



VII Ferrailage des voiles

VII.1. Introduction

Les voiles sont des éléments verticaux en béton armé ou non armé ayant deux dimensions grandes par rapport à l'épaisseur,

Ainsi tout poteau «allongé » de longueur supérieure à cinq fois son épaisseur est considéré comme un voile.

Les voiles assurant :

- D'une part le transfert des charges verticales (fonction porteuse).
- D'autre part la stabilité sous l'action des charges horizontales (fonction de contreventement).

La fonction de contreventement peut être assurée si l'effort normal de compression, provenant des charges verticales est suffisant pour que, sous l'action du moment de renversement, le centre des pressions reste à l'intérieur de la section du mur.

Sous l'action sismique, des parties plus au moins importantes de l'extrémité du voile en béton, sollicité en compression, peuvent se trouver dans le domaine inélastique, cette situation peut être à l'origine d'une instabilité latérale. Compte tenu de cette éventualité, les règlements parasismiques imposent une épaisseur minimale de l'âme à 15cm. De plus, et à partir d'un certain niveau de contraintes, il ya lieu de prévoir aux extrémités des voiles des renforts conçus comme des poteaux, ou des voiles en retour.

Le modèle le plus simple d'un voile est celui d'une console encastree à sa base ; soumise à un effort normal  $P_u$ , un effort tranchant  $V_u$  et un moment fléchissant  $M_u$  qui est maximal dans la section d'encastrement

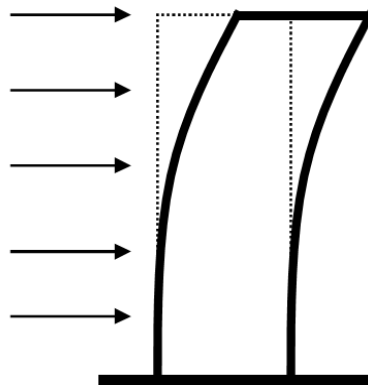


Figure VII.1 : Le comportement d'un voile



Selon les règlements parasismiques, il convient que les Armatures verticales nécessaires pour la vérification de la résistance, en flexion composée soient concentrées dans les éléments de rives, aux 02 extrémités de la section transversale du voile ou trumeau.

A la base du voile sur une hauteur critique, des cadres sont disposés autour de ces armatures afin d'assurer la ductilité de ces zones.

Les armatures de l'âme horizontales et verticales assurent la résistance à l'effort tranchant.

Le voile en béton armé doit faire l'objet des vérifications suivantes selon les combinaisons suivantes :

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

Dans ce qui suit la méthode utilisée pour le calcul des voiles en béton armé c'est méthode des contraintes.

### **VII.2. Calcul des voiles par la méthode des contraintes :**

C'est une méthode simplifiée basée sur les contraintes. Elle admet de faire les calculs des contraintes en supposant un diagramme linéaire.

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

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

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 trois cas :

#### **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)

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

#### **2<sup>ème</sup> cas :**

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

On calcule la section des armatures verticales :

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



3<sup>ème</sup> cas :

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

### **VII.3 Armatures verticales :**

Ils sont disposés 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.

### **VII.4 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'extérieur.

Le pourcentage minimum d'armatures horizontales donné comme suit :

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

### **VII.5 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 inférieure 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.

### **Détermination des contraintes :**

Combinaison : (G + Q ± E) :

$$A = 1,01\text{m}^2$$

$$I = 2,15\text{m}^4$$

$$V = 2,75\text{m}$$

$$N = 127,5 \text{ t}$$

$$M = 1,4\text{t.m}$$

$$T = 0,88 \text{ t}$$

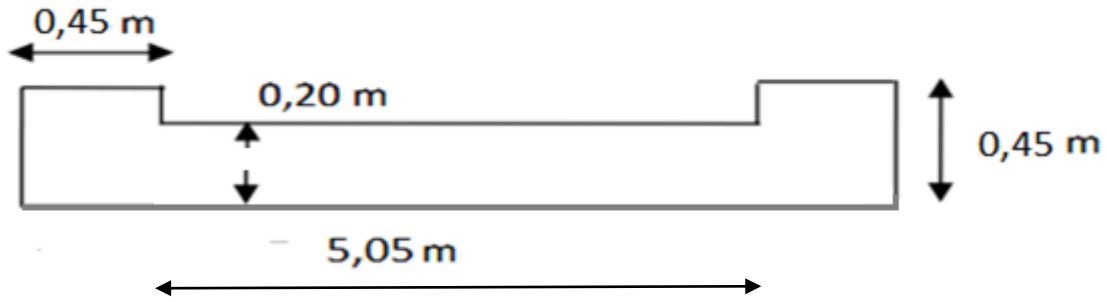


Figure VII.2.Schéma du voile + poteaux.

$$\begin{cases} \sigma_1 = \frac{N}{A} + \frac{M \times V}{I} = \frac{127,5}{1,01} + \frac{1,4 \times 2,75}{2,15} = 128,03 \text{ t/m}^2 = 1,28 \text{ MPA} \\ \sigma_2 = \frac{N}{A} - \frac{M \times V}{I} = \frac{127,5}{1,01} - \frac{1,4 \times 2,75}{2,15} = 124,45 \text{ t/m}^2 = 1,24 \text{ MPA} \end{cases}$$

On est dans le 1<sup>er</sup> cas donc 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)

**b. Calcul des armatures verticales :**

D'après le RPA99 (version 2003) on a :

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

On calcule le ferrailage pour une bande de 1m :

$$A_{\min} = 0,15\% .a.1m$$

$$A_{\min} = 0,15\% .20.100 = 3,00 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

• **Le diamètre**

$$D \leq 1.a / 10 \text{ (mm)}$$

$$D \leq (1.200/10)$$

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

On adopte : D= 12mm

• **L'espacement**

-Selon le BAEL 91, on a :

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

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

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

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

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



Donc :  $St \leq \min (St_{BAEL} ; St_{RPA\ 99})$

$St \leq 30\text{cm}$

La section des armatures verticales (en deux nappes)

soit  $5T12\ \text{p.ml} = 5.65\text{cm}^2/\text{ml}$  avec un espacement de 20 cm.

**c. Calcul des armatures horizontales.**

D'après le R.P.A 99 (version 2003), on adopte le même ferrailage que les armatures verticales

(En deux nappes) soit  $5\ T\ 12\text{p.m.} = 5,65\ \text{cm}^2/\text{ml}$  avec un espacement de 20 cm.

**d. 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  $4/\text{m}^2$  au moins ; on prend donc  $4\phi\ 6$  par  $\text{m}^2$ .

**e. Vérification de la contrainte de cisaillement  $\tau_b$**

La vérification de la résistance des voiles au cisaillement se fait avec la valeur de l'effort tranchant trouvé à la base du voile majoré de 40% (RPA 99 v.2003).

-La contrainte de cisaillement est :  $\tau_b = \frac{\bar{V}}{b_0 d}$  , D'où :  $\bar{V} = 1.4\ T_{u\ \text{calcul}}$

Avec :

$T_u$  : l'effort tranchant à la base du voile.

$b_0$  : épaisseur de voile.

$d$  : hauteur utile,  $d = 0,9h$

$h$  : hauteur totale de la section brute,  $h=408\text{cm}$

Il faut vérifier la condition suivante :  $\tau_b \leq \bar{\tau}_b = 0,05\ f_{c28} = 1,25$

$$\tau_b = \frac{1,4 \times 0,88}{20 \times (300 - 45) \times 0,9} = 0,000268\text{MPa}$$

$$\tau_b = 0,000268\ \text{MPa} \leq \bar{\tau}_b = 0,05 \times 25 = 1,25\ \text{MPa} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée}$$

Donc pas de risque de cisaillement

**f. Disposition des armatures :**

- 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 à  $S_t=20\text{cm} \rightarrow S_t/2 = 10\text{ cm} < 15\text{ cm}$  .....condition vérifiée.

$$L=505\text{cm} \rightarrow L/10 = 50,5\text{ cm}$$

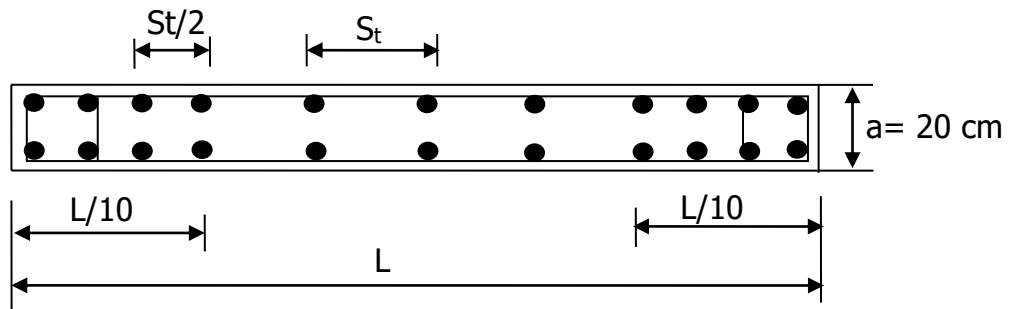


Figure VII.3:Disposition des armatures verticales dans les voiles

- **Armatures horizontales**

Les barres horizontales doivent être munies de crochets à 135° ayant une longueur de 10φ.

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  $S_t \leq \min (1,5a; 30\text{ cm})$

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

- **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.

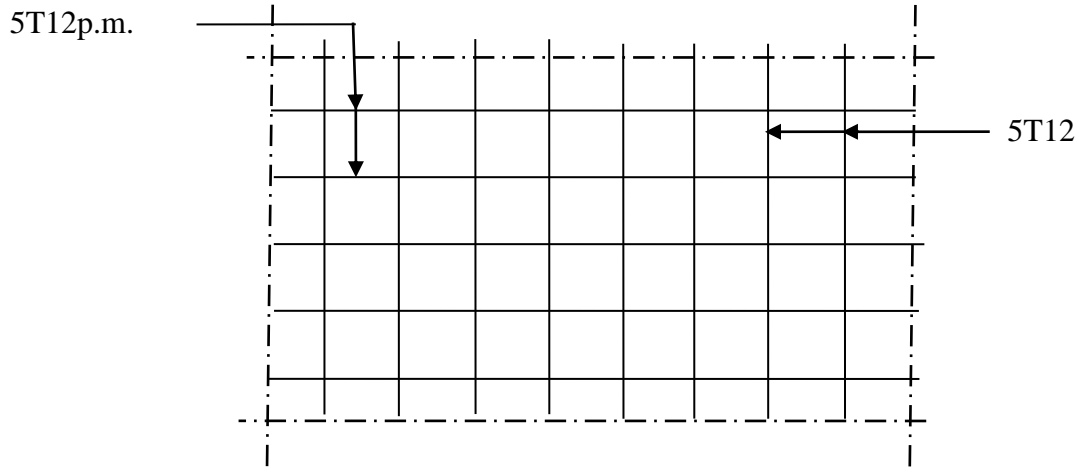


Figure VII.3: Disposition du ferrailage du voile