

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Dr. MOULAY Tahar-Saida

Faculté des sciences & Technologie

Département de Génie Civil & Hydraulique



Projet de fin d'étude

Pour l'Obtention du Diplôme
D'Ingénieur d'Etat en Génie Civil
Option : Construction Civile et Industrielle (C.C.I)

Thème

**Etude d'un bâtiment (R+10)
à usage habitation**

Présenté par :

- *M. FETATI Souleyman*
- *M. FETATI Tawfik*

Encadré par :

Mr. BELAKHDAR Khalil

Devant le jury :

- *Mr.* Président
- *Mr.* Examineur
- *Mr.* Examineur
-

☞ *Promotion : 2009 – 2010* ☞

*REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE
ET POPULAIRE*

*MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen*

Faculté de Technologie

Département de Génie Civil

Projet de fin d'étude

*Pour l'Obtention du Diplôme
DE MASTER EN GENIE CIVIL
Option : structure*

Thème

**Etude technico-économique d'un
bâtiment (R+8)
à usage habitation**

Présenté par :

***OUASTI MOHAMMED
* NEKKAZ MOHAMMED**

Encadré par :

**Mr. HASSAINE NASR EDDINE
Mr. BENYELLES ZOHEIR**

Devant le jury :

- Mr. *Président*
- Mr. *Examineur*
- Mr. *Examineur*

☞ Promotion : 2014 – 2015 ☞

Résumé

Le but de ce travail est l'étude d'une structure en béton armé, constituée de 8 étages et d'un rez-de-chaussée, réalisée dans le cadre de l'habitat

Ce bâtiment situe à TLEMCEM qui fait partie de la zone de faible sismicité. C'est une structure contreventée par des voiles porteurs, sa conception est faite conformément aux Règlement Parasismique Algérien (RPA99 version 2003) et les codes du béton armé (BAEL 91).

L'étude dynamique a été réalisée à l'aide du logiciel SAP2000 V14. L'étude de l'infrastructure du bâtiment a abouti à une fondation de type Radier général suite à l'importance des charges transmises au sol d'assise.

Abstract

The aim of this work is the study of reinforced concrete structure, consisted of 8 storeys and a ground-floor, realized within the habitat context.

This building is situated in TLEMCEM which belongs to the zone of faint seismicity. It is a structure braced by carrying veils; its design is done in accordance with the Algerian Paraseismic Rules (RPA99 version 2003) and the codes of reinforced concrete (BAEL 91).

The dynamic study was carried out using software SAP2000V14. The study of the infrastructure of the building led to a foundation of General Raider type following the importance of the loads transmitted to the base ground.

ملخص

إن الهدف من هذا العمل هو دراسة منشأة من الخرسانة المسلحة متكونة من ثمانية طوابق ذات طابع سكني هذه البناية في ولاية تلمسان المصنفة ذات نشاط زلزالي ضعيف مقاومة البناية محققة بواسطة نضام تدعيم جدران مسلحة

تم التصميم وفقا لقوانين ومعايير البناء المطبقة في الجزائر (RPA99version2003,BAEL91)

الدراسة الديناميكية تمت بواسطة برنامج SAP2000V14 وأخيرا دراسة البنية التحتية للمنشأة تم بواسطة دراسة الاساسات

Remerciement

Tout d'abord nous remercions avant tous, dieu le tout puissant qui nous a donné le courage, et la volonté pour atteindre notre objectif, et tous les enseignants qui ont contribué à notre formation durant tous les cycles.

Nous remercions vivement, nos encadreurs Mr HASSAINE NASREDDINE et Mr BENYELLES ZOHEIR de nous avoir pris en charges, et pour leur disponibilité, leur aide et leur précieux conseils.

Nous ne saurons oublier de remercier les honorables membres de jury qui nous ont fait l'immense honneur de présider et d'examiner ce travail.

Nous vifs remerciments pour l'ensemble des professeurs du département de génie civil qui ont contribué à notre formation en génie civil.

A tous ceux ou celles qui nous apportés leur soutien, trouvent ici, l'expression de nos vive et sincère reconnaissance.

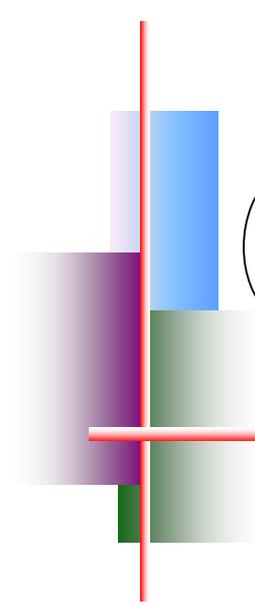


PRINCIPALES NOTATIONS UTILISEES

A : coefficient d'accélération de zone
Aa : section d'armature en appui
A_l : section d'armature longitudinale
A_{min} : section d'armature minimale déterminée par les règlements
Ar : section d'armature de répartition
A_{ser} : section d'armature d'état limite de service
At : section d'armature de travée ou transversale
A_u : section d'armature d'état limite ultime de résistance
A_x : section d'armature du sens x-x
A_y : section d'armature du sens y-y
A' : section d'armature comprimée
A₁ : section de l'armature la plus tendue ou la moins comprimée
A₂ : section de l'armature la moins tendue ou la plus comprimée
Br : section réduite du béton
Cp : facteur de force horizontale
Cs : coefficient de sécurité
Cr : charge de rupture
Crn : charge de rupture minimale nécessaire
D : coefficient d'amplification dynamique
E : module de déformation longitudinale
E_{ij} : module de déformation longitudinale instantanée
E_{iv} : module de déformation longitudinale différée
G : action permanente
H : hauteur
HA : armature à haute adhérence
I : moment d'inertie
If : moment d'inertie fictif
J : action permanente avant mise en place des cloisons
L : longueur
Le : longueur en élévation
Ln : entre axe des nervures
Lp : longueur en plan
M : moment fléchissant
Ma : moment fléchissant en appui
Mc : moment fléchissant en centre ; masse de la cabine ; moment de la console
Md : moment fléchissant de la droite
Me : masse du câble ; moment au centre de la section
Mf : moment fléchissant totale
Mg : moment fléchissant sous charge permanente ; masse du treuil ; moment dû au garde corps
Mj : moment fléchissant sous charge permanente avant mise en place des cloisons
M_l : masse linéaire
M_{ser} : moment fléchissant d'état limite de service
Mt : moment fléchissant de travée

M_u : moment fléchissant d'état limite ultime de résistance
 M_w : moment fléchissant de la gauche
 M_x : moment fléchissant du sens x-x
 M_y : moment fléchissant du sens y-y
 M_o : moment de flexion d'une poutre simplement appuyée
 M_1 : moment par rapport aux armatures tendues ; coefficient de Pigeaud
 M_2 : coefficient de Pigeaud
 M_{22} : moment suivant le sens 2-2
 M_{33} : moment suivant le sens 3-3
 N : effort normal
 N_e : effort normal au centre de la section
 N_{pp} : effort normal dû au poids des poutres principales
 N_{ps} : effort normal dû au poids des poutres secondaires
 N_{ser} : effort normal d'état limite de service
 N_u : effort normal d'état limite ultime de résistance
 P : poids propre ; périmètre
 P_r : poids propre du radier
 Q : action variable quelconque ; facteur de qualité
 R : rayon ; coefficient de comportement de la structure
 S : surface
 S_r : surface du radier
 T : effort tranchant
 T_x : période fondamentale dans le sens x-x
 T_y : période fondamentale dans le sens y-y
 U_c : périmètre du contour
 V : action sismique ; effort horizontal
 V_t : effort sismique à la base de la structure
 W : poids total de la structure
 W_p : poids de l'élément en considération.
 a : longueur ; distance ; dimension
 b : largeur
 b_o : largeur de la nervure
 b_1 : largeur de poteau
 c : enrobage
 d : hauteur utile ;
 e : excentricité ; espacement
 e_a : excentricité additionnelle
 f : flèche
 f_c : contrainte caractéristique du béton à la compression
 f_e : limite élastique d'acier
 f_t : contrainte caractéristique du béton à la traction
 g : giron de la marche
 h : hauteur
 h_c : hauteur du corps creux
 h_d : hauteur de la dalle
 h_e : hauteur libre
 h_{moy} : hauteur moyenne
 h_t : hauteur totale
 h' : hauteur de la zone nodale
 h_1 : hauteur du poteau

i : rayon de giration
j : nombre des jours
l : longueur ; distance
l_f : longueur de flambement
l_x : la petite dimension du panneau de la dalle
l_y : la grande dimension du panneau de la dalle
l' : longueur de la zone nodale
l_o : longueur libre
q_b : charge linéaire induite par les marches
q_{eq} : charge linéaire équivalente
q_l : charge linéaire
q_{ser} : charge linéaire d'état limite de service
q_u : charge linéaire d'état limite ultime de résistance
q_P : charge linéaire du palier
s : espacement
t : espacement ; période
x : abscisse
y : ordonnée
y₁ : ordonnée du centre de gravité de la section homogène
α : Angle, coefficient sans dimension
γ : Coefficient partiel de sécurité, rapport des moments
β : Coefficient sans dimension, coefficient de pondération
ε : Coefficient de réponse
η : Coefficient de fissuration relatif, facteur de correction d'amortissement
θ : Déviation angulaire, coefficient sans dimension, coefficient globale dépendant du type de construction
λ : Élançement mécanique d'un élément comprimé, coefficient sans dimension, rapport des dimensions
μ : Moment réduit
ν : Coefficient de poisson
ρ : Rapport de deux dimensions
σ : contrainte de béton ou d'acier
τ : Contrainte tangentielle ou de cisaillement
ψ : Coefficient de pondération
ξ : Pourcentage d'amortissement critique
δ : Coefficient de réduction, espacement des armatures transversales, déplacement
Σ : Sommation
φ : Diamètre d'armature transversale ou treillis soudés



Chapitre I



Présentation de projet

I.1 Introduction

Le béton armé est parmi les matériaux de construction le plus utilisé et le plus économique dans la plupart des constructions .Il est le plus répandu dans notre pays de fait que la majorité des ouvrages sont construits en béton armé .

Il constitue une branche de génie civil qui' a pour but de dimensionner les ouvrages d'une façon économique.

Présentation de l'ouvrage :

On étudie un bâtiment à usage habitation (R+8) contreventé par voile, situé au niveau de la wilaya de Tlemcen (zone I) dans le groupe d'usage 2 et implanté dans une zone de faible sismicité.

I.2 But

La bonne tenue d'un bâtiment dépend essentiellement des fondations sur les quelles il repose. Pour cela, il est nécessaire que le sol choisi soit bien étudié .Vu que l'influence majeur sur la résistance et la stabilité de l'ouvrage, c'est le choix des fondations dans les zones sismiques.

I.3 Choix d'une structure

Le choix d'une construction d'élévation importante à cause de la tendance s'explique par l'urbanisation très dense imposée par la croissance démographique, à cause du développement théorique et pratique de la technologie du bâtiment.

I.4 caractéristiques géométriques du bâtiment

Notre projet a une forme rectangulaire avec un décrochement, le bâtiment présente les dimensions suivantes :

| | |
|----------------------------|------------------------------------|
| Hauteur d'étage | $h_e = 3,06 \text{ m.}$ |
| Hauteur de RDC | $h_{\text{RDC}} = 3,57 \text{ m.}$ |
| Hauteur totale de bâtiment | $H = 28,05 \text{ m.}$ |
| Cage d'escaliers | $3,30 \times 5,05 \text{ m}^2.$ |
| Largeur du bâtiment | $B = 13,45 \text{ m.}$ |
| Longueur du bâtiment | $l = 26,23 \text{ m.}$ |
| Cage d'ascenseur | $2 \times (1,05 \times 1,425)$ |

I.5 Caractéristiques géotechniques du sol

Le sol d'assise de la construction est un sol meuble d'après le rapport du laboratoire de la mécanique des sols,

- La contrainte du sol est $\sigma_{\text{sol}} = 1,5 \text{ bars}$ pour un ancrage $D = 1,50 \text{ m.}$

- Le poids spécifique de terre $\gamma = 1,7 \text{ t} / \text{m}^3$.
- L'angle de frottement interne du sol $\varphi = 35^\circ$
- La cohésion $C = 0$ (sol pulvérulent)

I.6 Les éléments d'une construction

Les principaux éléments d'une construction comprennent :

- Les fondations, qui permettent à la construction de reposer sur le sol tout en la supportant et en assurant sa stabilité.
- La structure ou ossature, qui assure la stabilité aérienne de l'ouvrage, supporte toutes les charges appliquées et transmet aux fondations les sollicitations dues au poids de l'édifice, aux charges d'occupation et aux forces exercées par le vent, la neige, les secousses sismiques, ... etc.
- Les murs porteurs qui peuvent être intégrés à la structure, ainsi que les poteaux, les poutres et les planchers qui définissent l'ossature.
- Les cloisons intérieures ou murs de refends, qui peuvent être parfois intégrés à la structure.
- Les systèmes de circulation verticale : ascenseurs, escaliers mécaniques, escaliers.
- l'enveloppe, constituée de la façade, des pignons et de la toiture, qui sépare l'intérieur de l'extérieur de la construction et qui la protège des sollicitations diverses : pluie, vent, chaleur, froid, bruit, lumière solaire, ... etc. Elle joue un rôle fondamental dans les économies d'énergie.

I.7 les charges

Elles sont classées en charges « statiques » et « dynamiques ». Les charges statiques comprennent le poids du bâtiment lui-même, ainsi que tous les éléments principaux de l'immeuble .les charges statiques agissent en permanence vers le bas et s'additionnent en partant du haut du bâtiment vers le bas.

Les charges dynamiques peuvent être la pression du vent, les forces sismiques, les vibrations provoquées par les machines, les meubles, les marchandises ou l'équipement stockés.

Les charges dynamiques sont temporaires et peuvent produire des contraintes locales, vibratoires ou de choc.

I.8 Conception de la structure

1. Planchers

Nous avons utilisé un seul type de plancher, corps creux pour tous les niveaux avec un plancher terrasse d'une forme de pente pour permettre l'écoulement des eaux pluviales vers les conduites d'évacuation.

2. Contreventement

Le contreventement est assuré par les éléments structuraux qui concourent à la résistance et la stabilité de la construction contre les actions horizontales telle que le séisme et le vent.

on utilise pour cela :

- Des voiles intérieurs et dans les deux sens longitudinal et transversal.
- Des portiques constitués par des poteaux et des poutres.

3. Escaliers

Sont des éléments en gradins, ils permettent la circulation verticales des personnes entre les étages. Ils sont construits en béton armés.

4. Ascenseur

C'est un appareil automatique élévateur installé, comportant une cabine dont les dimensions et la constitution permettant l'accès des personnes et du matériel.

5. Maçonnerie

Ils se composent d'une enveloppe extérieure isolant de l'humidité et du bruit.

- Les murs de façade sont constitués par double parois en briques creuses, dont l'épaisseur est (15 + 10) cm, séparés par une lame d'air de 5 cm.
- Les murs intérieurs de 10 cm d'épaisseur en briques creuses.

6. Revêtement

- Enduit en ciment pour les murs et les plafonds.
- Carrelage pour les planchers et les escaliers.

7. Fondations :

L'infrastructure, constitué des éléments structuraux des sous-sol éventuels et le système de fondation doivent former un ensemble résistant et rigide, cet ensemble devra être capable de transmettre les charges sismiques horizontales en

plus des charges verticales, de limiter les tassements différentiels .Le système de fondation doit être homogène.

8. Type de coffrage utilisé

Les éléments structuraux « Poteaux, Poutres et les Voiles » sont réalisés par le coffrage métallique ou coffrage en bois.

Pour les planchers corps creux et les escaliers, on utilise les coffrages en bois.

I.9 Caractéristiques mécaniques des matériaux

1. Le Béton

C'est un matériau de construction reconstituant artificiellement la roche, composé de granulats, de sable, de ciment, d'eau et éventuellement d'adjuvants pour en modifier les propriétés. C'est le matériau de construction le plus utilisé au Monde, que ce soit en bâtiment ou en travaux publics.

Il présente une très bonne résistance à la compression .Par contre il a une mauvaise résistance à la traction.

- **Résistance caractéristique :**

La résistance à la compression est égale à la rupture par compression à « j » jours sur un cylindre de 200 cm² de section.

- Compression : $f_{c28} = 25 \text{ Mpa}$ « pour j = 28 jours ».
- Traction : $f_{t28} = 0,6 + 0,06 f_{c28} = 2,1 \text{ Mpa}$.

- **Module de déformation longitudinale du béton :**

- Module instantané : $E_i = 11000 \sqrt[3]{f_{c28}} = 32164,195 \text{ Mpa}$.
- Module différé : $E_v = 3700 \sqrt[3]{f_{c28}} = 10818,9 \text{ Mpa}$.

- **Contrainte de calcul de béton comprimé :**

- a. **Etat limite ultime de résistance « E.L.U.R » :**

ζ_{bc} : La déformation du béton à la compression.

$$\text{Si : } 0 \leq \zeta_{bc} \leq 2\text{‰} \Rightarrow \sigma_{bc} = \frac{0,85 \cdot f_{c28}}{\theta \cdot \gamma_b \cdot \left[1 - \left(2 - \frac{\zeta_{bc}}{2} \right) \right]} \dots\dots\dots \text{I 1}$$

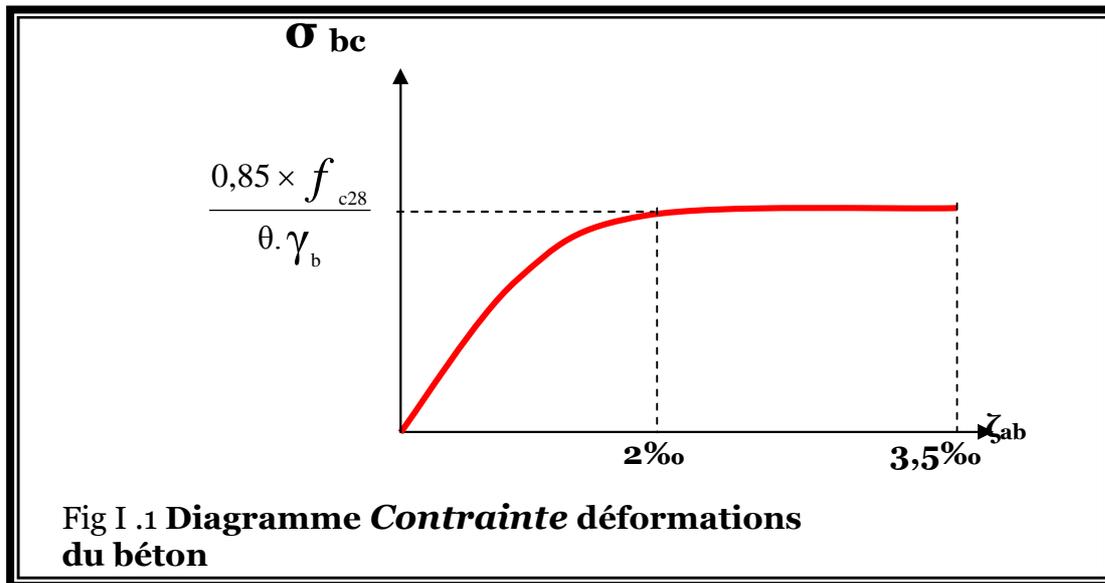
La courbe est sous forme d'une parabole.

$$\text{Si } 2\text{‰} \leq \zeta_{bc} \leq 3,5\text{‰} \Rightarrow \sigma_{bc} = \frac{0,85 \cdot f_{c28}}{\theta \cdot \gamma_b} \dots\dots\dots \text{I 2}$$

La courbe est sous forme d'un rectangle.

$$\theta = \begin{cases} 1 & \text{si } t \geq 24 \text{ heures} \\ 0,9 & \text{si } 1 \leq t \leq 24 \text{ heures} \\ 0,85 & \text{si } t < 1 \text{ heure} \end{cases} \dots\dots\dots \text{I 3}$$

Avec :



b. Etat Limite Service « E.L.S » :

La contrainte admissible du béton à la compression

$$\overline{\sigma}_{bc} = 0,6 \cdot f_{c28} = 15 \text{ Mpa.}$$

2. Les Armatures

Les armatures en acier ont pour objectif de supporter les efforts de traction dans les pièces fléchies et tendues, et de renforcer les sections des pièces comprimés. La quantité des armatures est calculée de façon à assurer la résistance aux charges déterminées. Les armatures d'acier utilisées dans le béton armé sont fabriquées en barres laminées à chaud et en fils étirés à froids.

- **Type d'acier utilisé :**

- Barres lisses \longrightarrow FeE 235
- Barres à haute adhérence \longrightarrow FeE400
- Treillis soudé de diamètre 6 à haute adhérence \longrightarrow FeE520

- **Contrainte de calcul d'acier :**

Les caractéristiques mécaniques des aciers d'armature sont dégagées de façon empirique à des essais de traction, en déterminant la relation entre σ et la déformation relative ζ .

a. Etat Limite Ultime « E.L.U » :

F_e : Limite d'élasticité de l'acier : $F_e = 400$ Mpa.

γ_s : Coefficient de sécurité $\gamma_s = 1,15$.

$\gamma_s = 1$ en situation accidentelle.

E_s : Module d'élasticité de l'acier $E_s = 2 \times 10^5$ Mpa.

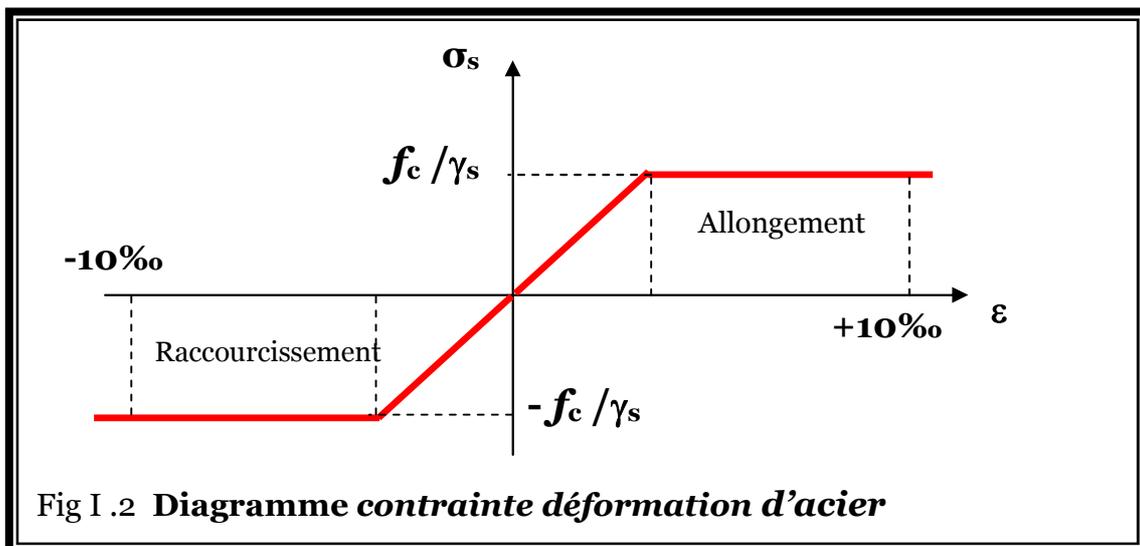
$$\zeta_L = \frac{F_e}{\gamma_s \times E_s} = \frac{400}{1,15 \times 2 \times 10^5} = 1,739 \text{ ‰.}$$

Si $\zeta_s < \zeta_L \Rightarrow \sigma_s = \zeta_s \times E_s$.

$$\Rightarrow \sigma_s = \frac{F_e}{\gamma_s} \Rightarrow \sigma_s = \frac{400}{1,15} = 347,826 \text{ Mpa.}$$

$$\alpha_L = \frac{3,5}{3,5 + 1,739} = 0,668 \text{ Mpa.}$$

$$\mu_L = 0,8 * \alpha_L (1 - 0,4 \alpha_L) = 0,392.$$



b. Etat Limite Service (E.L.S) :

Les contraintes admissibles de l'acier sont données comme suite :

☛ Fissuration préjudiciable, il n'y a aucune vérification à effectuer en ce qui concerne σ_s .

☛ Fissuration peu préjudiciable.

$$\sigma_s < \bar{\sigma}_s \quad \text{avec} \quad \sigma_s = \min\left(\frac{2}{3} f_e \cdot 110 \sqrt{\eta f_{c28}}\right) \dots \dots \dots \quad \text{I 4}$$

☛ Fissuration très préjudiciable.

$$\sigma_s < \bar{\sigma}_s \quad \text{avec} \quad \sigma_s = \min\left(\frac{1}{2} f_e \cdot 90 \sqrt{\eta f_{c28}}\right) \dots \dots \dots \quad \text{I 5}$$

Avec η : coefficient de fissuration.

$$\eta = \begin{cases} 1,0 & \text{pour Rond Lisse.} \\ 1,60 & \text{pour Haute Adhérence.} \end{cases}$$

I.10 Combinaison de calcul

Les sollicitations sont calculées en appliquant à la structure les combinaisons d'actions définies ci-après :

☛ Les combinaisons de calcul à l'état limite ultime de résistance « **E.L.U** » sont :

1. Pour les situations durables :

$$P1 = 1,35 G + 1,5 Q.$$

2. Pour les situations accidentelles « séisme, choc... »

$$P2 = G + Q \pm E.$$

$$P3 = G + Q \pm 1,2 E.$$

$$P4 = 0,8 G \pm E.$$

☛ Les combinaisons de calcul à l'état limite service de résistance :

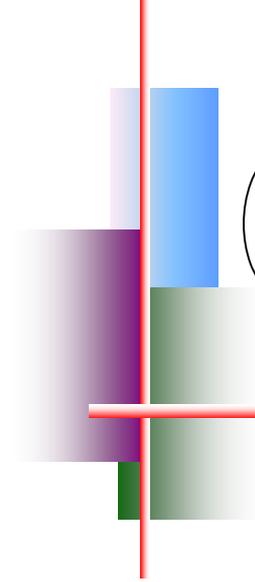
$$P5 = G + Q.$$

Avec

G : Charge permanente.

Q : Charge d'exploitation.

E : L'effort de séisme.



Chapitre III



*Prédimensionnement
des éléments résistants*

II.1 Introduction

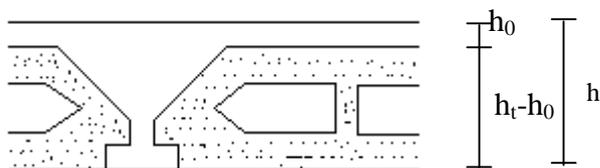
Nous dimensionnons dans le présent chapitre les éléments de la structure suivant les règlements RPA99, BAEL91, DTR.

II.2 Pré dimensionnement des éléments résistants

II.2.1 Pré dimensionnement des planchers

Les planchers sont des aires horizontales qui servent à limiter les étages, ils ont une épaisseur "e" faible par rapport à leur dimension en plan, leur fonction principale est de résister et supporter les charges et surcharges afin de les transmettre aux éléments porteurs.

- La détermination de la charge d'exploitation se fait suivant l'usage de l'étage :
 - Terrasse non accessible : $P = 1,00 \text{ KN/m}^2$.
 - Plancher étage habitation : $P = 1,50 \text{ KN/m}^2$.
- Dans notre structure, on utilise un seul type de plancher :
 - Plancher à corps creux FigureII.1



FigureII.1 coupe d'un plancher à corps creux

h_t : L'épaisseur totale du plancher.

II.3 Descente des charges

II.3.1 Charge Permanente

a. Plancher (Corps Creux,)

Le pré dimensionnement se fait à partir de la condition de rigidité selon le **RPA** :

$$h_t > \frac{L}{22,5} ; \quad L = 4,24 \text{ m.}$$

$$h_t = 0,188\text{m} \Rightarrow \text{Plancher (16 + 5).}$$

Avec : 5cm : épaisseur de la table de compression.

16cm : épaisseur du corps creux.

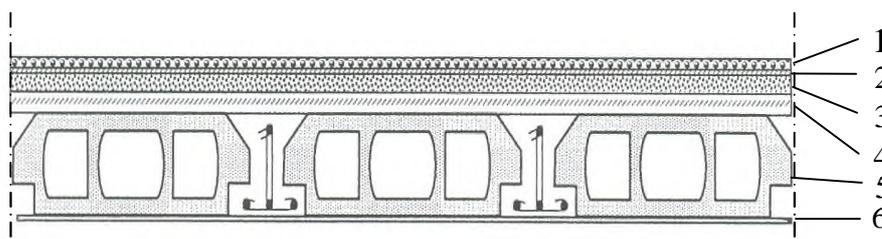


Figure II.2 détail des constituants du plancher terrasse inaccessible.

a.1 Plancher terrasse

Tableau II.1 charge permanente de plancher terrasse

| Plancher | P (KN/m ²) |
|---------------------------------------|-----------------------------|
| 1. Gravillon de Protection (4 cm). | 0,8 |
| 2. Etanchéité Multicouche (2 cm). | 0,12 |
| 3. Béton en Forme de Pente (1%). | 2,20 |
| 4. Isolation thermique en liège (5cm) | 0,15 |
| 5. Corps Creux (16+5). | 3,05 |
| 6. Enduit en plâtre | 0,20 |
| | G_t = 6,52 |

a.2 plancher étage courant

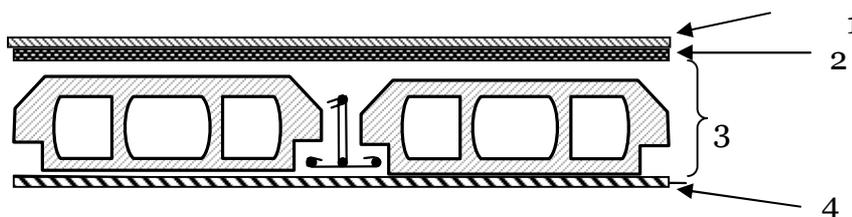


Figure II.3 détail des constituants du plancher d'étage courant

Tableau II.2 charge permanente de plancher étage courant

| Plancher | P (KN/m ²) |
|--|-----------------------------|
| 1. Cloison légère | 1,00 |
| 2. Carrelage + mortier | 1,00 |
| 3.. - Dalle à corps creux (ep = 16+5) cm | 3,05 |
| 4. - Enduit au ciment (ep = 1,5 cm) | 0,40 |
| | G_e = 5,45 |

II.3.2 Surcharge d'exploitation

Le bâtiment est à usage d'habitation courant, ce qui implique :

$Q_0 = 1,000 \text{ KN/m}^2$ Terrasse Non Accessible.

$Q_1 = 1,500 \text{ KN/m}^2$ Etage Courant.

a.1 Dégression des Surcharges d'Exploitation

Terrasse Q_0 .

Étage 1 $Q_0 + Q_1$.

Étage 2 $Q_0 + 0,95 (Q_1 + Q_2)$.

Étage 3 $Q_0 + 0,90 (Q_1 + Q_2 + Q_3)$.

Étage 4 $Q_0 + 0,85 (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)$.

Étage n $Q_0 + \frac{3+n}{2n} (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n)$ Pour $n \geq 5$.

a.2 Dégression des Surcharges d'Exploitation

Tableau II.3 Dégression des Surcharges d'Exploitation

| | | Q (KN/m ²) |
|------------------------|----------------|------------------------|
| La Terrasse | Q_0 | 1,000 |
| 8 ^{ème} étage | $Q_0 + Q_1$ | 2,500 |
| 7 ^{ème} étage | $Q_0 + 1.9Q_1$ | 3,850 |
| 6 ^{ème} étage | $Q_0 + 2.7Q_1$ | 5,050 |
| 5 ^{ème} étage | $Q_0 + 3.4Q_1$ | 6,100 |
| 4 ^{ème} étage | $Q_0 + 4 Q_1$ | 7,000 |
| 3 ^{ème} étage | $Q_0 + 4.5Q_1$ | 7,750 |
| 2 ^{ème} étage | $Q_0 + 5 Q_1$ | 8,500 |
| 1 ^{ème} étage | $Q_0 + 5.5Q_1$ | 9,250 |
| RDC | $Q_0 + 6 Q_1$ | 10,000 |
| | Q = | 10,000 |

II.3.3 évaluation des charges

Tableau II.4 évaluation des charges

| valeur cumulée des charges et sur charges | | Valeur non cumulée des charges et sur charges | |
|--|-----------------------|--|-----------------------|
| Q(kN/m ²) | G(kN/m ²) | Q(kN/m ²) | G(kN/m ²) |
| 1,00 | 6,52 | 1,00 | 6,52 |
| 2,50 | 11,97 | 1,50 | 5,45 |
| 3,85 | 17,42 | 1,50 | 5,45 |
| 5,05 | 22,87 | 1,50 | 5,45 |
| 6,10 | 28,32 | 1,50 | 5,45 |
| 7,00 | 33,77 | 1,50 | 5,45 |
| 7,75 | 39,22 | 1,50 | 5,45 |
| 8,5 | 44,67 | 1,50 | 5,45 |
| 9,25 | 50,12 | 1,50 | 5,45 |
| 10,00 | 55,57 | 1,50 | 5,45 |

II.4 Pré dimensionnement des éléments porteurs

II.4.1 Pré dimensionnement des poutres

En construction, les poutres doivent avoir des sections régulières soit rectangulaires ou carrées. Ces sections sont obtenues en satisfaisant aux conditions suivantes.

- Critère de rigidité.
- Condition du R.P.A 99.

a. Pré dimensionnement des poutres principales [p.p]

a.1 Critère de rigidité :

$$\begin{cases} \frac{L}{15} \leq h \leq \frac{L}{10} \\ 0,4h < b \leq 0,8h \end{cases}$$

Avec :

h : hauteur de la poutre.

b : largeur de la poutre.

L : la portée de la poutre.

$$\text{Pour } L = 505 \text{ cm} \Rightarrow \begin{cases} 33.66 \leq h \leq 50,5 & \rightarrow h = 40 \text{ cm.} \\ 20 < b \leq 40 & \rightarrow b = 35 \text{ cm.} \end{cases}$$

a.2 Condition du R.P.A 99 :

$$\begin{cases} h \geq 30 \text{ cm} \\ b \geq 20 \text{ cm} \\ (h/b) \leq 4 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} h = 40 \geq 30 \text{ cm} \\ b = 35 \geq 20 \text{ cm} \\ (40/35) = 1,14 \leq 4 \end{cases} \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

Donc la section adoptée pour les poutres principales est $(40 \times 35) \text{ cm}^2$.

b. Pré dimensionnement des Poutres secondaire [P.S]

b .1 Critère de rigidité :

$$\text{Pour } L = 454 \text{ cm} \Rightarrow \begin{cases} 30,26 \leq h \leq 45.4 & \rightarrow h = 35 \text{ cm} \\ 14 < b \leq 28 & \rightarrow b = 35 \text{ cm} \end{cases}$$

b.2 Condition du R.P.A 99 :

$$\begin{cases} h \geq 30 \text{ cm} \\ b \geq 20 \text{ cm} \\ (b/h) \leq 4 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} h = 35 \geq 30 \text{ cm} \\ b = 35 \geq 20 \text{ cm} \\ (h/b) = 1,00 \leq 4 \end{cases} \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

Donc la section adoptée pour les poutres secondaires est $(35 \times 35) \text{ cm}^2$

Les sections des poutres sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau II.5 **Les sections des poutres**

| poutres | Section cm^2 |
|-------------|-----------------------|
| Principales | (40x35) |
| Secondaires | (35x35) |

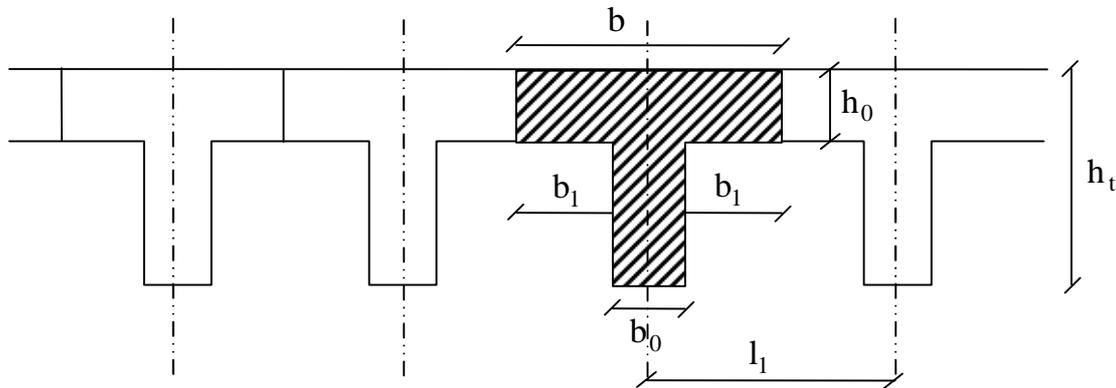
c. Poutrelle :

Figure II.4 Schéma des poutrelles

$$h_t = 21 \text{ cm} \rightarrow \begin{cases} 16 \text{ cm} : \text{Epaisseur du corps creux.} \\ 5 \text{ cm} : \text{Epaisseur de la dalle de compression.} \end{cases}$$

Pour la largeur de la nervure on va prendre $b_o = 12 \text{ cm}$

$$\text{Selon le B.A.E.L 83[1]} \begin{cases} b_1 \leq \frac{L_n - b_o}{2} \\ b_1 \leq \frac{L}{10} \\ 6h_o \leq b_1 \leq 8h_o \end{cases}$$

Avec : L : La portée entre nus d'appui de la travée considérée.

L_n : La distance entre axes des nervures.

- Suivant les normes Algériennes (DTR.B.C.22), la distance L_n est prise généralement égale à 60 cm.

Donc pour $L_n = 60 \text{ cm}$ et $L = 424 \text{ cm}$

$$\begin{cases} b_1 \leq 24 \text{ cm.} \\ b_1 \leq \frac{424}{10} = 42,4 \text{ cm.} \\ 24 \leq b_1 \leq 32 \end{cases}$$

$b_1 = \min(24 ; 42,4 ; 32)$ On prendra donc $b_1 = 24 \text{ cm}$.

$b = 2b_1 + b_o = 60 \text{ cm}$.

Les poutrelles étudiées dans notre structure auront les dimensions suivantes (figure II. 5).

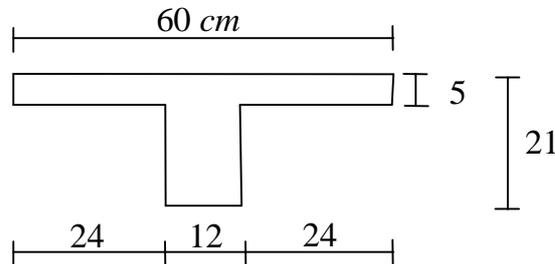


Figure II.5 Dimensions adoptées des poutrelles

II.5 Pré dimensionnement des poteaux

Le calcul est basé en premier lieu sur la section du poteau le plus sollicité (central), la section afférente est la section résultante de la moitié des panneaux entourant le poteau (figure II.6).

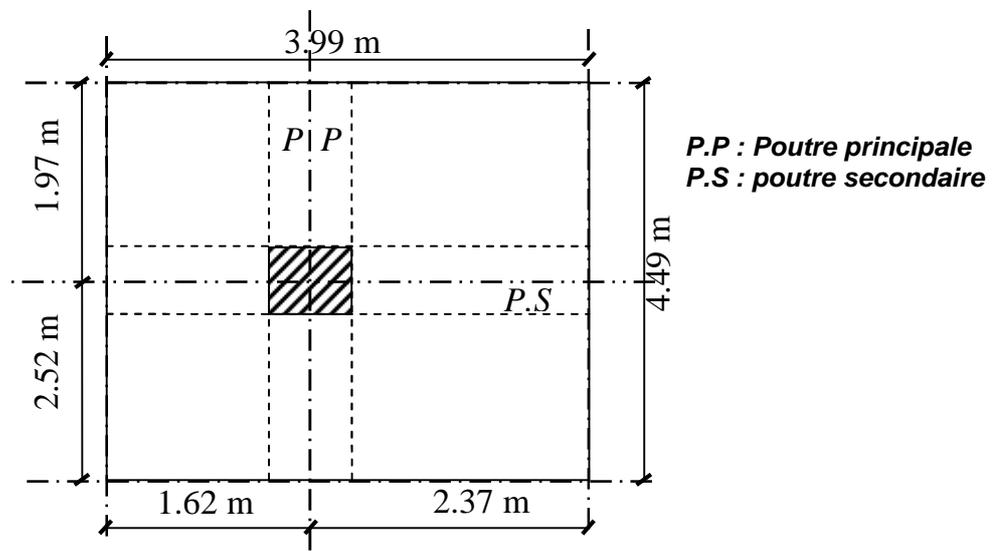


Figure II.6 Section afférente d'un poteau sollicité.

- La section afférente de plancher : $S_{aff (Plancher)} = 17,915 m^2$.
- La longueur afférente de poutre principale (P.P) : $L_{aff (P.P)} = 4,49 m$
- La longueur afférente de poutre secondaire (P.S) : $L_{aff (P.S)} = 3,99 m$

II.5.1 Méthode de calcul

Leur pré dimensionnement doit respecter les trois conditions suivantes:

- a. condition de résistance
- b. condition de stabilité
- c. condition imposée par le RPA99

a. condition de résistance:

On sait que :

$$\beta_r \geq \frac{K \cdot \beta \cdot N_u}{\left[\theta \cdot \left(\frac{\sigma_{bc}}{0,9} \right) + 0,85 \cdot \left(\frac{A}{\beta_r} \right) \cdot \sigma_s \right]} \dots\dots\dots (*)$$

D'après BAEL 91 on prend $\frac{A}{Br} = 1\% = 0.01$ avec

Br : Section nette du béton ; [$Br = (a-0,02)(b-0,02)m^2$]

θ : facteur de durée d'application des charges ($\theta=1$)

K : Facteur correcteur pour la durée d'application des charges $K = 1$, les charges étant appliquée généralement après 90jours

σ_{bc} :résistance de calcul du béton en compression à l'état ultime.

$$N_u = 1,35 N_g + 1,5 N_q$$

N_g : Effort normal du aux charges permanentes

N_q : Effort normal du aux charges d'exploitations

Il se calcul en appliquant la loi de digression des charges d'exploitations

β : coefficient qui dépend de l'élanement du poteaux.

$$\beta = 1 + 0,2(\lambda / 35)^2 \quad \text{avec } \lambda \leq 30$$

Pour toutes les armatures participe on prend $\lambda = 30 \rightarrow \beta = 1,14$

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\delta_s} = 348 \text{MPa} : \text{résistance de calcul des aciers à L'ELU}$$

La formule (*) est simplifiée et devient :

$$\beta_r \geq (1,14 \cdot N_u) / \left[\left(\frac{14,20}{0,90} \right) + 0,85 \cdot \left(\frac{1}{100} \right) \cdot \left(\frac{348}{1,15} \right) \right]$$

Donc $Br \geq 0,64 \times Nu$

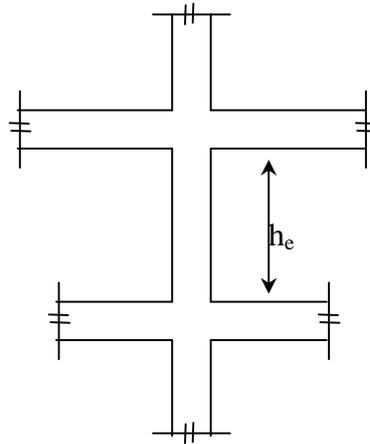
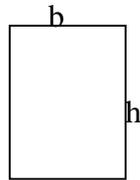
b. condition de stabilité de forme :

Figure II.7 hauteur libre de poteau

On sait que :

$$\lambda = \frac{L_f}{i} \leq 30 \quad \text{avec} \quad i = \sqrt{I/B}$$

I : moment d'inertie de la section du poteau

B : section du béton

λ : l'élancement $\frac{L_f}{i}$

$$i = b / \sqrt{12} \Rightarrow \lambda = 3.46 \times \frac{L_f}{b}, L_f = 0.7 \times L_0 .$$

c. conditions imposées par le RPA99 :

Pour zone I : on a

1- $\min (h_1, b_1) \geq 25 \text{ cm}$

2- $\min (h_1, b_1) = h_e / 20$

3- $1/4 \leq b_1/h_1 \leq 4$

Avec h_e : la hauteur libre d'étage

II.5.2 Calcul de la section du poteau

II.5.2.1.Exemples de calcul

a. Calcul de la section du poteau : (8^{ème} étage)

1. Effort normal ultime P_u :

$$P_u = N_1 (\text{plancher}) \cdot S_{\text{aff}(\text{plancher})} + N_2 (P.P) \cdot L_{\text{aff}(P.P)} + N_3 (P.S) \times L_{\text{aff}(P.S)}$$

$$\bullet : (\text{8^{ème} étage} \rightarrow \begin{cases} G = 6,52 \text{ KN/m}^2. \\ P = 1,00 \text{ KN/m}^2. \end{cases} \rightarrow N_{1(\text{Plancher})} = 1.35 G + 1.5 P$$

$$\Rightarrow N_{1(\text{Plancher})} = 10,302 \text{ KN/m}^2$$

$$\bullet N_{2(P.P)} = 1,35(25 \cdot 0,35 \cdot 0,40) = 4,7250 \text{ KN/m.l}$$

$$\bullet N_{3(P.S)} = 1,35(25 \cdot 0,35 \cdot 0,35) = 4,134 \text{ KN/m.l}$$

$$m = 1 \text{ Étages}$$

Donc :

$$P_u = 10.302 \times 17,915 + 4,725 \times 4.49 + 4,134 \times 3,99$$

$$P_u = 222,757 \text{ KN}$$

$$N_u = 1,15 P_u = 1,15 \times 222,757 = 256,1709 \text{ KN}$$

$$\text{On sait bien que : } B_r \geq 0,64 N_u \Rightarrow B_r \geq 163,9494 \text{ cm}^2$$

$$\text{Donc on prend : } B = (35 \times 35)$$

2. Vérification suivant R.P.A99 :

$$\begin{cases} \min(h_1, b_1) \geq 25 \text{ cm} \\ \min(h_1, b_1) \geq \frac{h_e}{20} \\ \frac{1}{4} \leq \frac{b_1}{h_1} \leq 4 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \min(35, 35) \geq 25 \text{ cm} \\ \min(35, 35) \geq \frac{286}{20} = 14.3 \text{Condition vérifiée.} \\ \frac{1}{4} \leq \frac{35}{35} = 1 \leq 4 \end{cases}$$

b. Calcul de la section du poteau : (7^{ème} étage)

1. Effort normal ultime P_u :

$$P_u = N_1(\text{plancher}) \cdot S_{\text{aff}(\text{Plancher})} + N_2(P.P) \cdot L_{\text{aff}(P.P)} + N_3(P.S) \times L_{\text{aff}(P.S)} + N_2 \text{ poteau}(8^{\text{EME}} \text{ etage}) \times L_p$$

$$7^{\text{ème}} \text{étage} \rightarrow \begin{cases} G = 11,97 \text{ KN/m}^2. \\ P = 2,50 \text{ KN/m}^2. \end{cases} \rightarrow N_{1(\text{Plancher})} = 1.35 G + 1.5 P$$

$$\Rightarrow N_{1(\text{Plancher})} = 19,9095 \text{ KN/m}^2$$

$$\bullet N_{2(P.P)} = 1,35(25 \cdot 0,35 \cdot 0,40)2 \cdot = 9,45 \text{ KN/m.l}$$

$$\bullet N_{3(P.S)} = 1,35(25 \cdot 0,35 \cdot 0,35)2 \cdot = 8,26 \text{ KN/m.l}$$

$$m = 2 \text{ Étages}$$

$$\bullet N_{\text{POTEAU}} = 1,35(25 \cdot 0,35 \cdot 0,35)2 \cdot 86 = 11,8243 \text{ KN/m.l}$$

Donc :

$$P_u = 19,9095 \times 17,915 + 9,45 \times 4,49 + 8,26 \times 3,99 + 11,82$$

$$P_u = 443,8865 \text{ KN}$$

$$N_u = 1,15 P_u = 1,15 \times 443,8865 = 510,4694 \text{ KN}$$

$$\text{On sait bien que : } B_r \geq 0,64 N_u \Rightarrow B_r \geq 326,70046 \text{ cm}^2.$$

$$\text{Donc on prend : } B = (35 \times 35)$$

2. Vérification suivant R.P.99 :

$$\begin{cases} \min(h_1, b_1) \geq 25 \text{ cm} \\ \min(h_1, b_1) \geq \frac{h_e}{20} \\ \frac{1}{4} \leq \frac{b_1}{h_1} \leq 4 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \min(35, 35) \geq 25 \text{ cm} \\ \min(35, 35) \geq \frac{286}{20} = 14.3 \text{Condition vérifiée.} \\ \frac{1}{4} \leq \frac{35}{35} = 1 \leq 4 \end{cases}$$

| | P (kg) | G (kg) | Nu(Poutre Principal(kg)) | Nu(Poutre Secondaire(kg)) | Nu (plancher(kg)) | ρ_u (kg) | $N_u = 1,15 \rho_u$ (kg) | $B_r = 0,0064 \cdot N_u$ (cm ²) | $h_1 * b_1$ |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------------------------|------------------------------|----------------------|---------------|-----------------------------|--|--------------|
| 8 ^{ieme} étage | 100 | 651 | 472,50 | 413,43 | 1030,02 | 22275,70 | 25530,00 | 163,39 | 35*35 |
| 7 ^{ieme} étage | 250 | 1171 | 945,00 | 826,87 | 1990,95 | 44388,65 | 51046,94 | 321,94 | 35*35 |
| 6 ^{ieme} étage | 385 | 1691 | 1417,50 | 1240,31 | 2860,35 | 63711,60 | 73268,34 | 468,91 | 40*40 |
| 5 ^{ieme} étage | 505 | 2211 | 1890,00 | 1653,74 | 3742,35 | 83662,57 | 96211,95 | 615,75 | 40*40 |
| 4 ^{ieme} étage | 610 | 2731 | 2362,50 | 2067,18 | 4601,85 | 102816,35 | 118238,80 | 756,72 | 40*40 |
| 3 ^{ieme} étage | 700 | 3251 | 2835,00 | 2480,62 | 5438,85 | 121582,22 | 139819,55 | 894,84 | 45*45 |
| 2 ^{ieme} étage | 775 | 3737 | 3307,50 | 2894,05 | 6252,50 | 140343,45 | 161394,96 | 1032,92 | 45*45 |
| 1 ^{ieme} étage | 846 | 4291 | 3780,00 | 3307,49 | 7060,35 | 158569,96 | 182355,45 | 1167,07 | 45*45 |
| RDC | 916 | 4811 | 4252,50 | 3720,93 | 7868,85 | 176832,84 | 203357,76 | 1301,48 | 50*50 |

Tableau II.6 **Tableau récapitulatif des sections des poteaux des différents étages.**

| Niveau | $(a,b)cm^2$ | $l_0(m)$ | $b(m)$ | $l_f = 0,7l_0(m)$ | λ | $\lambda \leq 30$ |
|----------------|-------------|----------|--------|-------------------|-----------|-------------------|
| RDC | (50,50) | 3,57 | 0,50 | 2,499 | 17,35 | C.V |
| Etage 1,2,3 | (45,45) | 3,06 | 0,45 | 2,142 | 14,87 | C.V |
| Etage 4,5,6 | (40,40) | 3,06 | 0,40 | 2,142 | 16,60 | C.V |
| Etage 7,8 | (35,35) | 3,06 | 0,35 | 2,142 | 18,62 | C.V |

Tableau II.7 Tableau de vérification des poteaux au flambement

$$\lambda = \frac{L_f}{i} \leq 30$$

$$i = b / \sqrt{12} \Rightarrow \lambda = 3,46 \times \frac{L_f}{b}, L_f = 0,7 \times L_0.$$

II.6 Pré dimensionnement des voiles

II.6.1 Voiles du contreventement

Sont considérés comme voiles les éléments satisfaisants à la condition

$$L \geq 4a$$

a : épaisseur du voile

L : la largeur du voile

L'épaisseur de voile doit satisfaire la condition imposée par RPA99 :

$$a \geq h_e / 20$$

1. RDC :

$$a \geq \frac{h_e}{20} \Rightarrow a \geq \frac{3,57}{20} = 17,850 \text{ cm.}$$

$$\Rightarrow a = 20 \text{ cm.}$$

2. Étage courant :

$$a \geq \frac{h_e}{20} \Rightarrow a \geq \frac{3,06}{20} = 15,3 \text{ cm.}$$

$$\Rightarrow a = 20 \text{ cm.}$$

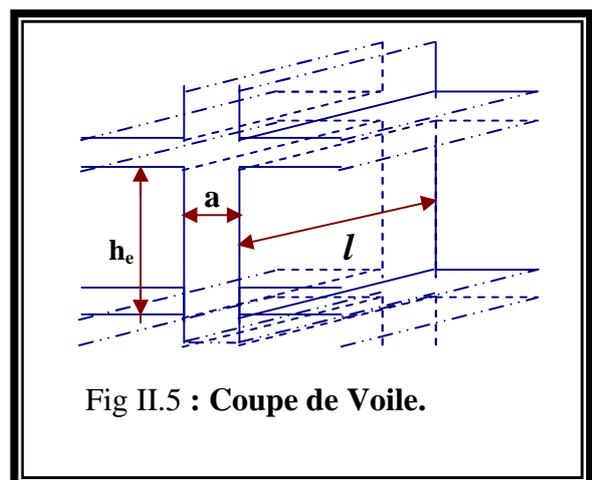
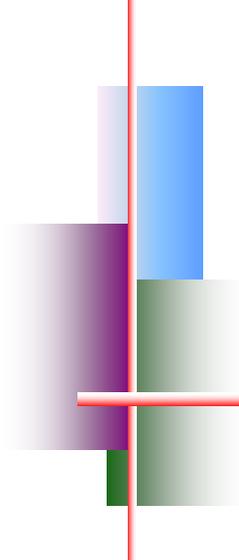


Fig II.5 : Coupe de Voile.



Chapitre III



Étude des planchers

 *Plancher corps creux.*

III.1 Introduction

III.1.1 Définition

Les planchers déterminent les différents niveaux d'une construction, leurs rôles essentiels sont :

- Plate forme porteuse pour l'étage considéré (résistance aux charges permanentes et sous charges mobiles, circulation)
- Toit pour l'étage sous-jacent : support des plafonds , l'adhérant et le suspendus.
- Ecran permettant le confort de l'habitant (acoustique et thermique)
- Élément de stabilité : par chaînage.

Dans notre projet, nous avons utilisés un seul type de planchers :

- plancher corps creux pour tous les étages, avec un plancher terrasse comportant un complexe d'étanchéité et une forme de pente pour facilité l'écoulement des eaux pluviales.

III.1.2 Les Facteurs Généraux de Choix de Type de Plancher

- La flèche.
- La nature d'exploitation.

Dans notre projet, nous avons utilisés un plancher corps creux, avec un plancher terrasse qui aura une forme de pente pour permettre l'écoulement des eaux pluviales vers les conduites d'évacuation.

Il est composé :

- Corps creux en ciment, se servant du coffrage perdu pour le coulage des poutrelles.
- Dalle de compression, une dalle d'épaisseur de 5 cm, en béton armé de quadrillage de treillis soudé (FeE240).
- Poutrelles, elles sont armées par des armatures principales et constructives reliée par des étriers.

III.2 Etude de plancher

III.2.1 Plancher en corps creux

III.2.1.1 Étude de la dalle de compression

-La dalle de compression doit avoir une épaisseur minimale de 5 cm et être armée d'un quadrillage des barres dont les dimensions des mailles ne doivent pas dépasser :

- 20 cm : pour les armatures perpendiculaires aux nervures (A_{\perp}).
 - 30 cm : pour les armatures parallèles aux nervures ($A_{//}$).
- La section minimale des armatures doit être :
- Pour l'écartement des axes des nervures L_n inférieure ou égal à 50 cm, on a :

$$A_{\perp} \geq 200 f_e ; A_{//} \geq \left(\frac{A_{\perp}}{2} \right)$$

- Pour l'écartement des axes des nervures L_n comprise entre 50 et 80 cm, on a :
- $$A_{//} \geq \left(\frac{A_{\perp}}{2} \right)$$

Avec :

L_n : Distance entre axes des nervures en (cm).

f_e : La limite d'élasticité.

La limite d'élasticité de treillis soudés pour un treillis de diamètre $\phi \leq 6 \text{ mm}$

est : $f_e = 520 \text{ MPa}$.

a. Armature perpendiculaire aux nervures :

$$50 \text{ cm} \leq L_n = 60 \text{ cm} \leq 80 \text{ cm}$$

$$\text{Donc on a : } A_{\perp} \geq 4 \cdot \left(\frac{L_n}{f_e} \right) \Rightarrow A_{\perp} \geq 4 \cdot \left(\frac{60}{520} \right) \Rightarrow A_{\perp} \geq 0,46 \text{ cm}^2/\text{ml}.$$

$$\text{On prend } \frac{5\phi 6}{\text{ml}} \Rightarrow A_{\perp} = 1,41 \text{ cm}^2/\text{ml}.$$

b. Armatures parallèles aux nervures :

$$A_{//} \geq \frac{A_{\perp}}{2} \Rightarrow \frac{1,41}{2} \Rightarrow A_{//} \geq 0,70 \text{ cm}^2/\text{ml}.$$

$$\text{On prend } 5\phi 6/\text{ml} \Rightarrow A_{//} = 1,41 \text{ cm}^2/\text{ml}.$$

Donc on adoptera un treillis soudés de : $\phi 6 (200 \times 200) \text{ mm}^2$.

III.2.2 Étude des poutrelles

a. Dimensions : Comme on a vu dans le chapitre précédent, les dimensions de poutrelle sont :

$$h_t = 21 \text{ cm} ;$$

$$b = 60 \text{ cm} ;$$

$$b_0 = 12 \text{ cm} ;$$

$$b_1 = 24 \text{ cm}.$$

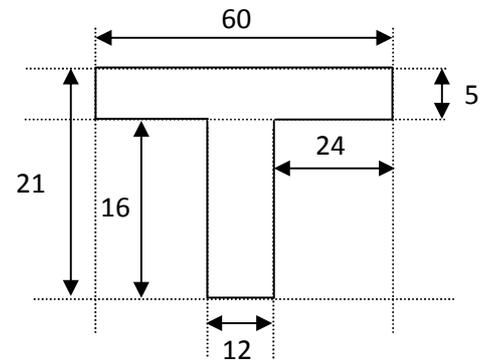


Figure III.1 Schéma de poutrelle.

b. Évaluation des charges :

Les charges sur les poutrelles sont évaluées comme suit :

1. Terrasse :

✚ **E.L.U:**

$$(1,35G + 1,5P) \times 0,60 = (1,35 \times 6520 + 1,5 \times 1000) \times 0,60 = 6181,12 \text{ N/ml}.$$

✚ **E.L.S:** $(G + P) \times 0,6 = (6520 + 1000) \times 0,6 = 4512 \text{ N/ml}.$

2. Étage courant :

✚ **E.L.U:**

$$(1,35G + 1,5P) \times 0,60 = (1,35 \times 5450 + 1,5 \times 1500) \times 0,60 = 5764,5 \text{ N/ml}.$$

✚ **E.L.S:** $(G + P) \times 0,6 = (5450 + 1500) \times 0,6 = 4170 \text{ N/ml}.$

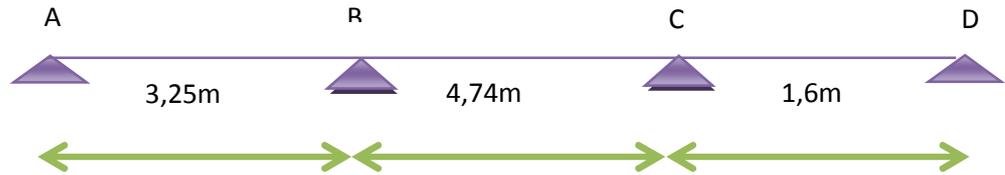
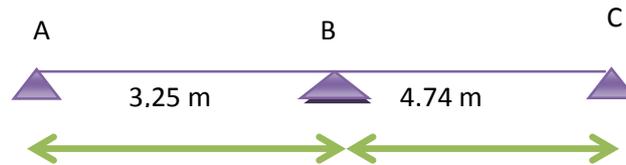
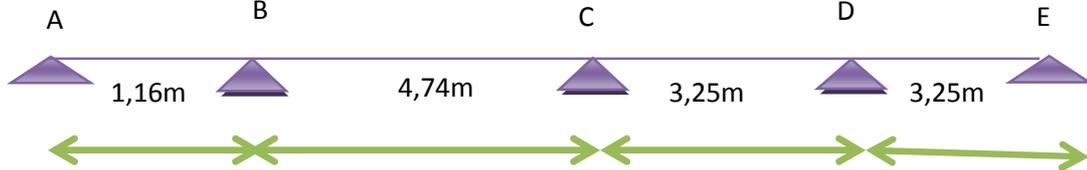
c. Type des poutrelles :**Type 1 :****Type 2 :****Type 3 :**

Figure.III.2 schéma statique des poutrelles.

III.3 Méthode de calcul

Les conditions d'applications de la méthode imposées par le BAEL 91/99

Sont les suivantes :

1. la charge d'exploitation modérée : $P \leq \max(2G ; 5 \text{ KN/m}^2)$
2. l'inertie est constante (les moments d'inertie des sections transversales sont les mêmes dans toutes les travées).
3. le rapport entre deux portées successives doit être compris entre 0,8 et 1,25.
4. la fissuration est peu nuisible.

-La troisième condition n'est pas vérifiée donc on applique la méthode de CAQUOT pour les cas (étages courants et terrasse).

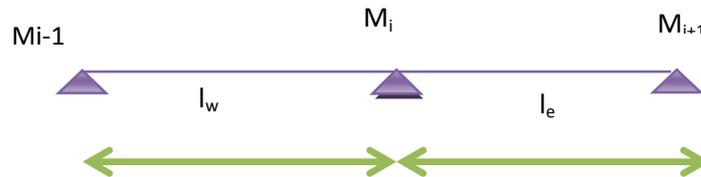
III.3.1 la méthode de Caquot

$$M_{ap} = k \left(\frac{G_w \times l_w'^3 + G_e \times l_e'^3}{8,5(l_w' + l_e')} + \frac{P_w l_e'^3 + P_e l_w'^3}{8,5(l_e' + l_w')} \right)$$

Avec $K = \frac{2}{3} = 0.6666$

$l = l$ (pour les travées de rives)

$l = 0,8l$ (pour les travées de intermédiaire)



$$M_t = \frac{ql}{2}x - \frac{q}{2}x^2 + \frac{(M_i - M_{i-1})}{l}x$$

$$x = \frac{l}{2} + \left(\frac{M_i - M_{i-1}}{ql} \right)$$

III.3.2 Calcul des sollicitations (E.L.U)

a. Type 1 :

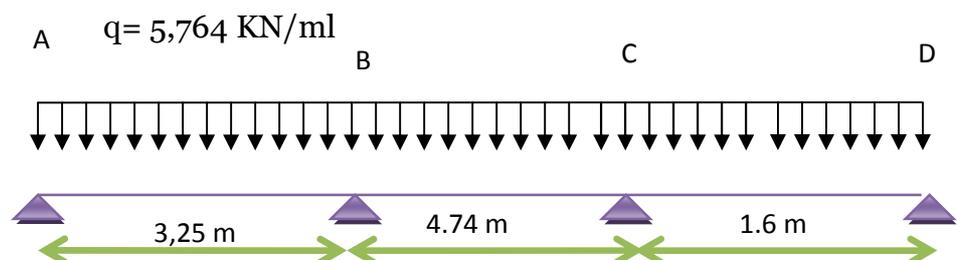
a.1 Plancher étage : Calcul des charges par mètre linéaire

$$G = 5,45 \text{ KN/m}^2$$

$$P = 1,5 \text{ KN/m}^2$$

$$q = (1,35 G + 1,5 Q) \times 0,60$$

$$q = 5,764 \text{ KN/ml} \quad \text{à E.L.U}$$



✚ les moments sur appuis sont :

$$M_{Aapp}=0$$

$$M_{Bapp}=6,63\text{KN.m}$$

$$M_{capp}=5,71\text{ KN.m}$$

$$M_{dapp}= 0$$

✚ les moments en travée

$$X=1,99\text{m} \quad M_t= 11,03\text{KNm}$$

$$X= 2,33\text{m} \quad M_t= 15,16\text{KNm}$$

$$X= 0,15\text{m} \quad M_t= 0,06\text{KNm}$$

✚ Calcul de l'effort tranchant T :

• Travée AB :

$$T_w = 6,99\text{KN} \quad T_e = -11,07\text{KN}$$

• Travée BC :

$$T_w = 13,96\text{KN} \quad T_e = -12,98\text{KN}$$

• Travée CD :

$$T_w = 6,99\text{KN} \quad T_e = -0,87\text{KN}$$

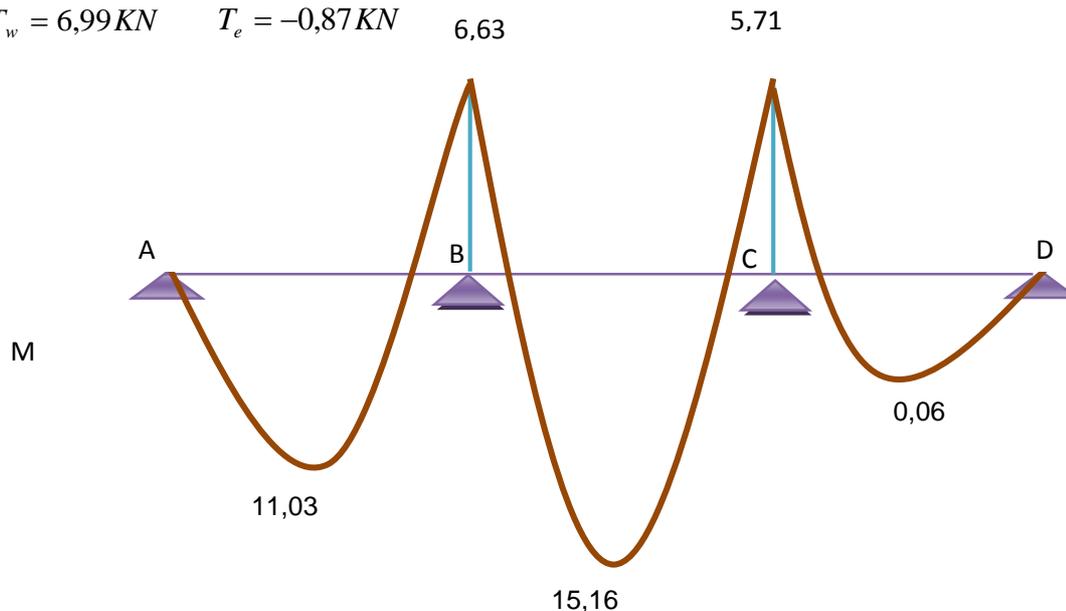


Figure III.3 Diagramme des moments fléchissants

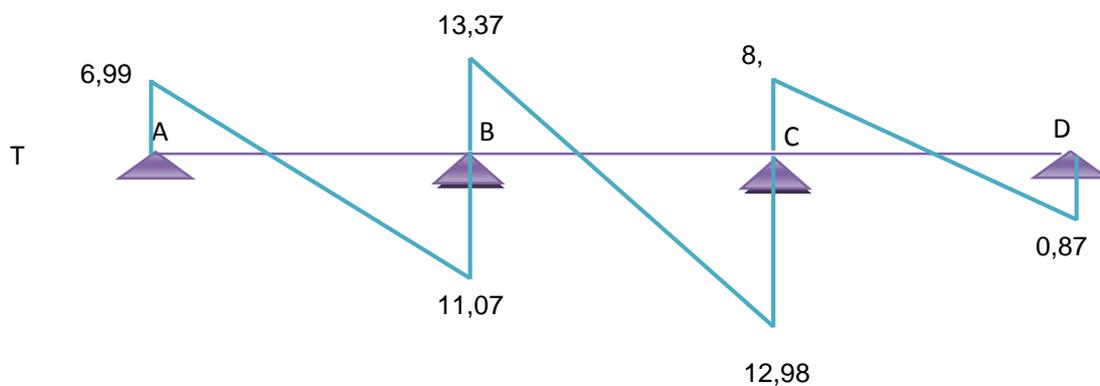


Figure III.4 Diagramme des efforts tranchants

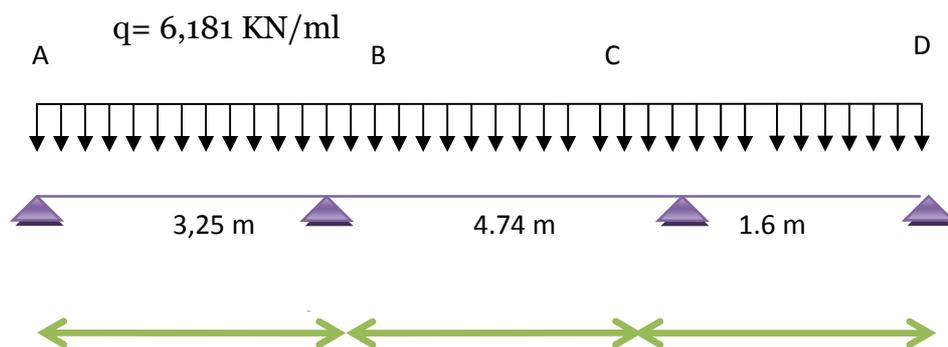
a.2 Plancher terrasse Calcul des charges par mètre linéaire

$$G = 6,52 \text{ KN/m}^2$$

$$P = 1,00 \text{ KN/m}^2$$

$$q = (1,35 G + 1,5 Q) \times 0,60$$

$$q = 6,181 \text{ KN/ml} \quad \text{à E.L.U}$$



✚ les moments sur appuis sont :

$$M_{Aap} = 0$$

$$M_{Bap} = 7,43 \text{ KNm}$$

$$M_{capp}=6,40\text{KN.m}$$

$$M_{dapp}= 0$$

✚ les moments en travée

$$X=1,99\text{m} \quad M_t= 12,29\text{KNm}$$

$$X= 2,33\text{m} \quad M_t= 16,82\text{KNm}$$

$$X= 0,15\text{m} \quad M_t= 0,07\text{KNm}$$

✚ Calcul de l'effort tranchant T :

- Travée AB :

$$T_w = 7,74\text{KN} \quad T_e = -12,31\text{KN}$$

- Travée BC :

$$T_w = 14,84\text{KN} \quad T_e = -14,41\text{KN}$$

- Travée CD :

$$T_w = 8,94\text{KN} \quad T_e = -0,93\text{KN}$$

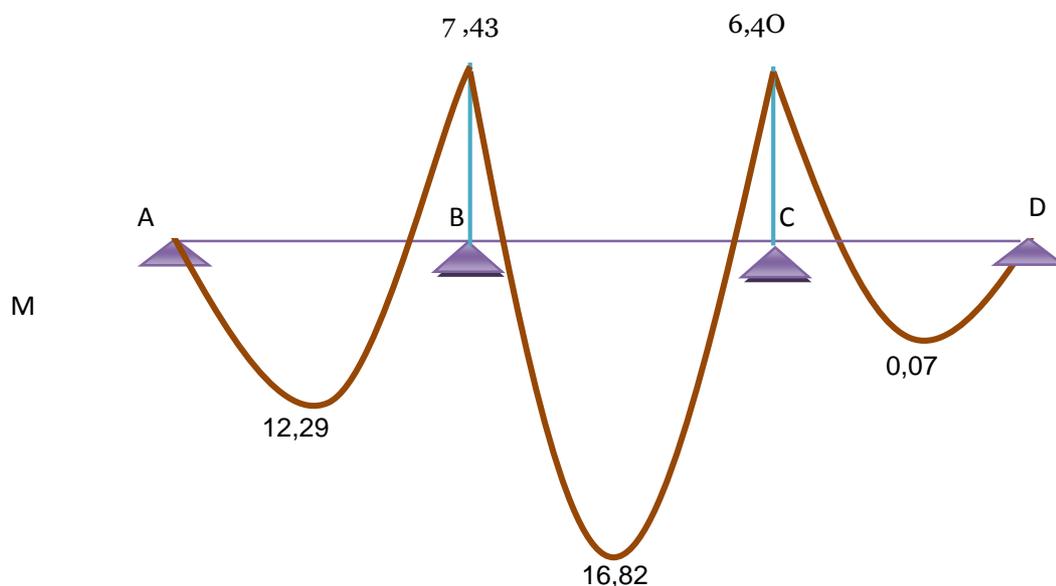


Figure III.5 Diagramme des moments fléchissant, M [KN.m]

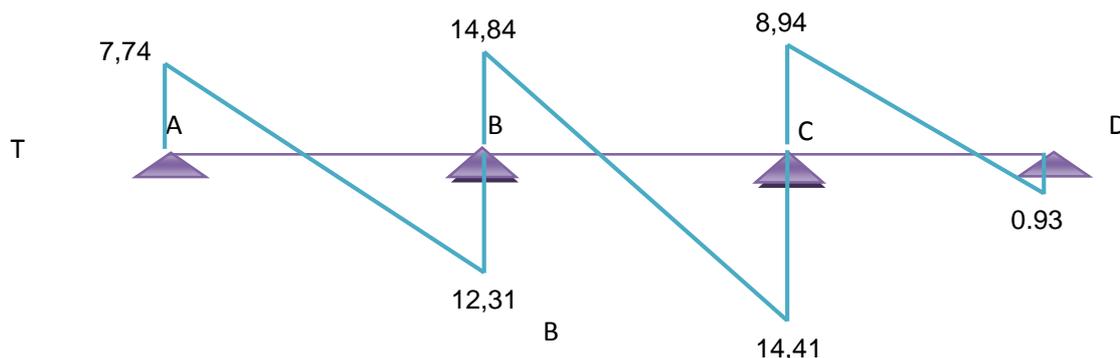


Figure III.6 Diagramme des efforts tranchants

b. Type 2 :

b.1) Plancher terrasse Calcul des charges par mètre linéaire

$$G = 6,52 \text{ KN/m}^2$$

$$P = 1,00 \text{ KN/m}^2$$

$$q = (1,35 G + 1,5 Q) \times 0,60$$

$$q = 6,181 \text{ KN/ml} \quad \text{à E.L.}$$

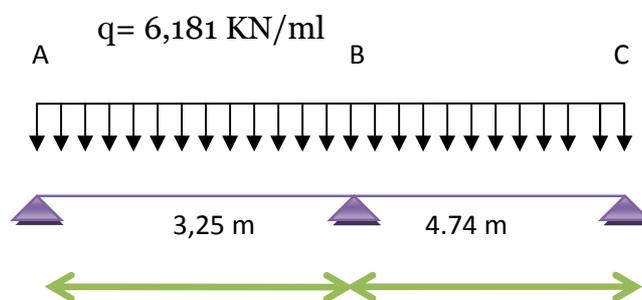


Figure III.7 schéma statique des poutrelles.

✚ les moments sur appuis sont :

$$M_{Aap} = 0$$

$$M_{Bap} = 10,38 \text{ KNm}$$

$$M_{Capp} = 0$$

✚ les moments en travée

$$X = 2,14 \text{ m} \quad M_t = 14,16 \text{ KNm}$$

$$X = 2,01 \text{ m} \quad M_t = 12,53 \text{ KNm}$$

✚ **Calcul de l'effort tranchant e T :**

• **Travée AB :**

$$T_w = 6,83KN \quad T_e = -13,22KN$$

• **Travée BC :**

$$T_w = 16,82KN \quad T_e = -12,44KN$$

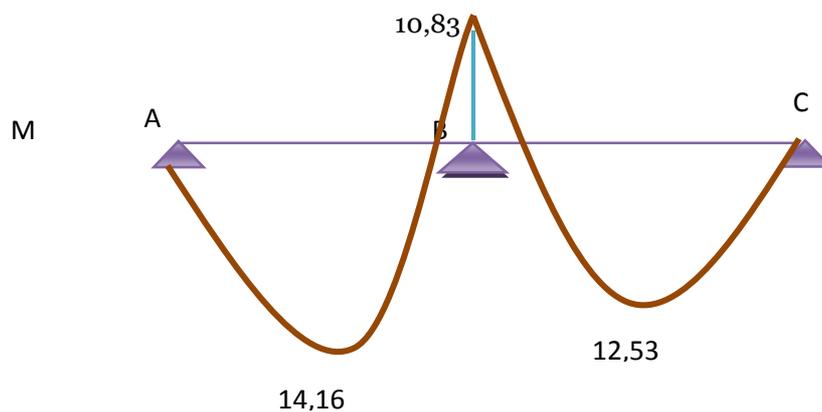


Figure III.8 **Diagramme des moments fléchissant, M [KN.m]**

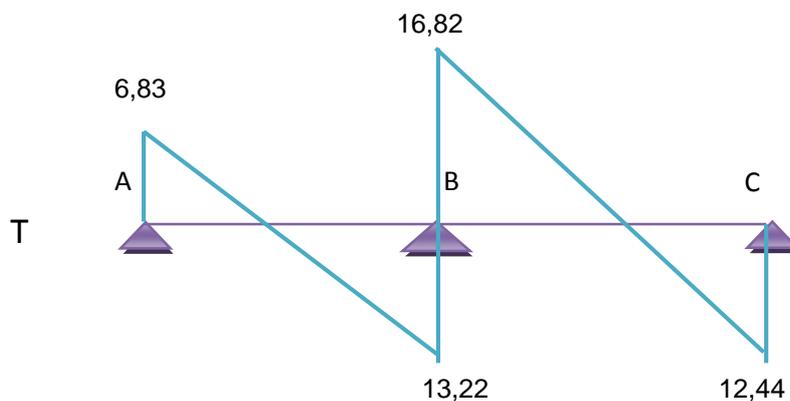


Figure III.9 **Diagramme des efforts tranchants**

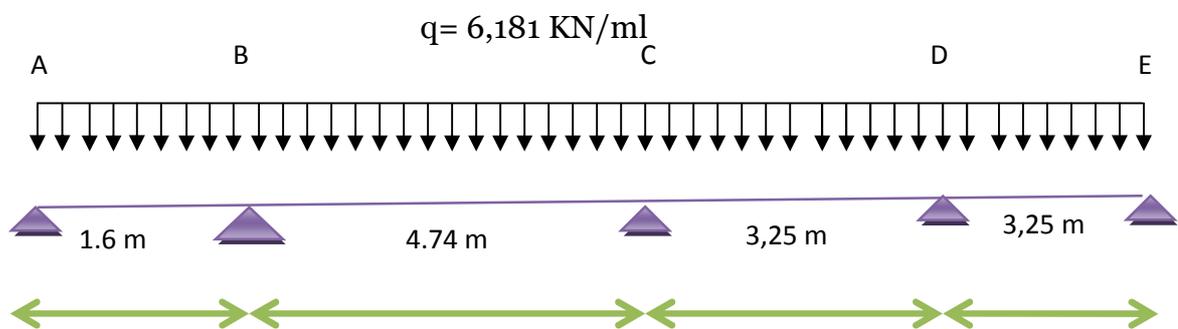
c. Type 3 :**c.1 Plancher terrasse Calcul des charges par mètre linéaire**

$$G = 6.52 \text{ KN/m}^2$$

$$P = 1,00 \text{ KN/m}^2$$

$$q = (1,35 G + 1,5 Q) \times 0,6$$

$$q = 6,181 \text{ KN/ml} \quad \text{à E.L.U}$$

**✚ les moments sur appuis sont :**

$$M_{Aapp} = 0$$

$$M_{Bapp} = 6,40 \text{ KNm}$$

$$M_{Capp} = 6,64 \text{ KN.m}$$

$$M_{Dapp} = 5,22 \text{ KN.m}$$

$$M_{Eapp} = 0$$

✚ les moments en travée

$$X = 1,44 \text{ m} \quad M_t = 6,47 \text{ KNm}$$

$$X = 2,37 \text{ m} \quad M_t = 17,45 \text{ KNm}$$

$$X = 1,55 \text{ m} \quad M_t = 7,45 \text{ KNm}$$

$$X = 1,36\text{m} \quad M_t = 5,74\text{KNm}$$

Calcul de l'effort tranchant T:

- **Travée AB :**

$$T_w = 0,93\text{KN} \quad T_e = -8,94\text{KN}$$

- **Travée BC :**

$$T_e = -14,68\text{KN}$$

- **Travée CD :**

$$T_w = 10,46\text{KN} \quad T_e = -9,59\text{KN}$$

- **Travée DE :**

$$T_w = 11,63\text{KN} \quad T_e = -8,42\text{KN}$$

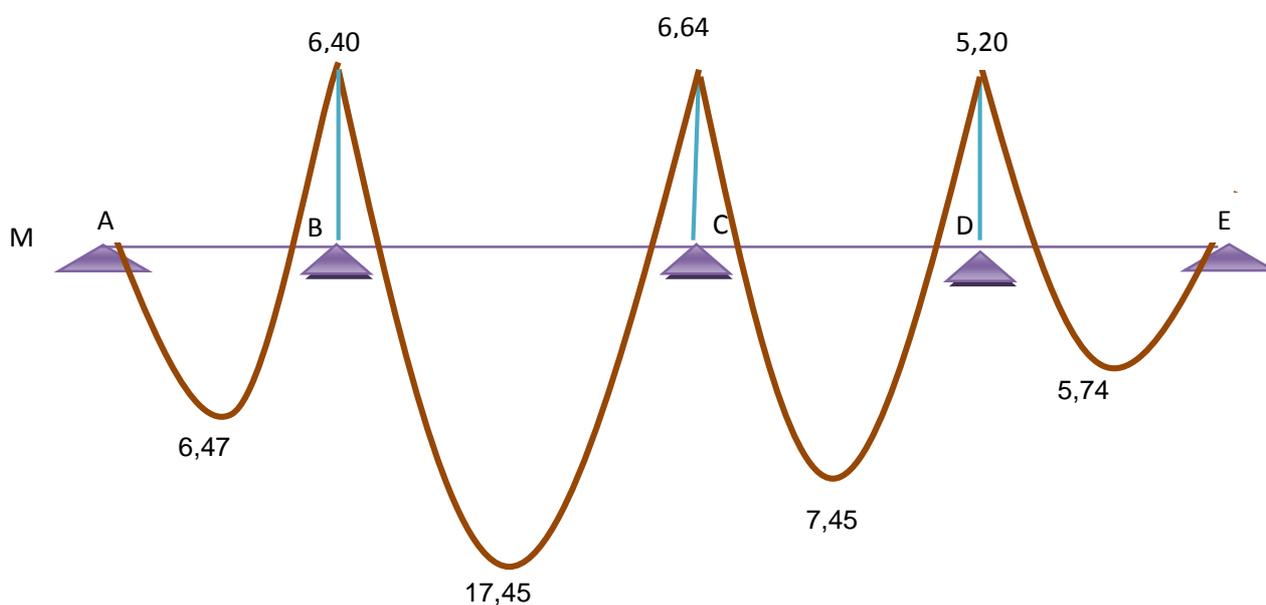


Figure III.10 Diagramme des moments fléchissants, M [KN.m]

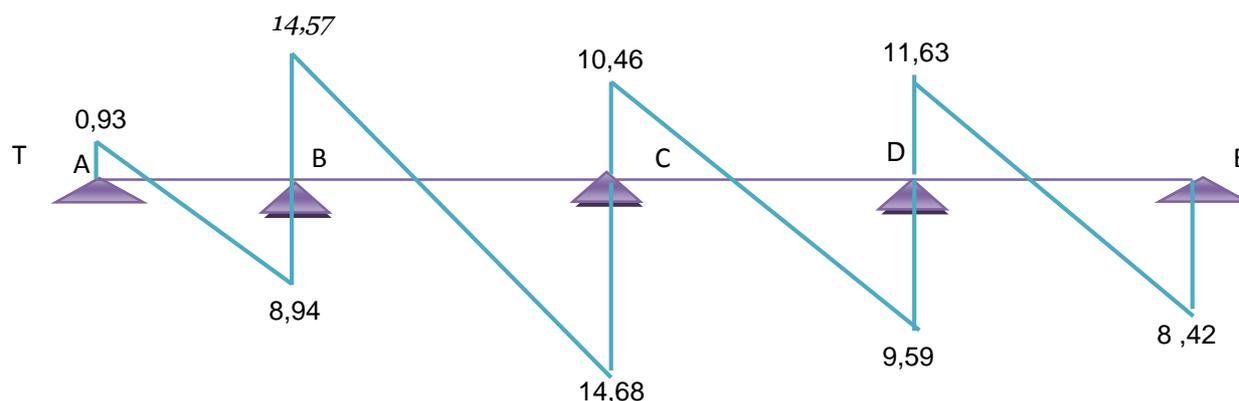


Figure III.11 Diagramme des efforts tranchants

| Niveau | Type poutrelle | Mt (KN.m) | | Ma (KN.m) | | Tmax (KN) | |
|-----------------|----------------|-----------|-------|-----------|------|-----------|-------|
| | | ELU | ELS | ELU | ELS | ELU | ELS |
| 6Etagé courante | 1 | 15,16 | 10,83 | 6,63 | 2,30 | 13,37 | 9,72 |
| | 2 | 12,70 | 10,94 | 9,26 | 7,5 | 15,13 | 11,48 |
| | 3 | 15,72 | 11,39 | 5,92 | 1,59 | 13,13 | 9,48 |
| terrasse | 1 | 16,82 | 12,14 | 7,43 | 5,54 | 14,84 | 10,89 |
| | 2 | 14,16 | 12,27 | 10,38 | 8,49 | 16,82 | 13,58 |
| | 3 | 17,45 | 12,77 | 6,64 | 1,96 | 14,57 | 10,62 |

Tableau III. 1 récapitulatif des moments et des efforts tranchants maximaux :

III.4 Calcul du ferrailage

III.4.1 E.L.U :

M_{tab} : Le moment fléchissant équilibré par la table de compression.

Si $M_{tab} < M^{max}$: la zone comprimée se trouve dans la nervure et la section des calculs sera une section en "Té".

Si $M_{tab} > M^{max}$: la zone comprimée se trouve dans la table de compression et la section en "Té" sera calculée comme une section rectangulaire de dimension $(b \times h)$.

✚ **En travée :**

• **Vérification de l'étendue de la zone comprimée :**

$$M_{tab} = \sigma_{bc} \cdot b \cdot h_0 \left(d - \frac{h_0}{2} \right)$$

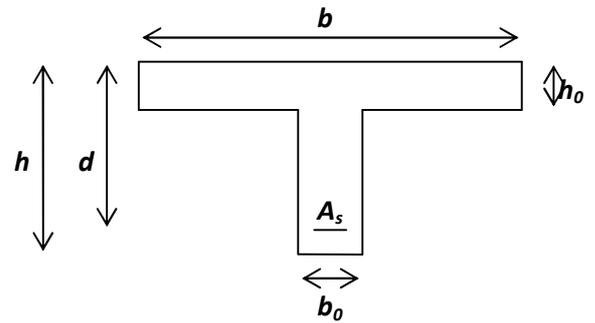


Figure III.12 Dimensions des poutrelles

$$\text{Avec ; } \begin{cases} \gamma_b = 1,5 \\ \gamma_s = 1,15 \\ feE400 \\ fc28 = 25MPa \\ ft28 = 2,1MPa \\ \sigma_{bc} = 14,2MPa \\ \sigma_s = 348MPa \end{cases}$$

$$\sigma_{bc} = 14,20 \text{ MPa. ; } b = 60 \text{ cm ; } h_0 = 5 \text{ cm ; } d = 0,9h = 18,9 \text{ cm}$$

$$M_{tab} = 14,20 \times 60 \times 5 \times \left(18,9 - \frac{5}{2} \right) = 69864 \text{ N.m}$$

$$M_{tab} = 69864 \text{ N.m} > M_t^{\max} = 17450 \text{ N.m.}$$

Donc, la zone de compression se trouve dans la table de compression et la section de calcul sera une section rectangulaire de dimension :

$$(b \times h) = (60 \times 21) \text{ cm}^2$$

• **Vérification de l'existence des armatures comprimées (A') :**

$$\mu = \frac{M_t^{\max}}{b \cdot d^2 \cdot \sigma_{bc}} = \frac{69864}{60 \times (18,9)^2 \times 14,20} = 0,063 < \mu_l = 0,392 \text{ (acier FeE400)}$$

Donc (A') n'existe pas.

$$\alpha = 1,25 \left(1 - \sqrt{1 - 2\mu} \right) = 0,0816$$

$$\beta = 1 - 0,40\alpha = 0,967$$

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} = 348 \text{ MPa.}$$

$$A = \frac{M_t^{\max}}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{17450}{0,967 \times 18,9 \times 348} = 2,88 \text{ cm}^2$$

• **condition de non fragilité :**

$$A_{\min} = 0,23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0,23 \times 60 \times 18,9 \times \frac{2,1}{400} = 1,36 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{adoptif}} = \max(A_{\text{cal}} ; A_{\min}) = 2,88 \text{ cm}^2$$

Choix : 3T12 \longrightarrow $A = 3,39 \text{ cm}^2$

✚ **En appui :**

La section sera calculée comme une section rectangulaire de dimension :

$$(b_0 \times h) = (12 \times 21) \text{ cm}^2.$$

• **Vérification de l'existence des armatures comprimées (A') :**

$$\mu = \frac{M_a^{\max}}{b_0 \cdot d^2 \cdot \sigma_{bc}} = \frac{10380}{12 \times (18,9)^2 \times 14,20} = 0,188 < \mu_l = 0,392 \text{ (acier FeE400)}$$

Donc (A') n'existe pas.

$$\alpha = 1,25 \left(1 - \sqrt{1 - 2\mu} \right) = 0,24$$

$$\beta = 1 - 0,40\alpha = 0,904$$

$$\beta = 0,904$$

$$A = \frac{10380}{0,904 \cdot 18,9 \cdot 348} = 1,83 \text{ cm}^2$$

• **Condition de non fragilité**

$$A_{\min} = 0,23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0,23 \cdot 12 \cdot 18,9 \cdot \frac{2,1}{400} = 0,26 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{adoptif}} = \max (A_{\min}, A_{\text{cal}}) = 1,83 \text{ cm}^2$$

Choix : 2T12 \longrightarrow $A = 2,26 \text{ cm}^2$

III.4.2 Vérification à E.L.S

Comme la fissuration est considérée comme non préjudiciable, donc il n'y a aucune vérification à effectuer concernant σ_s .

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{section rectangulaire} \\ \text{flexion simple} \\ \text{Acier Fe E400} \end{array} \right. \Rightarrow \alpha \leq \frac{\gamma - 1}{2} + \frac{f_{c28}}{100}$$

Si cette inégalité est vérifiée, donc la vérification de σ_b n'est pas nécessaire :

$$\text{Avec : } \gamma = \frac{M_u}{M_{\text{ser}}}$$

✚ **En travée :**

$$\gamma = \frac{17450}{12770} = 1,36$$

$$\alpha = 0,0816 < \frac{1,36 - 1}{2} + \frac{25}{100}$$

$$\alpha = 0,0816 < 0,43 \rightarrow \text{c.v}$$

✚ **En appui :**

$$\gamma = \frac{10380}{8490} = 1,22$$

$$\alpha = 0,24 < 0,86 \rightarrow \text{c.v}$$

Donc les armatures calculées à l'E.L.U conviennent à l'E.L.S

III.4.3 Vérification vis-à-vis l'effort tranchant

Pour des armatures transversales perpendiculaires à la ligne moyenne.

D'après le B.A.E.L, la condition suivante doit être vérifiée :

$$\tau_u \leq \bar{\tau}_{ad} = \min \left(0,2 \frac{f_{c28}}{\delta_b} ; 5 \text{ MPa} \right)$$

$$\bar{\tau}_{ad} = \min (3,33 ; 4 \text{ MPa}) = 3,33 \text{ MPa}$$

$$\tau_u = \frac{T_{\max}}{b_0 \cdot d} = \frac{16820}{120 \times 189} = 0,77 \text{ MPa}$$

$$\tau_u = 0,77 \text{ MPa} \leq \bar{\tau}_{ad} = 3,33 \text{ MPa} \rightarrow \text{c.v}$$

III.4.4 Diamètre des armatures transversales

Le diamètre ϕ_t des armatures d'âme doit être inférieur ou égal à la plus petite des trois quantités suivantes :

$$\phi_t \leq \min \left(\frac{h}{35} ; \phi_L ; \frac{b_0}{10} \right)$$

Avec :

h : Hauteur totale de la poutrelle.

ϕ_L : Diamètre maximal des armatures longitudinales.

b_0 : Largeur de l'âme de la nervure.

$$\phi_t \leq \min (0,6 ; 1,2 ; 1,2)$$

On prend $\phi_t = 6 \text{ mm}$ avec une nuance d'acier FeE215

$$\text{Choix : } 2\phi_6 \longrightarrow A_t = 0,57 \text{ cm}^2$$

III.4.5 Ancrage des barres

III.4.5.1 Contrainte d'adhérence limite

Pour assurer un ancrage correct d'empêcher le glissement de l'armature dans la gaine du béton, il faut limiter la contrainte d'adhérence à la valeur suivante :

$$\tau_{su} = 0,6 \cdot \psi^2 \cdot f_{fj}$$

$$\psi = \begin{cases} 1 & \dots \dots \dots RL \\ 1,5 & \dots \dots \dots HA \end{cases}$$

$$\tau_{su} = 0,6 \cdot 1,5^2 \cdot 1,8 = 2,43 MPa.$$

III.4.5.2 Longueur de scellement droit

C'est la longueur pour assurer un ancrage droit :

$$L_s = \phi \cdot \frac{f_e}{4 \cdot \tau_{su}} = 1 \cdot \frac{400}{4 \cdot 2,43} = 41,15 cm$$

III.4.6 Ancrage des armatures

III.4.6.1 Rayon de courbure minimal

$r = 5,5\phi$ Pour la barre a haute adhérence feE400

$$L_1 = 35 - \frac{\phi}{2} - c - r$$

$$L_1 = 35 - 0,5 - 3 - 5,5\phi = 26 cm.$$

$$\Rightarrow L_1 + 2,56L_2 > L_s - 3,92 \cdot 5,5$$

$$\Rightarrow L_2 = \frac{41,15 - 3,82 \cdot 5,5 - 26}{2,56} = 2,28$$

On prend :

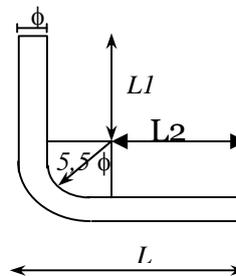


Figure III.13 Schéma de l'ancrage

III.4.6.2 Calcul de l'espacement des armatures transversales

D'après le B.A.E.L 91 :

$$\frac{A_t}{b_0 \cdot S_{t1}} \geq \frac{\tau_u - 0,3 f_{t28}}{0,9 \frac{f_e}{\gamma_s} (\sin \alpha + \cos \alpha)}$$

$$f_{t28} = 0,6 + 0,06 f_{c28} = 2,1 \text{ MPa} .$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$\text{Donc : } S_{t1} \leq \frac{A_t \cdot 0,9 f_e}{b_0 \cdot \gamma_s (\tau_u - 0,3 f_{t28})} \Rightarrow S_{t1} \leq 66 \text{ cm}$$

$$S_{t2} \leq \min (0,9d ; 40 \text{ cm})$$

$$S_{t2} \leq \min (16,2 ; 40 \text{ cm}) \Rightarrow S_{t2} \leq 16,2 \text{ cm}$$

$$S_{t3} \leq \frac{A_t \cdot f_e}{b_0 \cdot \sin \alpha \cdot 0,4}$$

$$S_{t3} \leq \frac{0,57 \cdot 215}{12 \times 0,4} \Rightarrow S_{t3} \leq 25,53 \text{ cm}$$

$$S_t \leq \min (\delta_{t1}, \delta_{t2}, \delta_{t3}) \Rightarrow S_t \leq \min ((16,2); (25,53), (66))$$

On prend : $S_t = 15 \text{ cm}$

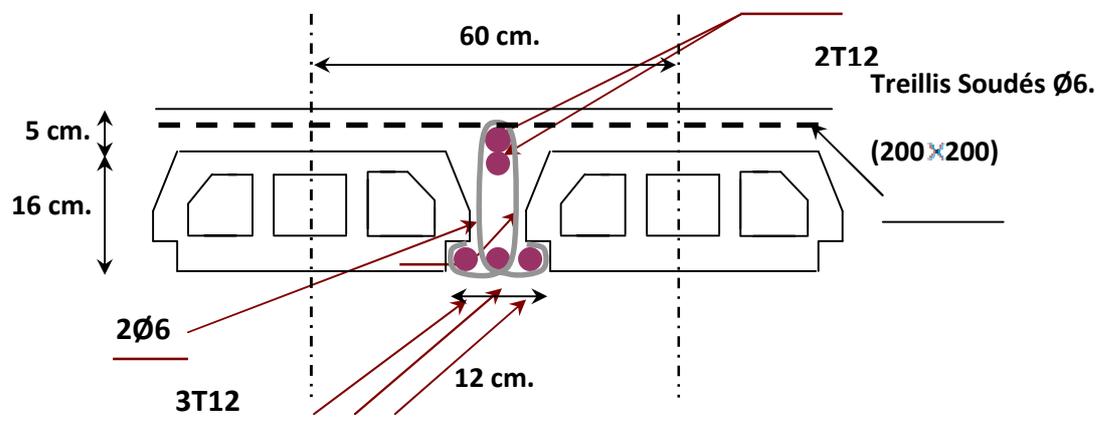


Figure III.14 ferrailage de poutrelle

III.5 Calcul de la flèche

III.5.1 Vérification de la flèche

D'après les règles B.A.E.L 91, Nous montrons qu'il n'est pas nécessaire de calculer la flèche d'une poutre ou d'une poutrelle si cette dernière est associée à un hourdis et si toutes les inégalités suivantes sont vérifiées :

$$a) \frac{h}{L} \geq \frac{1}{16}$$

$$b) \frac{h}{L} > \frac{1}{10} \cdot \frac{M_{t \text{ service}}}{M_{a \text{ service}}}$$

$$c) \frac{A}{b_0 \cdot d} \leq \frac{4,2}{f_e}$$

Avec : L : La portée de la travée entre nus d'appui.

h : La hauteur totale de la section droite.

d : La hauteur utile de la section droite.

b_0 : La largeur de la nervure.

$M_{t \text{ service}}$: Le moment en travée maximal à E.L.S.

$M_{a \text{ service}}$: Le moment en appui maximal à E.L.S.

A : La section des armatures tendue.

f_e : La limite élastique de l'acier utilisé (en MPa).

III.5.2 Vérification des conditions

$$a. \frac{h}{L} = \frac{21}{474} = 0,042 \leq \frac{1}{16} = 0,0625 \rightarrow C.N.V$$

$$b. \frac{h}{L} = \frac{21}{474} = 0,042 \leq \frac{1}{10} \cdot \frac{12,77}{10,38} = 0,123 \rightarrow C.N.V$$

$$c. \frac{A}{b_0 \cdot d} = \frac{3,39}{12 \times 18,9} = 0,0156 \geq \frac{4,2}{400} = 0,0105 \rightarrow CN..V$$

Ces trois conditions ne sont pas vérifiées, donc le calcul de la flèche est nécessaire.

G : Charge permanente après mise en place des cloisons.

P : Charge Totale ($P = G +$ charge d'exploitation).

J : Charge permanente avant la mise en place des cloisons.

$$\text{On a : } \begin{cases} G = 520 \text{ Kg}/m^2 \\ P = 520 + 150 = 670 \text{ Kg}/m^2 \\ J = 520 - 75 = 445 \text{ Kg}/m^2 \end{cases}$$

$$\text{Pour } b = 0,60 \text{ m } \begin{cases} G = 5200 \times 0,60 = 3120 \text{ N/ml} \\ P = 6700 \times 0,60 = 4020 \text{ N/ml} \\ J = 4450 \times 0,60 = 2670 \text{ N/ml} \end{cases}$$

III.5.3 Calcul des moments fléchissant

$$\begin{cases} M_G = 0,71 \cdot \frac{G \cdot L^2}{8} = 0,71 \cdot \frac{3120 \times (4,74)^2}{8} = 6221,27 \text{ N.m.} \\ M_P = 0,71 \cdot \frac{P \cdot L^2}{8} = 0,71 \cdot \frac{4020 \times (4,74)^2}{8} = 8015,87 \text{ N.m.} \\ M_J = 0,71 \cdot \frac{J \cdot L^2}{8} = 0,71 \cdot \frac{2670 \times (4,74)^2}{8} = 5323,97 \text{ N.m.} \end{cases}$$

✚ **Module de déformation longitudinale :**

$$E_i = 11000 \cdot \sqrt[3]{f_{c28}} = 11000 \cdot \sqrt[3]{25} = 32164,19 \text{ MPa}$$

$$E_v = 3700 \cdot \sqrt[3]{f_{c28}} = 3700 \cdot \sqrt[3]{25} = 10818,86 \text{ MPa}$$

✚ Détermination du centre de gravité :

$$y_G = \frac{\sum A_i \cdot y_i}{\sum A_i} = \frac{(b \cdot h_0) \cdot (h_0/2 + h - h_0) + [(h - h_0)b_0 \cdot (h - h_0)/2] + \eta \cdot A_s \cdot c}{(b \cdot h_0) + (h - h_0)b_0 + \eta \cdot A_s}$$

$$y_G = \frac{(60 \cdot 5)(2,5 + 21 - 5) + [(21 - 5) \cdot 12 \cdot (21 - 5)/2] + 15 \cdot 3,39 \cdot 3}{(60 \cdot 5) + (21 - 5) \cdot 12 + 15 \cdot 3,39}$$

$$y_G = 12,84$$

✚ Détermination du moment d'inertie :

$$I_g = \frac{b y_G^3}{3} - \frac{(b - b_0)(y_G - h_0)^3}{3} + \frac{b_0(h_t - y_G)^3}{3} + 15 A_s (d - y_G)^2$$

$$I_g = \frac{60 \cdot (12,84)^3}{3} - \frac{(60 - 12) \cdot (12,84 - 5)^3}{3} + \frac{12 \cdot (21 - 12,84)^3}{3} + 15 \cdot 3,39 \cdot (18,9 - 12,84)^2$$

$$I_g = 45018,20 \text{ cm}^4$$

✚ Pourcentages des armatures :

$$\rho = \frac{A}{b_0 \cdot d} = \frac{3,39}{12 \times 18,9} = 0,015$$

D'après le B.A.E.L : $\rho_1 = \rho \cdot 100 = 1,5 \longrightarrow \beta_1 = 0,837$

III.6 Calcul des contraintes suivant les sollicitations

$$\sigma_{sg} = \frac{M_g}{A \cdot \beta_1 \cdot d} = \frac{6221,27}{3,39 \times 0,837 \times 18,9} = 121,80 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sp} = \frac{M_p}{A \cdot \beta_1 \cdot d} = \frac{8015,87}{3,39 \times 0,837 \times 18,9} = 156,94 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sj} = \frac{M_j}{A \cdot \beta_1 \cdot d} = \frac{5323,97}{3,39 \times 0,837 \times 18,9} = 104,24 \text{ MPa}$$

III.6.1 Calcul de μ_g, μ_p, μ_j :

$$\mu_g = 1 - \left[\frac{1,75 f_{t28}}{4 \cdot \rho \cdot \sigma_{sg} + f_{t28}} \right] = 1 - \left[\frac{1,75 \cdot 2,1}{4 \times 0,015 \times 121,80 + 2,1} \right] = 0,390$$

$$\mu_P = 1 - \left[\frac{1,75 f_{t28}}{4 \cdot \rho \cdot \sigma_{sp} + f_{t28}} \right] = 1 - \left[\frac{1,75 \cdot 2,1}{4 \times 0,015 \times 156,94 + 2,1} \right] = 0,319$$

$$\mu_J = 1 - \left[\frac{1,75 f_{t28}}{4 \cdot \rho \cdot \sigma_{sj} + f_{t28}} \right] = 1 - \left[\frac{1,75 \cdot 2,1}{4 \times 0,015 \times 104,24 + 2,1} \right] = 0,439$$

III.6.2 Calcul des moments d'inertie fictifs

$$I_f = \frac{1,1 \cdot I_0}{(1 + \lambda \cdot \mu)}$$

$$\lambda_i = \frac{0,05 \cdot f_{t28}}{\left(2 + 3 \frac{b_0}{b}\right) \cdot \rho} = \frac{0,05 \cdot 2,1}{\left(2 + 3 \cdot \frac{12}{60}\right) \cdot 0,015} = 2,69$$

$$\lambda_v = \frac{2}{5} \lambda_i = \frac{0,02 \cdot f_{t28}}{\left(2 + 3 \cdot \frac{b_0}{b}\right) \cdot \rho} = \frac{0,02 \times 2,1}{\left(2 + 3 \cdot \frac{12}{60}\right) \times 0,015} = 1,07$$

$$I_{f_i}^g = \frac{1,1 \cdot I_0}{(1 + \lambda_i \cdot \mu_g)} = \frac{1,1 \cdot 45018,20}{(1 + 2,69 \times 0,390)} = 24166,71 \text{ cm}^4$$

$$I_{f_v}^g = \frac{1,1 \cdot I_0}{(1 + \lambda_v \cdot \mu_g)} = \frac{1,1 \cdot 45018,20}{(1 + 1,07 \times 0,390)} = 34939,68 \text{ cm}^4$$

$$I_{f_i}^P = \frac{1,1 \cdot I_0}{(1 + \lambda_i \cdot \mu_P)} = \frac{1,1 \cdot 45018,20}{(1 + 2,69 \times 0,319)} = 26650,74 \text{ cm}^4$$

$$I_{f_i}^J = \frac{1,1 \cdot I_0}{(1 + \lambda_i \cdot \mu_J)} = \frac{1,1 \cdot 45018,20}{(1 + 2,69 \times 0,439)} = 22706,12 \text{ cm}^4$$

III.7 Calcul de flèche (total et admissible)

$$f_{g_i} = \frac{M_g \cdot L^2}{10 \cdot E_i \cdot I_{f_i}^g} = \frac{6221,27 \times (474)^2}{10 \times 32164,19 \times 24166,71} = 0,17 \text{ cm}$$

$$f_{g_v} = \frac{M_g \cdot L^2}{10 \cdot E_v \cdot I_{f_v}^g} = \frac{6221,27 \times (474)^2}{10 \times 10818,86 \times 34939,68} = 0,36 \text{ cm}$$

$$f_{J_i} = \frac{M_J \cdot L^2}{10 \cdot E_i \cdot I_{f_i}^J} = \frac{5323,97 \times (474)^2}{10 \times 32164,19 \times 22706,12} = 0,16 \text{ cm}$$

$$f_{P_i} = \frac{M_P \cdot L^2}{10 \cdot E_i \cdot I_{f_i}^P} = \frac{8015,87 \times (474)^2}{10 \times 32164,19 \times 26650,74} = 0,21 \text{ cm}$$

III.7.1 La flèche totale

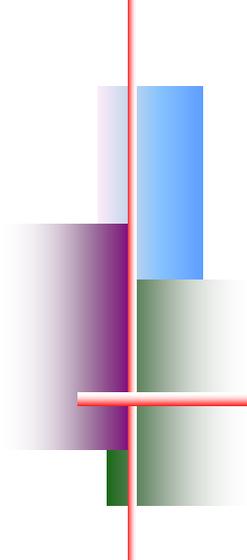
$$\Delta f_t = (f_{g_v} - f_{J_i}) + (f_{P_i} - f_{g_i}) = (0,36 - 0,16) + (0,21 - 0,17)$$

$$\Delta f_t = 0,24 \text{ cm}$$

III.7.2 La flèche admissible

$$\text{Pour } L = 474 \text{ cm} < 500 \text{ cm} \Rightarrow \Delta f_{\max} = \frac{L}{500} = \frac{474}{500} = 0,948 \text{ cm}$$

Donc $\Delta f_t = 0,24 \text{ cm} < \Delta f_{\max} = 0,948 \text{ cm} \longrightarrow$ condition vérifiée



Chapitre IV



Étude des éléments non structuraux

 *Escaliers.*

 *Acrotère.*

 *Ascenseurs.*

IV.1 escaliers

IV.1.1 Introduction

Un escalier se compose d'un certain nombre de marches dont la longueur est l'embranchement, la largeur est le giron, la partie verticale est la contre marche, le support des marches s'appelle la paillasse. Une suite ininterrompue de marches qu'on appelle une volée, qui peut être droite ou courbe. La partie horizontale d'un escalier entre deux volées est un palier. Du côté du vide les volées et les paliers sont munis d'un garde corps ou rampe. Deux volées parallèles ou en biais sont réunies par un ou plusieurs paliers ou un cartier tournant, cette dernière disposition de construction plus délicate, permet de gagner un peu de place sur le développement de l'escalier.

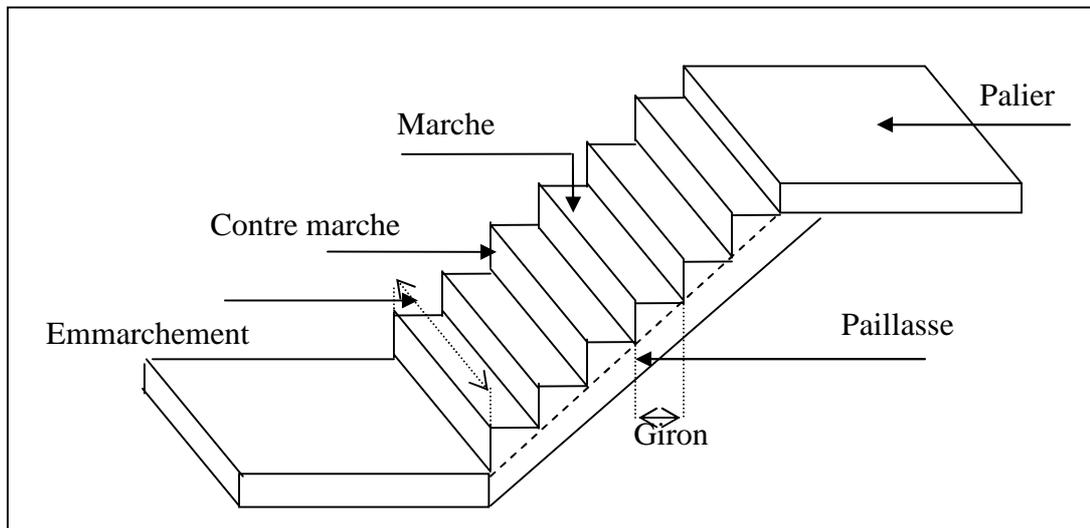
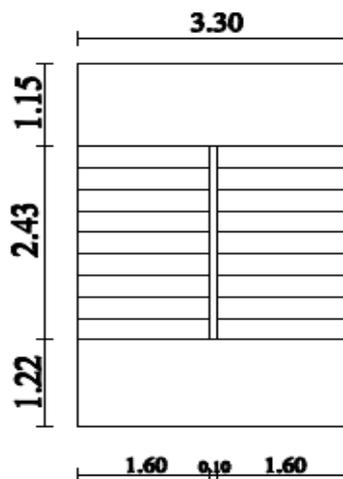


Figure IV-1 : schéma d'un escalier



Vue en plan des escaliers

IV.1.2 Etudes des escaliers à deux volées avec palier intermédiaire

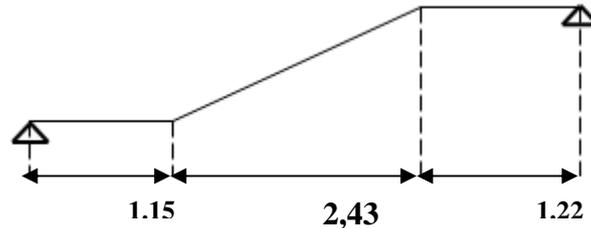


Figure IV-2 : Schéma statique de l'escalier

IV.1.2.1 Calcul de nombre des marches

Soit :

h : hauteur de contre marche,

H : hauteur d'un demi-étage,

g : largeur de la marche,

n : nombre des contre marches,

$n-1$: nombre des marches,

L : projection horizontale de la longueur totale de la volée.

$$H = \frac{306}{2} = 153 \text{ cm}, \text{ on prend } h = 17 \text{ cm.}$$

$$\text{Donc } n = \frac{H}{h} = \frac{153}{17} = 9 \text{ (nombre des contre marches)}$$

$$n-1 = 8 \text{ (nombre des marches)}$$

$$\text{D'autre part : } (n-1).g = L \Rightarrow g = \frac{L}{n-1} = \frac{243}{8}$$

$$\Rightarrow g = 30 \text{ cm.}$$

D'après la formule de Blondel, on a :

$$59 \text{ cm} \leq 2h+g \leq 66 \text{ cm.}$$

$$2 \times 17 + 30 = 64 \text{ cm} \text{ et que } 59 \text{ cm} \leq 64 \text{ cm} \leq 66 \text{ cm.}$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{17}{30} = 0,56 \Rightarrow \alpha = \arctg \alpha = 29,54^\circ.$$

IV.1.2.2 Epaisseur de la paillasse et du palier

a. Epaisseur de la paillasse :

$$\frac{l}{30} \leq ep \leq \frac{l}{20} ; \text{ on a } l = \frac{243}{\cos \alpha} = 279 \text{ cm.}$$

$$9,31 \leq ep \leq 13,96 \quad \text{on prend } ep = 15 \text{ cm.}$$

b. Epaisseur du palier :

$$e_{\text{palier}} = \frac{ep}{\cos \alpha} = \frac{12}{\cos \alpha}$$

$$e_{\text{palier}} = 13,79 \text{ cm} \quad \text{on prend } e_{\text{palier}} = 15 \text{ cm.}$$

On adopte $e_{\text{palier}} = e_{\text{paillasse}} = 15 \text{ cm.}$

IV.1.2.3 Descente de charge

a. volée

Tableau IV.1 Descente de charge (volée)

| désignation | Ep (m) | densité KN/m ³ | poids KN/m ² |
|--|-----------|------------------------------|----------------------------|
| Revêtement en carrelage horizontal | 0,02 | 20,00 | 0,40 |
| Mortier de ciment horizontal | 0,02 | 20,00 | 0,40 |
| Lit de sable fin | 0,02 | 18,00 | 0,36 |
| Revêtement en carrelage vertical ep x 20 x h/g | 0,02 | 20,00 | 0,23 |
| Poids propre de la paillasse ep x 25/cos α | 0,14 | 25,00 | 4,02 |
| Poids propre des marches $\frac{h}{2} \times 22$ | / | 22,00 | 1,87 |
| Garde- corps | / | / | 0,10 |
| Enduit en plâtre ep/cos α | 0,02 | 10,00 | 0,23 |

-charge permanente : $G=7,61 \text{ KN/m}^2$.

-Surcharge d'exploitation : $Q=2,5 \text{ KN/m}^2$.

$$q_{\text{uvol}} = (1,35G_1 + 1,5Q_1) \cdot 1 \text{ m} = 14,02 \text{ KN/ml.}$$

$$q_{\text{ser vol}} = (G+Q) \cdot 1 \text{ m} = 10,11 \text{ KN/ml.}$$

b. Palier

Tableau IV.2 Descente de charge (palier)

| Désignation | ep (m) | Densité (KN/m ³) | Poids KN/m ² |
|--|--------|------------------------------|-------------------------|
| Poids propre du palier $ep \times 25$ | 0,14 | 25,00 | 3,5 |
| Revêtement en carrelage | 0,02 | 20,00 | 0,40 |
| Mortier de pose | 0,02 | 0,20 | 0,40 |
| Lit de sable fin | 0,02 | 18,00 | 0,36 |
| enduit de plâtre | 0,02 | 10,00 | 0,2 |

- charge permanente : $G=4,86 \text{ KN/m}^2$.

- surcharge d'exploitation : $Q=2,5 \text{ KN/m}^2$.

$$q_{\text{upal}} = (1,35 G_2 + 1,5 Q_2) \cdot 1\text{m} = 10,31 \text{ KN/ml.}$$

$$q_{\text{serpal}} = (G+Q) \cdot 1\text{m} = 7,36 \text{ KM/ml.}$$

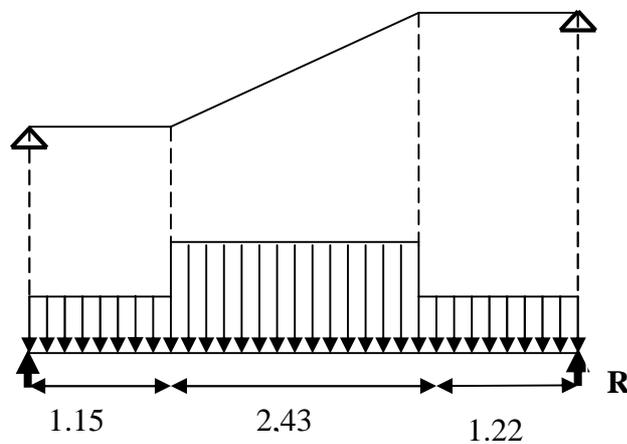
IV.1.2.4 Détermination des sollicitations

Figure IV.2 Schéma statique de l'escalier

a. E.L.U :

Réactions des appuis

$$\begin{aligned}\sum F_V = 0 &\Rightarrow R_A + R_B = (q_2 \times 1,15) + (q_1 \times 2,43) + (q_2 \times 1,22) \\ &\Rightarrow R_A + R_B = 58.50 \text{KN}\end{aligned}$$

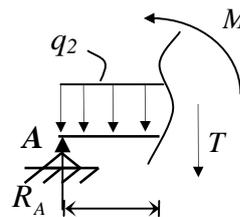
$$\begin{aligned}\sum M /_B = 0 &\Rightarrow R_A = \left[\frac{(1.22)^2}{2} q_2 + 2.43 \left(\frac{(2.43)}{2} + 1.22 \right) q_1 + 1.15 \left(\frac{(1.15)}{2} + 2.43 + 1.22 \right) q_2 \right] / 4.80 \\ &\Rightarrow R_A = 29.31 \text{KN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum M /_A = 0 &\Rightarrow R_B = \left[\frac{(1.15)^2}{2} q_2 + 2.43 \left(\frac{(2.43)}{2} + 1.15 \right) q_1 + 1.22 \left(\frac{(1.22)}{2} + 2.43 + 1.15 \right) q_2 \right] / 4.80 \\ &\Rightarrow R_B = 29.18 \text{KN}\end{aligned}$$

Effort tranchant et moment fléchissant

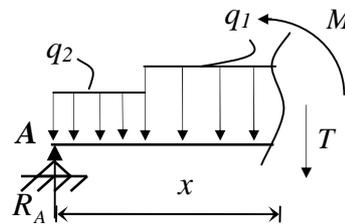
- $0 \leq x \leq 1.15$

$$\begin{cases} T(x) = R_A - q_2 x \\ M(x) = R_A x - q_2 \frac{x^2}{2} \end{cases}$$



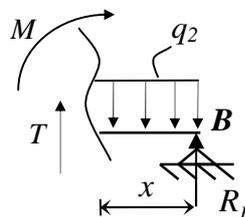
- $1.15 \leq x \leq 3.58$

$$\begin{cases} T(x) = R_A - 1.15q_2 - q_1(x - 1.15) \\ M(x) = R_A x - 1.15 \left(x - \frac{1.15}{2} \right) q_2 - \frac{(x - 1.15)^2}{2} q_1 \end{cases}$$



- $0 \leq x \leq 1.22$

$$\begin{cases} T(x) = -R_B + q_2 x \\ M(x) = -R_B x + q_2 \frac{x^2}{2} \end{cases}$$



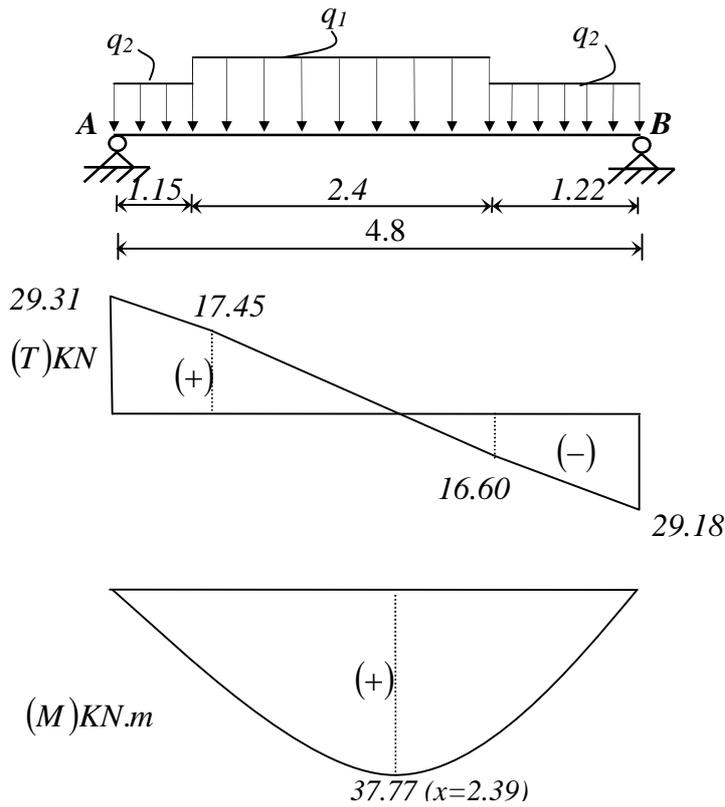


Fig IV-3 Diagrammes des sollicitations

Tableau IV.3 Effort tranchant et moment fléchissant(E.L.U)

| x (m) | Réaction (KN) | Effort tranchant (KN) | Moment fléchissant (KN.m) | T_{max} (KN) | M_{max} (KN.m) | Moment sur appuis ($M_a=0.3M_o$) | Moment en travée ($M_t=0.8M_o$) |
|------------|------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------|---------------------|---|---|
| 0 | 29.31 | 29.31 | 0 | 29.31 | 37.77 | 11.33 | 30.21 |
| 1.15 | - | 17.45 | 26.88 | | | | |
| 2.39 | - | 0 | 37.77 | | | | |
| 3.58 | - | -16.60 | 27.92 | | | | |
| 4.8 | 29.18 | -29.18 | 0 | | | | |

Remarque : les appuis doivent équilibrer un moment : $M_a = 0.3M_o$ qui conduit à un moment réduit en travée : $M_t = 0.8M_o$

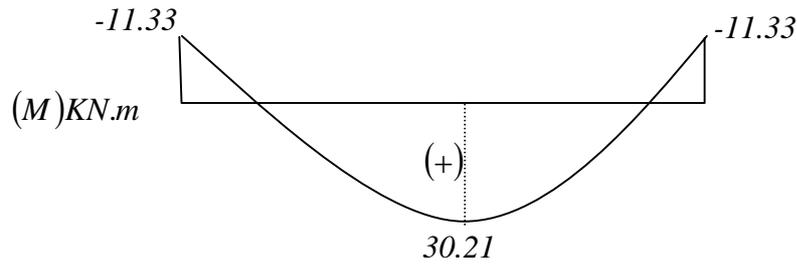


Fig IV. 4 Diagramme des moments retenus

b. E.L.S

Réactions des appuis

$$\sum F_V = 0 \Rightarrow R_A + R_B = (q_2 \times 1,15) + (q_1 \times 2,43) + (q_2 \times 1,22)$$

$$\Rightarrow R_A + R_B = 42.01 \text{KN}$$

$$\sum M / B = 0 \Rightarrow R_A = \left[\frac{(1,22)^2}{2} q_2 + 2,43 \left(\frac{(2,43)}{2} + 1,22 \right) q_1 + 1,15 \left(\frac{(1,15)}{2} + 2,43 + 1,22 \right) q_2 \right] / 4,8$$

$$\Rightarrow R_A = 21.05 \text{KN}$$

$$\sum M / A = 0 \Rightarrow R_B = \left[\frac{(1,15)^2}{2} q_2 + 2,43 \left(\frac{(2,43)}{2} + 1,15 \right) q_1 + 1,22 \left(\frac{(1,22)}{2} + 2,43 + 1,15 \right) q_2 \right] / 4,8$$

$$\Rightarrow R_B = 20.95 \text{KN}$$

Effort tranchant et moment fléchissant

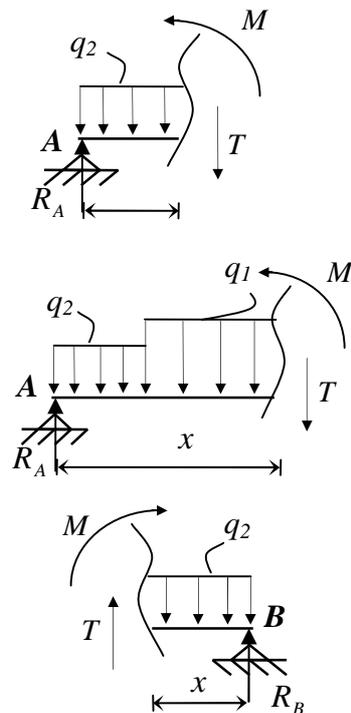
- $0 \leq x \leq 1.15$

$$\begin{cases} T(x) = R_A - q_2 x \\ M(x) = R_A x - q_2 \frac{x^2}{2} \end{cases}$$

- $1.15 \leq x \leq 3.58$

$$\begin{cases} T(x) = R_A - 1.15 q_2 - q_1 (x - 1.15) \\ M(x) = R_A x - 1.15 \left(x - \frac{1.15}{2} \right) q_2 - \frac{(x - 1.15)^2}{2} q_1 \end{cases}$$

- $0 \leq x \leq 1.22$



$$\begin{cases} T(x) = -R_B + q_2 x \\ M(x) = -R_B x + q_2 \frac{x^2}{2} \end{cases}$$

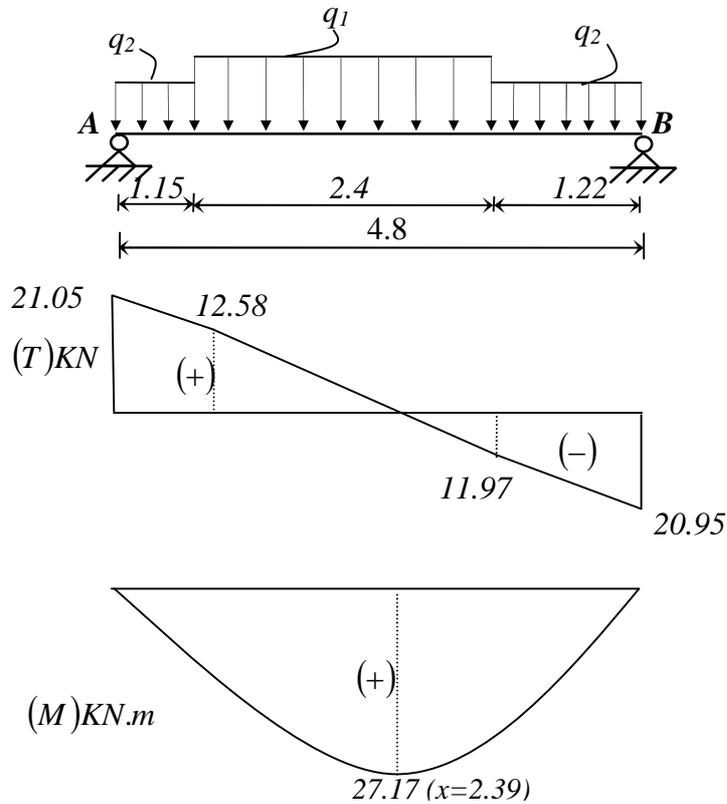


Fig IV-5 Diagrammes des sollicitations

Tableau IV.4 Effort tranchant et moment fléchissant(E.L.S)

| x (m) | Réaction (KN) | Effort tranchant (KN) | Moment fléchissant (KN.m) | T_{max} (KN) | M_{max} (KN.m) | Moment sur appuis ($M_a=0.3M_o$) | Moment en travée ($M_t=0.8M_o$) |
|------------|------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------|---------------------|---|---|
| 0 | 21.05 | 21.05 | 0 | 21.05 | 27.17 | 8.15 | 21.73 |
| 1.15 | - | 12.58 | 19.34 | | | | |
| 2.39 | - | 0 | 27.17 | | | | |
| 3.58 | - | -21.62 | 20.08 | | | | |
| 4.8 | 20.95 | -20.95 | 0 | | | | |

Remarque : les appuis doivent équilibrer un moment : $M_a = 0.3M_0$ qui conduit à un moment réduit en travée : $M_t = 0.8M_0$

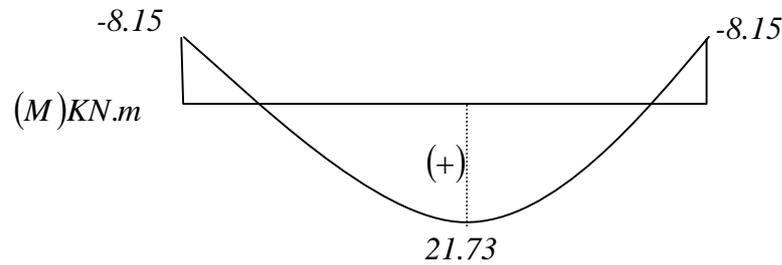


Fig IV-6 Diagramme des moments retenus

Conclusion :

(E.L.U) :

$$M_t \text{ max} = 30,21 \text{ kn.m}$$

$$M_a \text{ max} = 11,33 \text{ kn.m}$$

$$T_{\text{max}} = 29,31 \text{ kn}$$

(E.L.S) :

$$M_t \text{ max} = 21,73 \text{ kn.m}$$

$$M_a \text{ max} = 8,15 \text{ kn.m}$$

$$T_{\text{max}} = 21,05 \text{ kn}$$

IV.1.2.5 calcul de ferrailage

a. E.L.U

a.1 En travée

$$\mu = \frac{30,21 \times 10^3}{100 \times (13,5)^2 \times 14,2} = 0,116 < \mu_l = 0,392 \text{ (acier FeE400)}$$

Donc (A') n'existe pas.

$$\alpha = 1,25 \left(1 - \sqrt{1 - 2\mu} \right) = 0,154$$

$$\beta = 1 - 0,40\alpha = 0,93$$

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} = 348 \text{ MPa.}$$

$$A = \frac{M_t^{\text{max}}}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{30210}{0,93 \times 13,5 \times 348} = 6,91 \text{ cm}^2$$

$$A_{\min} = 0,23 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{t28}}{f_e} = 1,63 \text{ cm}^2$$

$$A_{\max} (A_{cal} ; A_{\min}) = 6,91 \text{ cm}^2$$

Choix : 5T14 esp 20.

T14 → e = 20cm ≤ min [3h ; 33cm] = min [45 ; 33] cm = 33 cm → condition vérifiée

Armatures de répartition

$$A_{rep} = \frac{A}{4} = \frac{7,70}{4} = 1,92 \text{ cm}^2$$

Ar : 4Ø8 → Ar = 2,01 cm²/ml

Ø 8 → e = 25cm ≤ min [4h ; 45cm] = min [60 ; 45] cm = 45 cm → condition vérifiée.

a.2 En appui

$$\mu = \frac{11,33 \times 10^3}{100 \times (13,5)^2 \times 14,2} = 0,04 < \mu_l = 0,392 \text{ (acier FeE400)}$$

$$\alpha = 0,051 \quad ; \quad \beta = 0,97$$

$$A = 2,48 \text{ cm}^2$$

$$A_{\min} = 1,63 \text{ cm}^2$$

$$A_{\max} (A_{cal} ; A_{\min}) = 2,48 \text{ cm}^2$$

Choix : 4T10 esp 25.

Ar : 2 Ø 8 → Ar = 1,01cm²/ml

Ø 8 → e = 25cm.

b. E.L.S :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Fissuration peu nuisible} \\ \text{Flexion simple} \\ \text{Section rectangulaire} \\ \text{FE400} \end{array} \right\} \Rightarrow \alpha < \frac{\gamma - 1}{2} + \frac{f_{c28}}{100} \Rightarrow \sigma_b < \bar{\sigma}_b$$

b.1 En travée :

$$\gamma = \frac{M_u}{M_{ser}}$$

$$\gamma = \frac{30,21}{21,73} = 1,39$$

$\alpha = 0,154 < 0,44$ → Condition vérifiée.

b.2 En appui :

$\alpha = 0,051 < 0,44 \longrightarrow$ Condition vérifiée.

Donc les armatures calculées à E.L.U conviennent à E.L.S.

- **vérification les efforts tranchants**

$$T_{\max} = \frac{q_u \cdot l}{2} = 29,31 \text{ KN}$$

$$\tau_u = \frac{T_{\max}}{b \cdot d} = 0,21 \text{ MPa}$$

$$\tau_\ell = \min\left(\frac{0,2 \cdot f_{c28}}{\gamma_b}; 5 \text{ MPa}\right) = 3,33 \text{ MPa}$$

$\tau_u = 0,21 \text{ MPa} \leq \tau_\ell = 3,33 \text{ MPa} \longrightarrow$ Condition vérifiée

- **Remarque :** Les marches ferrailent constructivement avec T10 et $\phi 8$.

IV.1.2.6. Étude de la poutre palière :**1. Dimensionnement :**

Selon le BAEL91, le critère de rigidité est :

$$\begin{cases} \frac{L}{15} \leq h_t \leq \frac{L}{10} \Rightarrow \frac{330}{15} \leq h \leq \frac{330}{10} \text{ on prend } h_t = 30 \text{ cm} \\ 0,4 h_t \leq b \leq 0,8 h_t \Rightarrow 12 \leq b \leq 24 \text{ on prend } b = 25 \text{ cm} \end{cases}$$

2. Vérification des conditions RPA99 (version 2003) :

$$\begin{cases} b \geq 20 \text{ cm} \\ h_t \geq 30 \text{ cm} \\ \frac{h_t}{b} \leq 4 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 25 \text{ cm} > 20 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{Condition vérifiée.} \\ 30 \text{ cm} \geq 30 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{Condition vérifiée.} \\ \frac{30}{25} = 1,2 < 4 \dots\dots\dots \text{Condition vérifiée.} \end{cases}$$

Suivant R.P.A : $\min(h, b) > 25 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{C.}$

3. Charge supportée par la poutre :

Poids propre de la poutre palier : $0,3 \times 0,25 \times 25 = 1,87 \text{ KN/m}$

La réaction du palier due à l'escalier : $R_{BU} = 21,52 \text{ KN/m.}$

$R_{BS} = 15,44 \text{ KN/m.}$

On a : $q_u = 1,35 \times 1,87 + 21,52 = 24,04 \text{ KN/m}$

$q_{ser} = 1,87 + 15,44 = 17,37 \text{ KN/m}$

4. Calcul des sollicitations

a. E.L.U

$$M_o = \frac{q_u \cdot l^2}{8} = 32.72 \text{ KN.m}$$

$$M_t = 0,8 \cdot M_o = 26.17 \text{ KN.m}$$

$$M_a = 0,3 \cdot M_o = 9.81 \text{ KN.m.}$$

$$T_x = q_l / 2 = (27.79 \times 3.3) / 2 = 39.66 \text{ KN}$$

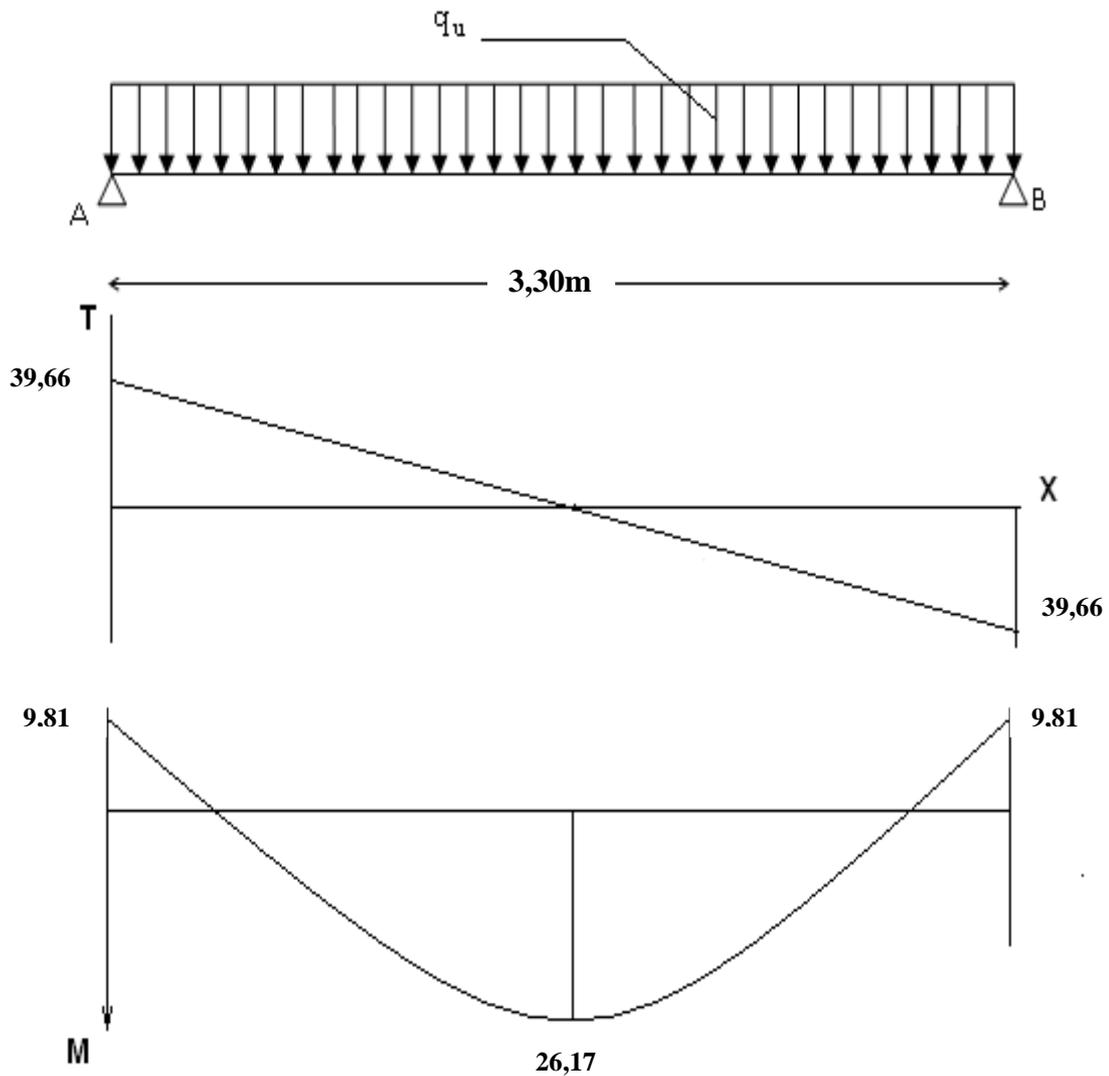


Figure IV.7 Diagrammes des (M et T) de la poutre palière

b.2 E.L.S

$$M_o = \frac{q_{us} \cdot l^2}{8} = 23.64 \text{ KN.m}$$

$$M_t = 0,8 \cdot M_o = 18.91 \text{ KN.m}$$

$$M_a = 0,3 \cdot M_o = 7.09 \text{ KN.m}$$

$$T_x = q_{us} \cdot l / 2 = (19.87 \cdot 3.3) / 2 = 28.66 \text{ KN}$$

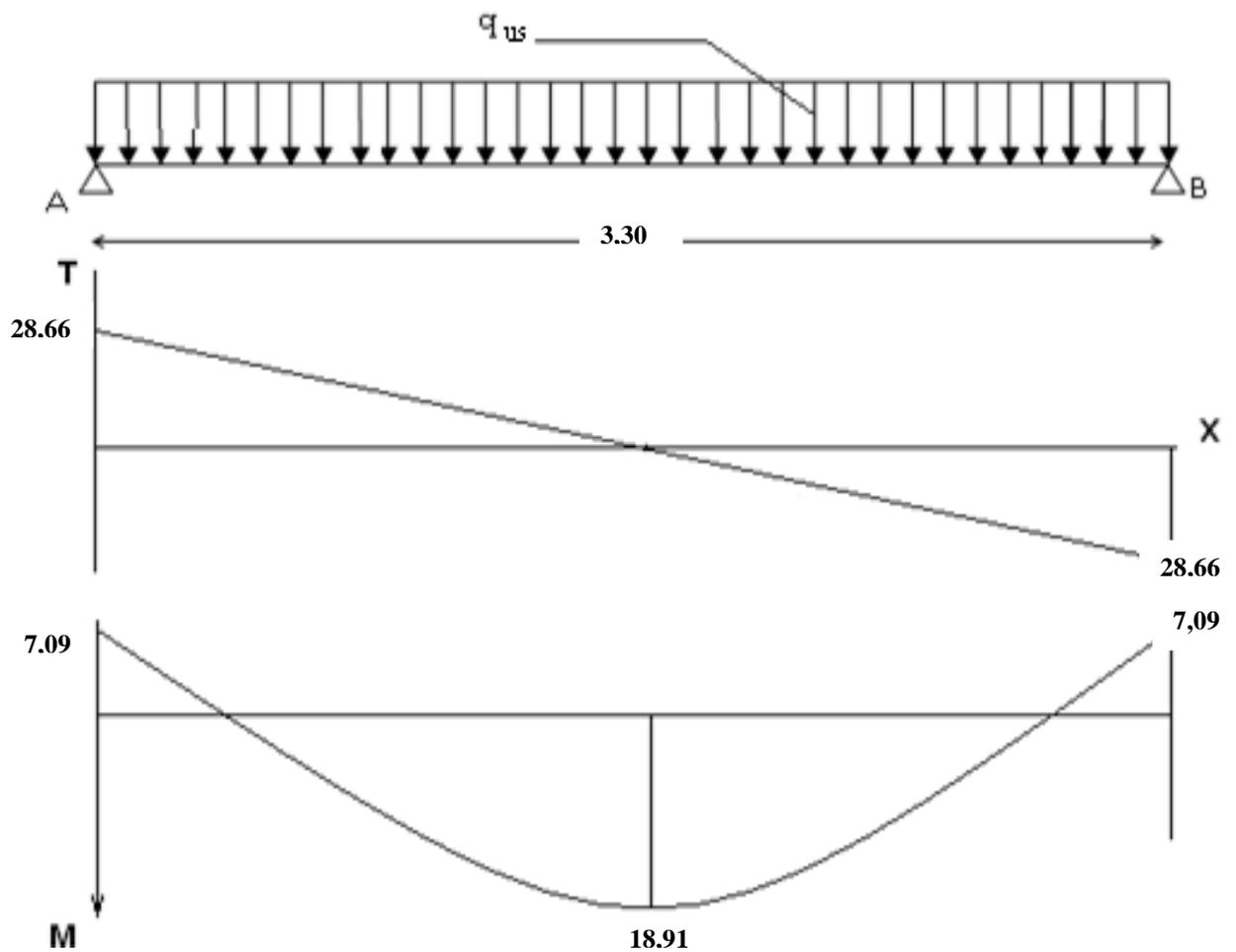


Figure IV.8 Diagrammes des (M et T) de la poutre palière

IV.1.2.7. Calcul du ferrailage :**a. E.L.U :****a.1 En travée**

$$\mu = \frac{26,17 \times 10^3}{0,25 \times (0,27)^2 \times 14,2} = 0,10 < \mu_l = 0,392 \text{ (acier FeE400)}$$

Donc (A') n'existe pas.

$$\alpha = 1,25 \left(1 - \sqrt{1 - 2\mu}\right) = 0,13$$

$$\beta = 1 - 0,40 \alpha = 0,94$$

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} = 348 \text{ MPa.}$$

$$A = \frac{M_t^{\max}}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{26170}{0,94 \times 0,27 \times 348} = 2,96 \text{ cm}^2$$

Choix : 3T12

a.2 En appui :

$$\mu = \frac{9,81 \times 10^3}{0,25 \times (0,27)^2 \times 14,2} = 0,03 < \mu_l = 0,392 \text{ (acier FeE400)}$$

Donc (A') n'existe pas.

$$\alpha = 1,25 \left(1 - \sqrt{1 - 2\mu}\right) = 0,04$$

$$\beta = 1 - 0,40 \alpha = 0,98$$

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} = 348 \text{ MPa.}$$

$$A = \frac{M_t^{\max}}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{98100}{0,98 \times 0,27 \times 348} = 1,06 \text{ cm}^2$$

Choix : 3T12

b .E.L.S :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Fissuration peu nuisible} \\ \text{Section rectangulaire} \\ \text{Flexion simple} \\ \text{FE400} \end{array} \right\} \text{ Si } \alpha < \frac{\gamma-1}{2} + \frac{f_{c28}}{100} \Rightarrow \sigma_b < \bar{\sigma}_b$$

b.1 En travée :

$$\gamma = 1,39$$

$$\alpha = 0,13 < 0,44 \dots\dots\dots \text{Condition vérifiée.}$$

b.2 En appui :

$$\alpha = 0,04 < 0,44 \dots\dots\dots \text{Condition vérifiée.}$$

Donc les armatures calculées à E.L.U conviennent à E.L.S.

- **Vérification l'effort tranchant:**

$$T_{\max} = \frac{q_u \cdot l}{2} = 43,18 \text{ KN.}$$

$$\tau_u = \frac{T_{\max}}{b_o \cdot d} = 0,63 \text{ MPa}$$

$$\tau_\ell = \min \left(\frac{0,2 \cdot f_{c28}}{\gamma_b} ; 5 \text{ MPa} \right) = 3,33 \text{ MPa.}$$

$$\tau_u = 0,63 \text{ MPa} < 3,33 \text{ MPa.} \dots\dots\dots \text{Condition vérifiée.}$$

- **Armatures transversales :**

$$\phi = \min \left\{ \begin{array}{l} h/35 = 128,5 \text{ mm} \\ b/10 = 35 \text{ mm} \\ \phi_\ell = 14 \text{ mm} \end{array} \right.$$

Soit $\phi = 8 \text{ mm}$

Choix : 2ø8 $\rightarrow 1,00 \text{ m}^2$

- **Calcul de l'espacement :**

$$\delta_t \leq \min \begin{cases} \min(0,9d, 40 \text{ cm}) = 24,3 \text{ cm} \\ \frac{A_t \cdot f_e}{b_o \cdot 0,4} = 16,78 \text{ cm} \\ \frac{A_t \cdot 0,3f_e}{b_o \cdot \gamma_s (\tau_u - 0,3 \cdot f_{t28})} = 23,88 \text{ cm} \end{cases}$$

Soit $\delta_t = 15 \text{ cm}$.

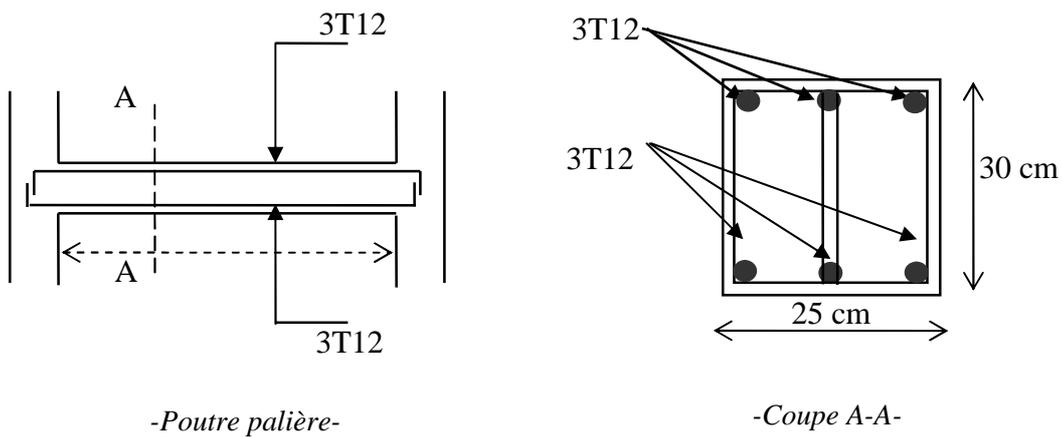


Figure IV.9 coupe de poutre palière

IV.2 Acrotère

IV.2.1 Introduction

Le rôle de l'acrotère est d'assurer la sécurité totale au niveau de la terrasse inaccessible.

$$S = \frac{0.05 \times 0.2}{2} + (0.1 \times 0.2) + (0.5 \times 0.15)$$

$$S = 0.1m^2$$

| Géométrie | |
|---------------------|-------------------|
| La hauteur h | 60cm |
| L'épaisseur h_0 | 15cm |
| L'enrobage c | 2cm |
| La surface S | 0.1m ² |
| L'enrobage $C = C'$ | 2cm |

| Matériaux | |
|---------------------------------|--------|
| Béton de résistance f_{c28} | 25MPa |
| Acier de limite élastique f_s | 400MPa |

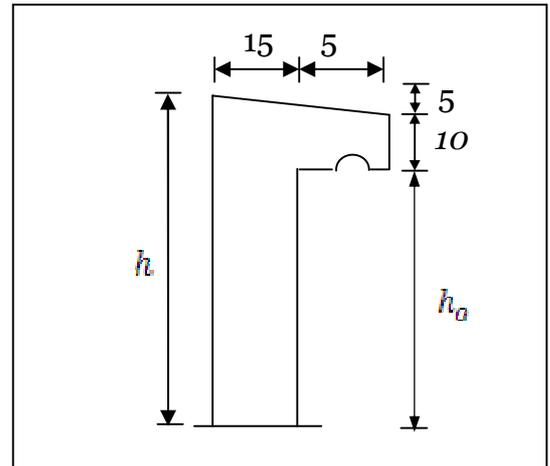


Fig. IV .10: Coupe de l'acrotère

IV.2.2 Ferrailage

IV.2.2.1. Sollicitation

L'acrotère est assimilé à une console encastrée au niveau du plancher soumis au poids propre et la surcharge d'exploitation. le calcul se fait par un bande de 1 m.

*Selon R.P.A on a :

WP : Le Poids Propre de l'Acrotère.

A : Coefficient d'Accélération «Groupe d'Usage 2 ;

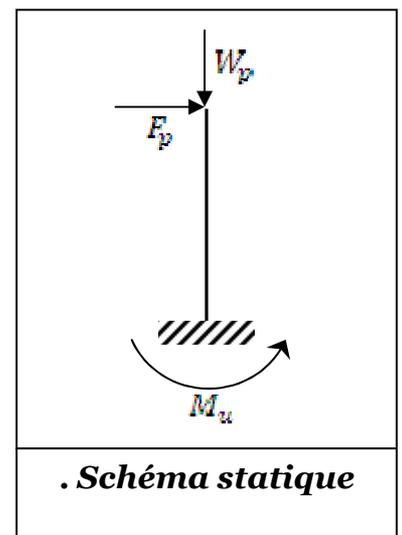
Zone I» $\Rightarrow A = 0,15$

CP : Facteur de Force Horizontale Variant entre 0,3 et 0,8 ;

CP = 0,8.

WP = $25 \times 0,1 = 2,5$ KN/ml.

$F_P = 4 \times 0,15 \times 0,8 \times 2,5 \Rightarrow F_P = 1,2$ KN/ml.



. Schéma statique

| <i>E.L.U</i> | | |
|------------------------------------|-----------------|-----------|
| La charge permanente ultime | $N_u = 1,35W_p$ | 3,375 KN |
| La surcharge d'exploitation ultime | $Q_u = 1,5F_p$ | 1,8KN |
| Moment d'encastrement | $M_u = hQ_u$ | 1,08 KN.m |

| <i>E.L.S</i> | | |
|------------------------------------|--------------|-----------|
| La charge permanente ultime | $N_s = W_p$ | 2,5 KN |
| La surcharge d'exploitation ultime | $Q_s = F_p$ | 1,2 KN |
| Moment d'encastrement | $M_s = hQ_s$ | 0,72 KN.m |

IV.2.2.2 Calcul de l'excentricité

- *L'excentricité de 1^{er} ordre :*

$$e_1 = M_u / N_u = 0,32m$$

- *L'excentricité additionnelle :*

$$e_a = \text{Max}(2cm; l/250) = 2cm$$

- *L'excentricité de 2^{ème} ordre :*

$$e_2 = \frac{3l_f^2}{10^4 h} (2 + \alpha \emptyset)$$

$$l_f = 2l = 1,2m ; \alpha = 10 \left(1 - \frac{M_u}{1,5M_s} \right) = 0 \Rightarrow e_2 = 0,00144m$$

$$e_o = e_1 + e_a + e_2 = 0,341m$$

$$\begin{cases} e_o = 0,341m \\ \frac{h_o}{2} - C' = 0,08m \end{cases} \Rightarrow e_o > \left(\frac{h_o}{2} - C' \right) \Rightarrow \text{La section partiellement comprimé}$$

IV.2.2.3 Sollicitation au centre de gravité de l'acier tendue

- *E.L.U :*

$$e_{uA} = e_o + \left(d - \frac{h_o}{2} \right) = 0,386m$$

$$M_{uA} = N_u e_{uA} = 1,3KN.m$$

- *E.L.S :*

$$e_s = M_{sA} / N_{sA} = 0,288m$$

$$e_{sA} = e_o + \left(d - \frac{h_p}{2}\right) = 0,333m$$

$$M_{sA} = N_s e_{sA} = 0.83KN.m$$

IV.2.2.4 Calcul de ferrailage

| Calcul des moments réduits | | |
|---|--|---|
| Etat limite de compression du béton | Si : > $\mu \leq \mu_l$ alors : « Pas d'aciers comprimés » > $\mu \geq \mu_l$ alors : « Aciers comprimés nécessaires » | $\mu = \frac{M_{sA}}{f_{su} b d^2} = 0.006$ Pas d'aciers comprimés |
| Calcul des paramètres caractéristiques de la section | | |
| Coefficient de la fibre neutre | $1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu})$ | $\alpha = 0.007$ |
| Ordonnée de la fibre neutre | $\alpha \times d$ | $y = 0.0008m$ |
| Bras de levier du couple interne | $d(1 - 0.4\alpha)$ | $Z_b = 0.119m$ |
| Détermination de la section théorique des aciers tendus | | |
| Section théorique d'acier | $M_{sA} / Z_b f_{su}$ | $A_u = 0.313cm^2$ |
| Condition de non fragilité | $0.23 b d f_{c28} / f_e$ | $A_{min} = 1.665cm^2$ |
| Choix des sections commerciales (les armatures tendus) | | |
| 6 \emptyset 6 $\Rightarrow A_s = 1.70cm^2$ | | |
| Les armatures de répartition | $A/4$ | 0.425cm ² |
| 3 \emptyset 6 $\Rightarrow A_s = 0.85cm^2$ | | |

IV.2.2.5 Vérification à L'ELS

- **Vérification de l'effort tranchant :**

| Vérification de la contrainte de cisaillement | | |
|---|--|--------------------|
| Contrainte tangente | $\tau_u = \frac{V_u}{bd}$ | $\tau_u = 0.1MPa$ |
| Contrainte tangente limite | $Min(0.15 \frac{f_{c28}}{\gamma_b}, 4MPa)$ | 2.50 MPa |
| Vérification de la contrainte de cisaillement | $\tau_u \leq Min(0.15 \frac{f_{c28}}{\gamma_b}, 4MPa)$ | 0.1 < 2.5 vérifiée |

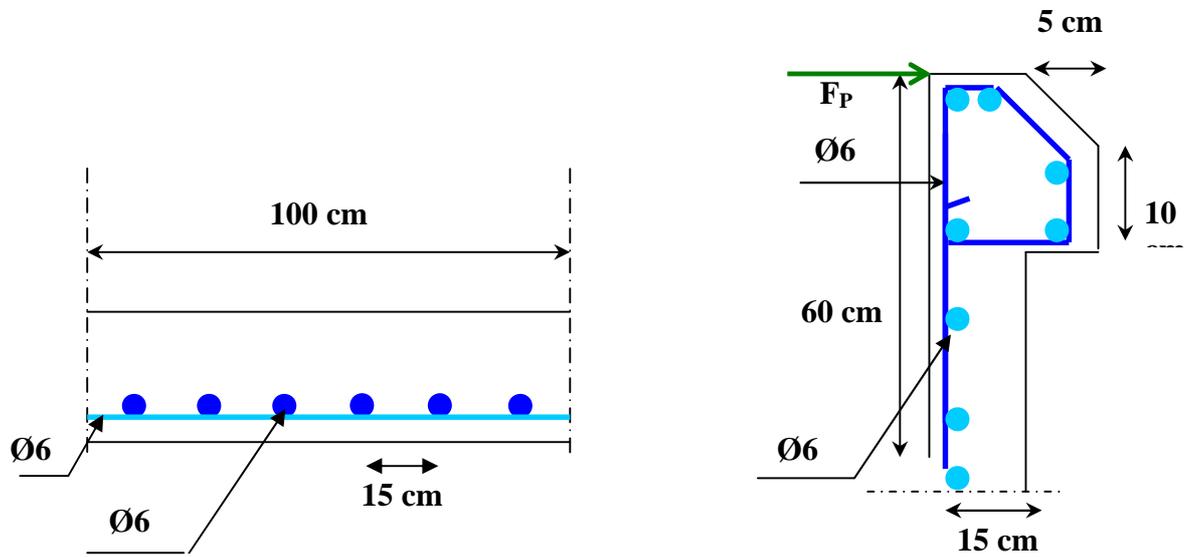


Figure IV.11 Coupe de l'acrotère

IV.3 Ascenseur

IV.3.1 Introduction

Appareil destiné à faire monter ou descendre verticalement des personnes ou des chargements, aux différents étages d'un bâtiment. Il représente la principale forme de circulation verticale dans les bâtiments supérieurs à 3 étages.

C'est un appareil automatique élévateur installé, comportant une cabine dont les dimensions et la constitution permettant l'accès des personnes et de matériel.

- D'après les normes françaises NF P82-208 pour une surface de 1,045 m² on a une charge nominale égale à 400 kg.
- La dalle en béton armé d'épaisseur $e = 20$ cm supporte la machine.
- La vitesse adoptée pour l'ascenseur $v = 0,63$ m/s.
- Notre bâtiment comporte deux ascenseurs identiques, dont les dimensions des cabines sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau : IV.5 **Les Dimensions des ascenseurs**

| Les Caractéristiques | Les Dimensions |
|------------------------------|---------------------|
| La Surface utile. | 0,70 m ² |
| La Largeur. | 1,10 m |
| La Hauteur. | 2,20 m |
| La Profondeur. | 0,95 m |
| La Largeur du passage libre. | 0,80 m |
| La Hauteur du passage libre. | 2,00 m |

IV.3.2 Calcul des Charges

IV.3.2.1 La Charge Permanente

- Masse de surface totale :

$$S = (0,95 \times 2 + 1,10) \times 2,20 = 6,60 \text{ m}^2.$$

$$P = 11,50 \text{ kg/ m}^2.$$

$$M_1 = 11,50 \times 6,60 \times 1,10 = 83,49 \text{ kg.}$$

- Masse du plancher :

$$S = 0,95 \times 1,10 = 1,045 \text{ m}^2$$

$$M_2 = 1,045 \times 110 = 114,95 \text{ kg.}$$

- Masse du toit :

$$M_3 = 20 \times 1,045 = 20,9 \text{ kg.}$$

- Masse de l'arcade :

$$M_4 = 60 + 80 \times 1,10 = 148,0 \text{ kg.}$$

- Masse de parachute a prise amortie :

$$M_5 = 100 \text{ kg.}$$

- Masse des accessoires :

$$M_6 = 80 \text{ kg.}$$

- Masse des poulies de moulage « 30kg par poulie » : $M_7 = 2 \times 30 = 60 \text{ kg.}$

- Masse de la porte de la cabine :

$$S = 2,0 \times 0,80 = 1,60 \text{ m}^2.$$

$$M_8 = 1,6 \times 25 + 80 = 120,0 \text{ kg.}$$

- Le poids mort = le poids de cabine + le poids des accessoires + le poids de revêtement :

$$P_m = \sum M_i = 727,340 \text{ kg.}$$

- Masse des câbles : On a deux poulies ; donc on aura 4 câbles :

$$D \text{ poulie} / d \text{ câble} = 45.$$

$$500 / d \text{ câble} = 45 \Rightarrow d \text{ câble} = \frac{500}{45} = 11,111 \text{ mm.}$$

$$L \text{ câble} = H_{\text{total}} - H_{\text{cabine}} = 34,17 - 2,2 = 31,97 \text{ m.}$$

$$M_9 = n \times L \times \text{masse de câble} / \text{m} = 4 \times 31,97 \times 0,396 = 50,640 \text{ kg.}$$

- Masse de contre poids :

$$P_p = P_m + Q/2 = 727,34 + 400/2 = 927,34 \text{ kg.}$$

- Masse de treuil en haut + moteur TR :

$$M_{11} = 1200 \text{ kg.}$$

Finalement, la charge permanente totale de l'ascenseur est égale :

$$G = P_m + P_{\text{cable}} + TR + P_p.$$

$$G = 727,34 + 50,64 + 1200 + 927,34.$$

$$G = 2905,32 \text{ kg.}$$

IV.3.2.2 La Charge d'Exploitation

$$Q = 400 \text{ kg.}$$

IV.3.2.3 Combinaisons de Charge

- ELU : $Q_U = 1,35 \times G + 1,5 \times Q = 45,222 \text{ KN.}$
- ELS : $Q_S = G + Q = 33,053 \text{ KN.}$

IV.3.2.4 Vérification de la Dalle d'Ascenseur au Poinçonnement

Il y a un risque de poinçonnement de la dalle à cause de la force concentrée appliquée par l'un des appuis de moteur « **moteur à 4 appuis** », chaque appuis prend un quart ($\frac{1}{4}$) de la charge totale.

$$Q_{U\text{appui}} = Q_U / 4 = 11,305 \text{ KN.}$$

$Q_{U\text{appui}}$: La Charge concentrée développe un effort tranchant en chaque point de la dalle et d'après le **BAEL91**; on vérifier :

$$\tau_u \leq 0,045 \times \frac{f_{cj}}{\gamma_b}.$$

$$\tau_u = \frac{Q_U}{U_c \times h} \text{ avec : } \begin{cases} U_c = 0,3 \times 4 = 1,20 \text{ m.} \\ h = 0,2 \text{ m.} \end{cases}$$

$$\tau_u = \frac{11,305}{1,20 \times 0,2} = 47,104 \text{ KN/m}^2.$$

$$\tau_u = 0,047 \text{ Mpa} \leq 0,045 \times \frac{25}{1,5} = 0,750 \text{ Mpa} \Rightarrow \text{Condition Vérifiée.}$$

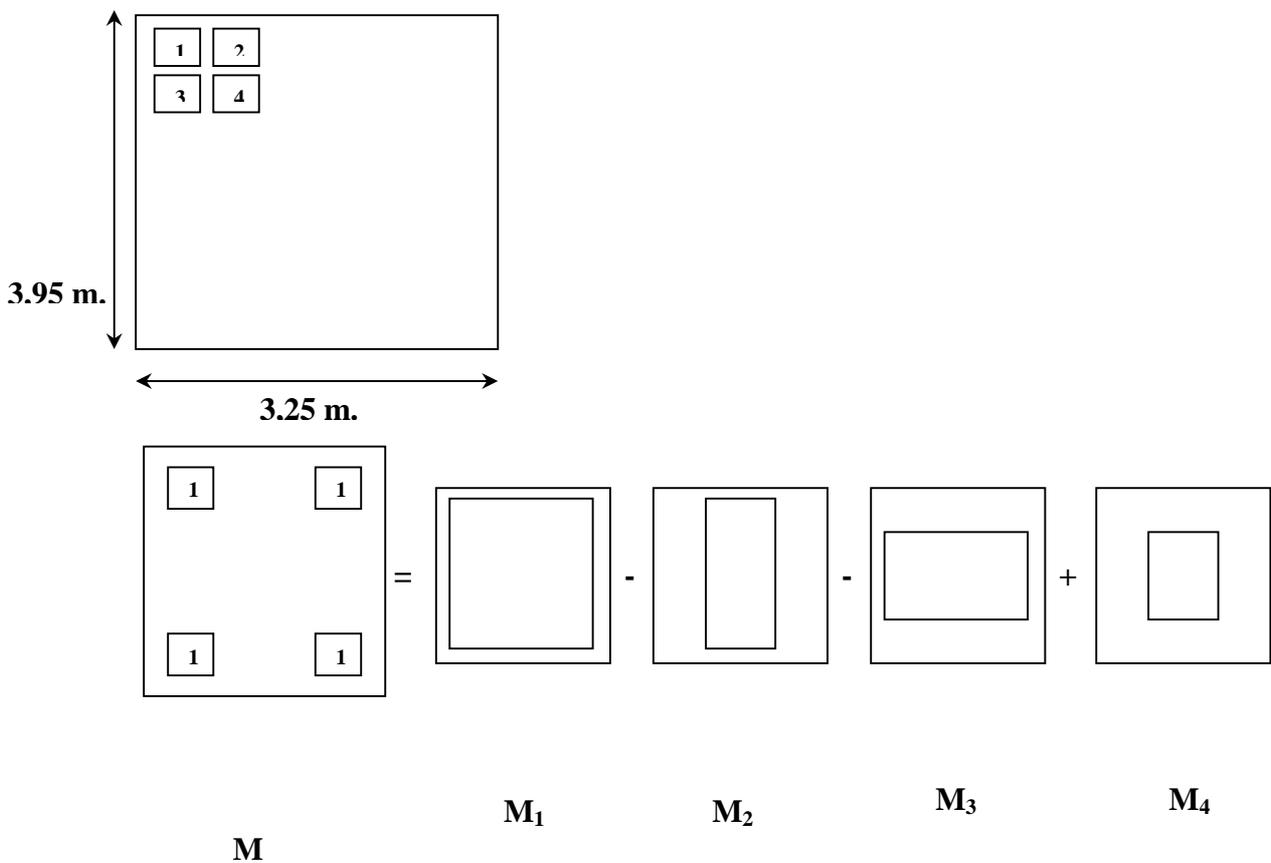
Donc la Dalle Résiste au Poinçonnement.

IV.3.2.5 Calcul des Sollicitations

a. Etude de la Dalle Sous la Charge Concentrée

Les Moments M_1 et M_2 sont en fonction de :

- $\rho = l_x / l_y$.
- u / l_x .
- v / l_y .



Par les abaques de PIGEAUD :

$$M_X = (M_1 + u \times M_2) \times P \times S.$$

$$M_Y = (M_2 + v \times M_1) \times P \times S.$$

$$M = M_1 - M_2 - M_3 + M_4.$$

1. CHARGE o1 :

- En ELU :

$$v = 0.$$

$$M_X = M_1 \times P \times S.$$

$$M_Y = M_2 \times P \times S.$$

- $\rho = l_X / l_Y = 3,25 / 3,95 = 0,822.$
- $P = q_U / (u \times v) = 11,305 / (0,3 \times 0,3) = 125,55 \text{ KN/m}^2.$

Tableau : IV.6

| Rectangle | u / l _x | v / l _y | M ₁ | M ₂ | S = u × v | P × S | M _{XU} | M _{YU} |
|-----------|--------------------|--------------------|----------------|----------------|-----------|---------|-----------------|-----------------|
| 1 | 0,846 | 0,924 | 0,058 | 0,033 | 10,040 | 1260,61 | 73,110 | 41,600 |
| 2 | 0,661 | 0,924 | 0,066 | 0,038 | 7,850 | 985,650 | 65,050 | 37,450 |
| 3 | 0,846 | 0,772 | 0,063 | 0,040 | 8,390 | 1053,45 | 66,370 | 42,140 |
| 4 | 0,661 | 0,772 | 0,075 | 0,045 | 6,560 | 823,360 | 61,750 | 37,050 |

$$M_{XU} = 3,44 \text{ KN.m.}$$

$$M_{YU} = - 0,94 \text{ KN.m.}$$

- En ELS : v = 0,2.

$$M_{XS} = (M_1 + 0,2 \times M_2) \times p \times S.$$

$$M_{YS} = (M_2 + 0,2 \times M_1) \times p \times S.$$

- $q_s = 33,053 / 4 = 8,263.$
- $P = q_s / (u \times v) = 8,263 / (0,3 \times 0,3) = 91,814 \text{ KN/ m}^2.$

| Rectangle | u / l _x | v / l _y | M ₁ + 0.2×M ₂ | M ₂ + 0.2×M ₁ | P × S | M _{Xs} | M _{Ys} |
|-----------|--------------------|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------|-----------------|-----------------|
| 1 | 0,846 | 0,924 | 0,065 | 0,045 | 921,37 | 59,890 | 41,460 |
| 2 | 0,661 | 0,924 | 0,074 | 0,051 | 720,39 | 53,310 | 36,740 |
| 3 | 0,846 | 0,772 | 0,071 | 0,053 | 769,95 | 54,670 | 40,810 |
| 4 | 0,661 | 0,772 | 0,084 | 0,060 | 602,01 | 50,570 | 36,120 |

$$M_{Xs} = 2,48 \text{ KN.m.}$$

$$M_{Ys} = 0,03 \text{ KN.m.}$$

2. CHARGE o2 :

- En ELU :

| Rectangle | u / l_x | v / l_y | M_1 | M_2 | $S = u \times v$ | $P \times S$ | M_{XU} | M_{YU} |
|-----------|-----------|-----------|-------|-------|------------------|--------------|----------|----------|
| 1 | 0.354 | 0.924 | 0.088 | 0.044 | 4.20 | 527.35 | 46.41 | 23.20 |
| 2 | 0.169 | 0.924 | 0.103 | 0.046 | 2.01 | 252.37 | 25.99 | 11.61 |
| 3 | 0.354 | 0.772 | 0.100 | 0.052 | 3.51 | 440.71 | 44.07 | 22.92 |
| 4 | 0.169 | 0.772 | 0.116 | 0.054 | 1.68 | 210.63 | 24.43 | 11.37 |

$$M_{XU} = 0,78 \text{ KN.m.}$$

$$M_{YU} = 0,04 \text{ KN.m.}$$

- En ELS :

| Rectangle | u / l_x | v / l_y | $M_1 + 0,2 \times M_2$ | $M_2 + 0,2 \times M_1$ | $P \times S$ | M_{XS} | M_{YS} |
|-----------|-----------|-----------|------------------------|------------------------|--------------|----------|----------|
| 1 | 0,354 | 0,924 | 0,097 | 0,062 | 385,430 | 37,380 | 23,890 |
| 2 | 0,169 | 0,924 | 0,112 | 0,067 | 184,460 | 20,660 | 12,360 |
| 3 | 0,354 | 0,772 | 0,110 | 0,072 | 322,110 | 35,430 | 23,190 |
| 4 | 0,169 | 0,772 | 0,127 | 0,077 | 154,170 | 19,580 | 11,870 |

$$M_{XS} = 0,87 \text{ KN.m.}$$

$$M_{YS} = 0,21 \text{ KN.m.}$$

3. CHARGE o3 :

- En ELU :

| Rectangle | u / l_x | v / l_y | M_1 | M_2 | $S = u \times v$ | $P \times S$ | M_{XU} | M_{YU} |
|-----------|-----------|-----------|-------|-------|------------------|--------------|----------|----------|
| 1 | 0,846 | 0,519 | 0,075 | 0,055 | 5,64 | 708,16 | 53,11 | 38,95 |
| 2 | 0,661 | 0,519 | 0,088 | 0,064 | 4,41 | 553,72 | 48,73 | 35,44 |
| 3 | 0,846 | 0,367 | 0,080 | 0,067 | 3,98 | 499,73 | 39,98 | 33,48 |
| 4 | 0,661 | 0,367 | 0,095 | 0,076 | 3,12 | 391,43 | 37,18 | 29,75 |

$$M_{XU} = 1,58 \text{ KN.m.}$$

$$M_{YU} = - 0,22 \text{KN.m.}$$

- En ELS :

| Rectangle | u / l _x | v / l _y | M ₁ + 0,2×M ₂ | M ₂ + 0,2×M ₁ | P × S | M _{Xs} | M _{Ys} |
|-----------|--------------------|--------------------|--|--|---------|-----------------|-----------------|
| 1 | 0,846 | 0,519 | 0,086 | 0,070 | 517,580 | 44,510 | 36,230 |
| 2 | 0,661 | 0,519 | 0,101 | 0,082 | 404,700 | 40,870 | 33,180 |
| 3 | 0,846 | 0,367 | 0,093 | 0,083 | 365,240 | 33,970 | 30,310 |
| 4 | 0,661 | 0,367 | 0,110 | 0,095 | 286,320 | 31,490 | 27,200 |

$$M_{Xs} = 1,16 \text{ KN.m.}$$

$$M_{Ys} = - 0,06 \text{ KN.m.}$$

4. CHARGE o4 :

- En ELU :

| Rectangle | u / l _x | v / l _y | M ₁ | M ₂ | S = u × v | P × S | M _{XU} | M _{YU} |
|-----------|--------------------|--------------------|----------------|----------------|--------------|--------|-----------------|-----------------|
| 1 | 0.354 | 0.519 | 0.123 | 0.074 | 2.36 | 296.32 | 36.45 | 21.93 |
| 2 | 0.169 | 0.519 | 0.150 | 0.079 | 1.13 | 141.88 | 21.28 | 11.21 |
| 3 | 0.354 | 0.367 | 0.135 | 0.093 | 1.67 | 209.68 | 28.31 | 19.50 |
| 4 | 0.169 | 0.367 | 0.170 | 0.100 | 0.80 | 100.13 | 17.02 | 10.01 |

$$M_{XU} = 3,88 \text{ KN.m.}$$

$$M_{YU} = 1,23 \text{ KN.m.}$$

- En ELS :

| Rectangle | u / l _x | v / l _y | M ₁ + 0,2×M ₂ | M ₂ + 0,2×M ₁ | P × S | M _{Xs} | M _{Ys} |
|-----------|--------------------|--------------------|--|--|---------|-----------------|-----------------|
| 1 | 0,354 | 0,519 | 0,138 | 0,099 | 216,580 | 29,880 | 21,440 |
| 2 | 0,169 | 0,519 | 0,166 | 0,109 | 103,700 | 17,210 | 11,300 |
| 3 | 0,354 | 0,367 | 0,154 | 0,120 | 153,250 | 23,600 | 18,390 |
| 4 | 0,169 | 0,367 | 0,190 | 0,134 | 73,420 | 13,940 | 9,840 |

$$M_{Xs} = 3,01 \text{ KN.m.}$$

$$M_{YS} = 1,59 \text{ KN.m.}$$

b. Etude de la Dalle sous la Charge Repartie

$$G = 8,690 \text{ KN/m}^2.$$

$$Q = 1 \text{ KN/m}^2.$$

$$\rho = 0,822.$$

- **ELU : $v = 0$.**

$$Q_U = 13,23 \text{ KN/m}^2$$

$$M_X = \mu_x \times Q_U \times (L_X)^2.$$

$$M_Y = \mu_y \times M_X.$$

$$\mu_x = 0,0539 ; \mu_y = 0,6313.$$

$$M_X = 7,53 \text{ KN.m.}$$

$$M_Y = 4,75 \text{ KN.m.}$$

- **ELS : $v = 0,2$.**

$$Q_S = 9,69 \text{ KN/m}^2$$

$$\mu_x = 0,0607 ; \mu_y = 0,7381.$$

$$M_X = 6,21 \text{ KN.m.}$$

$$M_Y = 4,58 \text{ KN.m.}$$

Finalemment :

- Moments de la dalle en **ELU** :

$$M_{XU} = 9,68 + 7,53 = 17,21 \text{ KN.m.}$$

$$M_{YU} = 0,11 + 4,75 = 4,86 \text{ KN.m.}$$

- Moments de la dalle en **ELS** :

$$M_{XS} = 6,21 + 7,52 = 13,73 \text{ KN.m.}$$

$$M_{YS} = 4,58 + 1,77 = 6,35 \text{ KN.m.}$$

IV.3.3 Ferrailage de la Dalle d'Ascenseur

a. Suivant L_x :

- En Travée : $M_{TX} = 0,85 \times M_{XU} = 14,63 \text{ KN.m.}$

$$\mu = 0,036 ; \alpha = 0,045 ; z = 0,167 \Rightarrow A = 2,96 \text{ cm}^2.$$

- En Appuis : $M_{AX} = -0,5 \times M_{XU} = -8,60 \text{ KN.m.}$

$$\mu = 0,0209 ; \alpha = 0,026 ; z = 0,168 \Rightarrow A = 1,47 \text{ cm}^2.$$

b. Suivant Ly :

- En Travée : $M_{TY} = 0,85 \times M_{YU} = 4,13 \text{ KN.m.}$
 $\mu = 0,0103 ; \alpha = 0,0126 ; z = 0,169 \Rightarrow A = 0,70 \text{ cm}^2.$
- En Appuis : $M_{AY} = - 0,5 \times M_{YU} = - 2,43 \text{ KN.m.}$
 $\mu = 0,0059 ; \alpha = 0,0074 ; z = 0,169 \Rightarrow A = 0,41 \text{ cm}^2.$

Le Ferrailage Adopté :

- En Travée : $A = 2,96 \Rightarrow 5T10 / \text{ml.}$
- En appuis : $A = 1,47 \Rightarrow 4T10 / \text{ml.}$

C. Vérification en ELS

Il faut Vérifier la Condition Suivante : $\frac{(\gamma - 1)}{2} + \frac{f_{c28}}{100} > \alpha.$
 Avec : $\gamma = \frac{M_U}{M_S}.$

- Dans le Sens **XX** : $\gamma = 1,253.$
 $\frac{(1,253 - 1)}{2} + \frac{25}{100} = 0,377 > 0,045$
- Dans le Sens **YY** : $\gamma = 1,080.$
 $\frac{(1,080 - 1)}{2} + \frac{25}{100} = 0,290 > 0,0126$

c. Vérification de la Flèche :

1. $h / L \geq 1/16 \Rightarrow 20/395 = 0,0506 < 0,0625 \dots\dots\dots \text{C.N.V.}$
2. $h / L \geq 1/10 \times M_t / M_o \Rightarrow 0,0506 < 0,085 \dots\dots\dots \text{C.N.V.}$
3. $A / b_o \times d \leq 4,2 / f_e \Rightarrow 0,0017 < 0,012 \dots\dots\dots \text{C.V.}$

Les deux conditions ne sont pas vérifiées, donc il est nécessaire de calculer la flèche de dalle.

e. Calcul de flèche :

- Centre de gravité de la section : $X_g = \frac{\sum A_i \times X_i}{\sum A_i}$; $Y_g = \frac{\sum A_i \times Y_i}{\sum A_i}$.

$$(X_g, Y_g) = (0 ; 10,01)$$

Tableau IV.7

Les valeurs des moments et des contraintes

| Charge | Valeur (KN/ml) | Moment | Valeur (KN.m) | Contrainte | σ (Mpa) | μ | Valeur |
|----------|----------------|----------------------|---------------|------------------------------|----------------|---------------------------|--------|
| G | 8,690 | M_g | 8,600 | σ_g | 379,200 | μ_g | 0 |
| P | 9,690 | M_p | 9,590 | σ_p | 422,840 | μ_p | 0,03 |
| j | 8,690 | M_j | 8,600 | σ_j | 379,200 | μ_j | 0 |

- Les Moments d'Inertie :

$$I_X = I_{xg} + A \times (Y_g)^2.$$

$$I_X = 66666,87 \text{ cm}^4.$$

- Le Pourcentage des Armatures

$$\rho = \frac{A}{b \times d} = 0,0017.$$

$$\lambda_i = 0,05 \times \frac{f_{c28}}{(2 + 3 \times \frac{b_0}{b}) \times \rho} = 21,00 ; \lambda_v = \frac{2}{5} \lambda_i = 8,40.$$

$$M_g = 0,75 \times \frac{g L_x^2}{8} ; M_p = 0,75 \times \frac{p L_x^2}{8} ; M_j = 0,75 \times \frac{j L_x^2}{8}.$$

$$\sigma = \frac{M}{k} ; k = A \times \left(d - \frac{y}{3} \right).$$

$$\mu = 1 - \left[175 \times \frac{f_{c28}}{(4 \times \rho \times \sigma_s) + f_{t28}} \right].$$

$$I_f = 1,1 \times \frac{I_0}{1 + (\mu \times \lambda)}.$$

$$f = \frac{M \times L^2}{10 \times E \times I_f}.$$

- Module de Déformation :

$$\text{Module Instantané: } E_i = 11000 \sqrt[3]{f_{c25}} = 32164,195 \text{ Mpa.}$$

$$\text{Module Différé: } E_v = 3700 \sqrt[3]{f_{c25}} = 10818,866 \text{ Mpa.}$$

Les valeurs des moments d’inerties et des flèches sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau IV.8
Les valeurs des moments d’inerties

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| [I_f]_{ji} | 73333,560 |
| [I_f]_{gi} | 73333,560 |
| [I_f]_{gv} | 73333,560 |
| [I_f]_{pi} | 44989,910 |
| F_{gv} | 0,00110 |
| F_{ji} | 0,00038 |
| F_{pi} | 0,00069 |
| F_{gi} | 0,00038 |
| ΔF_t | 0,00100 |

Il faut que la condition suivante soit vérifiée :

$$\Delta F_t = F_{gv} - F_{ji} + F_{pi} - F_{gi} = 0,0010 < L / 500 = 0,065 \dots\dots\dots \text{C.V.}$$

- Vérification de l’effort tranchant :

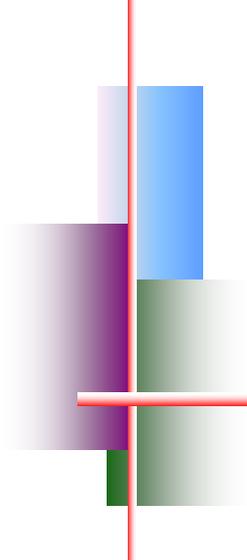
$$T_{\max} = Qu / (2 \times L_x + L_y)$$

$$T_{\max} = 13,23 / (2 \times 3,25 + 3,95) = 1,27 \text{ KN/ml.}$$

$$\tau_U = \frac{T_{\max}}{b \times d} = 0,0074 \text{ Mpa} < \bar{\tau} = \min \left(0,15 \frac{f_{c28}}{\gamma_b}; 4,0 \text{ Mpa} \right) = 2,5 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{C.V.}$$

- Vérification de la condition de non fragilité :

$$A_{\min} = 0,23 \times b \times d \times f_{t28}/f_c = 2,05 \text{ cm}^2 \implies A \geq A_{\min} \dots\dots\dots \text{C.V.}$$



Chapitre V



Etude sismique

V.1. Introduction

Le séisme correspond à une vibration du sol provoquée par une libération de l'énergie de déformation accumulée dans la croûte terrestre.

C'est un phénomène imprévisible, qui provoque plusieurs catastrophes (destruction des ouvrages, nombreuse perte de vie humaine). De ce fait, le comportement des constructions sous action dynamique est devenu un chapitre indispensable dans l'étude de n'importe quelle structure.

Le calcul sismique dans notre étude sera effectué dans le cadre du règlement parasismique algérien (RPA99) version 2003.

V.2 Méthode de calcul

Selon l'article 4.1.1 de RPA99, les forces sismiques peuvent être déterminées par trois méthodes :

- méthode statique équivalente .
- méthode dynamique modale spectrale.
- méthode d'analyse dynamique temporelle par accélérographes.

V.2.1 méthode statique équivalente

a. Principe de la méthode : [RPA99/4.2.1]

Selon cette méthode les forces réelles dynamiques développées dans la structure sont remplacées par un système des forces statiques fictives appliquées successivement suivant deux directions orthogonales et ayant des effets équivalents à ceux des forces réelles.

b. conditions d'application : [RPA99/4.1.2]

- Régularité en plan : [RPA99/3.5.1.a]
- Régularité en élévation : [RPA99/3.5.1.b]

c. vérification des conditions d'application

Dans notre cas la méthode statique équivalente n'est pas applicable, puisque notre bâtiment ne vérifie pas toutes les conditions de l'article 4.1.2 ; d'ou la méthode utilisable c'est la méthode d'analyse modale spectrale.

d. Conclusion :

La méthode statique équivalente n'est pas applicable. Dans se cas là, on va appliquer la méthode dynamique. [RPA99/4.1.3]

V.2.2 Méthode dynamique modale spectrale

Peut être utilisée dans tous les cas, et en particulier, dans le cas où la méthode statique équivalente n'est pas permise. On utilise directement les spectres de dimensionnement puisque ce sont surtout les extremums des réponses qui intéressent le concepteur et non la variation temporelle. Elle permet de simplifier les calculs. On procède alors à une analyse modale en étudiant un certain nombre des modes propres de la structure.

V.2.2.1 Modélisation

Nous utiliserons les étapes suivantes dans la modélisation de notre structure :

-Détermination des propriétés des matériaux utilisés :

Les propriétés du béton (voir chapitre I) .

-Détermination des caractéristiques géométriques :(voir chapitre II).

-Détermination des conditions aux limites :

Notre structure sera représentée par un modèle tridimensionnel encastré à la base, où les masses sont concentrées au niveau des centres de gravité des planchers avec trois degrés de liberté (deux translations horizontales et, une rotation d'axe verticale). [RPA99/4.3.2]

-Détermination de la descente des charges :

-Détermination des forces sismiques E :

Ils sont distribués horizontalement verticalement sur les éléments proportionnels à leurs rigidités par l'introduction d'un spectre de réponse dans deux directions orthogonale (Xet Y)

-Détermination des combinaisons des charges :

- 1) $1.35G + 1.5Q$
- 2) $G + Q$
- 3) $0.8G + E$
- 4) $0.8G - E$
- 5) $G + Q + E$
- 6) $G + Q - E$
- 7) $G + Q + 1.2E$

V.3 Spectre de réponse de calcul

L'action sismique est représentée par le spectre de calcul suivant

$$\frac{S_a}{g} = \begin{cases} 1.25 A \left(1 + \frac{T}{T_1} \left(2.5 \eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5 \eta (1.25 A) \left(\frac{Q}{R} \right) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5 \eta (1.25 A) \left(\frac{Q}{R} \right) \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5 \eta (1.25 A) \left(\frac{T_2}{3} \right)^{2/3} \left(\frac{3}{T} \right)^{5/3} \left(\frac{Q}{R} \right) & T > 3.0s \end{cases}$$

V.3.1 Calcul du poids total de chaque plancher

Poids totale = charge permanente + β % \times surcharge

β : Coefficient donné par le tableau 4-5-RPA99

- Pour les locaux d'habitation $\beta = 20\%$

V.3.2 Préparation des données

a. Calcul de la masse sismique dans chaque niveau

Méthode de calcul :

G= charge permanente (Kg/m²) **P**= charge d'exploitation (Kg/m²)

Surface : **S**

Périmètre : Pér

Terrasse :

Plancher: G x S

Acrotère : S_{Acrotère} x 2500 x Pér

Poutres principales : S_{pp} x 2500 x n x L

Poutres secondaires : S_{ps} x 2500 x n x L

1/2 poteaux : 0,5 x (S_{pot} x 2500 x H_{hauteur pot} x n)

1/2 murs de façade : 0,5x(γ_{mur} x h_e x L x 0,7)

1/2 murs voiles : 0,5 x Hvoile x 2500 x pér x épaisseur

Etage courant :

Plancher: G x S

Poutres principales : S_{pp} x 2500 x n x L

Poutres secondaires : S_{ps} x 2500 x n x L

Poteaux : S_{pot} x 2500 x H_{hauteur pot} x n

murs de façade : γ_{mur} x h_e x L x 0,7

murs voiles : Hvoile x 2500 x pér x épaisseur

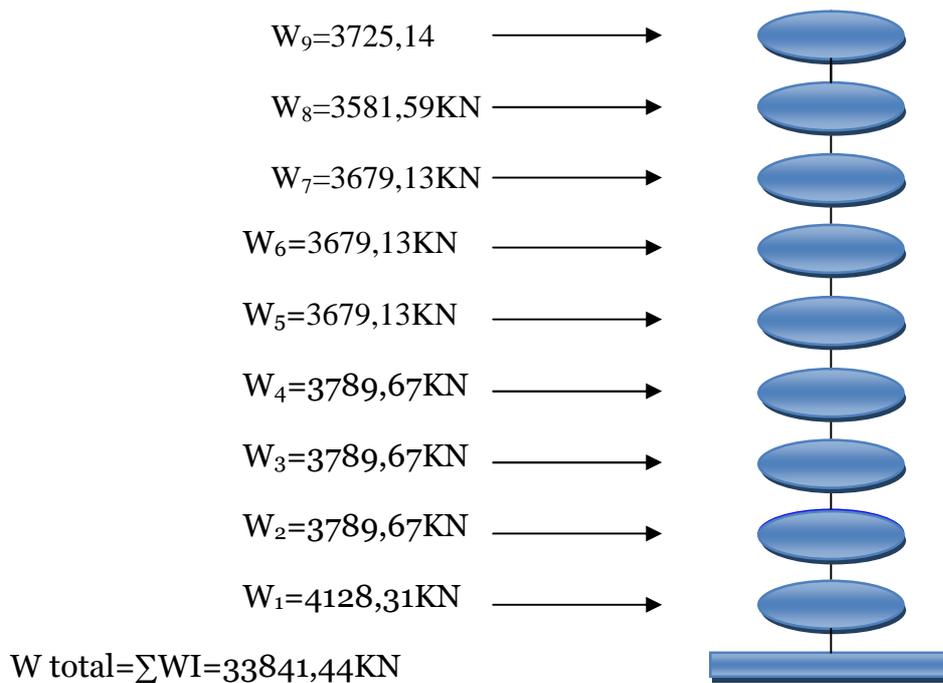
b. Poids total de la structure w :

W est égal à la somme des poids W_i , calculés à chaque niveau (i) :

$$W = \sum_{i=1}^n W_i \quad \text{avec} \quad W_i = W_G + \beta W_Q \quad (4-5)$$

- W_G : Poids dû aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels, solidaires de la structure
- W_Q : Charges d'exploitation.

Par conséquent, le bâtiment sera représenté par le système suivant



V.3.3 Évaluation de la force sismique

La force sismique totale V , appliquée à la base de la structure, doit être calculée successivement dans les deux directions horizontales et orthogonales selon la formule :

$$V = \frac{A \times D \times Q}{R} \times W$$

Avec : **A** : coefficient d'accélération de la zone (tableau 4 -1 de RPA 99).

D : facteur d'amplification dynamique .

Q : facteur de qualité (tableau 4 – 4 de RPA 99).

R : coefficient de comportement (tableau 4 –3 de RPA 99).

W : poids totale de la structure.

V.3.3.1 résultante de la force sismique

La force sismique totale sera distribuée horizontalement et verticalement sur les différents éléments de la structure.

A la base V_t obtenue par combinaison des valeurs modales, ne doit pas être inférieure à 80% de la résultante des forces sismiques par la méthode statique équivalente.

V.3.2.2 Définitions de la valeur des coefficients

1. coefficient d'accélération de zone (A)

Donné par le tableau 4.1 (RPA.99/03) suivent la zone sismique et le groupe d'usage du bâtiment.

Notre bâtiment est implanté dans la région de Tlemcen (zone I) et appartient au groupe 2, pour notre cas on a : $A = 0,15$.

2. coefficient de comportement globale de la structure(R)

Sa valeur est donnée par le tableau 4.3.RPA99, $R = 3,5$

3. facteur de qualité (Q)

La valeur de Q est déterminée par la formule :

$$Q = 1 + \sum_1^6 Pq \dots\dots\dots \text{article 4-4-RPA99/03}$$

Tableau V.1 : Q : facteur de qualité en fonction des valeurs des pénalités P_q

| Critère q | P_q |
|--|-------|
| 1. Conditions minimales sur les files de contreventement | 0 |
| 2. Redondance en plan | 0,05 |
| 3. Régularité en plan | 0 |
| 4. Régularité en élévation | 0 |
| 5. Contrôle de la qualité des matériaux | 0,05 |
| 6. Contrôle de la qualité de l'exécution | 0,1 |

La valeur de Q est déterminée par la formule : $Q = 1 + \sum_1^6 P_q$.(RPA 99 révisée en 2003)

$$Q_x = 1 + (0,00 + 0,00 + 0,00 + 0,000 + 0,05 + 0,10) = 1,15.$$

$$Q_y = 1 + (0,00 + 0,05 + 0,00 + 0,00 + 0,05 + 0,10) = 1,20.$$

4. le pourcentage d'amortissement critique

Le pourcentage d'amortissement critique en fonction de matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages $\xi = 7\%$; (tableau 4.2.RPA99)

5. la période fondamentale T

La période T peut être estimée à partir de la formule empirique suivante : $T = C_t h_N^{3/4}$

h_N : hauteur mesurée en mètre à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau (N).

C_t : coefficient, fonction du système de contreventement du type de remplissage est donné par le tableau 4.6.RPA99.

$$C_t = 0.05$$

$$T = 0,05 \times 28,05^{3/4} = 0,609 \text{ sec}$$

D : est la dimension du bâtiment mesuré à sa base dans la direction de calcul considéré.

Suivant x-x : $L_x = 26,23 \text{ m}$.
$$T_x = \frac{0.09h}{\sqrt{L_x}} = \frac{0.09 \times 28,05}{\sqrt{26,23}} = 0,492 \text{ s}$$

Suivant y-y : $L_y = 13,45 \text{ m}$.
$$T_y = \frac{0.09 \times 28,05}{\sqrt{13,45}} = 0,688 \text{ s}$$

$$T_x = \min(0,492 ; 0,609) \implies T_x = 0,492 \text{ s}$$

$$T_y = \min(0,688 ; 0,609) \implies T_y = 0,609 \text{ s}$$

6. période caractéristique associée à la catégorie de site pour un sol meuble

$$T_1 = 0,15s \quad T_2 = 0,50s \dots\dots\dots \text{(tableau 4.7.RPA99)}.$$

7. facteur de correction d'amortissement donné par la formule

$$\eta = \sqrt{7/(2 + \zeta)} = 0,8819 \geq 0,7$$

8. facteur d'amplification dynamique :Donné par la formule :

$$D = \begin{cases} 2,5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2,5\eta \cdot (T_2/T)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3s \\ 2,5\eta (T_2/3)^{2/3} (3/T)^{5/3} & T \geq 3s \end{cases}$$

Sens x :

$$T_2 < T_x < 3s \implies 0 < 0,492 < 0,5$$

$$\text{donc :} \quad D_x = 2,5 \eta = 2,20$$

$$\text{Sens y :} \quad T_y > 3s \implies 0,609 > 3s$$

$$\text{donc :} \quad D_y = 2,5 \eta (T_2/3)^{2/3} (3/T)^{5/3} = 1,93$$

V.3.3.3 La force sismique totale sera :

$$V_x = \frac{0,15 \times 2,20 \times 1,15}{3,5} \times 33841,44 = 3702,73 \text{ KN}$$

$$V_y = \frac{0,15 \times 1,93 \times 1,20}{3,5} \times 33841,44 = 3359,00 \text{ KN}$$

V.3.3.4 Distribution verticale de la force sismique :

La résultante des forces sismiques à la base V doit être distribuée sur la hauteur de la structure selon les formules suivantes :

$$V = F_t + \sum Fi \dots\dots\dots \text{chapitre 4-2-5 RPA}$$

F_t : la force contenue au somme de la structure permet de tenir compte du mode supérieur de vibration:

$$\begin{cases} F_t = 0,07 \cdot TV \leq 0,25V \\ F_t = 0 \text{ si } T \leq 0,7s \end{cases}$$

Dans notre cas :

$$\begin{cases} T_x \leq 0,7s \\ T_y \leq 0,7s \end{cases} \implies \begin{cases} F_{tx} = 0 \\ F_{ty} = 0 \end{cases}$$

$$F_i = \frac{(V - Ft) W_i h_i}{\sum_j^n W_j h_j} \dots\dots\dots \text{chapitre 4-2-5 RPA}$$

F_i : effort horizontal revenant au niveau i h_i : le niveau ou s'exerce la force F_i

W_i W_j : poids revenant aux planchers i, j . h_j : niveau d'un plancher quel conque

Tableau V.2 **effort tranchant :**

| Etage | W_i (KN) | h_i (m) | $W_i \times h_i$ | F_{ix} (KN) | F_{iy} (KN) | $V_x - F_{tx}$ (KN) | $V_y - F_{ty}$ (KN) |
|----------|---------------|-----------|------------------|---------------|---------------|------------------------|---------------------|
| Terrasse | 3725,14 | 30,05 | 111940,45 | 696,78 | 632,08 | 3702,73 | 3359,00 |
| 07 | 3581,59 | 26,99 | 96667,11 | 601,71 | 545,84 | 3702,73 | 3359,00 |
| 06 | 3679,13 | 23,93 | 88041,58 | 548,02 | 497,14 | 3702,73 | 3359,00 |
| 05 | 3679,13 | 20,87 | 76783,44 | 477,94 | 433,56 | 3702,73 | 3359,00 |
| 04 | 3679,13 | 17,81 | 65525,30 | 407,86 | 369,99 | 3702,73 | 3359,00 |
| 03 | 3789,67 | 14,75 | 55897,63 | 347,93 | 315,63 | 3702,73 | 3359,00 |
| 02 | 3789,67 | 11,69 | 44301,24 | 275,75 | 250,15 | 3702,73 | 3359,00 |
| 01 | 3789,67 | 8,63 | 32704,85 | 203,57 | 184,67 | 3702,73 | 3359,00 |
| R.D.C | 4128,31 | 5,57 | 22994,68 | 143,13 | 129,84 | 3702,73 | 3359,00 |
| Σ | 33841,44 | | 594856,28 | | | | |

V.4 Vérification des déplacements

Selon la RPA99v2003, les déplacements relatifs d'un étage par rapport aux étages qui lui sont adjacents ne doivent pas dépasser 1% de la hauteur d'étage :

$$R \cdot \Delta_K < 0.01 \cdot h_e$$

Avec :

Δ_K : Le déplacement relatif au niveau "K" par rapport au niveau "k-1" avec :

$$\Delta_K = \delta_K - \delta_{K-1}$$

R : Coefficient de comportement $R = 3,5$

h_e : hauteur de l'étage

δ_K : déplacement horizontale à chaque niveau K.

δ_{ek} : déplacement du aux forces sismiques F_i (y comparis l'effet de torsion).

Les déplacements relatifs des noeuds maitres de chaque niveau sont résumés dans le tableau suivant :

| niveau | δ_{ek} max (cm) | | $\Delta k_{MAX} \times R$ (cm) | | 0.01 h_e (cm) | RPA |
|---------|------------------------|------------|--------------------------------|------------|-----------------|-----|
| | δ_x | δ_y | Δx | Δy | | |
| TERASSE | 2,61 | 2,88 | 1,22 | 1,36 | 3.06 | C.V |
| 8 | 2,26 | 2,49 | 1,26 | 1,36 | 3.06 | C.V |
| 7 | 1,9 | 2,1 | 1,22 | 1,33 | 3.06 | C.V |
| 6 | 1,55 | 1,72 | 1,19 | 1,29 | 3.06 | C.V |
| 5 | 1,21 | 1,35 | 1,08 | 1,19 | 3.06 | C.V |
| 4 | 0,9 | 1,01 | 1,01 | 1,12 | 3.06 | C.V |
| 3 | 0,61 | 0,69 | 0,84 | 0,94 | 3.06 | C.V |
| 2 | 0,37 | 0,42 | 0,7 | 0,77 | 3.06 | C.V |
| 1 | 0,17 | 0,2 | 0,49 | 0,56 | 3.06 | C.V |
| RDC | 0,03 | 0,04 | 0,10 | 0,14 | 3.57 | C.V |

Tableau V.3 vérification des déplacements

V.4.1 Vérification des modes ;

| Mode | Participation de Mass. UX (%) | Participation de Mass. UY (%) | Observation |
|----------|-------------------------------|-------------------------------|----------------|
| 1 | 0.0011 | 65.4593 | |
| 2 | 65.1063 | 65.4604 | |
| 3 | 65.1072 | 65.4726 | |
| 4 | 65.1073 | 84.0903 | |
| 5 | 83.2771 | 84.0903 | |
| 6 | 83.2772 | 84.0936 | |
| 7 | 83.2772 | 90.736 | |
| 8 | 90.0076 | 90.736 | vérifie |

Tableau V.4 **Vérification des modes**

V.5 Justification vis à vis de l'effet P Δ

L'excentricité des charges verticales résultant des déplacements relatifs des Étages provoque dans les murs et les poteaux des efforts axiaux additionnelle. Ce Phénomène est appelé « effet P Δ ».

D'après l'article du RPA (5.9)

Les effets du 2^o ordre (ou effet P Δ .) Peuvent Être négligés dans le cas des bâtiments

Si la condition suivante est satisfaite à tous Les niveaux :

$$\theta = P_k \cdot \Delta_k / V_k \cdot h_k < 0,10$$

P_k : poids total de la structure et des charges

D'exploitation associées au dessus du niveau « k »

V_k : effort tranchant d'étage au niveau "k"

Δ_k : déplacement relatif du niveau « k » par rapport au

Niveau «k-1»

h_k : hauteur de l'étage « k »

Pour le sens X

| Niveau | Wi (KN) | V | Hi(cm) | $\Delta k \times R$ | θ |
|--------|---------|---------|--------|---------------------|----------|
| 8 | 3725,14 | 1705.81 | 306 | 1,22 | 0,008 |
| 7 | 3581,59 | 2043.2 | 306 | 1,26 | 0,007 |
| 6 | 3679,13 | 2331.79 | 306 | 1,22 | 0,006 |
| 5 | 3679,13 | 2585.51 | 306 | 1,19 | 0,005 |
| 4 | 3679,13 | 2817.85 | 306 | 1,08 | 0,004 |
| 3 | 3789,67 | 3022.98 | 306 | 1,01 | 0,004 |
| 2 | 3789,67 | 3198.23 | 306 | 0,84 | 0,003 |
| 1 | 3789,67 | 3345.76 | 306 | 0,7 | 0,002 |
| RDC | 4128,31 | 3453.14 | 357 | 0,49 | 0,001 |

Tableau V.5 Justification vis à vis de l'effet $P\Delta$ sens x

Pour le sens y :

| Niveau | Wi (Kn) | V | Hi(cm) | $\Delta k \times R$ | θ |
|--------|---------|---------|--------|---------------------|----------|
| 8 | 3725,14 | 1734.99 | 306 | 1,36 | 0,009 |
| 7 | 3581,59 | 2070.34 | 306 | 1,36 | 0,007 |
| 6 | 3679,13 | 2354.71 | 306 | 1,33 | 0,006 |
| 5 | 3679,13 | 2611.39 | 306 | 1,29 | 0,006 |
| 4 | 3679,13 | 2845.74 | 306 | 1,19 | 0,005 |
| 3 | 3789,67 | 3057.97 | 306 | 1,12 | 0,004 |
| 2 | 3789,67 | 3246.14 | 306 | 0,94 | 0,003 |
| 1 | 3789,67 | 3401.46 | 306 | 0,77 | 0,002 |
| RDC | 4128,31 | 3520.34 | 357 | 0,56 | 0,001 |

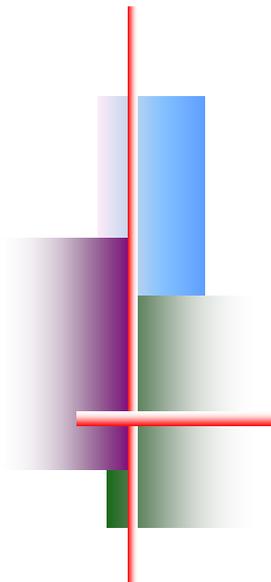
Tableau V.6 Justification vis à vis de l'effet $P\Delta$ sens y

V.6.L'efforts tranchant à la base

La résultante des forces à la base 'F' obtenue par combinaison des valeurs Modales ne doit pas être inférieure à 80% de la résultante des forces sismiques Déterminées par la méthode statique équivalente 'V (RPA99 ; 2003 Article. 4.3.6)

| Sens | V (spec) (kn) | V (stat.eq) | 80%V stat.eq | 0.8Vstat≤V(spec) |
|------|---------------|-------------|--------------|------------------|
| X | 3453,14 | 3702,73 | 2962,18 | Oui |
| Y | 3520,34 | 3359,00 | 2687,2 | Oui |

Tableau V.7 *vérification L'efforts tranchant à la base*



Chapitre VI



Etude des éléments Structuraux

- ***Introduction***
- ***Poteaux***
- ***Poutres.***
- ***Voiles.***

VI.1. Introduction

L'étude des portiques sera effectuée en se basant sur le calcul du portique le plus défavorable et sous différentes sollicitations. Le portique est constitué par l'assemblage des poteaux et des poutres.

- **Poteaux**

Se sont des éléments porteurs verticaux en béton armé, ils constituent les points d'appui pour transmettre les charges aux fondations.

Ils sont sollicités en compression simple ou en flexion composée.

- **Poutres**

Se sont des éléments porteurs horizontaux en béton armé, elles transmettent les charges aux poteaux, leur mode de sollicitation est la flexion simple.

L'étude des portiques (poteaux, poutres) sous charges verticales et horizontales, nous permet de les ferrailer sous les différentes sollicitations.

VI.2. Ferrailage des portiques

VI.2.1. Ferrailage des poteaux

Le ferrailage des poteaux est calculé en fonction d'un effort de compression (N) et des moments fléchissant dans les deux directions (M_{22} , M_{33}).

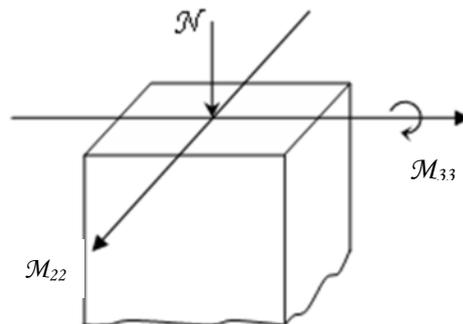


Figure VI.1 Direction des moments et efforts sur un poteau

Le calcul se fait avec les combinaisons suivantes [3] :

- **Combinaison fondamentale :**

$$E.L.U : 1,35 G + 1,5 P$$

- **Combinaison accidentelle :**

$$\begin{cases} G + P + 1,2 E \\ 0,8 G + E \end{cases}$$

- Les armatures longitudinales sont déterminées sous :

$$1^{\text{ier}} \text{ Cas : } N_{\max} \longrightarrow M_{\text{corr}}$$

$$2^{\text{ième}} \text{ Cas : } M_{\max} \longrightarrow N_{\text{corr}}$$

- Pour ces armatures on doit respecter les conditions suivantes :

- La section d'acier minimale donnée par le B.A.E.L.
- Les pourcentages extrêmes d'acier (A_{\min} et A_{\max}) données par le RPA 99.
- Le diamètre minimum des armatures longitudinales $\phi_{\min} = 12 \text{ mm}$.
- La longueur minimale de recouvrement $L_r = 40\phi$ en zone I.
- La distance entre les barres verticales dans une face du poteau $\delta_t < 25 \text{ cm}$.

- Pour la conception de nos poteaux, nous avons 4 types de poteaux à ferrailer :

- Poteaux $(50 \times 50) \text{ cm}^2$: pour le niveaux (R.D.C).
- Poteaux $(45 \times 45) \text{ cm}^2$: pour les niveaux (1^{ier} – 2^{ième} – 3^{ième} Étage).
- Poteaux $(40 \times 40) \text{ cm}^2$: pour les niveaux (4^{ième} – 5^{ième} – 6^{ième} Étage).
- Poteaux $(35 \times 35) \text{ cm}^2$: pour les niveaux (7^{ième} – 8^{ième} Étage).

| | Sollicitation <i>KN ou KN · m</i> | Poteaux (50×50) <i>cm</i> ² | Poteaux (45×45) <i>cm</i> ² | Poteaux (40×40) <i>cm</i> ² | Poteaux (35×35) <i>cm</i> ² |
|--|--------------------------------------|---|---|---|---|
| Combinaison 1,35 <i>G</i> + 1,5 <i>P</i> 1 ^{er} cas | N_{\max} | 2878.98 | 1863.11 | 1158.43 | 481.47 |
| | M_{corr} | 9.984 | 28.19 | 31.181 | 28.89 |
| | T_{\max} | 29.67 | 34.6 | 36.42 | 39.87 |
| Combinaison <i>G</i> + <i>P</i> + 1,2 <i>Ex</i> 2 ^{ème} cas | M_{\max} | 174.001 | 121.931 | 92.184 | 51.845 |
| | N_{corr} | 1388.62 | 879.82 | 590.97 | 285.1 |
| | T_{\max} | 95.62 | 81.66 | 62.32 | 35.69 |

Tableau VI .1 Récapitulation des moments fléchissant et des efforts

VI.2.1.1 Exemple de calcul

- **Armatures longitudinales :**

1^{er} Cas : Combinaison fondamentale (1,35 *G* + 1,5 *P*)

$$\begin{cases} N_{\max} = 2878.98 \text{ KN} \\ M_{\text{corr}} = 9.984 \text{ KN} \cdot \text{m} \end{cases}$$

- Calcul de l'excentricité :

$$e_1 = \frac{M_{\text{corr}}}{N_{\max}} = \frac{9,984}{2878,98} = 0,346 \text{ cm.}$$

$$\frac{h}{12} = \frac{50}{12} = 4,16$$

$e_1 < (h/12)$ → Compression centrée ce qui implique que la section va être calculée à la compression simple, donc le calcul se fait à l'état limite ultime .

- **E.L.U.R :**

$$A'_1 = \frac{N - B \cdot \sigma_{bc}}{\sigma_s} = \frac{2878,98 \times 10^3 - (50 \times 50) \times 14,2 \times 100}{348}$$

$$A'_1 = -1925,34 \text{ cm}^2 \Rightarrow A'_1 = 0$$

- **E.L.U :**

$$L_f = 0,7 h_e = 0,7(357) = 249,9 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{L_f}{i} \text{ avec } i = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{0,5}{\sqrt{12}} = 0,144 \Rightarrow \lambda = \frac{2,499}{0,144} = 17,35$$

$$\lambda = 17,35 < 35 \Rightarrow \alpha = \frac{0,85}{1 + 0,2 \cdot \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2} = 0,810$$

Selon le B.A.E.L 91 [2] :

$$A'_2 \geq \frac{\gamma_s}{f_e} \left(\frac{N}{\alpha} - \frac{B_r \cdot f_{c28}}{0,9 \cdot \gamma_b} \right)$$

$$B_r = (b - 2)(h - 2) = 2304 \text{ cm}^2$$

$$A'_2 \geq \frac{1,15}{400 \times 100} \left(\frac{2878,98 \cdot 10^3}{0,810} - \frac{2304 \times 100 \times 25}{0,9 \times 1,5} \right) \Rightarrow A'_2 \geq -19,94 \text{ cm}^2 \Rightarrow A'_2 = 0$$

$$A_1 = \max(A'_1, A'_2) = 0$$

2^{ème} Cas : Combinaison accidentelle ($G + P + 1,2 E_x$)

$$\begin{cases} M_{\max} = 174,001 \text{ KN} \cdot \text{m} \\ N_{\text{corr}} = 1388,62 \text{ KN} \end{cases}$$

$$e_1 = \frac{M_{\max}}{N_{\text{corr}}} = \frac{174,001 \times 100}{1388,62} = 12,53 \text{ cm} > \frac{h}{12} = 4,16 \text{ cm} \rightarrow$$

$$e_1 > \frac{h}{12} \Rightarrow \text{L'effort normal est appliqué hors du noyau central}$$

\Rightarrow La section sera sollicitée à flexion composé

Remarque :

Dans les pièces comprimées, il apparaît un risque de flambement, ce qui impose de majorer l'excentricité réelle de l'effort normal appliqué \Rightarrow les pièces soumises à un effort normal de compression doivent être justifiées vis-à-vis de l'état limite ultime .

Dans tous les poteaux de notre structure, l'élançement $\lambda < 30$ (voir pré dimensionnement des poteaux) avec :

$$\left(\frac{l_f}{h} : \text{Élançement géométrique}\right) \quad \lambda = 3.46 \frac{l_f}{h} < 30 \Rightarrow \frac{l_f}{h} < 10.11$$

$$\Rightarrow \frac{l_f}{h} \leq \max\left[15,20 \frac{e_1}{h}\right] \quad \text{Dans tous les cas} \Rightarrow \text{le poteau est peut élançé.}$$

Donc, la section peut être justifiée en flexion composée vis-à-vis l'état limite ultime de résistance, à condition de remplacer l'excentricité du 1^{er} ordre e_1 par une excentricité majorée :

Le calcul se fait à l'état limite ultime (E.L.U).

$$A_2 \geq \frac{\gamma_s}{f_e} \left(\frac{N}{\alpha} - \frac{B_r \cdot f_{c28}}{0,9 \cdot \gamma_b} \right)$$

$$A_2 \geq \frac{1,15}{400 \times 100} \left(\frac{1388,62 \cdot 100}{0,81} - \frac{2304 \times 100 \times 25}{0,9 \times 1,5} \right) \Rightarrow A_2 \geq -114,66 \text{ cm}^2 \Rightarrow A_3 = 0$$

- **Armatures minimales :**

- Selon le B.A.E.L 91 [2] :

$$A_{\min} = \max\left[\frac{0,2 \cdot b \cdot h}{100}, \frac{8 \cdot (b+h)}{100}\right] \text{ cm}^2 = 8 \text{ cm}^2$$

- Selon le R.P.A 99 [3] :

$$A_{\min} = 0,8\% b \cdot h = 20 \text{ cm}^2$$

- **Armatures maximales :**

- Selon le B.A.E.L 91 [2] :

$$A_{\max} \leq \frac{5 \cdot b \cdot h}{100} = 125 \text{ cm}^2$$

- Selon le R.P.A 99 [3] : $\begin{cases} A_{\max} = 4\% b \cdot h = 100 \text{ cm}^2 \text{ en zone courante} \\ A_{\max} = 6\% b \cdot h = 150 \text{ cm}^2 \text{ en zone de recouvrement} \end{cases}$

- **Ferraillage adopté :**

$$A_{\text{adoptif}} = \max(A_1 ; A_2 ; A_{\min(2)}) = 20 \text{ cm}^2$$

$$\text{On prend } A = 4T20 + 4T16 = 20,61 \text{ cm}^2$$

- **E.L.S :**

$$N_{\max} = 2878,98 \text{ KN} \quad M_{\text{corr}} = 9,984 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$e_1 = \frac{M_{\text{corr}}}{N_{\max}} = \frac{9,984}{2878,98} = 0,346 \text{ cm} < \frac{h}{12} = 4,16 \text{ cm} \Rightarrow \text{Compression centrée,}$$

Donc le calcul à l'E.L.S n'est pas nécessaire.

- **Vérification de l'effort tranchant :**

$$T_{\max} = 95,62 \text{ KN}$$

$$\tau_u = \frac{T_{\max}}{b \cdot d} = \frac{95,62 \times 10^3}{50 \times 45 \times 100} = 0,424 \text{ MPa.}$$

$$\overline{\tau_{ad}} = \min(0,1 f_{c28}, 4 \text{ MPa}) = 2,5 \text{ MPa}$$

$$\tau_u < \overline{\tau_{ad}} \longrightarrow \text{Condition vérifiée.}$$

- **Armatures transversales :**

- Selon le R.P.A 99 [3] :

$$A_t = \frac{\varphi_a \cdot \delta_t \cdot T_{\max}}{h \cdot f_e}$$

- ♦ **Calcul des espacements :**

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_t \leq \min(10\phi_L, 15 \text{ cm}) \text{ en zone nodale.} \\ \delta'_t \leq 10\phi_L \text{ en zone courante.} \end{array} \right.$$

Avec : ϕ_L : Diamètre minimale des armatures longitudinales du poteau.

Donc on prend : $\delta_t = 10 \text{ cm} \rightarrow \text{en zone nodale}$

$\delta'_t = 15 \text{ cm} \rightarrow \text{en zone courante}$

φ_a : est en fonction de λ :

$$\lambda = 17,35 \leq 30 \Rightarrow \varphi_a = 2,5$$

$$T_{\max} = 95,62 \text{ KN.}$$

$$f_e = 235 \text{ MPa}$$

$$\text{Donc : } A_t = \frac{2,5 \times 15 \times 95,62 \times 10^3}{50 \times 235 \times 100} = 3,05 \text{ cm}^2$$

$$A_{\min} = 0,3\% \cdot b \cdot \delta'_t = 0,3 \times 10^{-2} \times 50 \times 15 = 2,25 \text{ cm}^2$$

On prend : $A_t = 4\phi_{10} = 3,14 \text{ cm}^2 \longrightarrow \text{Soit deux cadres.}$

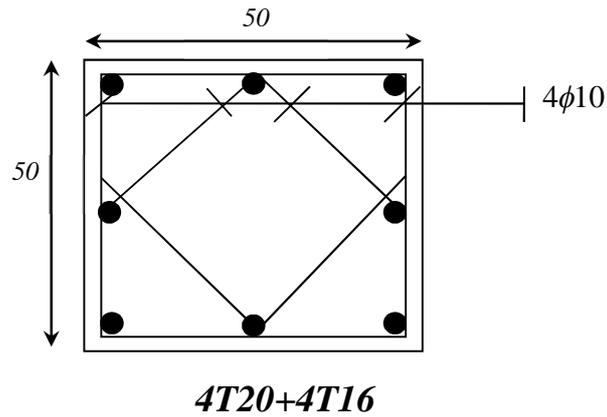


Figure.VI.2 Ferrailage des poteaux

- **Longueur de recouvrement :**

- Selon le R.P.A 99 [3] :

$$L_r = 40\phi \text{ en zone I}$$

$$L_r = 40 \times 1,6 = 64 \text{ cm}$$

- **Détermination de la zone nodale :**

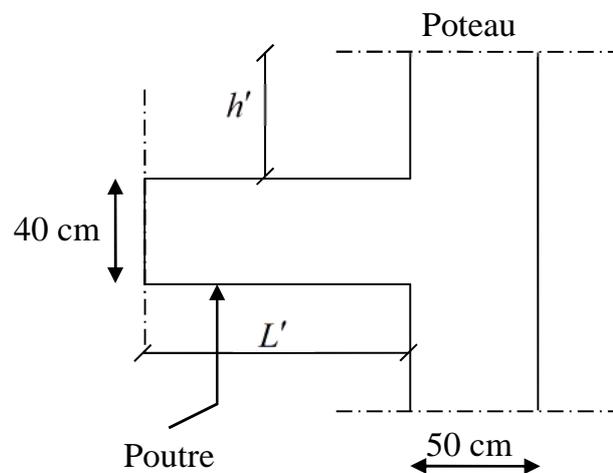


Figure VI.3 Schéma de la zone nodale.

$$\begin{cases} L' = 2 \cdot h \\ h' = \max\left(\frac{h_e}{6}; b; h_i; 60 \text{ cm}\right) \end{cases}$$

Donc

$$\begin{cases} L' = 2 \times 40 = 80 \text{ cm} \\ h' = \max\left(\frac{357}{6}; 50; 50; 60\right) \text{ cm} = 60 \text{ cm}. \end{cases}$$

Vue le nombre important des poteaux à étudier, nous avons présenté un exemple de calcul d'un type de poteau ($50 \times 50 \text{ cm}^2$). Le reste des calculs est présenté dans le (tableau) qui nous indiquera les différentes sections d'armatures longitudinales et transversales sur chaque type de poteau et selon les règlements utilisés B.A.E.L 91 [2] et le R.P.A 99 [3].

| Poteau (cm^2) | A_{calcul} | $A_{\text{adoptée}}$ (cm^2) | Section corresp (cm^2) | A_{trans} (cm^2) | Section corresp (cm^2) | δ_t (cm) | δ'_t (cm) |
|-----------------------------|---------------------|---|---|---|---|-------------------------------|--------------------------------|
| 50×50 | 20 | 4T20 +4T16 | 20,61 | 4φ10 | 3,14 | 10 | 15 |
| 45×45 | 16,2 | 4T20 +4T14 | 18,73 | 4φ10 | 3,14 | 10 | 15 |
| 40×40 | 12,08 | 8T14 | 12,32 | 4φ10 | 3,14 | 10 | 15 |
| 35×35 | 9,8 | 4T14 +4T12 | 10,68 | 4φ10 | 3,14 | 10 | 15 |

Tableau VI.2 : Récapitulation du ferrailage des poteaux

VI.2.2 Ferrailage des poutres

Le calcul des poutres est effectué pour chaque axe en fonction des moments maximums en travée et en appui, les calculs seront donc fait en flexion simple à partir du règlement B.A.E.L 91 [2]; puis, on se rapportera au règlement du R.P.A 99 [3] pour vérifier le ferrailage minimum qui est en fonction de la section du béton.

Le calcul se fait avec les combinaisons suivantes :

- **Combinaison fondamentale :**

$$E.L.U : 1,35G + 1,5P$$

- **Combinaison accidentelle :**

$$\begin{cases} G + P \mp E \\ 0,8G \pm E \end{cases}$$

Pour le ferrailage des poutres on doit respecter les recommandations données par le RPA 99.

- Le pourcentage total minimum des aciers longitudinaux sur toute la longueur de la poutre est de 0,5% en toute section.

- Le pourcentage total maximum des aciers longitudinaux est de :

- 4% en zone courante.
- 6% en zone de recouvrement.

On a deux types de poutres à étudier :

- Poutres principales \longrightarrow P.P $(40 \times 35) \text{ cm}^2$
- Poutres secondaires \longrightarrow P.S $(35 \times 35) \text{ cm}^2$

VI.2.2.1 Étude des poutres principales P.P $(40 \times 35) \text{ cm}^2$

a. Calcul des armatures longitudinales selon le R.P.A 99

$$\begin{cases} A_{\min} = 0,5\% \cdot 40 \times 35 = 7 \text{ cm}^2 \\ A_{\max} = 4\% \cdot 40 \times 35 = 56 \text{ cm}^2 \text{ en zone courante} \\ A_{\max} = 6\% \cdot 40 \times 35 = 84 \text{ cm}^2 \text{ en zone de recouvrement} \end{cases}$$

| | En appui | | En travée | | Effort tranchant T_{\max} (KN) |
|--|-------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------------------|
| | $M_a \text{ max}$ (KN · m) | M_{as} (KN · m) | $M_t \text{ max}$ (KN · m) | M_{ts} (KN · m) | |
| Poutre principale P.P $(35 \times 40) \text{ cm}^2$ | 106,891 | 77,892 | 75,862 | 55,533 | 128,67 |
| Poutre secondaire P.S $(35 \times 35) \text{ cm}^2$ | 78,009 | 56,868 | 69,626 | 50,719 | 111,33 |

Tableau VI.3 les moments maximums (en travée et en appui) et des efforts tranchants en (KN)

b. Calcul des armatures longitudinales selon le B.A.E.L 91

Le calcul ci-dessous est effectué pour la poutre principale du sous sol.

b1. En travée

- E.L.U.R :

$$M_t = 75862 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\mu = \frac{M_{tu}}{\sigma_{bc} \cdot b \cdot d^2}$$

$$\mu = \frac{75862}{14,20 \times 35 \times (36)^2} = 0,11 < \mu = 0,392 \text{ (acier FeE400)}$$

$$\alpha = 0,15 \rightarrow \beta = 0,937$$

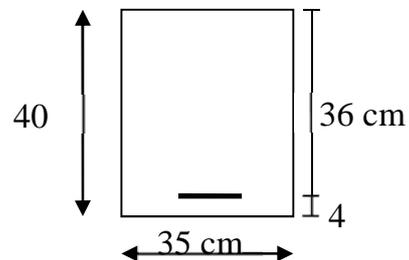


Figure VI.4 Schéma d'une section de calcul

$$A = \frac{M_{tu}}{\sigma_s \cdot d \cdot \beta} = \frac{75862}{348 \times 36 \times 0,937} = 6,46 \text{ cm}^2$$

- **Condition de non fragilité :**

$$A_{\min} = 0,23 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{tj}}{f_e}$$

$$A_{\min} = 0,23 \times 35 \times 36 \times \frac{2,1}{400} = 1,52 \text{ cm}^2$$

- **Choix des armatures :**

$$A = \max(A_{cal}, A_{RPA}, A_{\min})$$

$$A = \max(6,46, 8,75, 1,52)$$

$$A = 3T16 + 2T14 = 9,11 \text{ cm}^2$$

- **Vérification à E.L.S :**

La fissuration est considérée comme peu nuisible, il suffit de vérifier que

$$\sigma_{bc} \leq \bar{\sigma}_{bc}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Section rectangulaire} \\ \text{Flexion simple} \\ \text{Fe400} \end{array} \right\} \Rightarrow \gamma = \frac{M_u}{M_{ser}} = \frac{75862}{55533} = 1,36$$

$$\alpha = 0,15 \leq \frac{\gamma - 1}{2} + \frac{f_{c28}}{100} = 0,43 \longrightarrow \text{Condition vérifiée}$$

Donc, il n'est pas nécessaire de vérifier la contrainte du béton \Rightarrow Les armatures calculées à E.L.U.R conviennent à E.L.S.

b2. En appui :

- **E.L.U.R :**

$$M_{au} = 106891 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\mu = \frac{M_{au}}{\sigma_{bc} \cdot b \cdot d^2} = \frac{106891}{14,20 \times 35 \times (36)^2} = 0,16 < \mu_L = 0,392$$

$$\alpha = 0,21 \rightarrow \beta = 0,91$$

$$A = \frac{M_{au}}{\sigma_s \cdot d \cdot \beta} = \frac{106891}{348 \times 36 \times 0,91} = 9,35 \text{ cm}^2$$

- **Condition de non fragilité :**

$$A_{\min} = 0,23 \times b \times d \times \frac{f_{tj}}{f_e} \Rightarrow A_{\min} = 1,52 \text{ cm}^2$$

- **Choix des armatures :**

$$A = 5T16 = 10,05 \text{ cm}^2$$

- **Vérification à E.L.S :**

La fissuration est considérée comme peu nuisible, il suffit de vérifier que

$$\sigma_{bc} \leq \bar{\sigma}_{bc}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Section rectangulaire} \\ \text{Flexion simple} \\ \text{Fe400} \end{array} \right\} \Rightarrow \gamma = \frac{M_u}{M_{ser}} = \frac{106891}{77892} = 1,37$$

$$\alpha = 0,21 \leq \frac{\gamma - 1}{2} + \frac{f_{c28}}{100} = 0,43 \longrightarrow \text{Condition vérifiée}$$

Donc, il n'est pas nécessaire de vérifier la contrainte du béton \Rightarrow Les armatures calculées à E.L.U.R conviennent à E.L.S.

- **Vérification de l'effort tranchant :**

$$T_{\max} = 128670 \text{ KN}$$

$$\tau_u = \frac{T_{\max}}{b \cdot d} = \frac{128670}{350 \times 360} = 1,02 \text{ MPa.}$$

$$\bar{\tau}_{ad} = \min \left[0,2 \frac{f_{c28}}{\gamma_b}, 4 \text{ MPa} \right] = 3,33 \text{ MPa} \rightarrow \text{(Fissuration peu nuisible)}$$

$$\tau_u \leq \bar{\tau}_{ad} \longrightarrow \text{Condition vérifiée.}$$

Donc, les cadres et les étriers seront perpendiculaires à la ligne moyenne ($\alpha = 98$).

c. Calcul des armatures transversales

1. Diamètre des armatures transversales

$$\phi_t \leq \min \left(\frac{h}{35}, Q_{L_{\min}}, \frac{b}{10} \right) \quad \text{Selon le B.A.E.L 91 [2]}$$

$$\phi_t \leq \min\left(\frac{40}{35}, 1,6, \frac{35}{10}\right) = 1,14 \text{ cm.}$$

On prend $\phi_t = 8 \text{ mm}$.

2. Espacement des armatures transversales

- **En zone nodale**

$$\delta_t \leq \min\left(\frac{h}{4}; 12 \times Q_L\right) \quad \text{Selon le R.P.A 99 [3]}$$

$$\delta_t \leq \min\left(\frac{40}{4}; 12 \times 1,6\right) = 10 \text{ cm.}$$

On prend $\delta_t = 10 \text{ cm}$.

- **En zone courante**

$$\delta_t \leq \frac{h}{2} = \frac{40}{2} = 20 \text{ cm.} \quad \text{Selon le R.P.A 99 [3]}$$

On prend $\delta_t = 15 \text{ cm}$.

3. Section des armatures transversales

$$A_t = 0,003 \cdot \delta_t \cdot b \quad \text{Selon le R.P.A 99 [3]}$$

$$A_t = 0,003 \times 15 \times 35 = 1,575 \text{ cm}^2$$

On prend $A_t = 4\phi 8 = 2,01 \text{ cm}^2$

4. Vérification des espacements

- $\delta_{t_1} \leq \min(0,9 \cdot d, 40 \text{ cm}) \quad \text{Selon le B.A.E.L 83 [1]}$

$$\delta_{t_1} \leq \min(36, 40 \text{ cm}) = 36 \text{ cm}$$

- $\delta_{t_2} \leq \frac{A_t \cdot f_e}{b \cdot \max\left(\frac{\tau_u}{2}; 0,4 \text{ MPa}\right)} \quad \text{Selon le B.A.E.L 83 [1]}$

$$\delta_{t_2} \leq \frac{2,01 \times 235}{35 \times 0,31} = 43,53 \text{ cm}$$

- $\delta_{t_3} \leq \frac{0,9 \cdot A_t \cdot f_e}{b \cdot \gamma_s (\tau_u - 0,3 \cdot f_{ij}^* \cdot k)} \quad \text{Selon le B.A.E.L 83 [1]}$

$$\text{Avec : } \begin{cases} k = 1 \text{ pour la flexion simple} \\ \alpha = 90^\circ \\ f_{ij}^* = \min(f_{ij}; 3,3) \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\delta_{t_3} \leq 17,31 \text{ cm}$$

$$\delta_{t_4} \leq \min(\delta_{t_1}, \delta_{t_2}, \delta_{t_3}) = 17,31 \text{ cm.}$$

$$\delta_t \leq \min(\delta_{t_{RPA}}, \delta_{t_4}) \Rightarrow \delta_t = 15 \text{ cm} \rightarrow \text{Condition vérifiée.}$$

d. Recouvrement des barres longitudinales

Pour une barre en acier à haute adhérence Fe400, nous pouvons prendre

$$L_r = 40\phi$$

$$L_r = 40 \cdot 1,6 = 64 \text{ cm.}$$

d.1 Ancrage des armatures tendues

- **Valeur limite de la contrainte d'adhérence pour l'ancrage des armatures en barres :**

$$\bar{\tau}_s = 0,6 \cdot \psi_s^2 \cdot f_{tj}$$

$\psi_s = 1,5$ barres à H. A courantes.

$$\bar{\tau}_s = 0,6 \times (1,5)^2 \times 2,1 = 2,84 \text{ MPa.}$$

- **Longueur de scellement droit :**

$$L_s = \frac{\phi \cdot f_e}{4 \cdot \bar{\tau}_s} = \frac{1,6 \times 400}{4 \times 2,84} = 49,3 \text{ cm.}$$

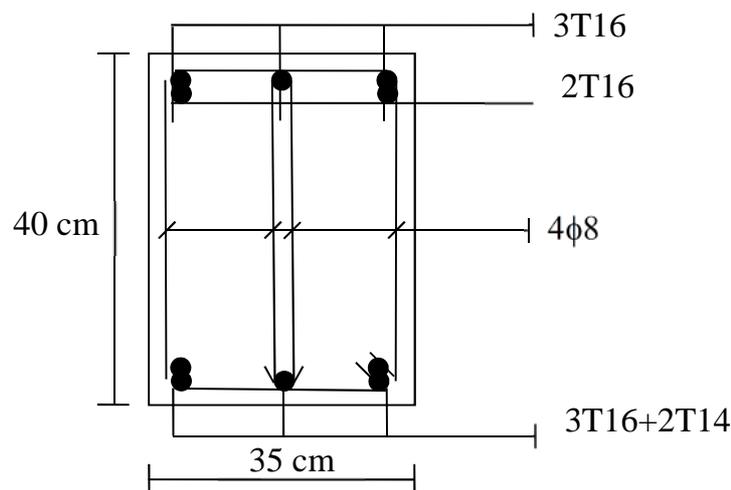


Figure VI.5 Schéma de ferrailage de la poutre principale

| Type | | A_{calcul} (cm) ² | $A_{choisie}$ (cm) ² | $A_{adobtere}$ (cm) ² | Q_t (cm) | δ_t (cm) zone courante | δ_t (cm) zone nodale |
|------------------------|--------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Poutres principales | Travée | 8,75 | 3T16 + 2T14 | 9,11 | φ8 | 15 | 10 |
| | Appui | 9,35 | 5T16 | 10,05 | φ8 | 15 | 10 |

Tableau VI.4 Tableau récapitulatif du ferrailage des poutres principales

VI.2.2.2 Étude des poutres secondaires P.S (30×35) cm²

Le calcul des poutres secondaires est similaire à celui des poutres principales. Pour cela, nous avons regroupé les calculs effectués dans cette partie dans le tableau ci-dessous qui donner les différentes sections d'armatures longitudinales et transversales pour chaque niveau d'étage (Tableau 6.5) :

| Type | | A_{calcul} (cm) ² | $A_{choisie}$ (cm) ² | $A_{adobtere}$ (cm) ² | Q_t (cm) | δ_t (cm) zone courante | δ_t (cm) zone nodale |
|------------------------|--------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Poutres secondaires | Travée | 5,89 | 3T14 + 2T12 | 6,88 | φ8 | 15 | 10 |
| | Appui | 6,65 | 3T14 + 2T12 | 6,88 | φ8 | 15 | 10 |

Tableau VI.5 Tableau récapitulatif du ferrailage des poutres secondaires

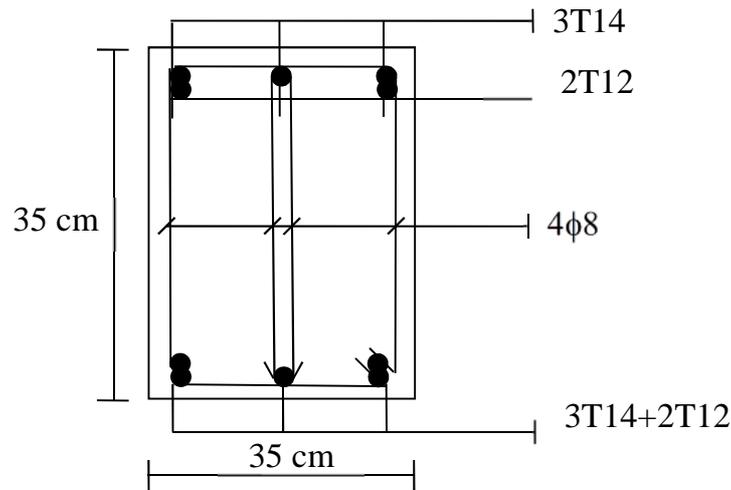


Figure VI.6 Schéma de ferrailage de la poutre secondaire

VI.3 Etude des voiles

VI.3.1 Introduction

Le voile ou le mur en béton armé est un élément de construction vertical 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 quelle que soit leurs destination (d'habitations, de bureaux, scolaires, hospitaliers, industriels,...)

VI.3.2 Le système de contreventement

Les systèmes de contreventement représentent la partie de la structure qui doit reprendre les forces horizontales dues aux vent (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 sismiques 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 dan leurs déplacement .Par conséquent une attention particulière doit être observée pour ce type de structure:

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).

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.

3. principe de calcul

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

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

4. 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^{er} 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^{eme} cas :

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

On calcul 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 .

3^{eme} cas:

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

a. Armatures verticales

Il sont disposées on deux nappes parallèles servant à répondre les contraintes de flexion composée, le R.P.A 99 (version 2003) exige un pourcentage minimal égale 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

b. 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 disposé 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 %

c. Armatures transversales

Les armatures transversales perpendiculaires aux faces du voile sont à prévoir d'une densité de 4 par m² au moins dans le cas ou les armatures verticales ont un diamètre inférieure ou égal à 12mm. 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 inférieure ou égal à 20 mm, et de 8 mm dans le cas contraire.

Pour améliorer le comportement de la structure présentant des insuffisances comme constaté lors de l'analyse modale et après l'étude de plusieurs variantes de disposition des voiles), on a changé les sections des poteaux par des sections rectangulaires qui ont une inertie suivant le sens transversal plus grande que celle dans le sens longitudinal, est ce la pour compenser un petit peu le manque de rigidité dans le sens transversal et on à aboutie à la disposition schématisée dans la Figure suivante :

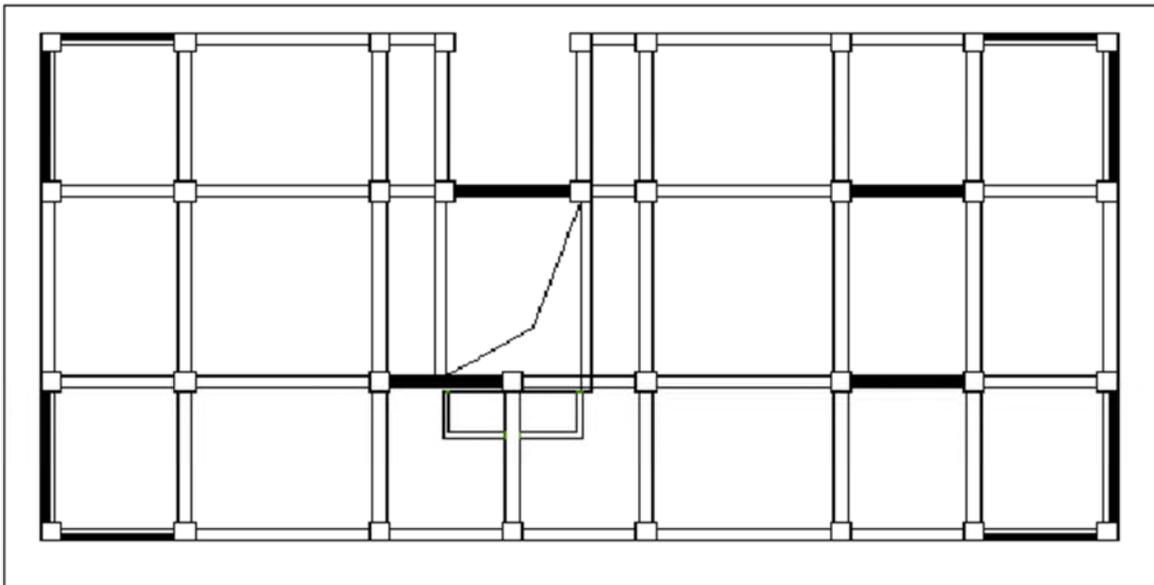


Figure VI.7 La disposition des voiles

VI3.3 ferrailage des voiles

- Exemple de calcul
 - a. Voile intermédiaire

$$A = 0,96 \text{ m}^2$$

$$I = 0,0022 \text{ m}^4$$

$$V = 1,65 \text{ m}$$

$$N = 609,616 \text{ t}$$

$$M = 25,046 \text{ t.m}$$

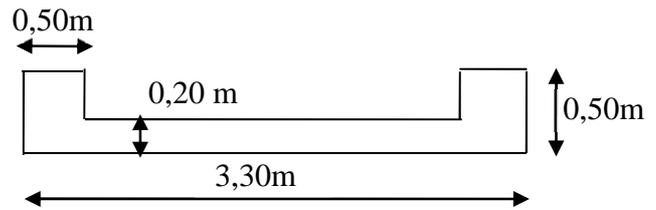


Figure VI.8 Dimensions de voile

1. Détermination des contraintes

$$\sigma_1 = \frac{N}{A} + \frac{M.V}{I}$$

$$\sigma_1 = 194,19 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = \frac{N}{A} - \frac{M.V}{I}$$

$$\sigma_2 = 181,49 \text{ MPa}$$

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)

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 calcul le ferrailage pour une bande de 1 mètre ($L = 1 \text{ m}$)

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

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

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

4. L'espacement

-Selon le BAEL 91, on à :

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

$St \leq \min\{40, 33 \text{ cm}\} \Rightarrow St \leq 33 \text{ cm}$ - Selon le R.P.A 99 (version 2003) on à :

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

$$St \leq \min\{30, 30 \text{ cm}\} \Rightarrow St \leq 30 \text{ cm} \text{ Donc : } St \leq \min\{St_{\text{BAEL}} ; St_{\text{R.P.A 99}}\}$$

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

On adopte un espacement de 20 cm

Le choix de la section des armatures verticales est $5 \text{ T } 12 = 5,65 \text{ cm}^2/\text{ml}$

5. Calcul des armatures horizontales

D'après le R.P.A 99 (version 2003), on adopte le même ferrailage que les armatures verticales soit $5 T 12 = 5,65 \text{ cm}^2/\text{ml}$ avec un espacement de 20 cm

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

b. Disposition des armatures

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 15cm

On a $St=20 \text{ cm} \rightarrow St/2 = 10 \text{ cm} < 15 \text{ cm}$ vérifiée

$L=370 \text{ cm} \rightarrow L/10 = 37 \text{ cm}$

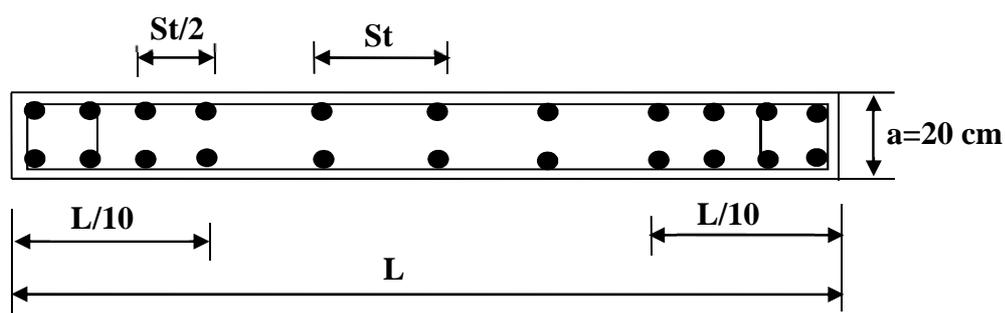


Figure VI.9 Disposition des armatures verticales dans les voiles

2. Armatures horizontales

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

Elles doivent être retournée 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.

3. Armatures transversales

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

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

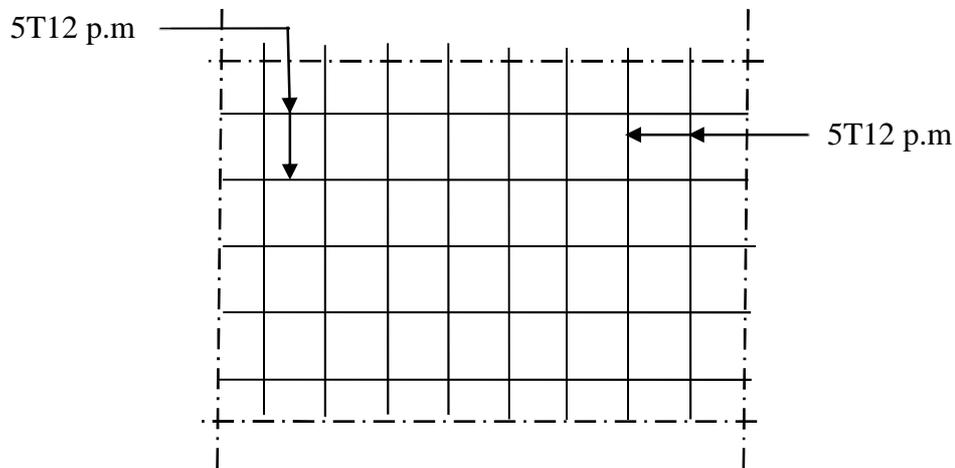
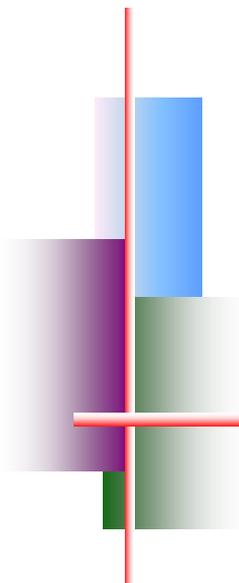


Figure VI.10 disposition du ferrailage du voile



Chapitre VIII



*étude de
l'infrastructure*

VII.1. Calcul des fondations

VII.1.1 Introduction

Les fondations d'une construction sont constituées par les parties de l'ouvrage qui sont en contact avec le sol, auquel elles transmettent les charges de la superstructure, elles constituent donc la partie essentielle de l'ouvrage, la bonne conception et réalisation découle la bonne tenue de l'ensemble.

Il est important donc pour déterminer les dimensions de connaître d'une part le poids total de l'ouvrage entièrement achevée, et d'autre part la force portante du sol.

D'après le rapport du sol notre terrain à une contrainte admissible de 1,50 bar à un ancrage de 1,50 m.

Le béton de propreté prévu pour chaque semelle aura d'une épaisseur de 10 cm.

Le calcul des fondations se fait comme suit :

1- Dimensionnement à l'E.L.S $N_{ser} = G+Q.$

2- Ferrailage à l'E.L.U. $N_{ul} = 1,35 G+ 1,5 Q$

Vu la hauteur de la construction et les charges apportées par la superstructure, ainsi que l'existence des voiles dans cette construction, et la moyenne portance du sol, le dimensionnement des fondations donne des semelles de grandes dimensions qui se chevauchent dans l'un ou dans l'autre sens, donc il est préférable de les relier de manière à former un radier général qui constitue un ensemble rigide qui doit remplir les conditions suivantes:

- Assurer l'encastrement de la structure dans le sol
- Transmettre au sol la totalité des efforts
- Éviter les tassements différentiels.

VII.1.2 Définition

Le radier c'est une surface d'appui continue (dalles, nervures et poutres) débordant l'emprise de l'ouvrage, elle permet une répartition uniforme des charges tout en résistant aux contraintes du sol.

VII.2 Calcul du radier

Les radiers sont des semelles de très grandes dimensions supportant toute la construction.

Un radier est calculé comme un plancher renversé mais fortement sollicité (Réaction de sol \cong poids total de la structure).

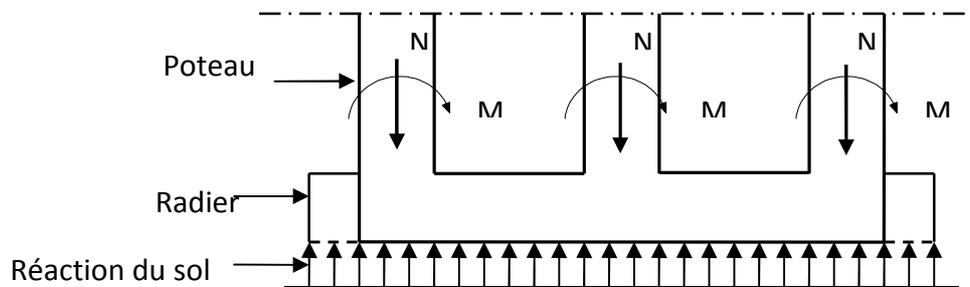


Figure VII.1 Schéma du Radier

1. Pré dimensionnement du radier

Poids supporté par le radier.

Superstructure G_T : la charge permanente totale.

Q_T : la charge d'exploitation totale.

$$G_T = \sum_{i=1}^9 G_i = 33841,44 \text{ KN.}$$

$$Q_t = \sum_{i=1}^9 Q_i = 4584,41 \text{ KN}$$

2. Combinaison d'actions

$$\text{E.L.U: } N_U = 1,35G_T + 1,5Q_T = 52562,55 \text{ KN}$$

$$\text{E.L.S: } N_{\text{ser}} = G_T + Q_T = 38425,85 \text{ KN}$$

3. Surface du radier

La surface du radier est donnée par la formule suivante : $\frac{N}{S} \leq \sigma_{\text{sol}}$

$$N = N_{\text{ser}} = 38425,85 \text{ KN.}$$

$$S \geq N/\sigma_{\text{sol}} = 256,17 \text{ m}^2$$

On prend un débord de 60 cm de chaque coté dans les deux directions ce qui nous donne une surface d'assise $S_{\text{radier}} = 342,6 \text{ m}^2$.

4. Calcul de l'épaisseur du radier

L'épaisseur nécessaire du radier sera déterminer à partir des conditions suivantes :

1^{ère} condition :

$$\tau_u = V_u / b.d \leq 0,06 f_{c28}$$

V_u : Effort tranchant ultime : $V_u = Q.L/2$

L : Longueur maximal d'une bande 1m ; $L = 5,05 \text{ m}$

$$Q_u = Nu / S = 52562,55/342,6 = 153,42 \text{ KN/m}^2.$$

Par ml: $Q_u = 153,42 \cdot 1 \text{ ml} = 153,42 \text{ KN/ml}$.

$$V_u = 153,42 \times 5,05 / 2 = 387,38 \text{ KN}$$

$$\frac{V_u}{b.d} \leq 0,06 f_{c28} \Rightarrow d \geq \frac{V_u}{0,06 f_{c28} \cdot b}$$

$$d \geq \frac{387,38 \times 10^{-3}}{0,06 \times 25 \times 1} = 0,25 \text{ m}$$

2^{ème} condition :

$$\frac{L}{25} \leq d \leq \frac{L}{20} \quad .L = 5,05 \text{ m}$$

$$0,20 \leq d \leq 0,25 \text{ m}$$

$h = d + c = 25 + 5 = 30 \text{ cm}$; on prend : $h = 35 \text{ cm}$; $d = 30 \text{ cm}$

5. Détermination de la hauteur de la poutre de libage

Pour pouvoir assimilé le calcul du radier à un plancher infiniment rigide, la hauteur de la poutre de libage doit vérifier la condition suivante :

$$L/9 \leq h \leq L/6 \quad \Leftrightarrow \quad 56 \text{ cm} \leq h \leq 84 \text{ cm}$$

On prend : $d = 72 \text{ cm}$; $h = 80 \text{ cm}$; $b = 45 \text{ cm}$.

6. Vérification des contraintes

En tenant compte du poids propre du radier et de la poutre :

$$G_{\text{radier}} = \gamma_b [h_r \times S_r + h_p \times b_p \times \sum L_i]$$

$$G_{\text{radier}} = 2,5 [(0,35 \times 342,6) + (0,80 \times 0,45 \times 218,22)] = 4961,73 \text{ KN}$$

$$\text{E.L.S : } N_{\text{ser}} = 38425,85 + 4961,73 = 43387,85 \text{ KN.}$$

$$\frac{N_{\text{ser}}}{S_{\text{radier}}} = \frac{43387,85}{342,6} = 126,64 \text{ KN/m}^2 < 150 \text{ KN/m}^2 \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

Inerties du radier :

$$I_{XG} = 20227,20 \text{ m}^4$$

$$I_{YG} = 5318,43 \text{ m}^4$$

La longueur élastique

La longueur élastique de la poutre est donnée par : $L_e = \sqrt[4]{\frac{4EI}{K \cdot b}}$

Avec: I : Inertie de la poutre : $I = bh^3/12 = 0,45 \times (0,80)^3 / 12 = 0,0192 \text{ cm}^4$.

E : module d'élasticité du béton, $E = 32164200 \text{ KN/m}^2$.

b : largeur de la poutre $b = 0,45 \text{ m}$.

K : coefficient du raideur de sol $k = 5000 \text{ KN/m}^3$.

$$L_e = \sqrt[4]{\frac{4 \times 3216420 \times 0,0192}{500 \times 0,45}} = 5,756 \text{ m}$$

$$L_{\max} = 4,60 \text{ m} < \frac{\pi}{2} \cdot L_e = 9,037 \text{ m} \dots \dots \dots \text{ condition vérifiée.}$$

L_{\max} : la longueur maximale entre nus des poteaux.

7. Evaluation des charges pour le calcul du radier**Poids unitaire du radier :**

$$\sigma_{\text{rad}} = \gamma_b \times h = 2,5 \times 0,35 = 0,875 \text{ KN/m}^2$$

$$Q = \sigma_{\text{max}} - \sigma_{\text{rad}} = 161,08 - 0,875 = 160,20 \text{ KN/m}^2$$

Donc la charge en « m^2 » à prendre en compte dans le calcul du ferrailage du radier est :

$$Q = 160,20 \text{ KN/m}^2$$

VII.3 Ferrailage du radier**VII.3.1 Ferrailage des dalles**

Soit une dalle reposant sur 4 cotés de dimensions entre nus des appuis

L_x et L_y avec $L_x \leq L_y$.

Pour le ferrailage des dalles on a deux cas :

1 ère cas :

Si : $\alpha = L_x / L_y \geq 0,4$ La dalle travaille suivant les deux directions.

Les moments sont données par :

$$M_{ox} = \mu_x \cdot q \cdot L_x^2 ; M_{oy} = \mu_y \cdot M_{ox}$$

Moment en travée :

$$M_t = 0,85M_0 \dots \dots \dots \text{panneau de rive.}$$

$$M_t = 0,75M_0 \dots \dots \dots \text{panneau intermédiaire.}$$

Moment sur appuis :

$$M_a = 0,35M_0 \dots \dots \dots \text{appuis de rive.}$$

$$M_a = 0,5M_0 \dots \dots \dots \text{ appuis intermédiaire.}$$

2^{ème} cas :

Si: $\alpha = l_x / L_y < 0,4$ la dalle se calcule comme une poutre continue dans les sens de la petite portée.

Pour notre cas, on prend le panneau le plus défavorable (le plus grand).

VII.3.1.1 Exemple de calcul

$$\alpha = l_x / L_y = 4,29 / 4,60 = 0,93 > 0,4$$

La dalle porte dans les deux sens.

$$\rho = 0,93 \Rightarrow \mu_x = 0,0428 ; \mu_y = 0,841.$$

$$M_{0x} = \mu_x \cdot Q \cdot L_x^2$$

$$M_{0x} = 0,0428 \times 160,20 \times (4,29)^2 = 126,19 \text{ KN.m}$$

$$M_{0y} = \mu_y \cdot M_{0x}$$

$$M_{0y} = 0,841 \times 126,19 = 106,12 \text{ KN.m}$$

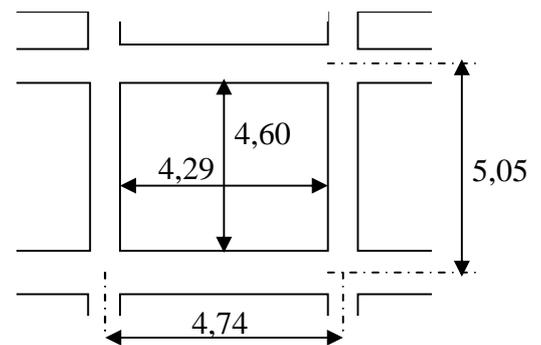


Figure VII.2 schéma du radier

En travée :**Sens x :**

$$M_{tx} = 107,26 \text{ KN.m}$$

$$\mu = 0,083 < \mu_l = 0,392 \quad A' = 0$$

$$\alpha = 0,108. \quad Z = 0,956 \text{ m} \quad A = 10,74 \text{ cm}^2$$

On adopte 7T14 ... A = 10,78 cm²/ml, S_t = 14,2 cm

Sens y :

$$M_{ty} = 89,35 \text{ KN.m}$$

$$\mu = 0,069 < \mu_l = 0,392 \quad A' = 0$$

$$\alpha = 0,089. \quad Z = 0,964 \text{ cm} \quad A = 8,87 \text{ cm}^2$$

On adopte 8T12 ... A = 9,05 cm²/ml, S_t = 12,5 cm

-En appuis :

Sens x:

$$M_{ax} = 63,09 \text{ KN.m}$$

$$\mu = 0,049 < \mu_l = 0,392 \quad A' = 0$$

$$\alpha = 0,062. \quad Z = 0,975 \text{ cm} \quad A = 6,19 \text{ cm}^2$$

$$\text{On adopte } 6\text{T}12 \dots A = 6,79 \text{ cm}^2/\text{ml}, \quad S_t = 16,6 \text{ cm}$$

Sens y:

$$M_{ay} = 52,56 \text{ KN.m}$$

$$\mu = 0,041 < \mu_l = 0,392 \quad A' = 0$$

$$\alpha = 0,052. \quad Z = 0,979 \text{ cm} \quad A = 5,14 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

$$\text{On adopte } 5\text{T}12 \dots A = 5,65 \text{ cm}^2/\text{ml}, \quad S_t = 20 \text{ cm}$$

On adopte le même ferrailage pour tous les panneaux du radier.

VII.4. Ferrailage des poutres de libages

Le rapport $\alpha = L_x/L_y > 0,4$ pour tous les panneaux constituant le radier, donc les charges transmises par chaque panneau se subdivise en deux charges trapézoïdales et deux charges triangulaires pour le calcul du ferrailage on prend le cas le plus défavorable dans chaque sens et on considère des travées isostatiques.

a. Sens longitudinal (y)

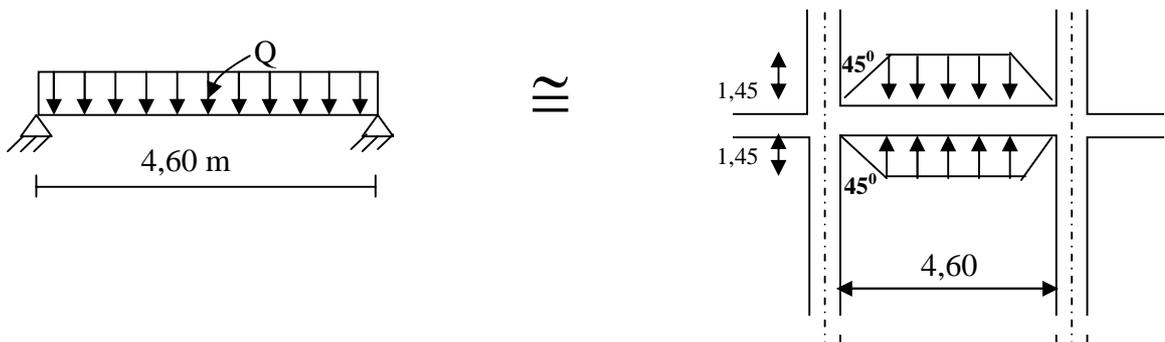


Figure VII.3 Répartition des charges sur les poutres

Les lignes de rupture

Calcul de Q':

C'est la charge uniforme équivalente pour le calcul des moments.

$$Q' = \frac{Q}{2} \left[\left(1 - \frac{Lx_1^2}{3.Ly_1^2} \right) . Lx_1 + \left(1 - \frac{Lx_2^2}{3.Ly_1^2} \right) . Lx_2 \right]$$

Avec : $Lx_1 = 4,29m$

$Ly_1 = 4,60m$

$Lx_2 = 4,29m$

$Q = 160,20 \text{ KN/m}^2$

Donc :

$$Q' = \frac{160,20}{2} \left[\left(1 - \frac{4,29^2}{3 \times 4,60^2} \right) . 4,29 + \left(1 - \frac{4,29^2}{3 \times 4,60^2} \right) . 4,29 \right] = 444,98 \text{ KN/m}$$

$$M_0 = \frac{Q'.L^2}{8} = \frac{444,98 \times 5,05^2}{8} = 1418,54 \text{ KN.m}$$

a.1 Calcul du ferrailage

En travée :

$M_t = 0,80M_0 = 1134,83 \text{ KN.m}$, $b = 45 \text{ cm}$, $h = 80 \text{ cm}$, $d = 0,9.h = 72 \text{ cm}$

$$\mu = \frac{M_t}{b.d^2.\sigma_{bc}} = \frac{1134,83.10^3}{45.(72)^2.14,2} = 0,342 < \mu_1 = 0,392 \rightarrow A' \text{ n'existe pas}$$

$$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 0,548$$

$$\beta = 1 - 0,4\alpha = 0,78.$$

$$A_t = \frac{M_t}{b.d.\sigma_s} = \frac{1134,83.10^3}{0,78.72.348} = 58,02 \text{ cm}^2.$$

on adopte :

$$\begin{cases} 1^{\text{ere}} \text{ lit } 4T25 \\ 2^{\text{eme}} \text{ lit } 4T25 ; A = 58,9 \text{ lcm}^2 \\ 3^{\text{eme}} \text{ lit } 4T25 \end{cases}$$

En appuis :

Appuis intermédiaires:

$$M_a = 0,5M_0 = 0,5 \times 1418,54 = 709,27 \text{ KN.m}$$

$$\mu = \frac{M_a}{b \cdot d^2 \cdot \sigma_{bc}} = \frac{709,27 \cdot 10^3}{45 \cdot (72)^2 \cdot 14,2} = 0,214 < \mu = 0,392 \rightarrow A' \text{ n'existe pas}$$

$$\alpha = 1,25 \left(1 - \sqrt{1 - 2\mu} \right) = 0,30$$

$$\beta = 1 - 0,4\alpha = 0,88.$$

$$A_a = \frac{M_a}{b \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{709,27 \cdot 10^3}{0,88 \cdot 72 \cdot 348} = 32,16 \text{ cm}^2$$

On adopte : (4T25) Fil+ (4T20) chap. ; $A = 32,21 \text{ cm}^2$.

Appuis de rive:

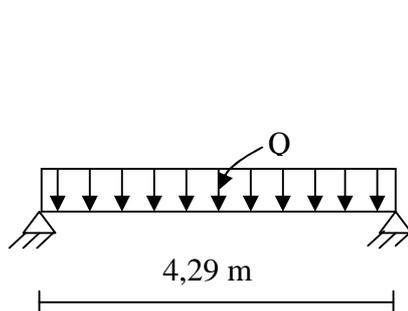
$$M_a = 0,2 \cdot M_0 = 0,2 \cdot 1418,54 = 283,708 \text{ KN.m}$$

$$\mu = 0,085 < \mu_l = 0,392 \Rightarrow (A' = 0); \alpha = 0,11; \beta = 0,95; A_s = 11,87 \text{ cm}^2$$

On adopte : (4T16) Fil+ (2T16) chap. ; $A = 12,06 \text{ cm}^2$.

b. Sens transversal(x)

$$L_{\max} = 4,29 \text{ m.}$$



|||

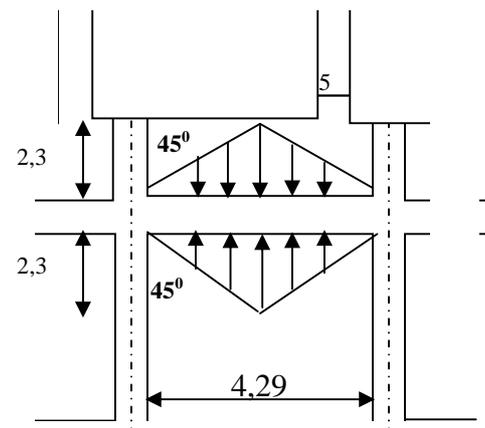


Figure VII.4 Répartition des charges sur les poutres

Calcul de Q' :

C'est la charge uniforme équivalente pour le calcul des moments.

$$Q' = \frac{2}{3} \cdot Q \cdot Lx_1$$

Tel que : $Q = 160,20 \text{ KN/m}^2$

$$Lx_1 = 4,29 \text{ m}$$

$$Q' = \frac{2}{3} \times 160,20 \times 4,29 = 458,17 \text{ KN/m}$$

$$M_0 = QL^2 / 8 = 1054,02 \text{ KN.m}$$

b.1 Calcul du ferrailage

En travée :

$$M_t = 0,80M_o = 843,21 \text{ KN.m.}$$

$$\mu = \frac{M_t}{b.d^2.\sigma_{bc}} = 0,254 < \mu_1 = 0,392 \rightarrow A'n' \text{ existe. pas}$$

$$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 0,37$$

$$\beta = 1 - 0,4\alpha = 0,85.$$

$$A_t = \frac{M_t}{\beta.d.\sigma_s} = 39,57 \text{ cm}^2.$$

$$\text{on adopte: } \begin{cases} 1^{\text{ere}} \text{ lit } 5\text{T}20 \\ 2^{\text{eme}} \text{ lit } 4\text{T}20 ; A = 40,84 \text{ cm}^2 \\ 3^{\text{eme}} \text{ lit } 4\text{T}20 \end{cases}$$

En appuis :

Appuis intermédiaires:

$$M_a = 0,5M_o = 0,5 \times 1054,02 = 527,01 \text{ KN.m}$$

$$\mu = \frac{M_a}{b.d^2.\sigma_{bc}} = 0,15 < \mu = 0,392 \rightarrow A'n' \text{ existe. pas}$$

$$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 0,21$$

$$\beta = 1 - 0,4\alpha = 0,91.$$

$$A_a = 23,04 \text{ cm}^2$$

On adopte : (4T20) Fil+ (4T20) chap. ; A = 25,13 cm²

Appuis de rive:

$$M_a = 0,2.M_o = 0,2.1054.02 = 210,80 \text{ KN.m}$$

$$\mu = 0,063 < \mu_1 = 0,392 \Rightarrow (A' = 0); \alpha = 0,081; \beta = 0,96 ; A_s = 8,70 \text{ cm}^2$$

On adopte : (4T16) Fil+ (2T16) chap. ; A = 12,06 cm².

c. Armature de peau

Selon le BAEL 91 la hauteur de l'âme de la poutre : $h_a \geq 2(80 - 0,1 fe) = 80 \text{ cm}$
 Dans notre cas $h_a = 80 \text{ cm}$ (vérifiée), donc notre poutre est de grande hauteur, dans ce cas il devient nécessaire d'ajouter des armatures supplémentaires sur les parois de la poutre (armatures de peau). En effet, les armatures déterminées par le calcul et placées à la partie inférieure ou supérieure de la poutre n'empêchent pas la fissuration que dans leur voisinage et les fissures risquent d'apparaître

dans la zone de béton tendue. Ces armatures, qui doivent être placées le long de la paroi de chaque côté de la nervure, elle sont obligatoire lorsque la fissuration est préjudiciable ou très préjudiciable, mais il semble très recommandable d'en prévoir également lorsque la fissuration peu préjudiciable ; leur section est d'au moins 3 cm^2 par mètre de longueur de paroi ; pour ces armatures, les barres à haute adhérence sont plus efficaces que les ronds lisses.

Donc pour une poutre de section $(h \times b_0) = (0,80 \times 0,45) \text{ m}^2$,

on a : - $A_{sp} = 3 \times 2 (b_0 + h) [\text{cm}^2]$

$$- A_{sp} = 3 \times 2 (0,45 + 0,80) = 7,5 \text{ cm}^2$$

On adopte 4T 16 Fil ; $A = 8,04 \text{ cm}^2$.

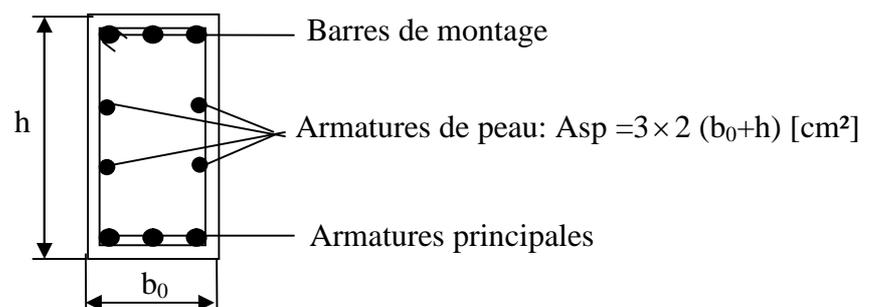


Figure VII.5 Répartition armatures dans les poutres

c.1 Contrainte de cisaillement

$$T_{\max} = 287,60 \text{ KN}$$

$$\tau_u = \frac{T_{\max}}{b \cdot d} = \frac{287,60}{0,45 \times 0,72 \times 100} = 0,89 \text{ MPa.}$$

$$\bar{\tau}_u = \min(0,10f_{c28}; 4 \text{ MPa}) = 2,50 \text{ MPa.}$$

$$\tau_u = 0,89 \text{ MPa} < \bar{\tau}_u = 2,50 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

c.2 Armatures transversales

Diamètre: $\varphi_t \leq \min(h/35; \varphi_1; b/10) = \min(22,86; 12; 50) = 12 \text{ mm}$
on prend $\varphi_t = 10 \text{ mm}$

Espacement :

$$S_t = \min\left(\frac{h}{4}, 12\phi_1\right) = \min(20, 14, 4) = 14,4 \text{ cm}$$

on prend $S_t = 15 \text{ cm}$.

$$S_t \leq \frac{0,8 \cdot A_t \cdot f_e}{b(\tau_u - 0,3f_{c28})} \Rightarrow f_e \geq \frac{b(\tau_u - 0,3f_{c28})S_t}{0,8A_t}$$

$$f_e \geq \frac{45 \cdot (0,89 - 0,3 \times 2,1) 15}{0,8 \times 3,14} = 69,86 \text{ MPa.}$$

Donc on utilise des armatures, Fe325, soit 4T10, $A = 3,14 \text{ cm}^2$.

$$\frac{A_t \cdot f_e}{b_0 \cdot S_t} \geq \max(\tau_u/2 ; 0,4 \text{ MPa}) = \max(0,44 ; 0,4 \text{ MPa}) = 0,44 \text{ MPa}$$

$$\frac{3,14 \times 325}{45 \cdot 15} = 1,51 > 0,44 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{c condition vérifiée.}$$

d. calcul de débord :

Le débord est considéré comme une console encastrée, d'une longueur $d = 0,6 \text{ m}$ et d'épaisseur $h = 35 \text{ cm}$

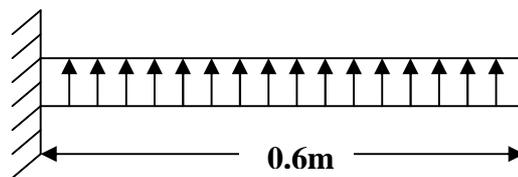


Figure VII.6 schéma statique de débord

- Sollicitation maximale :**

$$M_u = \frac{q_u \cdot L^2}{2} \Rightarrow q_u = \frac{N}{S} \cdot 1 \Rightarrow M_u = \frac{52562,55}{342,6} \cdot (0,6)^2 \cdot 1 = 27,61 \text{ KN/m}$$

$$\Rightarrow M_u = 27,61 \text{ KN.m}$$

$$M_{ser} = \frac{q_{ser} \cdot L^2}{2} \Rightarrow M_{ser} = \frac{38425,85}{342,6} \cdot (0,6)^2 \cdot 1 = 20,18 \text{ KN/m} \Rightarrow M_{ser} = 20,18 \text{ KN.m}$$

- Calcul de ferrailage :**

$$\mu_u = 0,034 < \mu_{lim} = 0,392$$

$$\alpha = 0,08 ; \quad \beta = 0,96$$

$$A_s = 2,75 \text{ cm}^2$$

- **Armatures de répartitions A_r :**

$$A_r = \frac{A_s}{4} \Rightarrow A_r = \frac{2,75}{4} \Rightarrow A_r = 0,68cm^2$$

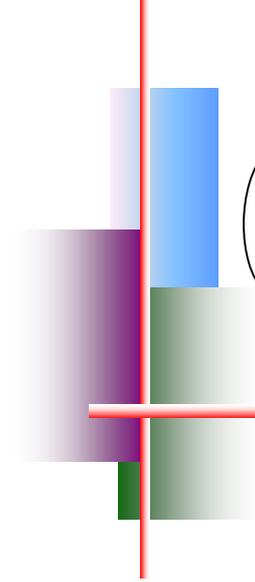
- **Section minimale :**

$$A_{\min} = 0,23.b.d.\frac{f_{t28}}{f_e} \Rightarrow A_{\min} = 2,28cm^2$$

- **Choix d'armature :**

Le ferrailage sera calcul pour une bonde de 1m.

On prend : **4T10** $\Rightarrow A_s = 3,14cm^2$ Pour les armatures longitudinales et de répartitions.



Chapitre VIII



Etude economique

VIII.1 Généralités :

1. Les principes de gestion de projet :

1.1. Qu'est-ce qu'un projet ? :

Le projet est un effort temporaire pour trouver un produit ou un service unique. Le mot temporaire explique que chaque projet a un début et une fin. Le même mot unique explique qu'un seul produit ou service est distinct de tous les autres produits ou services.

Mr Herson (1992) a défini le projet comme : une série d'activités ou de tâches qui ont des objectifs spécifiques et qui doivent être réalisées avec des normes connues .il a un début et une fin définie ; dispose d'un financement spécifique et en utilisant différentes ressources matériels et humaines.

1.2. Les caractéristiques du projet :

Les caractéristiques de projet peuvent être résumé comme suit :

- Son objectif peut être mesuré
- temps spécifique
- Des ressources spécifiques
- Tâches prises en charge sur l'autre
- Le projet toujours dans le cas de changement (dynamique.)

2. Gestion de projet :

La gestion de projet est un processus composé d'une variété de fonctions telles que suit :

- planification
- organisation
- surveillance
- contrôle

ces fonctions necessitent chacun les éléments suivants :

- temps
- coût
- qualité et la Performance

3. Les principales étapes du projet :

Tous les projets sont divisés en tâches qui peuvent être mesurés et planifiées et comprennent la communication entre les membres de l'équipe et également suivre l'avancement des travaux.

- Tous les projets se composent de trois étapes principales :
 - planification
 - Suivre et gérer les progrès
 - Résiliation du projet
 - Finalisation

3.1. Planification :

La meilleure façon de plan est de tenir un stylo et du papier pour déterminer ce qui suit :

- Objectifs du projet
- Bénéficiaires de projet, leurs prévisions, le niveau d'influence,
- les tâches nécessaires
- les ressources disponibles
- Délais fixés -budget- ressources

3.2. Priorités d'un projet :

Le triangle de projet (O-D-C) :

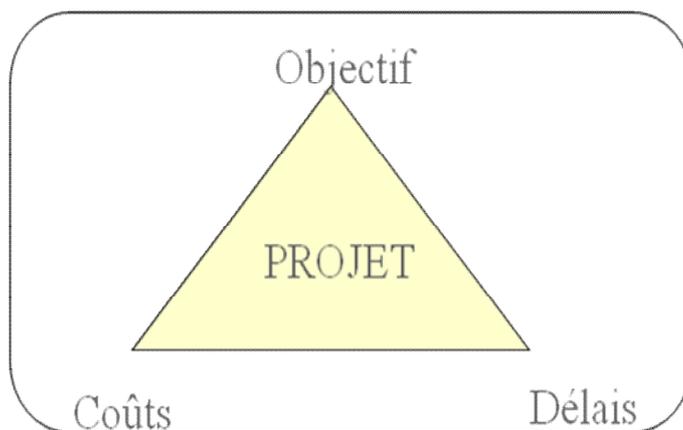


Fig VIII.1 : facteur principale d'un projet

Un projet comprend un objectif défini devant être livré dans un délai et à un coût convenu. Ces trois facteurs sont principales. Chaque changement déséquilibre le projet.

4 Le cycle de vie du projet :

Le projet peut être divisé en quatre étapes :

➤ *la faisabilité* :

Elle contient des études stratégiques de faisabilité, la conception et les approbations.

➤ *la Conception et planification :*

On parle dans cette étape sur la conception de base et de calculer la totalité des coûts et le calendrier du projet et la rédaction des actes et conditions des contrats et des plans détaillés

➤ *la production :*

Il se compose de fabrication et d'approvisionnement, les travaux, les contrôles.

➤ *finalisation :*

La fin de la réalisation, de travaux, des contrôle...
Les étapes sont présentées dans la figure ci-dessous.

5 Les éléments de gestion de projet :

La gestion de projet se compose des éléments suivants : planification, budget, Ressources., Suivre les progrès. Rapports

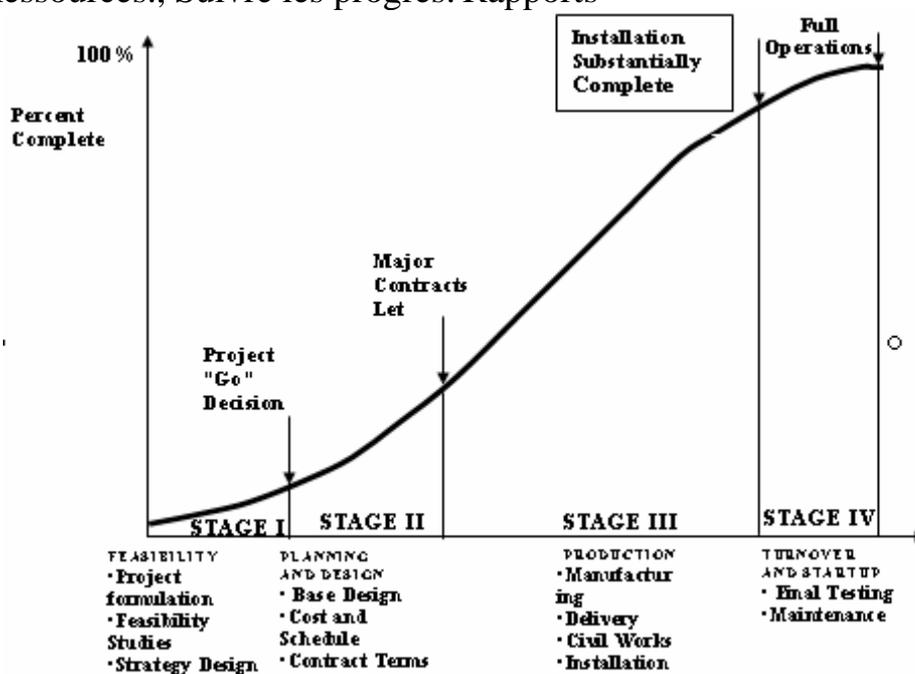


Fig VIII.2 : Cycle de vie du projet

5.1. Méthodes de planification (Scheduling):

Il existe de nombreux types de programmation horaire, y compris :
- Liste d'achats

- Diagramme de Gantt
- Chemin Critique
- PERT...

5.2. Diagramme de Gantt :

Henry Gantt a développé la méthode du schéma des barres. Qui est l'une des meilleures méthodes connus actuellement. Elle est simple et claire, facile d'utiliser et à comprendre aussi elle représente les tâches du projet dans les temps .

5.3. Méthode du chemin critique (CPM) :

Méthode du chemin critique identifie une série d'événements dans le projet qui contrôle le temps du projet ,cette méthode calcule le temps minimum

Les avantages de la méthode du CPM sont :

- Peut représenter plusieurs activités. Présenter la relation entre les activités conjointes.
- Très utile pour prédire et utilisé pour contrôler les activités
- Détermine les éléments critiques du projet, et déterminer les priorités.
- Aide à déterminer les ressources nécessaires pour le projet.

VIII.2 Les relations entre les tâches (Task Relationship):

Il ya quatre types de relations logiques représente les liaisons entre les tâches :

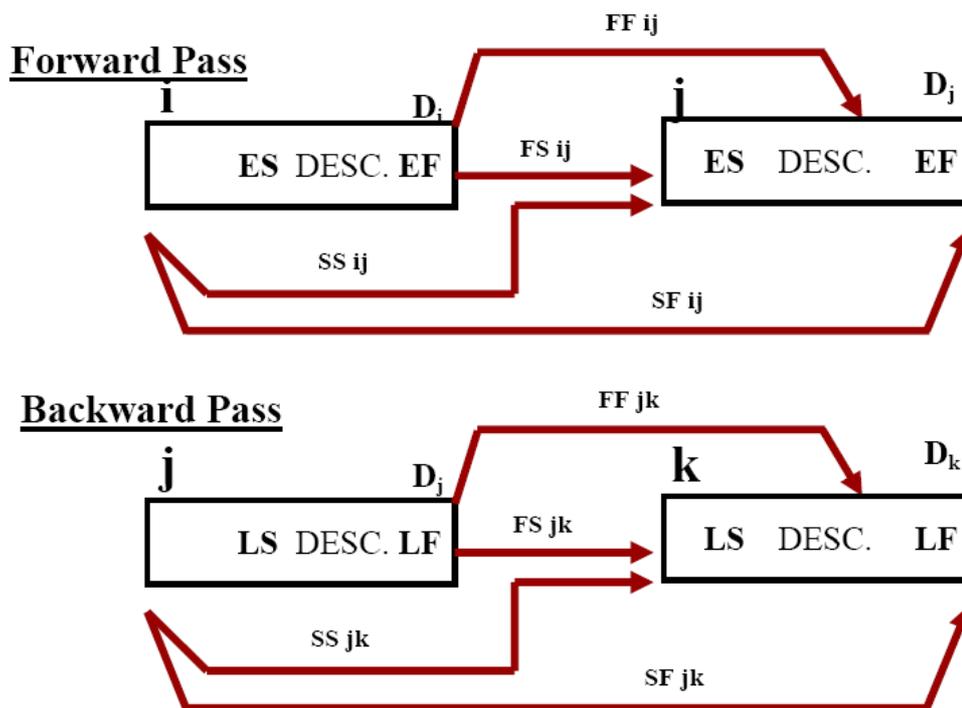
1. Finish to Start(FS) : Lancer tâche suivante après la fin de la tâche précédente directement.

2. Start to Start(SS) : Tâche suivante commence avec le début de la tâche précédente directement.

3. Finish to Finish(FF) : tâche suivante se termine avec la fin de la tâche précédente directement.

4. Start to Finish (SF) : la tâche précédente commence avec la fin de la tâche suivante directement.

Lead/Lag Relationships



Relation entre les taches

| | | |
|----|-------|----|
| ES | D | EF |
| SL | TACHE | SL |
| LF | D | LS |

$E.F. = E.S. + D.$

$L.F. = L.S + D.$

1. Work Breakdown Structure (WBS) :

La Structure de Base de Travail donne une vision sur la structure du projet .aussi s'assurer que toutes les tâches sont identifiées. Le WBS peut prendre une variété de formes qui servent une variété de buts.

VIII.3 Introduction :

Dans ce travail on va faire la planification d'un projet de construction d'un bâtiment

VIII.4 Définition du besoin :

À Tlemcen il ya une demande croissante pour le logement et pour y répondre en tant que des promoteurs immobiliers nous avons décidé de faire la promotion des logements

Donc on va réaliser un bâtiment composé de

- Un rez de chaussée
- 08étages.
- Une terrasse inaccessible.

VIII.5 Étude de faisabilité :

Pour savoir si notre projet est réalisable ou non on doit faire une analyse de plusieurs critères afin de prendre la décision de lancer de projet ou non.

5.1. Critères du marché :

L'augmentation de la population induit une croissance de la demande d'accès au logement. Et la situation économique est favorable. Et ici à Tlemcen il ya une demande importante qui n'est pas satisfaite.

Donc notre projet n'aura aucun souci pour trouver une clientèle et d'être rentable.

5.2. Critères technique :

En Algérie le type de bâtiment qu'on réalise le plus souvent c'est en béton armé avec plancher corps creux, système poteau poutre. Qui demande moins de maintenance pendant ça durée de vie. Donc ce qui est intéressant et plus rentable. La hauteur du bâtiment R+8 c'est aussi ce qu'on réalise le plus souvent. Et on n'aura aucun problème de trouver une entreprise qualifié pour réaliser notre projet.

5.3. Critères financière :

Pour financer notre projet, on a pensé à plusieurs alternatives le crédit bancaires, auto financement et la vente sur plan

Mais on a penché pour la vente sur plan qui est la plus intéressante puisque elle assure d'avoir des clients et comme ceci on peut financer le projet.

On aura trois types de payement par les clients :

- Ce qui va faire un crédit bancaire pour acheter le logement

- un paiement unique
- par tranche probablement quatre tranche

On exigera des futurs acheteurs un premier versement pour s'engager et faire une promesse de vente.

5.4. Critères du lieu :

Notre projet est situé en plein centre ville de Tlemcen donc tous les réseaux électricité, eau, gaz et assainissement ...etc. Sont disponible et à proximité ce qui ne va pas nous induire de coût supplémentaire .et D'après les caractéristiques du sol (une contrainte moyenne admissible =1,5 bars), sur le quel est implanté notre ouvrage et la proximité du bon sol par rapport à la surface.

Pour les futurs résidants tous les services sont à proximité c.à.d. les écoles pour leurs enfants, le transport pour se déplacer au travail ou autre chose, les services de santé, les zones commerciales...etc.

VIII.6 Conclusion :

Notre projet est tout à fait faisable dans tous ses aspects. Mais ceci n'est qui décision initiale, la décision finale n'est prise qu'après avoir l'étude technique détaillé.

VIII.7 Types de contrats :

Pour savoir quels types de contrats qui nous convient en signant avec les différents intervenants dans notre projet on va utiliser l'outil PDCS qui va nous aider à choisir le type de contrat.

D'après les objectifs de notre projet on à définit les facteurs suivants :

- le projet doit être achevé avec le budget initial
- on doit savoir exactement combien sa va nous coûter
- on n'a pas encore de fond
- il doit être achevé dans les délais
- on doit Controller l'exécution de notre projet
- notre projet est bien défini

On va introduire ces facteurs dans l'outil PDCS, on les ordonne d'après l'importance de chaque critère et on leur affecte un score

| Factor Action Statement | Preference Rank | Preference Scores | Normalized Preference Weight |
|---|-----------------|-------------------|------------------------------|
| 1-Achèvement avec budget initial est critique pour le succès du projet. | 1 | 100 | 0.22 |
| 4-Propriétaire exige des cas de figure de coût très tôt pour faciliter le planning du financement.) | 2 | 100 | 0.22 |
| 3-Contrainte dans l'autofinancement du projet par le propriétaire | 3 | 80 | 0.17 |
| 6-Achèvement dans les délais est très critique pour le succès du projet.) | 4 | 80 | 0.17 |
| 13-Le propriétaire veut un degré très élevé de control et d'influence sur l'exécution du projet.) | 5 | 50 | 0.11 |
| 17-Aspects du projet bien définis à l'attribution des contrats (BET et/ou entrepreneur | 6 | 50 | 0.11 |
| | | 460 | |

On obtenu les résultats suivants

| classement | PDCS | SCORES | |
|------------|--------|--------|----------------------------|
| 1 | PDCS11 | 71.74 | Clé en main |
| 2 | PDCS12 | 70.43 | Concepteur et entrepreneur |
| 3 | PDCS7 | 68.48 | Concepteur /constructeur |

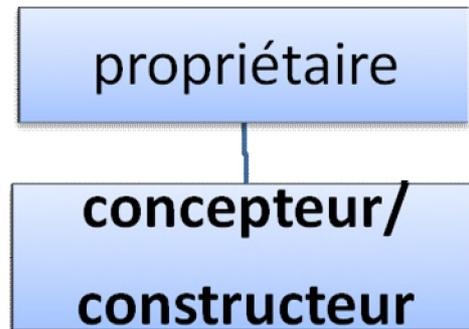
On estime que le types qui nous convient le mieux c'est le PDCS7 concepteur/constructeur.

Se système à ses avantages :

- on ne signe qu'un seul contrat avec une seule entité.

- on aura un gain de temps dans le projet par la réduction du temps de faire un autre appel d'offre pour la réalisation.

-s'il ya un problème technique sur chantier il peut résolu rapidement.



VIII.8 Concours architecturale :

On a lancé un concours architectural pour la conception de notre bâtiment on a reçue plusieurs offres, on a choisit celle-ci (plan APS)

VIII.9 Appel d'offre :

Puisque on a décidé d'opter pour une entreprise concepteur/constructeur donc notre appel d'offre qu'on a lancé était pour la conception et la réalisation de notre projet.

Donc le choix de l'entreprise s'est fait d'après plusieurs critères :

Leur dossier administratif (qualification, bilan fiscale...etc.)

Les délais de conception et réalisation

Le devis estimatif le moins disant

Et après analyse on a choisit cette entreprise qui nous a fait cette proposition

Le délai de conception était de 10 semaines

Le délai de réalisation était de 21 mois

Leur devis était le suivant :

| N° | DESIGNATION DES LOTS | MONTANT |
|----------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | Etude et conception | 600 000,00 DZA |
| 2 | Choix de l'entreprise | 1 500 000,00 DZA |
| 3 | Installation du chantier | 100 000,00 DZA |
| 4 | Terrassement | 1 031 600,00 DZA |
| 5 | Gros œuvres | 40 879 450,00 DZA |
| 6 | Corps d'état secondaire | 3 314 000,00 DZA |
| | Montant H.T | 45 925 050,00 DZA |
| | T.V.A 17% | 7 807 258,50DZA |
| | Montant T.T.C | 53 732 308,50 DZA |

Donc après analyse de leur devis estimatif et quantitatif on entamer la négociation des prix et on s'est convenue sur ce devis (devis)

Conclusion générale

Conclusion générale

Le génie civil est un domaine qui tendra toujours vers la satisfaction des besoins de la vie moderne.

L'étude que nous avons menée, nous a permis de faire le lien entre Les connaissances acquises durant notre promotion et de compléter celle-ci par des nouvelles théories et l'application dans un cas pratique.

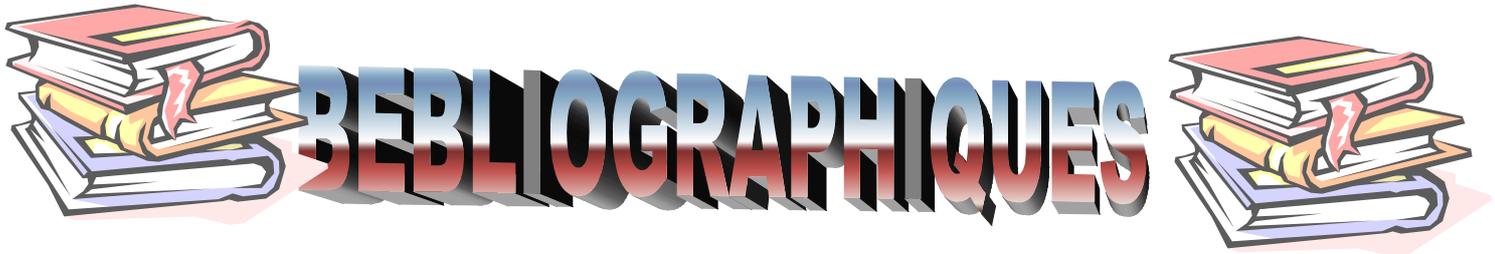
De ce fait, le projet nous a permis de mieux apprécier le métier d'ingénieur d'état en génie civil et son rôle dans la réalisation des structure qui ne se limite pas simplement au calcul du ferrailage mais adopte :

- les solutions des problèmes existants de la meilleure façon possible en tenant compte de l'économie et de la sécurité.
- La conception
- La forme de l'élément et comment travaillé

Dans la conception de ce projet on 'a utiliser les logiciels SAP2000V14, AUTOCAD, ...etc, Parmi les avantages de ces derniers est la rapidité d'exécution, et l'exactitude des résultats et une vitesse d'exécution assez élevée

L'ingénieur en génie civil n'est pas un calculateur seulement, mais il faut proposer des solutions raisonnables et efficaces sur le terrain ; d'une manière générale une conception justifier doit prendre en compte premièrement la sécurité pour éviter carrément les dégâts humain et matériel, sans oublier l'économie et le temps d'exécution.

En fin, Nous espérons que cette modeste étude été comme un référence contient un minimum d'information utile pour faciliter les études des futures promotions.



BIBLIOGRAPHIQUES

Les livres:

- 📖 *Cours de béton armé BAEL91-Jean- pierre MOUGIN-
*EYROLLES 1992**;
- 📖 *Pratiques du BAEL91-Jean PERCHAT et Jean ROUX-
*3^{eme} édition 99**;
- 📖 *D.T.R.B.C-2.48 Règles parasismiques algériennes « RPA99 »*;
- 📖 *Règles Parasismiques Algériennes **RPA 99***
- 📖 *D.T.R.B.C-2.2 Charges permanentes et charges d'exploitation* ;
- 📖 *Règle de Conception et de Calcul des Structures en Béton Armé **CBA 93**.*
- 📖 *Guide pour la rédaction des mémoires fin d'études* ;
- 📖 *Agence nationale pour l'amélioration des condition de travail, l'organisation
et le management « par projet » .*
- 📖 *Bachelet,Rémi,les fondamentaux B C de la gestion de projet, maitre de
conférence a centrale Lille :s,n.*

Les mémoires de fin d'étude :

- 📖 *(Etude bâtiment a usage d'habitation et commerciales+R+9),brahime,C.B.
(2012),Tlemcen :faculté de l'ingénieur-ABOU BEKR BELKAID*
- 📖 *Etude technico-economiqued'un bâtiment(R+6)a usage multiple(commerce
et habitation)BELHASSAINE(2013) Tlemcen :faculté de l'ingénieur-ABOU
BEKR BELKAID.*

Outils informatiques

- Logiciel AUTOCAD
- Logiciel SAP2000Version14
- Logiciel EXCEL

SOMMAIRE

CHAPITRE I : Présentation du projet

| | |
|---|----|
| I.1 Introduction..... | 01 |
| I.2 Le but..... | 01 |
| I.3 Choix d'une structure | 01 |
| I.4 Caractéristiques géométriques du bâtiment | 01 |
| I.5 Caractéristiques géotechniques du sol | 01 |
| I.6 Les éléments d'une construction | 02 |
| I.7 Les charges | 02 |
| I.8 Conception de la structure | 03 |
| I.9 Caractéristiques mécaniques des matériaux | 04 |
| I.10 Combinaison de calcul | 07 |

CHAPITRE II : Pré dimensionnement des éléments de la structure

| | |
|--|----|
| II.1 Introduction | 08 |
| II.2 Pré dimensionnement des éléments résistants | 08 |
| II.2.1 Pré dimensionnement des planchers | 08 |
| II.3 Descente des charges | 08 |
| II.3.1 Charge Permanente..... | 08 |
| II.3.2 Surcharge d'exploitation | 10 |
| II.3.3 Evaluation des charges | 11 |
| II.4 Pré dimensionnement des éléments porteurs | 11 |
| II.4.1 Pré dimensionnement des poutres..... | 11 |
| II.5 Pré dimensionnement des poteaux | 14 |
| II.5.1 Méthode de calcul..... | 15 |
| II.5.2 Calcul de la section du poteau..... | 17 |
| II.6 Pré dimensionnement des voiles..... | 20 |
| II.6.1 Voiles du contreventement..... | 20 |

CHAPITRE III : Etude des planchers

| | |
|--------------------------|----|
| III.1 Introduction | 21 |
|--------------------------|----|

| | | |
|---------|--|----|
| III.1.1 | Définition | 21 |
| III.1.2 | Les Facteurs Généraux de Choix de Type de Plancher | 21 |
| III.2 | Etude de plancher | 22 |
| III.2.1 | Plancher en corps creux..... | 22 |
| III.2.2 | Étude des poutrelles | 23 |
| III.3 | méthode de calcul | 24 |
| III.3.1 | la méthode de Caquot | 24 |
| III.3.2 | Calcul des sollicitations (E.L.U) | 25 |
| III.4 | Calcul du ferrailage | 33 |
| III.4.1 | E.L.U | 33 |
| III.4.2 | Vérification à E.L.S | 36 |
| III.4.3 | Vérification vis-à-vis l'effort tranchant..... | 37 |
| III.4.4 | Diamètre des armatures transversales..... | 37 |
| III.4.5 | Ancrage des barres | 38 |
| III.4.6 | Ancrage des armatures..... | 38 |
| III.5 | Calcul de la flèche..... | 40 |
| III.5.1 | Vérification de la flèche..... | 40 |
| III.5.2 | Vérification des conditions | 40 |
| III.5.3 | Calcul des moments fléchissant | 41 |
| III.6 | Calcul des contraintes suivant les sollicitations..... | 42 |
| III.6.1 | Calcul de μ_g, μ_p, μ_j | 42 |
| III.6.2 | Calcul des moments d'inertie fictifs..... | 43 |
| III.7 | Calcul de flèche (total et admissible) | 43 |
| III.7.1 | La flèche totale..... | 44 |
| III.7.2 | La flèche admissible..... | 44 |

CHAPITRE IV : Etude des éléments secondaires

| | | |
|--------|---|----|
| IV.1 | Les escalier: | 45 |
| IV.1.1 | Introduction..... | 45 |
| IV.1.2 | Etudes des escaliers à deux volées avec palier intermédiaire..... | 46 |
| IV.2 | Acrotère..... | 61 |

| | |
|---|----|
| IV.2.1 Introduction..... | 61 |
| IV.2.2 <i>Ferraillage</i> | 61 |
| IV.3 Ascenseur | 65 |
| IV.3.1 Introduction..... | 65 |
| IV.3.2 Calcul des Charges..... | 65 |
| IV.3.3 Ferraillage de la Dalle d'Ascenseur..... | 72 |

CHAPITRE V: Etude sismique

| | |
|---|----|
| V.1 Introduction | 76 |
| V.2 Méthode de calcul | 76 |
| V.2.1 Méthode statique équivalente | 76 |
| V.2.2 Méthode dynamique modale spectrale | 77 |
| V.3 Spectre de réponse de calcul..... | 78 |
| V.3.1 Calcul du poids total de chaque plancher | 68 |
| V.3.3 Évaluation de la force sismique | 80 |
| V.4 Vérification des déplacements | 84 |
| V.4.1 Vérification des modes | 85 |
| V.5 Justification vis à vis de l'effet P Δ | 85 |
| V.6 L'efforts tranchant à la base | 87 |

CHAPITRE VI: Etudes des éléments structuraux

| | |
|---|-----|
| VI.1 Introduction | 88 |
| VI.2 Ferraillage des portiques | 88 |
| VI.2.1 Ferraillage des poteaux..... | 88 |
| VI.2.2 Ferraillage des poutres..... | 95 |
| VI.3 Etudes des voiles..... | 102 |
| VI.3.1 Introduction..... | 102 |
| VI.3.2 Le système de contreventement..... | 102 |
| VI.3.3 Ferraillage des voiles..... | 105 |

CHAPITRE VII : Etude de l'infrastructure

| | |
|---|-----|
| VII.1 Calcul des fondations..... | 109 |
| VII.1.1 Introduction..... | 109 |
| VII.1.2 Définition..... | 110 |
| VII.2 Calcul du radier..... | 110 |
| VI .3 Ferrailage du radier..... | 112 |
| VII.3.1 Ferrailage des dalles..... | 112 |
| VI.4 Ferrailage des poutres des libages | 114 |

CHAPITRE VIII : ETUDE ECONOMIQUE

| | |
|---|-----|
| VIII.1 généralité..... | 121 |
| VIII.2 la relation entre les taches | 124 |
| VIII.3 introduction | 125 |
| VIII.4 définition du besoin | 126 |
| VIII.5 étude de fissibilité | 126 |
| VIII.6 type de contrats | 127 |
| VIII.7.Conclusion..... | 127 |
| VIII.8 concoure architecturale..... | 129 |
| VIII.9 appel d'offre | 129 |

Conclusion

Bibliographie

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|-----|
| Tableau II.1 : Charge permanente de plancher terrasse..... | 9 |
| Tableau II.2 : Charge permanente de plancher étage courant..... | 9 |
| Tableau II.3 : Dégression des Surcharges d’Exploitation..... | 10 |
| Tableau II.4 : Evaluation des charges..... | 11 |
| Tableau II.5 : Les sections des poutres | 12 |
| Tableau II.6 : Récapitulatif des sections des poteaux des différents étages | 19 |
| Tableau II.7 : Tableau de vérification des poteaux au flambement..... | 20 |
| Tableau III.1 : Récapitulatif des moments et des efforts tranchants maximaux..... | 33 |
| Tableau IV.1 : Descente de charge (volée) | 47 |
| Tableau IV.2 : Descente de charge (palier) | 48 |
| Tableau IV.3 : Effort tranchant et moment fléchissant(E.L.U) | 50 |
| Tableau IV.4 : Effort tranchant et moment fléchissant(E.L.S) | 52 |
| Tableau IV.5 : Les Dimensions des ascenseurs..... | 65 |
| Tableau IV.6 : Des Sollicitations à différentes des charges (E.L.U et E.L.S) | 69 |
| Tableau IV.7 : Les valeurs des moments et des contraintes | 74 |
| Tableau IV.8 : Les valeurs des moments d’inerties | 75 |
| Tableau V.1 : Facteur de qualité en fonction des valeurs des pénalités P_q | 81 |
| Tableau V.2 : L’effort tranchant | 83 |
| Tableau V.3 : Vérification des déplacements..... | 84 |
| Tableau V.4 : Vérification des modes..... | 85 |
| Tableau V.5 : Justification vis à vis de l’effet P_{Δ} sens x | 86 |
| Tableau V.6 : Justification vis à vis de l’effet P_{Δ} sens Y..... | 86 |
| Tableau V.7 : Vérification L’efforts tranchant à la base | 87 |
| Tableau VI.1 : Récapitulation des moments fléchissant et des efforts normaux | 90 |
| Tableau VI.2 : Récapitulation du ferrailage des poteaux..... | 95 |
| Tableau VI.3 : les moments maximums (en travée et en appui) | 96 |
| et des efforts tranchants en (KN) | |
| Tableau VI.4 : Tableau récapitulatif du ferrailage des poutres principales..... | 101 |
| Tableau VI.5 : Tableau récapitulatif du ferrailage des poutres secondaires..... | 101 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure I.1: Diagramme contrainte- déformations du béton (E.L.U) | 05 |
| Figure I.2: Diagramme contraintes- déformations d'acier (E.L.U)..... | 06 |
| Figure II.1: Coupe d'un plancher à corps creux | 08 |
| Figure II.2: Détail des constituants du plancher terrasse inaccessible..... | 09 |
| Figure II.4: Schéma des poutrelles | 13 |
| Figure II.5: Dimensions adoptées des poutrelles | 14 |
| Figure II.6: Section afférente d'un poteau sollicité | 14 |
| Figure II.7: Hauteur libre de poteau | 16 |
| Figure II.8: Coupe de Voile..... | 20 |
| Figure III.1: Schéma de poutrelle..... | 23 |
| Figure III.2: Schéma statique des poutrelles | 24 |
| Figure III.3: Diagramme des moments fléchissant (Type1: plancher étage) | 26 |
| Figure III.4: Diagramme des efforts tranchants (Type1: plancher étage) | 27 |
| Figure III.5: Diagramme des moments fléchissant (Type 1:plancher terrasse) | 28 |
| Figure III.6: Diagramme des efforts tranchants (Type 1:plancher terrasse) | 29 |
| Figure III.7: Schéma statique des poutrelles | 29 |
| Figure III.8: Diagramme des moments fléchissant (Type 2) | 30 |
| Figure III.9: Diagramme des efforts tranchants (Type 2) | 30 |
| Figure III.10: Diagramme des moments fléchissant (Type 3) | 32 |
| Figure III.11: Diagramme des efforts tranchants (Type 3)..... | 33 |
| Figure III.12: Dimensions des poutrelles | 34 |
| Figure III.13: Schéma de l'ancrage | 38 |
| Figure III.14: Ferraillage de poutrelle | 39 |
| Figure IV.1: Schéma d'un escalier | 45 |
| Figure IV.2: Schéma statique d'un escalier | 46 |
| Figure IV.3: Diagrammes des sollicitations(E.L.U) | 50 |
| Figure IV.4: Diagramme des moments retenus (E.L.U) | 51 |
| Figure IV.5 : Diagrammes des sollicitations(E.L.S). | 52 |
| Figure IV.6: Diagramme des moments retenus (E.L.S) | 53 |
| Figure IV.7: Diagrammes des (M et T) de la poutre palière (E.L.U) | 56 |

| | |
|--|-----|
| Figure IV.8: Diagrammes des (M et T) de la poutre palière (E.L.S) | 57 |
| Figure IV.9: Coupe de poutre palière..... | 60 |
| Figure IV.10: Coupe de l'acrotère..... | 61 |
| Figure IV.11: Ferraillage de l'acrotère..... | 64 |
| Figure VI.1 : Direction des moments et efforts sur un poteau | 88 |
| Figure VI.2: Ferraillage des poteaux | 94 |
| Figure VI.3: Schéma de la zone nodale | 94 |
| Figure VI.4: Schéma d'une section de calcul | 96 |
| Figure VI.5 : Schéma de ferraillage de la poutre principale | 100 |
| Figure VI.6: Schéma de ferraillage de la poutre secondaire | 102 |
| Figure VI.7: Dimensions de voile..... | 105 |
| Figure VI.8: Disposition des armatures verticales dans les..... | 108 |
| Figure VI.9: Disposition du ferraillage du voile..... | 108 |
| Figure VII.1: Schéma du Radier | 110 |
| Figure VII.2: Schéma de voile | 115 |
| Figure VII.3: Répartition des charges sur les poutres | 114 |
| Figure VII.4: Répartition des charges sur les poutres | 116 |
| Figure VII.5: Répartition armatures dans les poutres | 118 |
| Figure VIII.1: facteur principal d'un projet..... | 122 |
| Figure VIII.2 : cycle de vie d'un projet..... | 123 |

