiles dans tous les bâtiments, quelles que soient leurs destinations (d'habitations, de bureaux, scolaires, hospitaliers, industriels...).

**VII.2-Le système de contreventement :**

Les systèmes de contreventement représentent la partie de la structure qui doit reprendre les forces horizontales dues aux vents "action climatique" ou aux séismes (action géologique).

Dans notre construction, le système de contreventement est mixte (voile - portique); ce système de contreventement est conseillé en zone sismique, car il a une capacité de résistance satisfaisante.

Mais ce système structural est en fait un mélange de deux types de structures qui obéissent à des lois de comportement différentes. de l'interaction portique – voiles, naissent des forces qui peuvent changer de sens aux niveaux les plus hauts et ceci s'explique par le fait qu'à ces niveaux les portiques bloquent les voiles dans leurs déplacements. Par conséquent, une attention particulière doit être observée pour ce type de structure:

**VII.2.1-Conception :**

- Il faut que les voiles soient placés de telle sorte qu'il n'y ait pas d'excentricité (torsion).
- Les voiles ne doivent pas être trop éloignés (flexibilité du plancher).
- L'emplacement des voiles ne doit pas déséquilibrer la structure (il faut que les rigidités dans les deux directions soient très proches).

**VII.2.2-Calcul :**

Dans les calculs, on doit considérer un modèle comprenant l'ensemble des éléments structuraux (portique-voiles) afin de prendre en considération conformément aux lois de comportement de chaque type de structure.

**VII.2.3-principe de calcul :**

L'étude des voiles consiste à les considérer comme des consoles sollicitées par un moment fléchissant, un effort normal, et un effort tranchant suivant le cas le plus défavorable selon les combinaisons suivantes :

- 1)  $G + Q \pm E$  (vérification du béton)
- 2)  $0,8G + E$  (calcul des aciers de flexion)

Le calcul des armatures sera fait à la flexion composée, par la méthode des contraintes et vérifier selon le règlement R.P.A 99(version 2003).

Les murs en béton armé comportent trois catégories d'armature :

- armatures verticales
- armatures horizontales (parallèles aux faces des murs)
- armatures transversales

### **3.1-La méthode de calcul :**

On utilise la méthode des contraintes (la formule classique de la R.D.M) :

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{A} \pm \frac{M.V}{I} \leq \sigma = \frac{0,85.f_{c28}}{1,15} = 18,48 \text{ MPa}$$

Avec: N : Effort normal appliqué.

M : Moment fléchissant appliqué.

A : Section du voile.

V : Distance entre le centre de gravité du voile et la fibre la plus éloignée.

I : Moment d'inertie.

On distingue 3 cas :

#### **1. a-1<sup>er</sup> cas :**

Si :  $(\sigma_1 \text{ et } \sigma_2) > 0 \Rightarrow$  la section du voile est entièrement comprimée " pas de zone tendue ".

La zone courante est armée par le minimum exigé par le R.P.A 99 (version 2003)

$$A_{\min} = 0,15.a.L$$

#### **1. b-2<sup>eme</sup> cas :**

Si :  $(\sigma_1 \text{ et } \sigma_2) < 0 \Rightarrow$  la section du voile est entièrement tendue " pas de zone comprimée"

On calcule le volume des contraintes de traction, d'où la section des armatures verticales :

$A_v = F_t / f_e$  ; on compare  $A_v$  par la section minimale exigée par le R.P.A 99 (version 2003).

-Si :  $A_v < A_{\min} = 0,15 \% a.L$ , on ferraille avec la section minimale.

-Si :  $A_v > A_{\min}$ , on ferraille avec  $A_v$ .

#### **1. c-3<sup>eme</sup> cas:**

Si :  $(\sigma_1 \text{ et } \sigma_2)$  sont de signe différent, la section du voile est partiellement comprimée, donc on calcule le volume des contraintes pour la zone tendue.

**3.2- Armatures verticales :**

Elles sont disposées en deux nappes parallèles servant à répondre les contraintes de flexion composée, le R.P.A 99 (version 2003) exige un pourcentage minimal égal à 0,15% de la section du béton.

Le ferrailage sera disposé symétriquement dans le voile en raison du changement de direction du séisme avec le diamètre des barres qui ne doit pas dépasser le 1/10 de l'épaisseur du voile.

**3.3- Armatures horizontales :**

Les armatures horizontales parallèles aux faces du mur sont distribuées d'une façon uniforme sur la totalité de la longueur du mur ou de l'élément de mur limité par des ouvertures; les barres horizontales doivent être disposées vers l'extérieure.

Le pourcentage minimum d'armatures horizontales donné comme suit :

- Globalement dans la section du voile 0,15% .
- En zone courante 0,10 %.

**3.4-Armatures transversales :**

Les armatures transversales perpendiculaires aux faces du voile sont à prévoir d'une densité de 4 par m<sup>2</sup> au moins dans le cas où les armatures verticales ont un diamètre inférieur ou égal à 12 mm. Les armatures transversales doivent tenir toutes les barres avec un espacement au plus égal à 15 fois le diamètre des aciers verticaux.

Les armatures transversales peuvent être des épingles de diamètre 6 mm lorsque les barres longitudinales ont un diamètre inférieur ou égal à 20 mm, et de 8 mm dans le cas contraire.

**VII. 3- ferrailage des voiles :****VII.3.1-Exemple de calcul :**

$$a > \frac{h_e}{22} = 13,90\text{cm}$$

**20 cm**

On prend: **a =**

$$A = (0,20 \times 3,80) + 0,3^2 \times 2 = 0,94 \text{ m}^2$$

$$I = \frac{a L^3}{12} = \frac{0,2 \times 3,80^3}{12} = 0,91 \text{ m}^4$$

$$V = 0,3 + \frac{3,80}{2} = 2,20 \text{ m}$$

$$A = 0,94 \text{ m}^2$$

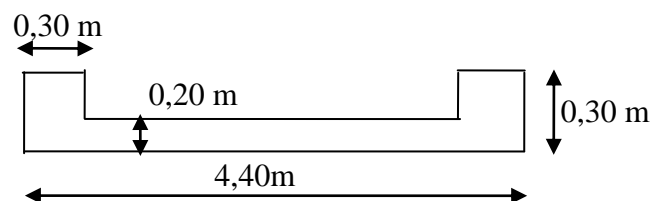
$$I = 0,91 \text{ m}^4$$

$$V = 2,20 \text{ m}$$

$$N = 54,25 \text{ t}$$

$$M = 1,58 \text{ t.m}$$

$$T = 0,93 \text{ t}$$



**Figure-VII -1:** Schéma du voile+ poteaux (type1)

**VII.3.2-Détermination des contraintes :**

$$\sigma_1 = \frac{N}{A} + \frac{M V}{I} = \frac{54,25 \cdot 10^{-2}}{0,94} + \frac{1,58 \times 2,2 \cdot 10^{-2}}{0,91} = 0,6153 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_1 = \frac{N}{A} - \frac{M V}{I} = \frac{54,25 \cdot 10^{-2}}{0,94} - \frac{1,58 \times 2,2 \cdot 10^{-2}}{0,91} = 0,5389 \text{ Mpa}$$

On à  $(\sigma_1 \text{ et } \sigma_2) > 0 \Rightarrow$  la section du voile est entièrement comprimée " pas de zone tendue".

Alors la zone courante est armée par le minimum exigé par le R.P.A 99 (version 2003).

**VII.3.3-Calcul des armatures verticales :**

D'après le R.P.A 99 (version 2003) on à :

$$A_{\min} = 0,15\% \cdot a \cdot L$$

On calcule le ferrailage pour une bande de 1 mètre (L = 1 m)

$$A_{\min} = 0,15\% \times 20 \times 1 \text{ m} = 0,0015 \times 20 \times 100 = 3,00 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

**3. a-Le diamètre :**  $D \leq 1/10 \times a$  (mm)

$$D \leq (1/10) \cdot 200$$

$$D \leq 20 \text{ mm}$$

On adopte :  $D = 12 \text{ mm}$

**3. b-L'espacement:**

-Selon le BAEL 91, on à :

$$St \leq \min \{ 2 \cdot a, 33 \text{ cm} \}$$

$$St \leq \min \{ 30, 33 \text{ cm} \} \Rightarrow St \leq 30 \text{ cm} \dots \dots \dots (1).$$

- Selon le R.P.A 99 (version 2003) on à:

$$St \leq \min \{ 1,5 \times a ; 30 \text{ cm} \}$$

$$St \leq \min \{ 30; 30 \text{ cm} \} \Rightarrow St \leq 30 \text{ cm} \dots \dots \dots (2).$$

$$\text{Donc: } St \leq \min \{ St_{\text{BAEL}} ; St_{\text{R.P.A 99}} \}$$

$$St \leq 30 \text{ cm}$$

On adopte un espacement de 20 cm.

Le choix de la section des armatures verticales est **5T12 = 5,65 cm<sup>2</sup>/ml**.

**VII.3.4-Calcul des armatures horizontales :**

D'après le R.P.A 99 (version 2003), on adopte le même ferrailage que les armatures verticales soit **5T12 = 5,65 cm<sup>2</sup>/ml** avec un espacement de 20 cm.

**VII.3.5-calcul des armatures transversales :**

D'après le D.T.R-B.C-2,42 et le BAEL 91, dans le cas où le diamètre des aciers verticaux est inférieur ou égal à 12 mm, les armatures transversales sont à prévoir à raison d'une densité de 4/m<sup>2</sup> au moins; on prend donc **4φ6 par m<sup>2</sup>**.

**VII.3.6-Vérification de la contrainte de cisaillement  $\tau_b$  :**

On calcule la contrainte de cisaillement  $\tau_b = \frac{\bar{T}}{a.L}$

Avec :  $\bar{T} = 1,4 T_{cal}$  l'effort tranchant de calcul majoré de 40%

a : Épaisseur du voile

L : longueur du voile

$$\tau_b = \frac{1,30 \cdot 10^4}{200 \times 3800} = 0,017 \text{ Mpa}$$

Cette contrainte est limitée par:  $\bar{\tau} = 0,05 \cdot f_{c28} = 1,25 \text{ MPa}$

$$\tau_b = 0,017 \text{ MPa} < 0,05 f_{c28} = 1,25 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.}$$

**VII.3.7-Voile intermédiaire :**

$$A = (0,2 \times 3,25) + 0,3^2 = 0,74 \text{ m}^2$$

$$I = \frac{a L^3}{12} = \frac{0,2 \times 3,25^3}{12} = 0,57 \text{ m}^4$$

$$V = 0,3 + \frac{3,25}{2} = 1,92 \text{ m}$$

$$A = 0,74 \text{ m}^2.$$

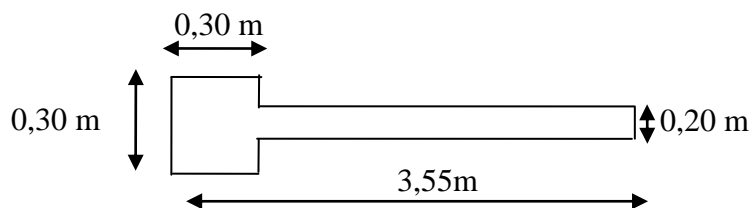
$$I = 0,57 \text{ m}^4.$$

$$V = 1,92 \text{ m}.$$

$$N = 101,6 \text{ t}.$$

$$M = 1,23 \text{ t.m}.$$

$$T = 0,77 \text{ t}.$$



**Figure-VII -2:** Schéma du voile+ poteaux(type2)

**7.1-Détermination des contraintes :**

$$\sigma_1 = \frac{N}{A} + \frac{M V}{I} = \frac{101,6 \cdot 10^{-2}}{0,74} + \frac{1,23 \times 1,92 \cdot 10^{-2}}{0,57} = 1,41 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_1 = \frac{N}{A} + \frac{M V}{I} = \frac{101,6 \cdot 10^{-2}}{0,74} - \frac{1,23 \times 1,92 \cdot 10^{-2}}{0,57} = 1,33 \text{ Mpa}$$

On a  $(\sigma_1 \text{ et } \sigma_2) > 0 \Rightarrow$  la section du voile est entièrement comprimée " pas de zone tendue"

alors la zone courante est armée par le minimum exigé par le R.P.A 99 (version 2003).

**7.2-Calcul des armatures verticales :**

D'après le R.P.A 99 (version 2003) on à :

$$A_{\min} = 0,15\% \cdot a \cdot L$$

On calcule le ferrailage pour une bande de 1 mètre (L = 1 m)

$$A_{\min} = 0,15\% \times a \times 1 \text{ m} = 0,0015 \times 20 \times 100 = 3,00 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

**2.a-Le diamètre :  $D \leq (1/10) \times a$  (mm)**

On adopte :  $D = 12 \text{ mm}$

**2.b-L'espacement:**

-Selon le BAEL 91, on à :

$$St \leq \min \{ 2.a, 33 \text{ cm} \}$$

$$St \leq \min \{ 40, 33 \text{ cm} \} \Rightarrow St \leq 33 \text{ cm} \dots \dots \dots (1).$$

- Selon le R.P.A 99 (version 2003) on à :

$$St \leq \min \{ 1, 5 \times a; 30 \text{ cm} \}$$

$$St \leq \min \{ 30, 30 \text{ cm} \} \Rightarrow St \leq 30 \text{ cm} \dots \dots \dots (2).$$

Donc:  $St \leq \min \{ St_{\text{BAEL}} ; St_{\text{R.P.A 99}} \}$

$$St \leq 30 \text{ cm}$$

On adopte un espacement de 20 cm.

Le choix de la section des armatures verticales est **5T12 = 5,65 cm<sup>2</sup>/ml.**

**7.3-Calcul des armatures horizontales :**

D'après le R.P.A 99 (version 2003), on adopte le même ferrailage que les armatures verticales soit **5T12 = 5,65 cm<sup>2</sup>/ml** avec un espacement de 20 cm.

**7.4-calcul des armatures transversales :**

D'après le D.T.R-B.C-2,42, dans le cas où le diamètre des aciers verticaux est inférieur ou égal à 12 mm, les armatures transversales sont à prévoir à raison d'une densité de 4/m<sup>2</sup> au moins; on prend donc **4φ6 par m<sup>2</sup>.**

**7.5-Vérification de la contrainte de cisaillement  $\tau_b$  :**

On calcule la contrainte de cisaillement  $\tau_b = \frac{\bar{T}}{a \cdot L}$

Cette contrainte est limitée par:  $\bar{\tau} = 0,05 \cdot f_{c28} = 1,25 \text{ MPa}$ .

$$\tau_b = \frac{1,07 \cdot 10^4}{200 \times 3250} = 0,016 \text{ Mpa}$$

$\tau_b = 0,016 \text{ MPa} < 0,05 f_{c28} = 1,25 \text{ MPa} \dots \dots \dots$  condition vérifiée.

**VII.4-Disposition des armatures :****VII.4.1-armatures verticales :**

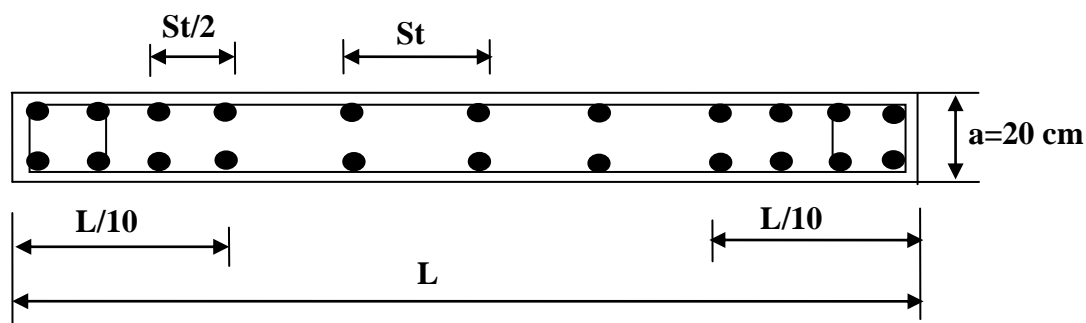
-Les arrêts, jonctions et enrobages des armatures verticales sont effectués conformément aux règles de béton armé en vigueur.

-La distance entre axes des armatures verticales d'une même face ne doit pas dépasser deux fois l'épaisseur du mur ni 33 cm. Selon le BAEL 91, et ne doit pas dépasser 1,5 de l'épaisseur du mur ni 30 cm selon le R.P.A 99 (version 2003).

- A chaque extrémité du voile, l'espacement des barres doit être réduit de moitié sur 1/10 de la largeur du voile. Cet espacement d'extrémité doit être au plus égal à 15 cm

On a  $St=20\text{ cm} \rightarrow St/2 = 10\text{ cm} < 20\text{ cm}$  .....Condition. Vérifiée.

$L=380\text{ cm} \rightarrow L/10 = 38\text{ cm}$ .



**Fig. VII.3-Disposition des armatures verticales dans les voiles.**

**VII.4.2-Armatures horizontales :**

Les barres horizontales doivent être munies de crochets à  $135^\circ$  ayant une longueur de  $10\phi$ .

Elles doivent être retournées aux extrémités du mur et aux bords libres qui limitent les ouvertures sur l'épaisseur du mur.

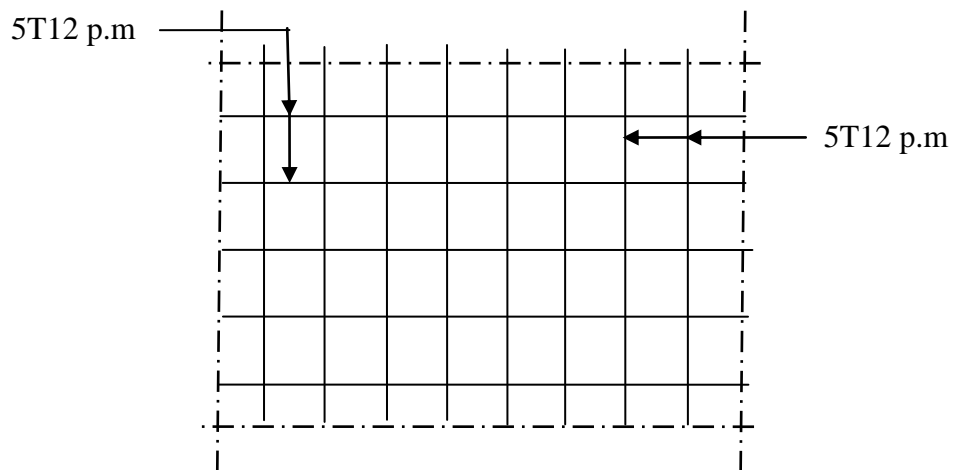
Les arrêts, jonctions et enrobages des armatures horizontales sont effectués conformément aux règles de béton armé en vigueur  $St \leq \min(1,5a; 30\text{ cm})$ .

-Le diamètre des barres verticales et horizontales des voiles ne doit pas dépasser 1/10 de l'épaisseur du voile.

**VII.4.3-Armatures transversales:**

Les deux nappes d'armatures doivent être reliées avec au moins 4 épingle au mètre carré.

Dans chaque nappe, les barres horizontales doivent être disposées vers l'extérieur.



**Fig. VII.4-Disposition du ferrailage du voile.**