

**VIII-3) FERRAILLAGE DES VOILES****VIII-3-1) INTRODUCTION**

Le voile appelé aussi mur en béton armé, est un élément de construction vertical, ayant deux dimensions grandes par rapport à l'épaisseur, ainsi tout poteau «allongé » de longueur supérieure ou égale à quatre fois son épaisseur est considéré comme un voile. En superstructure il est utilisé dans la majorité des cas comme contreventement.

Ces éléments comprennent habituellement des armatures de comportement fixées forfaitairement et des armatures de flexion ou de cisaillement déterminés par calculs.

Le modèle le plus simple d' un voile est celui d'une console parfaitement encastree à sa base soumise à une charge verticale due à la combinaison des charges permanentes , d'exploitations, et des charges horizontales due à l'action du vent ou du séisme.

Donc le voile est sollicité à un effort normal  $N$ , un effort tranchant  $V$ , et un moment fléchissant  $M$ . Ce qui implique que les voiles seront calculés en flexion composée et au cisaillement.

**VIII-3-2) SYSTEME DE CONTREVENTEMENT**

Le système de contreventement représente la partie de la structure qui doit reprendre les forces horizontales dues aux actions climatiques et/ou géologiques.

Parmi les systèmes de contreventement utilisés en bâtiment on site :

- Contreventement par portiques auto stables en béton armé (poteaux - poutres)
- Contreventement par voiles (système tables et banches - système tunnel - noyau central).
- Contreventement mixte (poteaux -poutres et voiles en béton armé)

Le dernier système est conseillé en zone sismiques car il a une capacité de résistance satisfaisante, car ce système structural est en fait un mélange de deux types de structure qui obéissent à des lois de comportement différents. De l'interaction portique-voile, naissent des forces qui peuvent changées 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 déplacement.

Pour cette raison nous avons choisi ce système de contreventement pour la conception de notre projet de fin d'études.

## a) Conception :

- Il faut que les voiles soient placés de telle sorte qu'il n'y ait pas d'excentricité importante (problème de 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).

## b) Calcul :

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

**VIII-3) PRINCIPE DE FERRAILLAGE**

Le ferrailage des voiles s'effectuera selon le règlement CBA93 et le règlement parasismique Algérien **RPA 99/VERSION2003**.

Le ferrailage des voiles est composé d'armatures verticales et horizontales.

**VIII-3-1) ACIERS VERTICAUX**

La disposition du ferrailage vertical se fera de telle sorte qu'il reprendra les contraintes de flexion composée en tenant compte des prescriptions imposées par le **RPA99/version 2003** décrit ci-dessous :

- Il est disposé en deux nappes parallèles aux faces du refend, sert à reprendre les contraintes de flexion composée.
- L'effort de traction doit être pris en totalité par les armatures verticales dans toute la zone tendue.
- Le **RPA99** préconise un pourcentage d'armatures minimal pour la zone tendue à **0,20 %** de la section horizontale du béton tendu.
- La concentration des armatures de traction à l'extrémité des voiles ou des trumeaux ayant pour un rôle de raidisseur, et de reprendre l'effort de traction maximal à l'extrémité.
- Le ferrailage sera disposé symétriquement dans les voiles en raison de changement de direction du moment dû au séisme.
- Les barres des zones extrêmes devraient être ligaturées avec des cadres horizontaux dont l'espacement ne doit pas être supérieur à l'épaisseur du voile.

- le diamètre des barres ne devra pas dépassé  $\frac{1}{10}$  de l'épaisseur du voile à l'exception de la zone d'about.
- La jonction des barres se fait par recouvrement au niveau des étages courant à l'exception des barres du dernier niveau qui doivent être munies de crochets à la partie supérieure.
- A chaque extrémité du voile l'espacement des barres doit être réduit de moitié sur  $1/10$  de la largeur du voile, avec un maximum de 15 cm.

### **VIII-3-2) ACIERS HORIZONTAUX**

Comme dans le cas des aciers verticaux, les aciers horizontaux doivent respecter certaines prescriptions présentées ci-après :

- Les barres horizontales doivent être disposées vers l'extérieur.
- les barres doivent être munies de crochets à  $135^\circ$  d'une longueur de  $10 \Phi$ .
- Dans le cas où il existe des talons de rigidité, les barres horizontales devront être ancrées sans crochets si les dimensions des talons permettront la réalisation d'un ancrage droit

### **VIII-3-3) REGLES COMMUNES - BARRES HORIZONTALES ET VERTICALES**

- l'espacement des barres doit vérifier la condition suivante:  
 $st \leq \min(1,5 a ; 30cm)$
- La longueur de recouvrement est de  $40 \emptyset$
- Les deux nappes d'armatures doivent être reliées avec au moins quatre épingles au mètre carré.
- Le pourcentage minimum d'armatures horizontales est donné comme suit :

Globalement dans la section du voile 0,15% ;

En zone courante 0,10%.

### **VIII-3-4) ARMATURES DE COUTURES**

L'effort tranchant doit être repris par des aciers de coutures ( $A_{vj}$ ) tout au long des joints de reprise de coulage, avec:  $Avj = 1,1 V_u / fe$

$V_u$  : Effort tranchant calculé au niveau considéré.

Cette quantité doit s'ajouter à la section d'acier tendue nécessaire pour équilibrer les efforts de traction dus au moment de renversement.

**VIII-3-5) EXPOSE DE LA METHODE DE CALCULE**

Le calcul des armatures se fait en prenant en compte la flexion composée sous les sollicitations.

- $G + Q \pm E$  : Vérification du béton
- $0,8G \pm E$  : Calcul des aciers de flexion

La méthode que nous avons prise pour dimensionner les voiles en ferrailage est la méthode des contraintes, et qui se résume ainsi:

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{S} \pm \frac{M}{I} \times v$$

N : Effort Normal appliqué

M : Moment de flexion appliqué

S : Section de béton du voile

$v = h/2$  : Bras de levier

I : moment d'inertie du voile

En fonction des valeurs de contraintes on distingue trois cas.

- **Premier cas :**

$(\sigma_1 \text{ et } \sigma_2) > 0$  ; La section du voile est entièrement comprimée.

La zone courante est armée par le minimum exigé, soit :  $A_{min} = 0,15 \% aL$

- **Deuxième cas :**

$(\sigma_1 \text{ et } \sigma_2) < 0$  ; La section du voile est entièrement tendue.

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

$$A_v = N_t / f_e$$

Tel que la section d'acier verticale =  $\max (A_v ; 0,15\% aL)$

Troisième cas :

$(\sigma_1 \text{ et } \sigma_2)$  Sont de signe différent, la section du voile est partiellement comprimée, donc on calcul le volume des contraintes de la zone tendue d'où on déduit le ferrailage.

$$tg \alpha = \frac{\sigma_1}{l_t} = \frac{\sigma_2}{l_c} \Rightarrow l_t = \frac{\sigma_1 \cdot L}{\sigma_1 + \sigma_2}$$

$$l_c = L - l_t$$

Avec :

- $l_t$  : longueur de la zone tendue
- $l_c$  : longueur de la zone comprimée
- $L$  : longueur totale du voile

Effort de traction:  $N_t = \frac{\sigma_1 \times l_t}{2} \times e$

Avec:  $l_t \leq L/2$

Section d'acier tendue:  $A_{s1} = \frac{N_t}{\sigma_s} = \frac{N_t \times \gamma_s}{f_e}$

Section d'acier de couture:  $A_{vj} = 1,1 \times \frac{V}{f_e}$

Armature de couture le long de la zone tendue :  $A_{s2} = \frac{A_{vj}}{L} \times l_t$

Section d'acier totale:  $A_s = A_{s1} + A_{s2}$

### VIII-3-6) EXEMPLE DE CALCUL

Nous proposons un détail de calcul du voile V3, de dimensions 2,80 x 0,20 m<sup>2</sup>, les valeurs des autres voiles seront données dans les tableaux ci-après.

**Les données :**

Combinaison de calcul G + 0,80 E<sub>X</sub>

M = 4040.75 kN.m

N = 4649.15 KN

V=1024.1 KN = 1024.1.10<sup>-3</sup> MN

L=4.55 m

Épaisseur de voile e = 0,2 m

$$v = \frac{L}{2} = 2.275 \text{ m}$$

$$I = \frac{e \times L^3}{12} = \frac{0,20 \times 4.55^3}{12} = 1.57 \text{ m}^4$$

$$S = e \times L = 0,91 \text{ m}^2$$

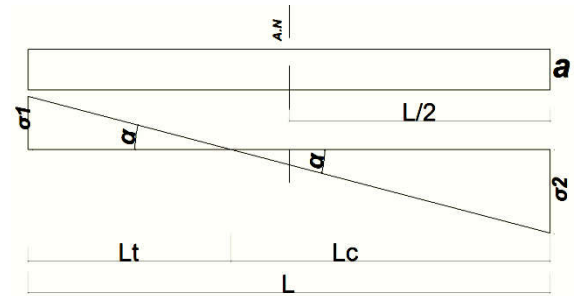


Figure V- 1 : Diagramme des contraintes – voile

**VIII-3-6-1) CALCUL DES CONTRAINTES DANS LE BETON**

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{S} \pm \frac{M}{I} \times V$$

$$\sigma_1 = \frac{4040.75}{0,91} - \frac{4649.15}{1.57} \times 2.275 = 4440.38 - 2961.24 \times 2.275 =$$

$$\sigma_1 = -2296.44 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{4040.75}{0.91} + \frac{4649.15}{1.57} \times 2.275 = 4440.38 + 2961.24 \times 2.275$$

$$\sigma_2 = 11177.20 \text{ kN/m}^2$$

Les contraintes ( $\sigma_1$  et  $\sigma_2$ ) sont de signe opposé, la section du voile est partiellement comprimée.

**VIII-3-6-2) CALCUL DE L'ARMATURE DE FLEXION**

$$l_t = \frac{2296.44 \times 4.55}{11177.20 + 2296.44} = \frac{10448.80}{13473.64} = 0.78 \text{ m}$$

$$l_t = 0.78 \text{ m} \leq L/2 = 2.275 \text{ m}$$

$$l_c = 4.55 - 0.78 = 3.77 \text{ m}$$

$$N_t = \frac{2296.44 \times 0.78}{2} \times 0,2 = 179.12 \text{ KN}$$

$$A_{s1} = \frac{179.12 \times 10^{-3}}{400} = 0.4478 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 = 4.478 \text{ cm}^2$$

Armature de couture

$$A_{vj} = 1,1 \frac{V}{f_e} = 1,1 \frac{1024.1 \cdot 10^{-3}}{400} = 2.816 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 = 28.16 \text{ cm}^2$$

$$A_{s2} = \frac{28.16}{4.55} \times 0.78 = 4.82 \text{ cm}^2$$

Section totale

$$A_{S \text{ totale}} = 4.478 + 4.82 = 9.298 \text{ cm}^2$$

**VIII-3-6-3) SECTION MINIMALE EXIGEE PAR LE RPA**

$$A_{RPA} = 0,2\% e \cdot L_t = 0,2\% \times 20 \times 78 = 3.12 \text{ cm}^2 \quad \text{en zone tendue}$$

$$A_{RPA} = 0,1\% e \cdot L_t = 0,2\% \times 20 \times 455 = 18.2 \text{ cm}^2 \quad \text{en zone courante}$$

#### VIII-3-6-4) LE POURCENTAGE MINIMAL

$$A_{\min} = 0,15\% e \times L = 0,15 \times 20 \times 455 = 13.65 \text{ cm}^2 \quad \text{totale}$$

Ce qui donne un ferrailage min en zone tendue

$$A_{t \min} = (13.65 / 4.55) \times 0.78 = 2.34 \text{ cm}^2 \quad \text{en zone tendue}$$

$$A_{SV} = \max (A_{S \text{ total}}, A_{s \min}, A_{RPA}) = 18.2 \text{ cm}^2 \quad \text{en zone tendue}$$

On adopte 8T14+6T12 ( $A_S=19.09\text{cm}^2$ )

#### VIII-3-6-5) ESPACEMENT

$$\text{en zone courante : } S_t < \min (1,50 e ; 30 \text{ cm}) = 30 \text{ cm}$$

$$\text{en zone d'about : } S_{ta} = S_t / 2 = 15 \text{ cm}$$

#### VIII-3-7) VERIFICATION DES CONTRAINTE DE CISAILLEMENT

CBA 93 :

$$\tau_u = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{1024.1 \times 10^{-3}}{0,20 \times 0,9 \times 4.55} = 1.25 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau}_u = \min(0,13f_{c28} ; 5 \text{ MPa}) ; \text{ Fissuration peu préjudiciable}$$

$$\bar{\tau}_u = \min(3,33 \text{ MPa} ; 5 \text{ MPa}) = 3,33 \text{ MPa}$$

$$\tau_u = 1.25 \text{ MPa} < \bar{\tau}_u = 3,33 \text{ MPa} ; \text{ Condition vérifiée}$$

RPA99/2003 :

$$\tau_b = \frac{\bar{V}_u}{b \times d} = \frac{2.275 \times 1024.1 \times 10^{-3}}{0,20 \times 0,9 \times 4.55} = 2.84 \text{ MPa}$$

$$\tau_u = 2.84 \text{ MPa} < \bar{\tau}_b = 0,2f_{c28} = 5 \text{ MPa} ; \text{ Condition vérifiée}$$

Vérification des contrainte :

$$\sigma_b = \frac{N_s}{S + (15 \times A_s)} = \frac{95.17 \times 10}{(20 \times 455) + (15 \times 19.09)} = 0,10 \text{ MPa} < 0,6f_{c28} = 15 \text{ MPa}$$

$\Rightarrow$  Condition vérifiée

VOILE	Type 1	Type 2
<b>Largeur e (m)</b>	0.20	0.20
<b>longueur L (m)</b>	3,3	3,6
<b><math>\sigma_1</math></b>	13565.29	4751.73
<b><math>\sigma_2</math></b>	19283.94	13853.29
<b>As (cm<sup>2</sup>/ml )</b>	13.2	14.4
<b>st d'about cm</b>	15.000	15.000
<b>st courante cm</b>	30.000	30.000
<b>armatures courantes cm</b>	8T12+6T10	8T12+8T10

Tableau VIII. 1 :Résultat de ferrailage