

Les résultats des ferraillages sont résumés dans le tableau suivant :

poutre	Section (cm)	Barres (longitudinale)		Barres (transversale)	St	St
		travée	appui		(z.courante) cm	(z.nodale) cm
principale	30x40	3T12+3T14	3T12+3T16	HA8	15	10
seconder	30x35	3T12+3T12	3T12+3T12	HA8	15	10

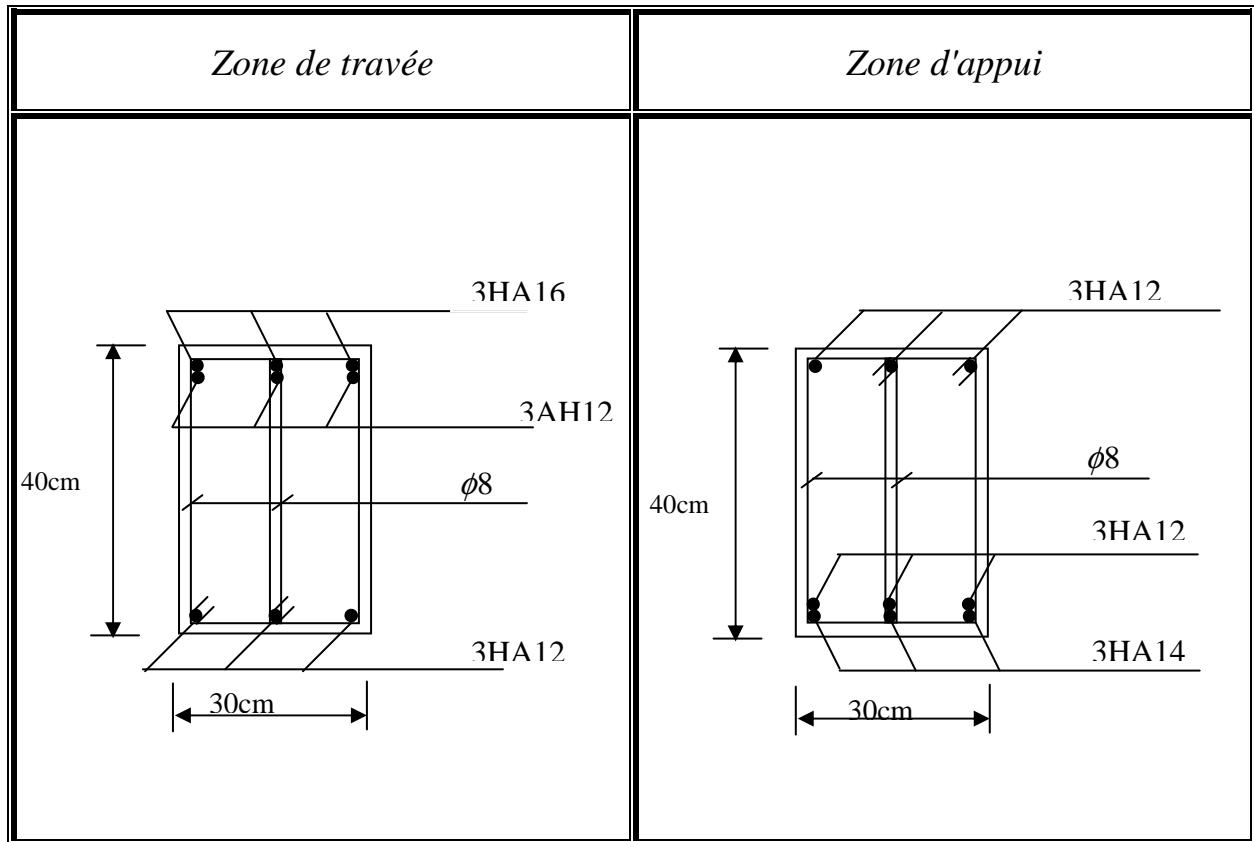


Figure (VII-3) : Croquis de ferraillages des poutres

VII-4-Ferraillage des voiles :**1-Stabilité des constructions vis-à-vis les charges latérales :**

Du point de vue de la stabilité sous charges horizontales (vent, séisme), on distingue différents types des structures en béton armé :

- *Structures auto stables*
- *Structure contreventée par voiles.*

Dans notre projet, la structure est contreventée par des voiles et portiques appelés contreventement, dont le but est d'assurer la stabilité (et la rigidité) de l'ouvrage vis à vis des charges horizontales.

2-Rôle de contreventement :

Le contreventement a donc principalement pour objet :

- ✓ *Assurer la stabilité des constructions non auto stable vis à vis des charges horizontales et de les transmettre jusqu'au sol.*
- ✓ *De raidir les constructions, car les déformations excessives de la structure sont source de dommages aux éléments non structuraux et à l'équipement.*

3- Ferraillage des voiles :

Les voiles seront calculés en flexion composée sous l'effet des sollicitations qui les engendrent, le moment fléchissant et l'effort normal est déterminé selon les combinaisons comprenant la charge permanente, d'exploitation ainsi que les charges sismiques.

Combinaison

Selon le règlement parasismique Algérienne (RPA 99) les combinaisons à considérer dans notre cas (voiles) sont les suivants :

- $G + Q+E$ selon RPA99
- $0.8 G \pm E$ selon RPA99

4-Prescriptions imposées par RPA99 :**Aciers verticaux**

Le ferraillage vertical sera disposé de telle sorte qu'il puisse reprendre les contraintes induites par la flexion composée, en tenant compte des prescriptions composées par le RPA 99 et décrites ci-dessous :

a) *L'effort de traction engendré dans une partie du voile doit être repris en totalité par les armatures dont le pourcentage minimal est de 0.20%, de section horizontale du béton tendu.*

b) *Les barres verticales des zones extrêmes devraient être ligaturées avec des cadres horizontaux dont l'espacement ne doit pas être supérieur à l'épaisseur des voiles.*

c) *A chaque extrémité de voile, l'espacement des barres doit être réduit du dixième de la longueur de voile (L/10), cet espacement doit être inférieur ou égal à 15 cm ($s_t \leq 15\text{cm}$).*

Si des efforts importants de compression agissent sur l'extrémité, les barres verticales doivent respecter les conditions imposées aux poteaux. Les barres du dernier niveau doivent être munies de crochets à la partie supérieure. Toutes les autres barres n'ont pas de crochets (jonction par recouvrement).

Aciers horizontaux

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

Les armatures horizontales parallèles aux faces du mur doivent être disposées sur chacune des faces entre les armatures verticales et la paroi du coffrage et doivent être munies de crochets à (135°) ayant une longueur de 10φ

Règles générales

Les armateurs transversaux doivent respecter les dispositions suivantes :

a) *L'espacement des barres verticales et horizontales doit être inférieur à la plus petite valeur de deux valeurs suivantes.*

$$\begin{aligned} S &\leq 1,5 \times e & \text{(Article 7.7.4.3 RPA)} \\ S &\leq 30\text{cm} \end{aligned}$$

e : épaisseur du voile

b) *Les deux nappes d'armatures doivent être reliées avec au moins quatre épingle au mettre carrée. Dans chaque nappe, les barres horizontales doivent être disposées vers l'extérieur.*

c) Le diamètre des barres verticales et horizontales des voiles (à l'exception des zones d'about) ne devrait pas dépasser $\frac{1}{10}$ de l'épaisseur du voile.

d) Les longueurs de recouvrement doivent être égales à :

✓ 40 φ pour les barres situées dans les zones où le renversement du signe des efforts sont possibles.

✓ 20 φ pour les barres situées dans les zones comprimées sous l'action de toutes les combinaisons des charges possibles.

Ferraillage vertical :

Le calcul se fera pour des bandes verticales dont la largeur d est déterminée à partir de :

$$d \leq \min\left(\frac{he}{2}; \frac{2L}{3}\right) \quad \text{Article 7.7.4 RPA 99 (version 2003)}$$

L : est la longueur de la zone comprimée.

Pour déterminer les armatures verticales, on utilise la méthode des contraintes.

Exemple d'application :

Nous proposons le calcul détaillé en prenant le voile VI RDC ($L=1.6m$):

$$M = 1627.7472 \text{ KN. m}$$

$$N = 372.03 \text{ KN. m}$$

$$I = (0,20 \times 1,6^3) / 12 = 0,0683 \text{ m}^4$$

$$\Omega = L * e = 0,32 \text{ m}^2$$

$$v = h/2 = 0,8 \text{ m}$$

Armatur verticales:

$$\sigma_1 = \frac{N}{\Omega} + \frac{M \cdot v}{I} = \frac{372.03}{0.32} + \frac{1627.7472 \times 0.8}{0.0683}$$

$$\sigma_1 = 20228.45 \text{ kn/m}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{N}{\Omega} - \frac{M \cdot v}{I} = \frac{372.03}{0.32} - \frac{1627.7472 \times 0.8}{0.0683}$$

$$\sigma_2 = -17903.26 \text{ kn/m}^2$$

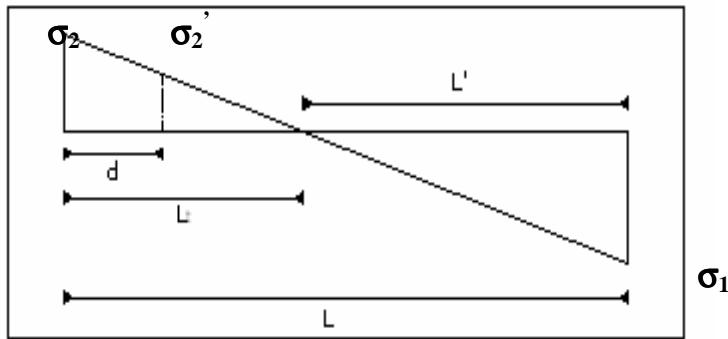


Figure (VII-4) : évaluation des contrainte

Calcul de L' :

$$L_t = L \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2} \right) = 1.6 \left(\frac{-17903.26}{20228.45 + 17903.26} \right) = 0.75 \text{ m}$$

$$L' = L - L_t = 1.6 - 0.75 = 0.85 \text{ m}$$

$$d \leq \min(2.86/2, (2/3) \times 0.85) = 0.57 \text{ m} \quad \text{soit : } d = 0.57 \text{ m}$$

calcul de σ_2' :

$$\tan \alpha = \sigma_2 / L_t = -17903.26 / 0.75 = -23871.01 \text{ kg}$$

$$\tan \alpha = \sigma_2' / (L_t - d) \Rightarrow \sigma_2' = \tan \alpha (L_t - d) = -4296.78 \text{ kn/m}^2$$

$$\sigma_2' = \frac{N_1}{\Omega'} + \frac{M_1 \cdot v_1}{I'} = -4296.78 \text{ kn/m}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{N_1}{\Omega} - \frac{M_1 \cdot v_1}{I} = -17903.26 \text{ kn/m}^2$$

$$v' = 0.57/2 = 0.285 \text{ m}$$

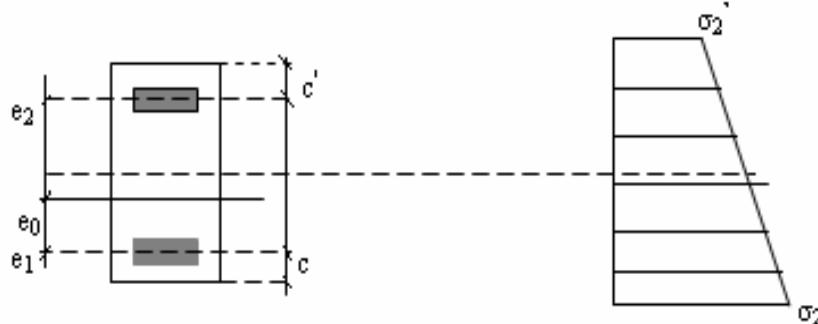
$$\Omega' = 0.20 \times 0.57 = 0.114 \text{ m}^2$$

Donc:

$$N_I = (\Omega'/2) \times (\sigma_2 + \sigma_2') \Rightarrow N_I = -1256.41 \text{ kn}$$

$$M_I = (I'/2v') \times (\sigma_2' - \sigma_2) \Rightarrow M_I = 73.76 \text{ kn.m}$$

$$e_0 = \frac{M_1}{N_1} = -0.0587 \text{ m} < d/6 \text{ et } N \text{ est un effort de traction} \Rightarrow \text{S.E.T (section entierement tendue).}$$



Soit : $c' = c = 5\text{cm}$.

$$e_1 = d/2 - e_0 - c = 0.2937\text{m}$$

$$e_2 = d/2 + e_0 - c' = 0.1763\text{m}$$

$$A_s = N_l \times e_2 / (e_1 + e_2) \times f_e = 11.78\text{m}^2$$

$$A_s' = N_l \times e_1 / (e_1 + e_2) \times f_e = 19.63\text{cm}^2$$

$$A_s = A_s + A_s' = 31.41\text{cm}^2$$

$$A_s/\text{ml/face} = 11.22\text{cm}^2$$

Armatures minimales de RPA 99:

D'après le RPA 99 (Art 7.7.4.1) :

$$A_{min} = 0.20\% e L_t$$

e : épaisseur du voile

L_t : longueur de la section tendue

$$A_{min} = 0.20\% \times 0.20 \times 0.75 = 3.00\text{cm}^2$$

$$A_{min}/\text{ml/face} = 0.95 \text{ cm}^2/\text{ml/face.}$$

Le pourcentage minimal :

$$A_{min} = 0.15\% \times b \times l = 0.15\% \times 0.20 \times 1.6 = 6.4\text{cm}^2$$

$$A_{min}/\text{ml/face} = 4.2 / (2 \times 1.6) = 2.00 \text{ cm}^2/\text{ml/face.}$$

$$\text{Donc : } A_{SV} = \max (A_s, A_{min}, A_{RPA}) = 31.41\text{cm}^2.$$

Le ferraillage sera fait pour la moitié de voile à cause de la symétrie :

$$A_S = 2 \times 11.22 \times (1.6/2) = 17.952 \text{ cm}^2. \text{ (Pour les 2 faces)}$$

En zone courante : soit 4HA12. $(A_S = 4.52 \text{ cm}^2)$

En zone d'about : soit. 6HA12 $(A_S = 6.79 \text{ cm}^2)$

Espacement :

En zone courante : $S_t \leq \min(1.5e, 30) = 30 \text{ cm.}$

Soit : $S_t = 20 \text{ cm.}$

En zone d'about : $S_{ta} = S_t/2 = 10 \text{ m.}$

Ferraillage horizontal à l'effort tranchant :

Vérification des voiles à l'effort tranchant :

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% (Art 7.2.2 RPA 99).

-La contrainte de cisaillement est : $\tau_u = 1.4 T_{cal}/b_0 d$

Avec :

T : l'effort tranchant à la base du voile.

e : épaisseur de voile.

d : hauteur utile.

h : hauteur totale de la section brute.

-la contrainte limite est : $\tau^- = 0.2 f_{c28}$.

Il faut vérifier la condition suivante : $\tau_u \leq \tau^-$

Calcul des armatures horizontales résistants à l'effort tranchant :

La section A_t des armatures d'âmes est donnée par la relation suivante :

$$\frac{A_T}{b_0 \cdot S_t} \geq \frac{\tau_u - 0.3 f_{ij} \cdot k}{0.8 \cdot f_e}$$

$k = 0$ en cas de fissuration jugé très préjudiciable ; en cas de reprise de bétonnage non munie d'indentation dans la surface de reprise.

$K = 1$ en flexion simple, sans reprise de bétonnage.

$K=1+3\sigma_{cm}/f_{c28}$ en flexion composée avec N , effort de compression.

$K=1-10\sigma_{tm}/f_{c28}$ en flexion composée avec N , effort de traction.

σ_{tm} , σ_{cm} ; étant la contrainte moyenne de traction et de compression obtenus en divisant l'effort normal de calcul par la section du béton.

Dans notre cas, on n'a pas de reprise de bétonnage ; donc on prend $k=0$. D'autre part le RPA 99 prévoit un pourcentage minimum de ferraillage qui est de l'ordre de :

0,15% de la section du voile considérée si : $\tau_b \leq 0.025f_{c28}$.

0,25% de la section du voile considérée si : $\tau_b > 0.025f_{c28}$

Exemple d'application :

Voiles V_1 :

$$\tau_u = 1.4 T_{cal}/ed$$

$$\tau_u = (1.4 \times (231.187 \times 10^{-3})) / (0.20 \times 0.57) = 2.45 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau} = 0.2 f_{c28} = 5 \text{ MPa} \quad \tau_u = 2.45 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vérifiée.}$$

-Pas de reprise de bétonnage.

$-\alpha = 90^\circ$

$$\frac{A_t}{b_0 \cdot S_t} \geq \frac{\tau_u}{0.8 \cdot f_e}$$

$$S_t \leq \min(1.5a, 30\text{cm}) \quad (\text{Art 7.7.4.3 RPA99}).$$

Soit: $S_t = 20\text{cm}$.

$$A_t = 3.02\text{cm}^2$$

$$A_{t \min}(\text{RPA}) = 0.15\% \times e \times L = 4.8 \text{ cm}^2$$

Choix des barres 6HA 10

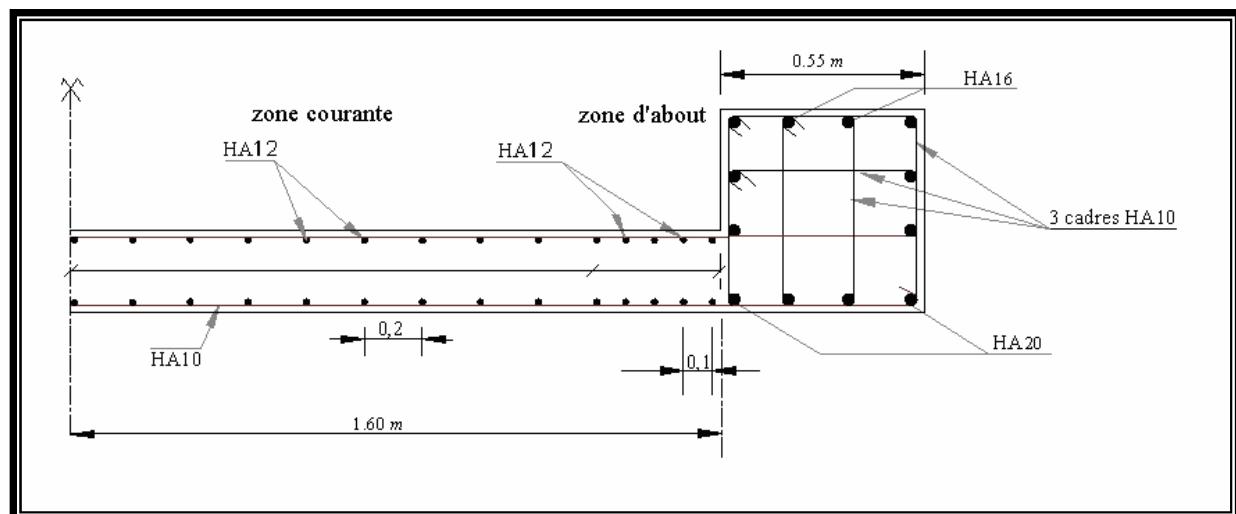
Schéma de ferraillage

Figure (VII-5) : Croquis de ferraillage longitudinal du voile v1