

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU

Faculté du Génie de la Construction

Département de Génie Civil

MEMOIRE DE MASTER PROFESSIONNEL

EN GENIE CIVIL

OPTION : Construction civile et industrielle

Présenté par:

SAADI Nassim, SADOUDI Ahmed & TOUATI Kocella

THEME :

**ETUDE DES ELEMENTS STRUCTURAUX D'UNBATIMENT
(R+10) EN BETON ARME A USAGE D'HABITATION ET
COMMERCIAL RIGIDIFIE PAR UN SYSTEME DE
CONTREVENTEMENT MIXTE**

Proposé et dirigé par A. SADAoui

Mémoire soutenu le

Remerciements

Nous remercions avant tout Dieu le tout puissant de nous avoir gardés en bonne santé afin de mener à bien ce projet de fin d'étude. Nous remercions également nos familles pour les sacrifices qu'elles ont faits pour que nous terminions nos études.

Nous exprimons toutes nos profondes reconnaissances à notre encadreur M. SADAoui Arezki, pour sa disponibilité, son aide et ses précieux conseils. Et tous les enseignants qui ont contribué à notre formation durant notre cursus.

Nous remercions aussi tous nos amis pour leur aide, leur patience, leur compréhension et leurs encouragements.

Enfin, nous tenons à remercier également les membres de jury qui nous feront l'honneur de juger notre travail.

Dédicaces

Je dédie ce lapidaire travail à :

- *Mes très chers parents à qui je dois tous mes succès et à qui je ne rendrais jamais assez.*
- *Mes chers frères, beaux frères, sœurs et belles sœurs.*
- *Mes neveux et mes nièces surtout Wissam, Yani et Ghiles.*
- *Tous mes ami(e)s.*
- *Tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à la réalisation de ce projet.*
- *Toute la promotion 2011 /2012*

Enfin, je remercie mes amis Koceila et Ahmed avec qui on a contribué à la réalisation de ce modeste travail, ainsi que leurs familles.

-SAADI Nassim -

Dédicaces

Je dédie ce lapidaire travail :

- *A mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin.*
- *Mon frère Lounis*
- *Mes sœurs Lynda, Nadia et Zahira .*
- *Mes Tantes, Oncles et leurs familles surtout Anissa (ma sœur).*
- *A toutes mes cousine s et cousins surtout Brahim qui ma beaucoup aider*
- *A tous mes ami(e)s de l'enfance et ceux qui mon accompagner durant mon cursus scolaire du primaire jusqu'à l'université*
- *A tous mes collègues de l'UMMTO*

Enfin, je remercie mes amis Koceila et Nassim avec qui on a contribué à la réalisation de ce modeste travail, ainsi que leurs familles.

-SADOUDI Ahmed-



Dédicaces

Je dédie ce lapidaire travail a :

- *Mes très chers parents à qui je dois tous mes succès.*
- *Mes chers frères.*
- *Ma chère sœur.*
- *Tous mes ami(e)s.*
- *Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet.*
- *Toute la promotion 2011 /2012*

- *En fin, je remercie mes amis Ahmed et Nassim avec qui on contribué à la réalisation de ce modeste travail, ainsi que leurs familles.*

- TOUATI Kocella-

SOMMAIRE

Chapitre 1: INTRODUCTION

1-1 Présentation de l'ouvrage.....	01
1-2 Description des éléments composant la structure	02
1-3 Caractéristiques mécaniques des matériaux béton et acier	03
1-4 Pré-dimensionnement des différents éléments résistants de la structure	05

Chapitre 2: CALCUL DES ELEMENTS SECONDAIRES

2-1 Planchers	13
2-2 L'acrotère	23
2-3 Balcons	27
2-4 Cage d'ascenseur	31
2-5 Calcul des escaliers	39
2-6 Etude de la poutre de chaînage	49

Chapitre 3: ETUDE DU CONTREVENTEMENT

3-1 Etude des refends	55
3-2 Etude des portiques	61
3-3 Inertie fictive des portiques	70
3-4 Comparaison des inerties des voiles à celles des portiques	81
3-5 Centre de masse	81
3-6 Centre de torsion	91
3-7 Calcul de l'excentricité.....	97
3-8 Rigidité à la torsion de l'étage (portiques)	98
3-9 Calcul de l'inertie polaire des voiles (J_{θ})	100

Chapitre 4: ETUDE SOUS CHARGES VERTICALES

4-1 Etude des portiques par la méthode de CAQUOT.....	102
4-2 Etude des refends sous charges verticales.....	133

Chapitre 5 : ETUDE AU SEISME

5-1 Choix de la méthode de calcul.....	138
5-2 Modélisation de la structure.....	140
5-3 Caractéristiques propres de la structure.....	140
5-4 Calcul des forces sismiques.....	146
5-5 Combinaison des réponses modales.....	150
5-6 Répartition des forces sismiques dans les voiles et les portiques.....	152
5-7 Calcul et vérification des déplacements relatifs de niveau.....	154
5-8 Comparaison des efforts tranchants à la base de la méthode dynamique et celui de la méthode statique équivalente.....	156

Chapitre 6 : ETUDE SOUS CHARGES HORIZONTALES

6-1 Hypothèses de calcul.....	159
6-2 Distribution de l'effort tranchant par niveau et par portique.....	159
6-3 Calcul des sollicitations dans les portiques.....	160
6-4 Distribution des sollicitations horizontales sur les éléments de refend.....	196

Chapitre 7 : SUPERPOSITION DES SOLLICITATIONS ET FERRAILLAGE DE LA STRUCTURE

7-1 Superposition des sollicitations	209
7-1-1 Combinaison d'action dans les portiques.....	209
7-1-2 Combinaison d'action dans les voiles.....	239
7-2 Ferrailage de la structure.....	245
7-2-1 Ferrailage des portiques.....	245
7-2-2 Ferrailage des voiles.....	270

Chapitre 8 : ETUDE DE L'INFRASTRUCTURE

8-1 Etude géotechnique du sol.....	289
8-2 Choix de type de fondations.....	289
8-3 Dimensionnement	289
8-4 Etude du radier général.....	292
8-5 Ferrailage du radier.....	296
8-6 Ferrailage du débord.....	301
8-7 Ferrailage des nervures.....	302

Conclusion

Références

Annexes

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1-1 Présentation de l'ouvrage

Ce travail a pour but d'étudier les différents éléments résistants d'un bâtiment, en béton armé, à usage d'habitation et commercial en vue de réaliser les plans de Coffrage et de ferrailage de la structure. L'ouvrage sera implanté dans la région de Tizi-ouzou, classée selon le Règlement Parasismique Algérien (RPA 99 modifié en 2003) comme étant une zone de moyenne sismicité, soit de zone II_a.

La vue en plan d'un étage courant type du bâtiment est montrée sur la figure 1-1 dont les différents plans d'architecture sont donnés en annexe A. Le bâtiment comporte : une terrasse inaccessible, huit étages courants à usage d'habitation, un étage à usage du bureau, un étage et un RDC à usage commercial, une cage d'escalier et une cage d'ascenseur. Les caractéristiques géométriques du bâtiment sont : longueur totale: 25 .00 m, largeur totale: 19.90 m, hauteur du rez-de-chaussée: 4.42 m, hauteur de l'étage courant : 3.06m et hauteur totale: 35.02 m.

1-2 Description des éléments composant la structure

- **Ossature** : Elle est mixte et composée i) de poteaux et poutres formant un système de portique disposés dans les deux sens (transversal et longitudinal) et destinés à reprendre principalement la totalité des charges et surcharges verticales ii) D'un ensemble de voiles qui sont disposés également dans les 02 sens assurant la rigidité et la stabilité de l'ouvrage sous l'action des charges horizontales, et reprendre une partie de charges verticales.

- **Planchers**: Les planchers sont des aires planes qui limitent les différents étages et assurent deux fonctions à savoir : i) la résistance mécanique en supportant leurs poids propre et les surcharges appliquées, les transmettant aux éléments porteurs de l'ouvrage ii) L'isolation thermique et acoustique des différents étages. Tous les planchers du bâtiment seront réalisés en corps creux munis d'une dalle de compression reposant sur des poutrelles préfabriquées coulées sur place à l'exception des balcons qui sont réalisés en dalle pleine. Le plancher terrasse, analogue aux autres planchers courants comportera un complexe d'étanchéité muni d'une forme de pente de 1.5% afin de faciliter l'évacuation des eaux pluviales.

- **Escaliers** : Le bâtiment est muni d'une cage d'escaliers qui relie les différents étages et constituée de deux volées formées de paliers et paillasse réalisés en béton armé et coulés sur place.

- **Revêtement** : Celui-ci est composé i) de carrelage pour les planchers et les escaliers ii) de la céramique pour les salles d'eau et cuisines iii) du mortier de ciment pour les murs de façade, cage d'escaliers et locaux humides iv) de plâtre et enduit pour les cloisons intérieurs et les plafonds.

- **Maçonneries:** Les murs extérieurs sont en double cloison faits de briques creuses de 10 cm séparées par une lame d'air de 5cm et les murs intérieurs sont en simple cloison de 10 cm d'épaisseur.

- **Cage d'ascenseur:** L'immeuble comporte un ascenseur dont sa cage sera réalisée en voiles.

Mentionnons que le système de coffrage traditionnel en bois et de coffrage métallique sera utilisé de façon à limiter le temps d'exécution.

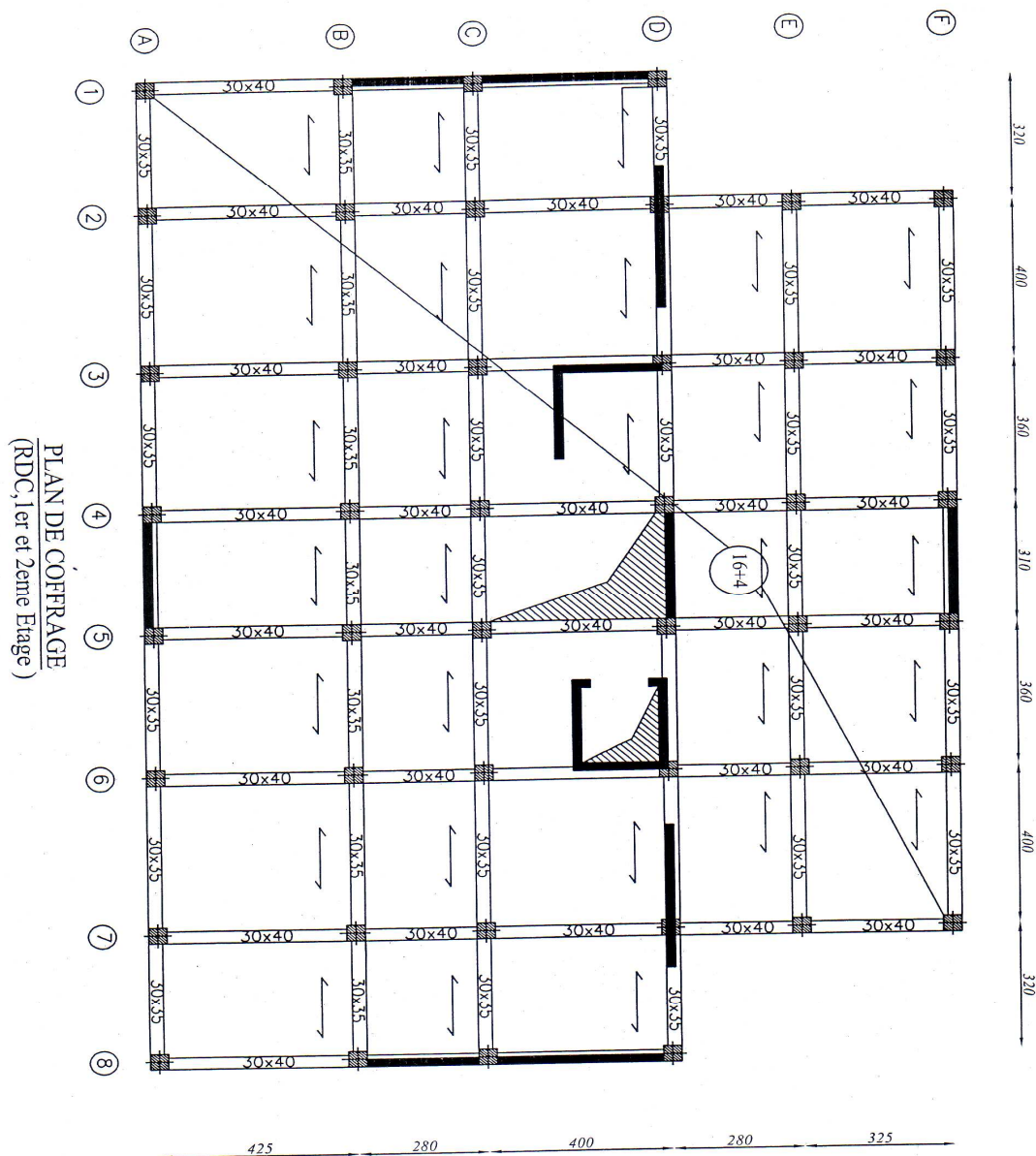


Fig. 1-1 Vue en plan de l'étage courant

1-3 Caractéristiques mécaniques des matériaux béton et acier :

1-3-1 Béton :

Le béton est un matériau composé d'un mélange de ciment, de granulat et d'eau, défini du point de vue mécanique par sa résistance à la compression variant avec la granulométrie, le dosage et l'âge du béton.

La composition du béton est établie par un laboratoire d'analyse en tenant compte des caractéristiques des matériaux et de leurs provenances. Dans le cas courant, le béton utilisé est dosé à 350 kg/m³ de ciment portland artificiel ayant une résistance caractéristique de l'ordre de 42.5 MPa.

a) Résistance à la compression: pour l'établissement des projets, dans le cas usuel, un béton est défini par une valeur de sa résistance à la compression à l'âge de 28 jours, notée f_{c28} . Pour un béton dosé à 350kg/m³ de ciment CPA 325, on a $f_{c28} = 25$ MPa, une valeur qu'on peut obtenir en faisant un contrôle régulier.

b) Résistance à la traction: la résistance caractéristique à la traction du béton à j jours noté f_{tj} est conventionnellement définie par la relation suivante selon l'article A-2 .1.12 BAEL91: $f_{tj} = 0.6 + 0.06 f_{cj}$ où f_{tj} et f_{cj} sont exprimées en MPa. à t = 28 jours, f_{t28} vaut 2,1 MPa.

c) Contrainte ultimes:

- A l'ELU: $f_{bc} = \frac{0.85 f_{c28}}{\theta \gamma_b}$ où γ_b est un coefficient de sécurité qui vaut 1.5 en situation courante et 1.15 en situation accidentelle. θ est coefficient qui dépend de la durée d'application des charges où si i) la durée d'application des combinaisons d'action supérieure à 24h, $\theta = 1$ ii) si cette durée est comprise entre 1h et 24 h, $\theta = 0.9$ iii) si la durée est inférieure à 1 h, $\theta = 0.85$. Dans notre cas, on prend : $\theta = 1$ soit $\gamma_b = 1.5$ conduisant à $f_{bc} = 14.2$ MPa.

- A l'ELS: on prend : $\bar{\sigma}_{bc} = 0,6 f_{c28} = 15$ MPa pour $f_{c28} = 25$ MPa.

d- Module de déformation longitudinale: Pour un chargement d'une durée d'application inférieure à 24h, le module de déformation instantanée E_{ij} du béton âgé de j jours est donné par la relation : $E_{ij} = 11000^3 \sqrt{f_{cj}}$ [MPa]. Ce qui nous donne pour $f_{c28} = 25$ MPa : $E_{i28} = 32164,195$ MPa. Pour un chargement de longue durée, il faut considérer : $E_{vj} = 3700^3 \sqrt{f_{cj}}$ [MPa] où à 28j $E_{vj} = 10818.9$ MPa. Ces valeurs ne sont pas celles du béton seul mais tiennent compte de la présence d'un pourcentage moyen d'armatures.

e- Module de déformation transversal : sa valeur est donnée par: $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$ où ν étant le coefficient de Poisson et E le module d'élasticité. On le prend égal à 0 à l'ELU et égal à 0.2 à l'ELS.

f- Diagramme des contrainte-déformations du béton

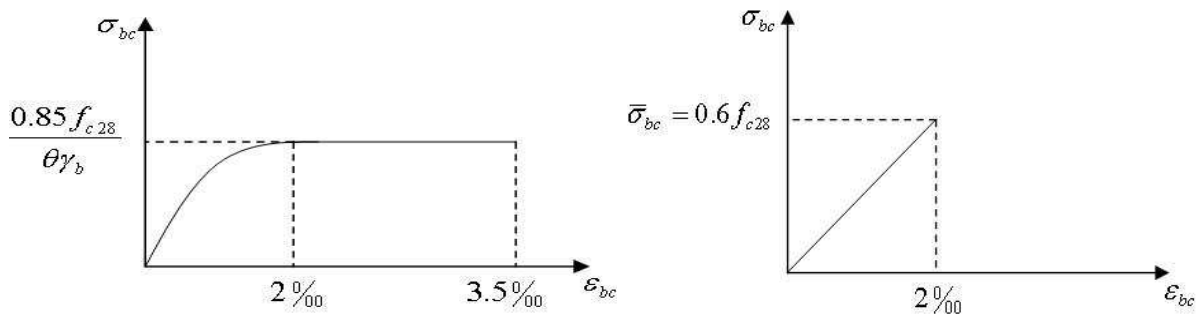


Fig. 1-3 Diagramme des σ - ε du béton à l'ELU

1-3-2 Aciers d'armatures :

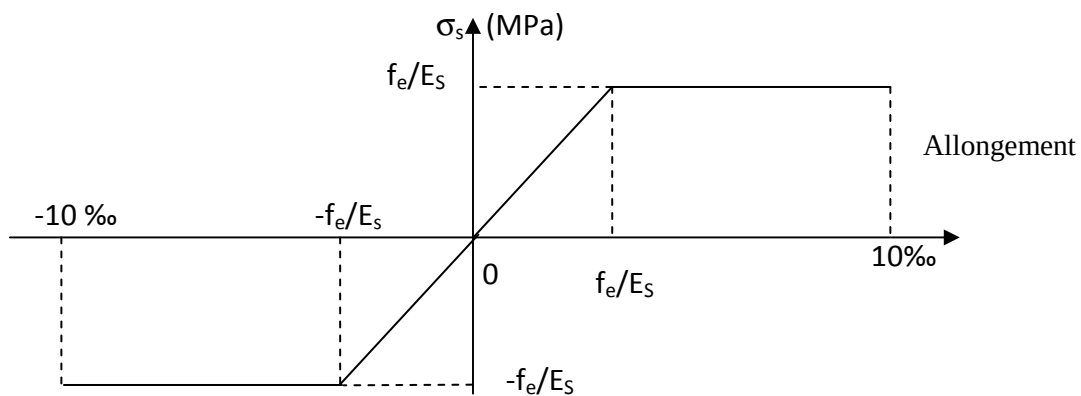


Fig. 1-4 Diagramme des σ - ε des aciers d'armatures

Les aciers utilisés sont:

- aciers à hautes adhérence de type FeE40 : $f_e = 400$ MPa
- aciers ronds lisses de type FeE24 : $f_e = 235$ MPa

où f_e étant la limite d'élasticité du matériau. Le module d'élasticité longitudinale : $E_s = 200000$ MPa et le coefficient de Poisson : $\nu = 0.3$. Les valeurs considérées pour le coefficient de fissuration sont : $\eta = 1.0$ pour les aciers de type RL ; $\eta = 1.6$ pour les aciers HA avec $\Phi \geq 6$ mm et $\eta = 1.3$ pour les aciers HA avec $\Phi < 6$ mm.

a) à l'ELU, on prend : $\sigma_s = f_e / \gamma_s$ où γ_s est un coefficient de sécurité avec $\gamma_s = 1.15$ en situation courante et $\gamma_s = 1.0$ en situation accidentelle. Dans une situation durable, pour FeE40 : $\sigma_s = 348$ MPa et pour FeE24 : $\sigma_s = 204$ MPa.

b) à l'ELS : On limite l'ouverture des fissures (risque de corrosion des armatures), et ce en limitant les contraintes dans les armatures tendues sous l'action des sollicitations de service. D'après les règles BAEL91, on distingue trois cas de fissuration suivants:

- Fissuration peu nuisible: dans ce cas, il n'y a aucune vérification à faire.

- Fissuration préjudiciable (milieu humide, intempéries) :

$$\sigma_s \leq \bar{\sigma}_s = \min \left\{ \frac{2}{3} f_e ; \max (0.5 f_e ; 110 \sqrt{\eta f_{tj}}) \right\} \quad [\text{MPa}]$$
- Fissuration très préjudiciable (milieu agressif) : $\sigma_s = \min \left\{ \frac{f_e}{2}, \max(200 \text{ MPa}; 90 \sqrt{\eta f_{tj}}) \right\}$

Ce qui nous donne : $\bar{\sigma}_s = 165 \text{ MPa}$ pour les aciers HA et $\bar{\sigma}_s = 130 \text{ MPa}$ pour les aciers RL.

Cependant, afin de protéger les armatures des effets intempéries et des agents agressifs, il faut veiller à ce que l'enrobage (**c**) des armatures soit conforme aux prescriptions suivantes :

- **c ≥ 5 cm** : Pour les éléments exposés à la mer, aux embruns ou aux brouillards salins ainsi que pour les éléments exposés aux atmosphères très agressives.
- **c ≥ 3 cm** : Pour les éléments situés au contact d'un liquide (réservoir, tuyaux, canalisations)
- **c ≥ 1 cm** : Pour les parois situées dans des locaux non exposés aux condensations.

1-4 Pré-dimensionnement des différents éléments résistants de la structure

1-4-1 Planchers à corps creux :

A la figure 1-5, on montre la coupe transversale d'un plancher à corps creux qui est constitué de corps creux et d'une dalle de compression reposant sur des poutrelles préfabriquées qui sont placées dans le sens de la petite portée.

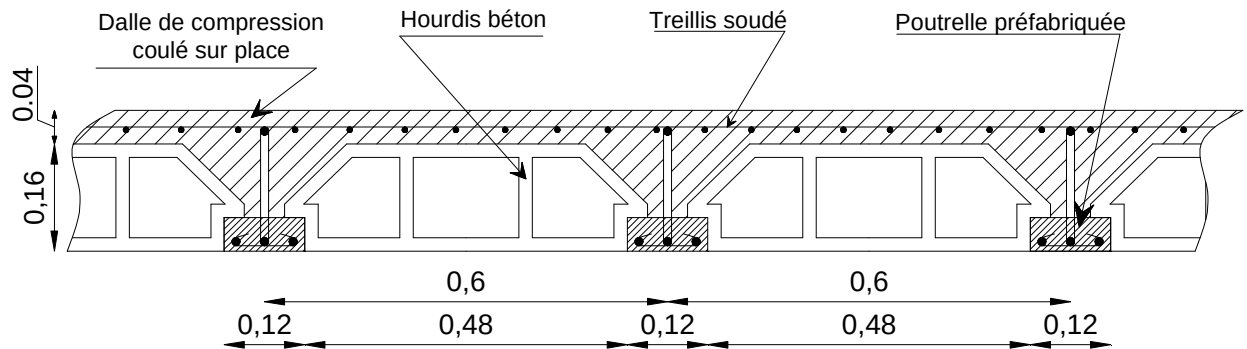


Fig. 1-5 Coupe transversale d'un plancher à corps creux

La hauteur totale du plancher doit vérifier la condition $h_t \geq L/22.5$ avec **L** étant la portée libre maximale des poutrelles. Dans notre cas avec $L_{\max} = 400 - 30 = 370 \text{ cm}$, nous aurons : $h_t \geq 17.45 \text{ cm}$. Nous adoptons de ce fait: un plancher de $(16+4)=20 \text{ cm}$, un corps creux d'une épaisseur de 16 cm et une dalle de compression de 4 cm.

1-4-2 Dalle pleine

L'épaisseur de la dalle pleine sera déterminée par la condition de la résistance à la flexion $ep \geq \frac{L}{10}$. Dans notre cas, la dalle sera considérée comme une console encastrée où pour une largeur $L=1.25$ m, on aura : $ep \geq \frac{L}{10} = \frac{125}{10} = 12,5$ cm. On prend : $ep = 15$ cm

1-4-3 Voiles

Les voiles sont des éléments rigides en béton armé coulés sur place et sont principalement destinés, d'une part à assurer la stabilité de l'ouvrage sous l'effet des charges horizontales et reprendre une partie des charges verticales. Le pré-dimensionnement s'effectue suivant les règles parasismiques Algériennes (RPA99 version 2003). L'épaisseur (a) du voile est déterminée en fonction de la hauteur libre d'étage « h_e » et donnée par la relation : $a = \max(h_e/25 ; h_e/22 ; h_e/20) = h_e/20$ où avec $h_e = 442-20 = 422$ cm, nous retenons : $a = 20$ cm ; ce qui satisfait l'épaisseur minimale de 15 cm imposée par le RPA vu que l'ouvrage sera implanté à TIZI-OUZOU qui est une zone de moyenne sismicité (II a).

1-4-4 Poutres

Les poutres sont destinées à reprendre les charges d'une partie de la construction pour les transmettre aux éléments verticaux. Les dimensions sont déterminées par les relations :

h_t : hauteur de la poutre: $L/15 \leq h_t \leq L/10$

b : largeur de la poutre: $0,4h_t \leq b \leq 0,7h_t$

L_{max} : la portée libre maximale entre nus d'appuis.

- Poutres principales ($L_{max} = 425-30 = 395$ cm), nous aurons :

$\frac{395}{15} \leq h_t \leq \frac{395}{10}$ soit $26,33 \text{ cm} \leq h_t \leq 39,5 \text{ cm}$. On prend : $h_t = 40$ cm. La largeur est déterminée par la $0,4 h_t \leq b \leq 0,7 h_t$ soit $16 \leq b \leq 28$. On prend : $b = 30$ cm

- Poutres secondaires ($L = 400-30 = 370$ cm): $\frac{L_{max}}{15} \leq h_t \leq \frac{L_{max}}{10} \Rightarrow \frac{370}{15} \leq h_t \leq \frac{370}{10} \Rightarrow 24,66 \text{ cm} \leq h_t \leq 37 \text{ cm}$. On prend : $h_t = 35$ cm. $0,4 \times h_t \leq b \leq 0,7$ soit $14 \text{ cm} \leq b \leq 24,5 \text{ cm}$. Pour des raisons architecturales dans le souci d'éviter les arêtes ainsi la facilité de mise en œuvre du coffrage, nous adoptons $b = 30$ cm. Les conditions imposées par le RPA ($b \geq 20 \text{ cm}$; $h \geq 30 \text{ cm}$; $h/b \leq 4$) sont satisfaites. Par suite, nous retenons par suite les dimensions suivantes:

- Les poutres principales : $(40 \times 30) \text{ cm}^2$
- Les poutres secondaires : $(35 \times 30) \text{ cm}^2$

1-4-5 Poteaux

Le pré-dimensionnement se fera pour le poteau le plus sollicité, à L'ELS, en compression simple, en supposant que seul le béton reprend l'effort normal. La combinaison des charges et surcharges est la suivante : $N_S = G + Q$ où la section $S = (b \times h)$ du poteau est obtenue en considérant:

$S \geq N_s / \bar{\sigma}_{bc}$ avec $\bar{\sigma}_{bc} = 0.6f_{c28} = 0.6 \times 25 = 15 \text{ MPa} = 15000 \text{ KN/m}^2 = 1.5 \text{ KN/cm}^2$; $\bar{\sigma}_{bc}$ est la contrainte admissible du béton à L'ELS et N_s est l'effort normal de compression du poteau. Les charges et surcharges seront déterminées par la descente de charge.

a) Sous charges permanentes:

- Plancher terrasse :

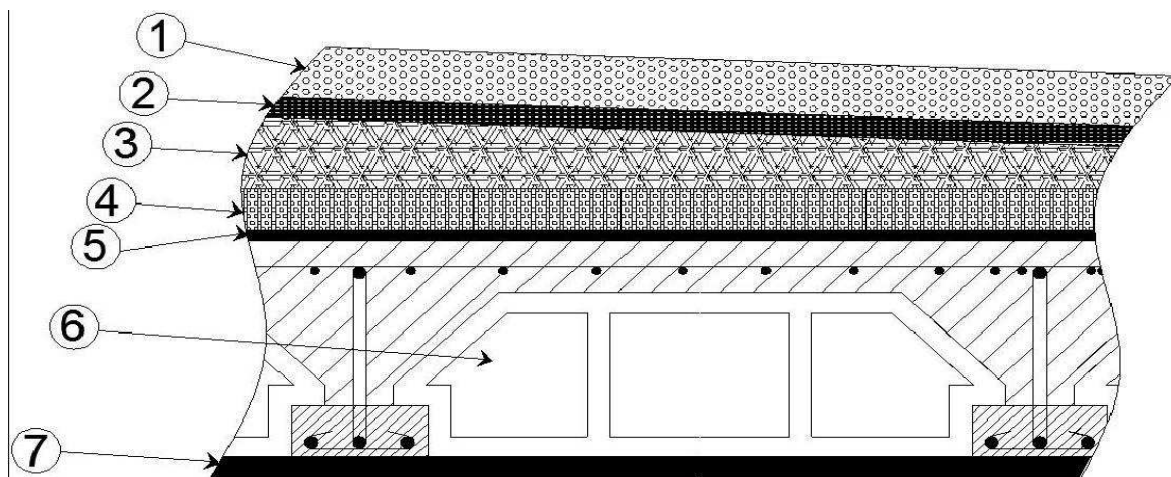


Fig. 1-6 Coupe transversale du plancher terrasse

Tabl. 1-1 Poids propre du plancher terrasse

N°	désignation	épaisseur (cm)	ρ (kN/m ² /cm)	G (kN/m ²)
1	couche de gravillon	5	0.170	0.85
2	étanchiété multicouche	2		0.12
3	forme de pente en béton	7	0.220	1.54
4	isolation thermique (liège)	4	0.040	0.16
5	feuille de polyane	/	/	0.01
6	plancher en corps creux (16+4)	20	/	2.80
7	enduit plâtre	2	0.100	0.2
G_{total}				5.68

- Plancher étage courant:

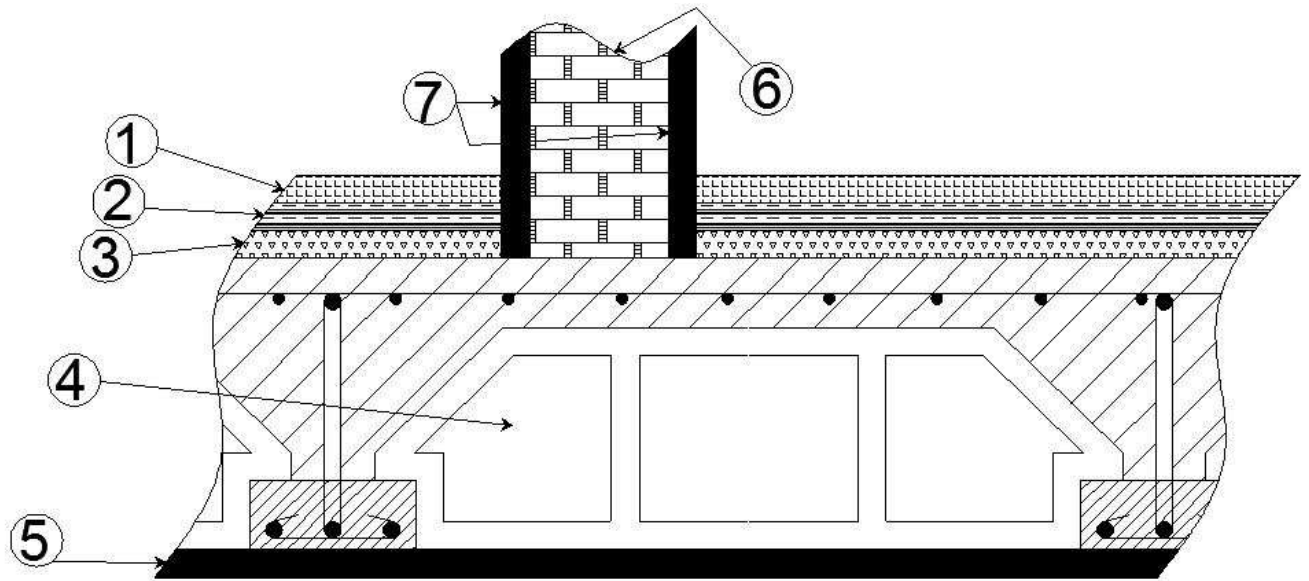


Fig. 1-7 Coupe transversale du plancher d'étage courant

Tabl. 1-2 Poids propre du plancher courant

N°	désignation	épaisseur (cm)	ρ (kN/m ² /cm)	G (kN/m ²)
1	revêtement carrelage	2	0.22	0.44
2	mortier de pose	2	0.22	0.44
3	couche de sable	2	0.18	0.36
4	plancher en corps creux	20	/	2.80
5	enduit plâtre	2	0.1	0.20
6	cloison en brique creuse	10	/	0.90
7	enduit sur les deux côtés de la cloison		0.1	0.30
G_{total}				5.44

- Murs :

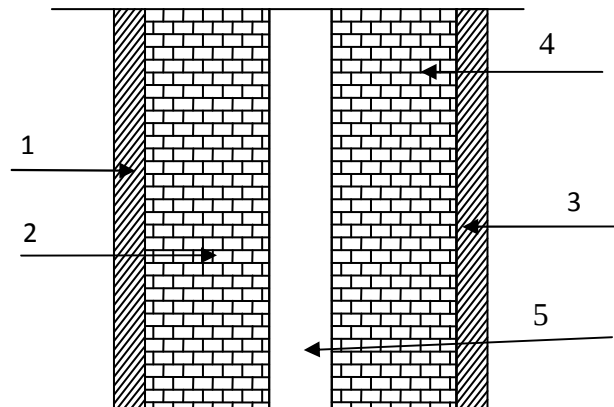


Fig.1-8 coupe transversale du mur

Tab. 1-3 Poids propre des murs extérieurs

N°	Elément	Epaisseur (cm)	Charge (KN/m ²)
1	Enduit de ciment	02	0.36
2	Briques creuses	10	0.90
3	Enduit de plâtre	02	0.20
4	Briques creuses	10	0.90
5	L'âme d'air	05	00
			G_{tot}=2.36

b) Sous surcharges d'exploitation:

- Plancher terrasse (inaccessible)..... Q =1,00 kN/m²
- Plancher étage courant : à usage d'habitation Q =1,50 kN/m²
- Plancher à usage bureau..... Q=2,50 kN/m²
- Plancher à usage commercial.....Q=4.00 kN/m²
- Plancher du RDC à usage commercial.....Q=4.00 kN/m²
- L'acrotère..... .Q=1,00 kN/ml
- L'escalier..... Q=2,50 kN/m²
- Balcons..... Q=3,50 kN/m²

c) Charges et surcharges revenant au poteau B3 :

- Surface d'influence: S= (1,85x1,975)+(1,85x1,25)+(1,65x1,975)+(1,65x1,25)

$$S = 11,2875 \text{ m}^2$$

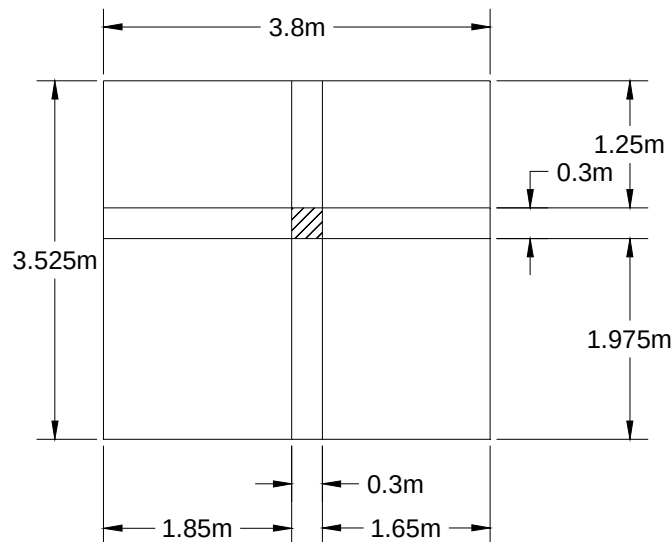


Fig. 1-9 Surface revenant au poteau B₃

d) Charges permanentes revenant à chaque plancher:

- Plancher terrasse: $g=5,68 \text{ KN/m}^2$
- Plancher d'étage courant: $g=5,44 \text{ KN/m}^2$

e) Poids propre revenant à chaque plancher ($G_i = g \times S$) :

- Plancher terrasse : $G_{pt} = 5,68 \times 11,2875 = 64,113 \text{ kN}$
- Plancher d'étage courant : $G_{pc} = 5,44 \times 11,2875 = 61,404 \text{ kN}$

f) Poids revenant à chaque poutre:

- Poutre principale : $G_{pp} = [(1,975 \times 0,3 \times 0,4) + (1,25 \times 0,3 \times 0,4)] \times 25 = 9,675 \text{ kN}$
- Poutre secondaire : $G_{ps} = [(1,65 \times 0,3 \times 0,35) + (1,85 \times 0,3 \times 0,35)] \times 25 = 9,1875 \text{ kN}$

Soit, le poids total des poutres: $G_p = 9,675 + 9,1875 = 18,86 \text{ kN}$.

g) Surcharge d'exploitation:

(surface d'influence étant $S_q = 3,8 \times 3,525 - (0,3 \times 0,3) = 13,305 \text{ m}^2$)

- Plancher terrasse: $Q_0 = 1,00 \times 13,305 = 13,305 \text{ KN}$.
- Plancher d'étage courant: $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = Q_5 = Q_6 = Q_7 = Q_8 = 1,5 \times 13,305 = 19,975 \text{ KN}$
- Plancher 1^{er} étage: $Q_9 = 2,5 \times 13,305 = 33,262 \text{ KN}$.
- Plancher de RDC: $Q_{10} = 4 \times 13,305 = 53,22 \text{ KN}$.

h) Dégression de charges: En raison de nombre d'étages (10) que compose notre ouvrage

($n > 5$), il y a lieu de tenir compte de la loi de dégression des surcharges d'exploitations. Cependant, notons i) si des locaux industriels ou commerciaux occupent certains niveaux, ces derniers ne seront pas comptés dans le nombre d'étages pour lesquels interviennent la loi de dégression et leurs charges seront comptées intégralement ii) pour les immeubles à usage de bureaux, la loi de dégression ne s'applique qu'à la surcharge d'exploitation diminuée de 1 kN/m^2 .

Dans notre cas, la surcharge d'exploitation sera la même pour tous les étages à l'exception de deux niveaux utilisés pour des fins commercial (1^{er} étage) et de bureaux (2^{eme} étage). Nous adopterons pour le calcul des points d'appui les surcharges d'exploitation suivantes :

Sous terrasse..... Q_0 .
 Sous dernier étage..... Q_0+Q_1 (étage 1).
 Sous étage immédiatement inférieur:
 Etage 1..... $Q_0 + 0.95 (Q_1 + Q_2)$
 Etage 2..... $Q_0 + 0.90 (Q_1 + Q_2 + Q_3)$
 Etage 3..... $Q_0 + 0.85 (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)$
 Etage n..... $n \geq 5 : Q_0 + \frac{3+n}{2n} \sum_1^n (Q_i - Q_{ri}) + \sum_1^n (Q_{ri})$

où Q_0 étant la surcharge d'exploitation sur la terrasse ; Q_1 : la surcharge d'exploitation du dernier niveau ; Q_i : la surcharge d'exploitation de l'étage i compter à partir du haut; $Q_{ri} = 1\text{KN/m}^2$ pour les locaux de bureaux et $Q_{ri} = 0$ pour les autres.

Les coefficients de dégression et les valeurs des surcharges sont comme suit :

Niveaux	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Coefficients	1	1	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.71	0.69	0.67	0.65

$$11^{\text{eme}} : Q_0 = 13,305 \text{ KN}$$

$$10^{\text{eme}} : Q_0+Q_1 = 33,280 \text{ KN}$$

$$9^{\text{eme}} : Q_0+0,95(Q_1+ Q_2)=51,257 \text{ KN}$$

$$8^{\text{eme}} : Q_0+0,90(Q_1+ Q_2+ Q_3)=67,237 \text{ KN}$$

$$7^{\text{eme}} : Q_0+0,85(Q_1+ Q_2+ Q_3+ Q_4)=81,220 \text{ KN}$$

$$6^{\text{eme}} : Q_0+0,80(Q_1+ Q_2+ Q_3+ Q_4+ Q_5)=93,205 \text{ KN}$$

$$5^{\text{eme}} : Q_0+0,75(Q_1+ Q_2+ Q_3+ Q_4+ Q_5+ Q_6)=103,192 \text{ KN}$$

$$4^{\text{eme}} : Q_0+0,714(Q_1+ Q_2+ Q_3+ Q_4+ Q_5+ Q_6+ Q_7)=113,140 \text{ KN}$$

$$3^{\text{eme}} : Q_0+0.688(Q_1+ Q_2+ Q_3+ Q_4+ Q_5+ Q_6+ Q_7+ Q_8)=123,247 \text{ KN}$$

$$2^{\text{eme}} : Q_0+0,667(Q_1+ Q_2+ Q_3+ Q_4+ Q_5+ Q_6+ Q_7+ Q_8+ Q_9-Q_{r9})=146,508 \text{ KN}$$

$$1^{\text{er}} : Q_0+0,65(Q_1+ Q_2+ Q_3+ Q_4+ Q_5+ Q_6+ Q_7+ Q_8+ Q_9-Q_{r9}) + Q_{r9}+ Q_{10}=196,672 \text{ KN}$$

Niv	Charges permanentes (KN)					Charges d'exploitations		Effort normal	Section du poteau	
	G _{plancher}	G _{poutre}	G _{poteau}	G _{totale}	G _{cumul}	Q _{plancher}	Q _{cumul}	N _s =G _c +Q _c	S _{trouvée}	S _{adoptée}
10	64,113	18,862	0,000	82,975	82,975	13,305	13,305	96,280	64,187	30x30
9	61,404	18,862	6,885	87,151	170,126	19,975	33,280	203,406	135,604	30x30
8	61,404	18,862	6,885	87,151	257,277	19,975	51,257	308,534	205,689	30x30
7	61,404	18,862	6,885	87,151	344,428	19,975	67,237	411,665	274,440	30x30
6	61,404	18,862	6,885	87,151	431,579	19,975	81,220	512,799	341,866	35x35
5	61,404	18,862	6,885	87,151	518,730	19,975	93,205	611,935	407,957	35x35
4	61,404	18,862	6,885	87,151	605,881	19,975	103,192	709,073	472,715	35x35
3	61,404	18,862	6,885	87,151	693,032	19,975	113,140	806,172	537,448	35x35
2	61,404	18,862	6,885	87,151	780,183	19,975	123,247	903,430	602,287	40x40
1	61,404	18,862	6,885	87,151	867,334	33,262	146,508	1013,842	675,895	40x40
0	61,404	18,862	9,945	90,211	957,545	53,220	196,672	1154,217	769,478	40x40

Toutefois, il faut faire une vérification au flambement par la condition $\lambda = \frac{L_f}{i} \leq 50$ où λ :

élancement du poteau, L_f : longueur de flambement ($L_f = 0.7 l_0$), i : rayon de giration $\left(i = \sqrt{\frac{I}{S}}\right)$;

S: section transversale du Poteau ($S=h \times b$), l_0 : Longueur libre du poteau et I: moment d'inertie par rapport à l'axe faible. Nous aurons du RDC au 2^{ème} étage (poteau 40×40 cm²) avec $l_0 = 4.42\text{m}$: $\lambda = 26.79 < 50$; du 3^{ème} au 6^{ème} étage (poteau 35×35 cm²) avec $l_0 = 3.06\text{ m}$: $\lambda = 21.50 < 50$ et du 7^{ème} au 10^{ème} étage (poteau 30×30 cm²), $l_0 = 3.06\text{ m}$: $\lambda = 24.73 < 50$.

CHAPITRE 2

CALCUL DES ELEMENTS SECONDAIRES

2-1 Planchers :

Le calcul se fera pour le plancher le plus sollicité, constitué en corps creux (Fig. 2-1a) et d'une dalle de compression (16+4) reposant sur des poutrelles préfabriquées (Fig. 2-1b) sur chantier et disposées suivant le sens de la petite portée.

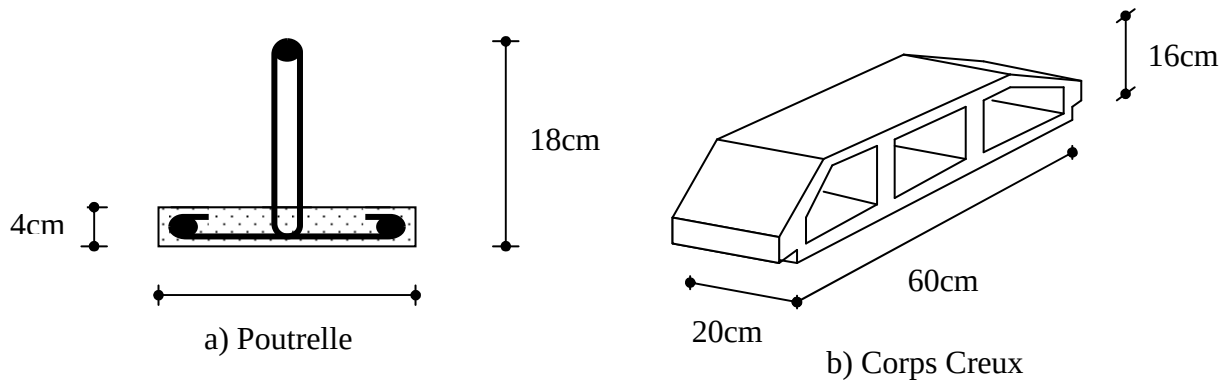


Fig. 2-1 Vue du corps creux et de la section de la poutrelle

2-1-1 Dalle de compression :

La dalle de compression en béton de 4cm d'épaisseur est coulée sur place et elle est armée avec un treillis soudé de nuance TL520, ayant pour but de limiter les risques de fissurations par retrait, de résister aux effets des charges appliqués sur des surfaces réduites et répartir les charges localisés entre poutrelles voisines. Les dimensions des mailles du treillis soudé ne doivent pas dépasser les valeurs imposées par le BAEL 91 à savoir 20cm pour les armatures $\perp$ aux poutrelles et 30cm pour les armatures $//$ aux poutrelles.

a) Armatures perpendiculaires aux poutrelles :

$A_{\perp} [\text{cm}^2/\text{ml}] \geq \frac{200}{f_e}$ lorsque : $L' \leq 50\text{cm}$ et $A_{\perp} [\text{cm}^2/\text{ml}] \geq \frac{4L'}{f_e}$ lorsque : $50\text{cm} \leq L' \leq 80\text{cm}$
 où : L' : longueur entre axes des poutrelles, exprimé en cm ; f_e : limite d'élasticité de l'acier utilisé en MPa. Dans notre cas, $L' = 65\text{cm}$ soit $50\text{cm} \leq L' \leq 80\text{cm}$; ce qui donne : $A_{\perp} \geq \frac{4L'}{f_e}$
 $= \frac{4 \times 65}{520} = 0,5 \text{ cm}^2/\text{ml}$ i.e. $A_{\perp} = 5T5/\text{ml} = 0,98 \text{ cm}^2/\text{ml}$ avec un espacement $S_t = 20\text{cm}$.

b) Armatures parallèles aux poutrelles: $A_{//} [\text{cm}^2/\text{ml}] \geq A_{\perp}/2 = 0,98/2 = 0,49 \text{ cm}^2/\text{ml}$; soit: $5T5/\text{ml} = 0,98 \text{ cm}^2/\text{ml}$ avec un espacement $S_t = 20\text{cm}$.

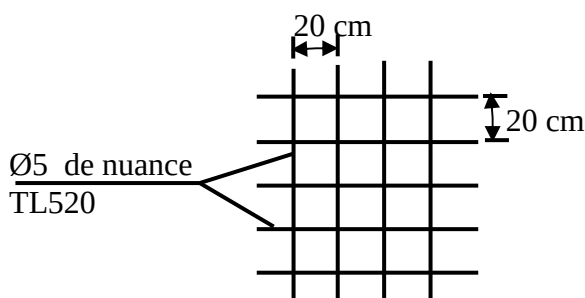


Fig. 2-2 Ferrailage de la dalle de compression

2-1-2 Poutrelles :

Les poutrelles seront placées selon la petite portée et calculées par deux étapes:

a) Avant coulage de la dalle de compression: La poutrelle pré fabriquée est considérée comme une poutre de section rectangulaire de dimensions $(12 \times 4) \text{ cm}^2$, simplement appuyée sur ses deux extrémités et sollicitée en flexion simple. Elle est conçue de manière à supporter au-delà de son poids propre, les charges dues aux corps creux et à la main d'oeuvre.

- Chargement :
- Poids propre de la poutrelle : $G_1 = 0,12 \times 0,04 \times 25 = 0,12 \text{ kN / ml}$
- Poids du corps creux : $G_2 = 0,95 \times 0,65 = 0,6175 \text{ kN / ml}$
- La surcharge de la main d'oeuvre $Q = 1 \times 0,65 = 0,65 \text{ kN / ml}$

D'où, pour la charge permanente: $G = 0,12 + 0,6175 = 0,7375 = 0,74 \text{ kN / ml}$ et pour la charge d'exploitation : $Q = 0,65 \text{ kN / ml}$.

- Ferrailage à l'état limite ultime ELU : (fissuration non préjudiciable) : On fait le calcul pour la travée la plus défavorable, soit d'après la figure 2-3:

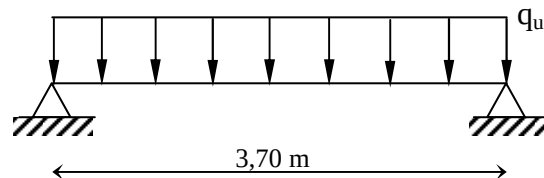


Fig. 2-3 Schéma isostatique de la poutrelle

$$q_u = 1,35 G + 1,5 Q = 1,35 \times 0,74 + 1,5 \times 0,65 = 1,974 \text{ kN / ml}$$

$$M_0 = q_u \cdot L^2 / 8 = 1,974 \times (4)^2 / 8 = 3,95 \text{ kN.ml (moment isostatique à mi-travée)}$$

$$T_{\max} = q_u \cdot L / 2 = 3,95 \text{ kN (effort tranchant sur appui)}$$

- Armatures: enrobage $c=2\text{cm}$; $d = h - c = 4 - 2 = 2\text{cm}$

$$\mu = \frac{M_0}{bd^2 f_{bu}} = \frac{3,95 \times 10^3}{120 \times 20^2 \times 14,2} = 5,795 \quad \mu_1 = 0,392 \Rightarrow \mu > \mu_1 \Rightarrow \text{S.D.A}$$

Cependant, vu la faible hauteur de la poutrelle, il est impossible de disposer deux nappes d'armatures. Par conséquent, il est nécessaire de prévoir un étayage pour soulager la poutrelle à supporter les charges d'avant coulage de la dalle de compression.

b) Après coulage de la dalle de compression: Dans ce cas, la poutrelle sera calculée comme une poutre en T reposant sur plusieurs appuis où les charges seront supposées uniformément réparties sur l'ensemble des poutrelles.

- Dimensionnement de la dalle de compression: $h = 16 + 4 = 20 \text{ cm}$ (hauteur de la poutrelle) où $h_0 = 4 \text{ cm}$ (hauteur de la dalle de compression) et $b_0 = 12 \text{ cm}$ (largeur de la nervure).
- Détermination de la largeur de la table de compression: [Art .A.4.1.3 BAEL91, Fig.2-4]

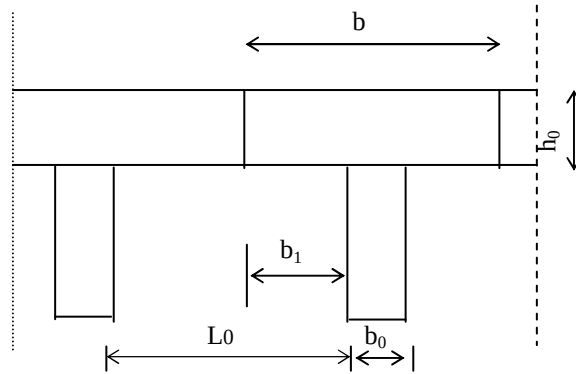


Fig. 2-4 Construction de la section en T

- Largeur de la table à mi-travée: $b_1 \leq \min \left(\frac{L_0}{2} ; \frac{L}{10} ; \frac{2}{3} X ; \frac{L_1+L_2}{40} + \frac{2}{3} X \right)$ où :

- $b_1 \leq \frac{L_0}{2} = \frac{65-12}{2} = 26,5 \text{ cm}$
- $b_1 \leq \frac{L}{10} = \frac{370}{10} = 37 \text{ cm}$
- $b_1 \leq \frac{2}{3} X = \frac{2}{3} \left(\frac{370}{2} \right) = 123,33 \text{ cm}$
- $b_1 \leq \frac{L_1+L_2}{40} + \frac{2}{3} X \Rightarrow b_1 \leq \frac{370+330}{40} + \frac{2}{3} \left(\frac{370}{2} \right) = 140,83 \text{ cm}$

$b_1 \leq \min (26,5 ; 37 ; 123,33 ; 140,83)$, donc: $b_1 = 26,5 \text{ cm}$; soit :
 $b = 2 b_1 + b_0 = 26,5 \times 2 + 12 = 65 \text{ cm}$. Avec : L_0 : distance entre deux faces voisines de deux poutrelles ; L : longueur de la plus grande portée ; X : distance de la section considérée à l'axe de l'appui extrême le plus rapproché ; L_1, L_2 : portées encadrant l'appui intermédiaire le plus rapproché ; b_0 = largeur de la nervure ($b_0=12 \text{ cm}$) ; h_0 = épaisseur de la dalle de compression ($h_0=4 \text{ cm}$).

c) Charges et surcharges:

- Plancher d'étage courant: $G = 0.65 \times 5.68 = 3.69 \text{ kN/m}$; $Q = 0.65 \times 1.5 = 0.98 \text{ kN/m}$.
- Combinaison de charges:
 ELU: $q_u = 1,35 G + 1,5 Q = 6,45 \text{ kN/m}$; ELS : $q_s = G + Q = 4,67 \text{ kN/m}$
- Plancher à usage commercial:
 $G = 0.65 \times 5.68 = 3.68 \text{ kN/m}$; $Q = 0.65 \times 4 = 2.6 \text{ kN/m}$.
- Combinaison de charges:
 ELU: $q_u = 1,35 G + 1,5 Q = 8,88 \text{ kN/m}$; ELS : $q_s = G + Q = 6,29 \text{ kN/ml}$

d) Choix de la méthode de calcul:

Vérifions d'abord les conditions d'application de la méthode forfaitaire (BAEL99/Art B.2.210]:

- la valeur de la surcharge d'exploitation respecte la condition :

$$Q = 2.6 \text{ kN/ml} \leq \min (2G ; 5 \text{ kN/m}^2) = \min (7.384 ; 5).$$

- les moments d'inerties des sections transversales sont les mêmes dans les différentes travées

- les portées successives sont dans un rapport compris entre 0.8 et 1.25.

$$0.8 \leq \frac{L_i}{L_{i+1}} \leq 1.25 ; \frac{L_1}{L_2} = \frac{2.90}{3.70} = 0.78 ; \frac{L_2}{L_3} = \frac{3.70}{3.30} = 1.12 ; \frac{L_3}{L_4} = \frac{3.30}{2.80} = 1.17 ; \frac{L_6}{L_7} = \frac{3.70}{2.90} = 1.27$$

La méthode forfaitaire ne s'applique donc pas applicable puisque la dernière condition n'est pas satisfaite. Utilisons alors la méthode des trois moments.

e) Rappel de la méthode des trois moments (fig. 2-5):

- Moments sur appuis:

$$M_{i-1} \frac{L_i}{I_{i-1}} + 2M_i \left(\frac{L_i}{I_i} + \frac{L_{i+1}}{I_{i+1}} \right) + M_{i+1} \frac{L_{i+1}}{I_{i+1}} = -6E(W_i^g + W_i^d)$$

$$\text{Avec : } W_i^g = q_i \frac{L_i^3}{24EI_i} \text{ et } W_i^d = q_{i+1} \frac{L_{i+1}^3}{24EI_{i+1}}$$

$$\text{Soit: } M_{i-1}L_i + 2M_i(L_i + L_{i+1}) + M_{i+1}L_{i+1} = -\left(\frac{q_i L_i^3}{4} + \frac{q_{i+1} L_{i+1}^3}{4}\right)$$

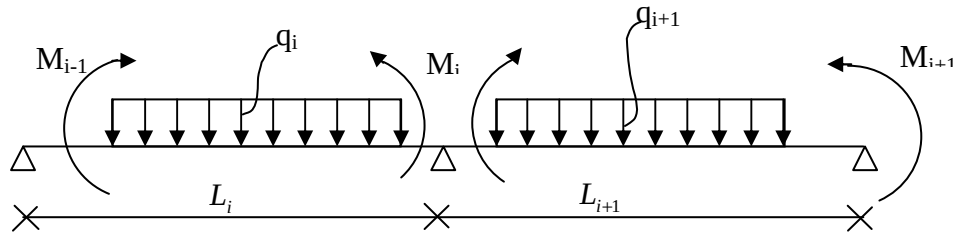


Fig. 2-5 Système de base de la méthode des 3 moments

- Moment en travées:

$$M(X) = \mu(X) + M_i + \frac{M_{i+1} - M_i}{L_{i+1}} X : \text{Moment à l'abscisse } X \text{ de la travée } (i+1)$$

$$\mu(X) = q \cdot \frac{L_{i+1}}{2} \cdot X - q \cdot \frac{X^2}{2} ; M(X) \text{ prend la valeur maximale quand } T(X) = 0 \text{ i.e:}$$

$$X = \frac{L_{i+1}}{2} + \frac{M_{i+1} - M_i}{q \cdot L_{i+1}}$$

- Efforts tranchants: $T(X) = \frac{dM(X)}{dX} = \frac{q \cdot L_{i+1}}{2} - q \cdot X + \frac{M_{i+1} - M_i}{L_{i+1}}$

$$\text{Pour } X = i \rightarrow T(i) = \frac{q \cdot L_{i+1}}{2} + \frac{M_{i+1} - M_i}{L_{i+1}}$$

$$\text{Pour } X = i + 1 \rightarrow T(i + 1) = \frac{-q \cdot L_{i+1}}{2} + \frac{M_{i+1} - M_i}{L_{i+1}}$$

f) Calcul des efforts à l'ELU (Fig. 2-6):

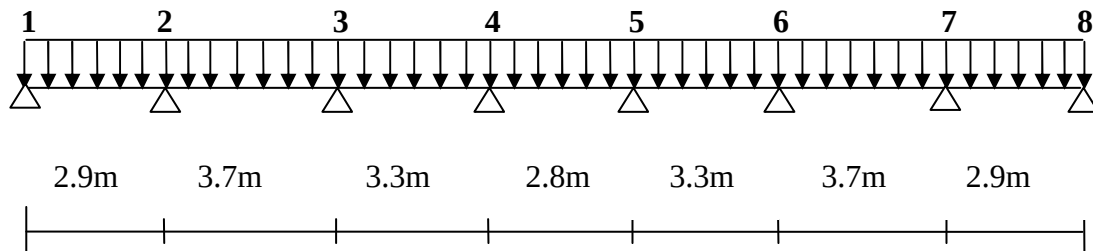


Fig. 2-6 Schéma statique de la poutrelle : (poutrelle a 7 travées)

- Moments sur appuis ($M_1 = M_8 = 0$):
- Appui $i=2$; $13.2 M_2 + 3.7 M_3 = -18.76 q_u$
- Appui $i=3$; $3.7 M_2 + 14 M_3 + 3.3 M_4 = -21.65 q_u$
- Appui $i=4$; $3.3 M_3 + 12.2 M_4 + 2.8 M_5 = -14.47 q_u$
- Appui $i=5$; $2.8 M_4 + 12.2 M_5 + 3.3 M_6 = -14.47 q_u$
- Appui $i=6$; $3.3 M_5 + 14 M_6 + 3.7 M_7 = -21.65 q_u$
- Appui $i=7$; $3.7 M_6 + 13.2 M_7 = -18.76 q_u$

La résolution du système d'équation nous donne les résultats suivants :

$M_1 = M_8 = 0$; $M_2 = M_7 = -1.119 q_u = -9.948 \text{ KN.m}$; $M_3 = M_6 = -1.079 q_u = -9.592 \text{ KN.m}$;
 $M_4 = M_5 = -0.727 q_u = -6.463 \text{ KN.m}$.

Notons que la méthode des trois moments surestime les moments aux appuis et sous estime les moments en travées, pour cela on réduit les moments sur appui de $1/3$ des valeurs calculées et les valeurs des moments en travées seront majorées en conséquence ii) pour tenir compte des semi-encastres des appuis de rive, on multiplie les moments isostatiques des travées de rive par le coefficient 0.3.

Les moments corrigés aux appuis et en travées sont (Fig.2-7):

- $M_1 = M_8 = 15.213 \times 0.3 = -4.56 \text{ kN.m}$; $M_2 = M_7 = -9.948 \times 0.7 = -6.96 \text{ kN.m}$;
 $M_3 = M_6 = -9.592 \times 0.7 = -6.71 \text{ kN.m}$; $M_4 = M_5 = -6.463 \times 0.7 = -4.52 \text{ kN.m}$.
- Travée 1-2 : $X = 1.357 \text{ m}$; $M_{tAB} = 3.620 \text{ kN.m}$; Travée 2-3 : $X = 1.858 \text{ m}$;
 $M_{tBC} = 8.374 \text{ kN.m}$; Travée 3-4 : $X = 1.725 \text{ m}$; $M_{tCD} = 6.508 \text{ kN.m}$; Travée 4-5 :
 $X = 1.400 \text{ m}$; $M_{tDE} = 4.188 \text{ kN.m}$

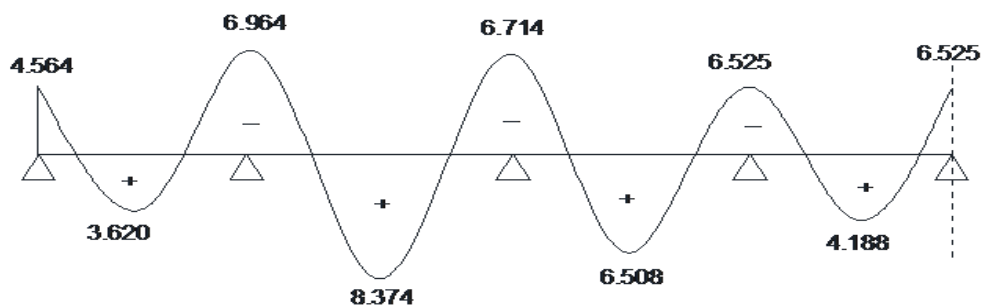


Fig. 2-7 Diagramme des moments sous charges ultimes

Les efforts tranchants sont (Fig. 2-8):

Travée 1-2: $T_w = 2.063 \text{ kN}$, $T_e = -13.718 \text{ kN}$; travée 2-3: $T_w = 16.5154 \text{ kN}$, $T_e = -16.379 \text{ kN}$;
travée 3-4 : $T_w = 15.332 \text{ kN}$, $T_e = -14.005 \text{ kN}$; travée 4-5 : $T_w = 12.446 \text{ kN}$, $T_e = -12.446 \text{ kN}$;
travée 5-6: $T_w = 14.005 \text{ kN}$, $T_e = -15.332 \text{ kN}$; travée 6-7: $T_w = 16.372 \text{ kN}$, $T_e = -16.514 \text{ kN}$;
Travée 7-8: $T_w = 13.718 \text{ kN}$, $T_e = -12.063 \text{ kN}$.

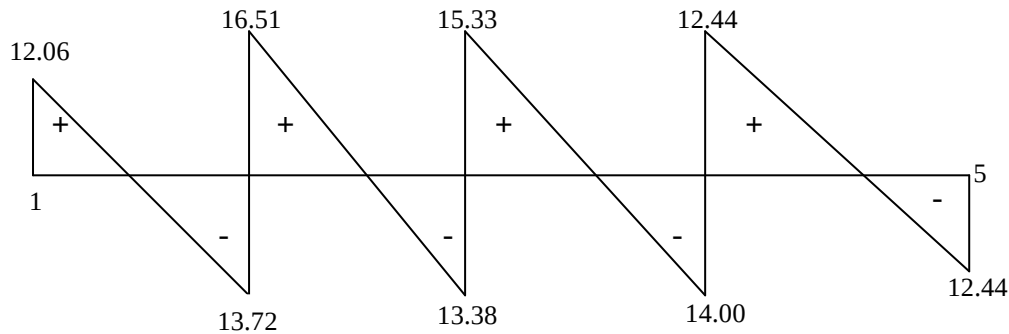


Fig. 2-8 Diagramme des efforts tranchants sous charges ultimes

g) Ferrailage:

la poutrelle sera ferrillée à l'ELU et vérifiée à l'ELS en considérant le moment maximal en travée et en appuis.

▪ Armatures longitudinales:

- En travées: le moment maximal en travée est $M_{\max}^t = 8.374 \text{ kN.m}$; le moment équilibré par la table de compression :

$$M_{\text{tab}} = b \times h_0 \times \left(d - \frac{h_0}{2} \right) \times f_{bu} = 0.65 \times 0.04 \times (0.18 - 0.02) \times 14.2 \times 10^3 = 59.072 \text{ kN.m.}$$

$M_{\max}^t < M_{\text{tab}}$, l'axe neutre est alors dans la table de compression et le calcul se fera pour une section rectangulaire ($b=65\text{cm}$; $h=20\text{cm}$) :

$$\mu = \frac{M_{\max}^t}{b d^2 f_{bu}} = \frac{8.374}{0.65 \times (0.18)^2 \times 14.2 \times 10^3} = 0.0280 ; \mu = 0.0280 < \mu_0 = 0.392 : \text{SSA} ;$$

$$\mu = 0.0280 ; \beta = 0.9858 ; A_{st} = \frac{M_{\max}^t}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{8.374}{0.9858 \times 0.18 \times 348} \times 10 = 1.36 \text{ cm}^2$$

$$A_{st} = 3\text{HA}10 = 2.35 \text{ cm}^2.$$

Sur appuis: Le moment maximal $M_a^{\max} = 6.964 \text{ kN.m}$; puisque le béton tendu est négligé,

on fera le calcul pour une section rectangulaire ($b_0 \times d$) : $\mu = \frac{M_{\max}^a}{b_0 d^2 f_{bu}} =$

$$\frac{6.964}{0.12 \times 0.18^2 \times 14.2 \times 10^3} = 0.1261 ; \mu = 0.1261 < \mu_0 = 0.392 : \text{SSA} ; \mu = 0.1261 \Rightarrow \beta = 0.932$$

$$A^a = \frac{M_{\max}^a}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{6.964}{0.932 \times 0.18 \times 348} \times 10 = 1.19 \text{ cm}^2. \text{ Soit : } A^a = 2\text{HA}10 = 1.57 \text{ cm}^2.$$

- Armatures transversales:

$$\Phi_t \leq \min \left(\frac{b_0}{10}, \frac{h}{35}, \Phi_{\ell}^{\max} \right) = \left(\frac{12}{10}, \frac{20}{35}, 1 \right) = 0.57 \text{ cm}$$

$\Phi_{\ell}^{\max}$: Diamètre maximale des armatures longitudinales. On choisit un cadre $\Phi 6$ avec $A_t = 2\text{HA}6 = 0.67 \text{ cm}^2$.

- Espacement : $s_t \leq \min(0.9d ; 40 \text{ cm}) = \min(0.9 \times 18 ; 40 \text{ cm}) = 16.2 \text{ cm}$; soit $S_t = 16 \text{ cm}$.

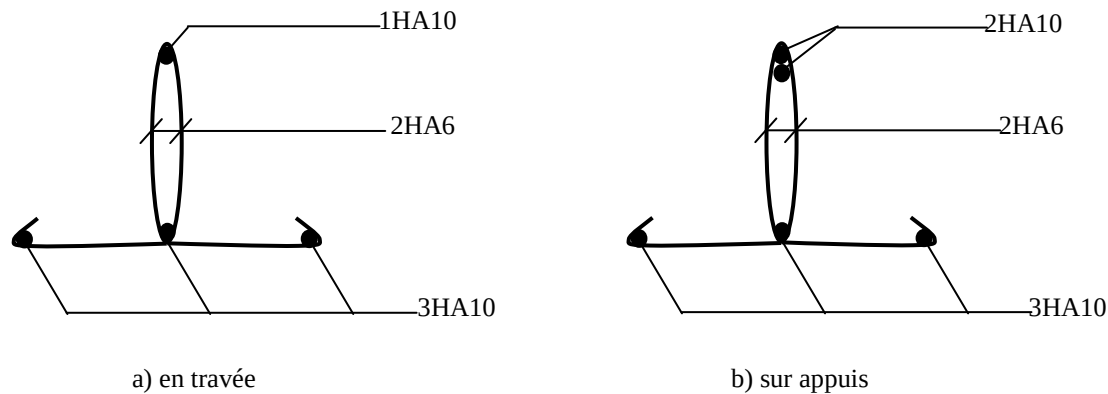


Fig. 2-9 Plan de ferrailage des poutrelles

- Ancrages des armatures (BAEL91/ Art 6.1,23):

les barres rectilignes de diamètre Φ et de limite d'élasticité f_e seront ancrées sur une longueur L_s , dite la longueur de scellement droit. La longueur de scellement droit d'après les règles BAEL91 vaut : $L_s = \frac{\Phi \times f_e}{4 \times \tau_{su}}$; avec :

τ_{su} : contrainte d'adhérence ; $\tau_{su} = 0,6\Psi^2 f_{t28} = 0,6.(1,5)^2.2,1 = 2,835 \text{ MPa}$; $\psi_s = 1.5$ pour les aciers à haute Adhérence, ψ_s : coefficient de scellement.

Pour $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$ et Fe400 : $\frac{L_s}{\Phi} = 35.3$ et pour $\Phi = 10\text{mm}$: $L_s = 35.3 \text{ cm}$ soit $L_s = 35\text{cm}$ et : $L_a = 0.4 L_s = 14\text{cm}$ (longueur des crochets).

h) Vérification à l'ELU:

- Condition de non fragilité du béton: [BAEL 91 Art 4.2, 1] :

$$A_{min} = 0.23b_0d \frac{f_{t28}}{f_e} = 0.23 \times 12 \times 18 \times \frac{2.1}{400} = 0.26 \text{ cm}^2 \text{ où en travée :}$$

$$A_t = 2.35 \text{ cm}^2 \geq A_{min} \text{ et en appui : } A_a = 1.57 \text{ cm}^2 \geq A_{min} .$$

- Contrainte tangentielle: [BAEL 91 Art 5.12,11]:

la fissuration étant peu nuisible, on doit vérifier que $\tau_u < \bar{\tau}_u$. $T_{max} = 16,514 \text{ kN}$;

$$\tau_u = T_{max} / b_0.d = 16,514.10 / 12.18 = 0.765 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau}_u = \min \left\{ 0,2 \frac{f_{c28}}{\gamma_b} ; 5 \text{ MPa} \right\} = 3,33 \text{ MPa} ; \tau_u = 0,765 \text{ MPa} < \bar{\tau}_u = 3,33 \text{ MPa} .$$

- Influence de l'effort tranchant sur le béton (au niveau des appuis) [BAEL 91 /ART A.5.1, 313]:

On doit vérifier que

$$T_{max} \leq 0.4 \left(\frac{f_{c28}}{\gamma_b} \right) a \times b_0 = 0.4 \times \left(\frac{25}{1.5} \right) 16.2 \times 12 \times 10^{-1} = 129.6 \text{ kN} ; a = 0.9d = 0.9 \times 18 = 16.2 \text{ cm}.$$

- Appuis de rive: $T = 12.063 \text{ kN} \leq 129.6 \text{ kN}$; condition vérifiée.
- Appuis intermédiaires: $T = 16.514 \text{ kN} \leq 129.6 \text{ kN}$; condition vérifiée.

▪ **Vérifications de la contrainte d'adhérence et d'entraînement :** [BAEL91/Art 6.1, 3]
la contrainte d'adhérence et d'entraînement τ_{se} sur un paquet de barres (ou une barre isolée) faisant partie de l'armature tendue d'une poutre est donnée par la condition: $\tau_{se} \leq \overline{\tau_{se}}$

$$\tau_{se} = \frac{T_{max}}{0.9d \times \sum U_i} = \frac{16.514 \times 10}{0.9 \times 18 \times (3 \times 3.14 \times 1.0)} = 1.08 \text{ MPa} ;$$

$\overline{\tau_{se}} = \psi \times f_{t28} = 1.5 \times 2.1 = 3.15 \text{ MPa}$. $\tau_{se} \leq \overline{\tau_{se}}$: condition vérifiée
où $\psi = 1.5$ pour l'acier HA et $\sum U_i$ étant le périmètre des aciers.

▪ **Influence de l'effort tranchant sur les armatures longitudinale inférieures :**

Au niveau de l'appui intermédiaire: $T_{max} + \frac{M_a}{0.9d} < 0$; $\frac{M_a}{0.9d} = \frac{-6.964}{0.9 \times 18 \times 10^{-2}} = -42.98 \text{ kN}$

$$T_{max} + \frac{M_a}{0.9d} = 16.514 - 42.98 = -26.47 < 0 ; \text{les armatures longitudinales inférieures}$$

supplémentaires ne sont pas nécessaires.

i) **Vérification à l'ELS:**

lorsque la charge est la même sur toutes les travées de la poutre, ce qui est notre cas, pour obtenir les valeurs à l'ELS, il suffit de multiplier les résultats de calcul à l'ELU par le coefficient q_s/q_u . Soit: $q_s = G+Q = 6.29 \text{ kN/ml}$; $q_u = 8.89 \text{ kN/ml}$;
 $q_s/q_u = 6.29/8.89 = 0.7075$.

▪ **Moments fléchissants :**

- Sur appuis : $M_a^{ser} = 6.964 \times 0.7075 = 4.93 \text{ kN.m}$
- En travées : $M_t^{ser} = 8.374 \times 0.7075 = 5.93 \text{ kN.m}$

▪ **Vérification de la résistance à la compression du béton:**

- Aux appuis:

$$\rho_1 = \frac{100 \times A_a}{b_0 \times d} = \frac{100 \times 1.57}{12 \times 18} = 0.726 \Rightarrow \begin{cases} \beta_1 = 0.876 \\ K = 0.039 \end{cases}$$

$$\text{La contrainte dans les aciers est } \sigma_s = \frac{M_a^{ser}}{\beta_1 \times d \times A_a} = \frac{4.93 \times 10^3}{0.876 \times 18 \times 1.57} = 199.15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 199.15 \text{ MPa} < \overline{\sigma_s} = 348 \text{ MPa} , \text{ condition vérifiée.}$$

$$\text{La contrainte dans le béton : } \sigma_{bc} \leq \overline{\sigma_{bc}} = 0.6 \times f_{c28} = 15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bc} = K \times \sigma_s = 0.039 \times 199.15 = 7.77 \text{ MPa} \leq 15 \text{ MPa.}$$

$$\text{- En travée: } \rho_1 = \frac{100 \times A_t}{b_0 \times d} = \frac{100 \times 2.35}{12 \times 18} = 1.088 \Rightarrow \begin{cases} \beta_1 = 0.857 \\ K = 0.050 \end{cases}$$

La contrainte dans les aciers est

$$\sigma_s = \frac{M_t^{ser}}{\beta_1 \times d \times A_{st}}$$

$$\sigma_s = \frac{5,93 \times 10^3}{0,857 \times 18 \times 2,35} = 163,58 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 163,58 \text{ MPa} < \bar{\sigma}_s = 348 \text{ MPa} ; \text{ condition vérifiée.}$$

$$\text{La contrainte dans le béton } K \cdot \sigma_s = 0,05 \times 163,58 = 8,18 \text{ MPa} \leq 15 \text{ MPa.}$$

▪ **Etat limite d'ouverture des fissures:**

Nous avons une fissuration peu préjudiciable $\Rightarrow$ aucune vérification n'est nécessaire.

- Vérification de la flèche :

Il n'est pas nécessaire de procéder à la vérification de la flèche si :

$$1) \frac{h}{\ell} > \frac{1}{16}$$

$$2) \frac{h}{\ell} > \frac{1}{10} \times \frac{M_t^s}{M_0}$$

$$3) \frac{A}{b_0 \times d} < \frac{4,2}{f_e}$$

$$\text{Nous avons : } \frac{h}{\ell} = \frac{20}{370} = 0,05 < \frac{1}{16}$$

✓ Donc la première condition n'est pas vérifiée, le calcul de la flèche est obligatoire.

- Calcul de la flèche :

$$f = \frac{M_s \times L^2}{10 \times E_v \times I_{fv}} \leq \bar{f} = \frac{L}{500}$$

$\bar{f}$: La flèche admissible

E_v : Module de déformation différée ($E_v = 10818,865 \text{ MPa}$)

I_{fv} : Inertie fictive de la section pour les charges de longue durée

$$I_{fv} = \frac{1,1 \times I_0}{1 + \lambda_v \times \mu}$$

I_0 : Moment d'inertie totale de la section homogène

$$\mu = \max \left(1 - \frac{1,75 \times f_{t28}}{4 \times \rho \sigma_s + f_{t28}}, 0 \right)$$

$$\lambda_v = \frac{0,02 \times f_{t28}}{\rho \left(2 + 3 \frac{b_0}{b} \right)}$$

Avec :

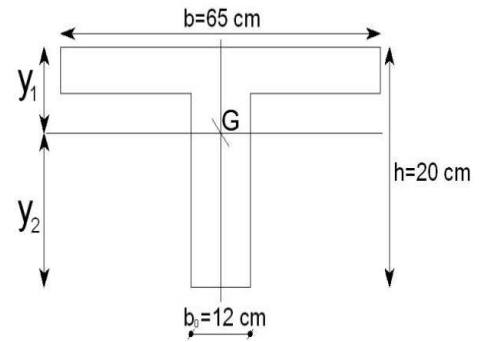
ρ : Le rapport des aciers tendus a celui de la section utile de la nervure, $\rho = A/b_0.d = 0,0108$

- Calcul des paramètres :

$$S_{xx'} = \frac{b_0 h^2}{2} + (b - b_0) \frac{h_0^2}{2} + 15 A_t d$$

$$S_{xx'} = \frac{12 \times 20^2}{2} + (65 - 12) \frac{4^2}{2} + 15 \times 2.35 \times 18$$

$$S_{xx'} = 3458.5$$



$$B_0 = B + nA = b_0 \times h + (b - b_0) h_0 + 15 A_t = (12 \times 20) + (65 - 12) \times 4 + (15 \times 2.35) = 487.25$$

$$\text{Position de l'axe neutre : } y_1 = \frac{S_{xx'}}{B_0} = \frac{3458.5}{487.25} = 7.1 \text{ cm ; } y_2 = h - y_1 = 20 - 7.1 = 12.90 \text{ cm}$$

$$I_0 = \frac{b_0}{3} \times (y_1^3 + y_2^3) + (b - b_0) \times \frac{h_0^3}{12} + (b - b_0) \times h_0 \times \left(y_1 - \frac{h_0}{2} \right)^2 + 15 \times A_t \times (y_2 - c)^2$$

$$I_0 = 20021.06 \text{ cm}^4 ; \rho = \frac{A_t}{b_0 \times d} = \frac{2.35}{12 \times 18} = 0.0109 ; \beta_1 = 0.981$$

$$\sigma_s = \frac{M_t^{ser}}{\beta_1 \times d \times A} = \frac{5.93 \times 10^3}{0.981 \times 18 \times 2.35} = 163.58 \text{ MPa (contrainte dans les aciers tendus)}$$

- Calcul des coefficients : $\mu = \max \left(1 - \frac{1.75 \times 2.1}{4 \times 0.0109 \times 163.58 + 2.1}, 0 \right) = 0.401.$

$$\lambda_v = \frac{0.02 \times 2.1}{\left(2 + \frac{3 \times 12}{65} \right) \times 0.0109} = 1.5 ; I_{fv} = \frac{1.1 \times 20021.06}{1 + (0.401 \times 1.5)} = 1375.59 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{M_t^{ser} \times L^2}{10 \times E_v \times I_{fv}} = \frac{5.93 \times 10^6 \times (3700)^2}{10 \times 10818.865 \times 13751.59 \times 10^4} = 5.46 \text{ mm}$$

$$\bar{f} = \frac{L}{500} = \frac{3700}{500} = 7.4 \text{ mm soit } f < \bar{f}$$

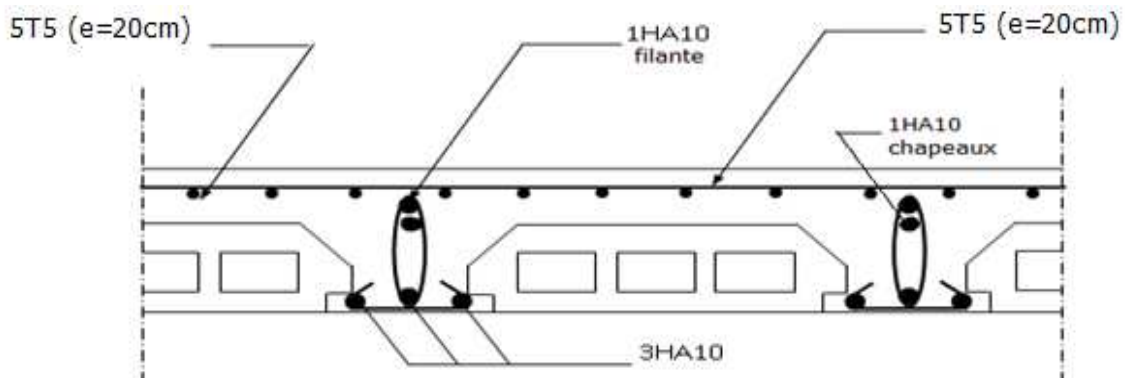


Fig. 2-10. Plan de ferrailage du plancher

2-2 L'acrotère :

L'acrotère est un élément destiné à assurer la sécurité totale au niveau de la terrasse, dont il forme un écran pour toute chute et participe dans la mise hors eau de la structure. Il est assimilé à une console encastrée au niveau de la poutre du plancher terrasse, soumise à son poids propre « G » et à une poussée latérale « Q » due à la main courante provoquant un moment de renversement « M » dans la section de l'encastrement (section dangereuse). Le ferrailage sera calculé en flexion composée avec une compression pour une bande de 1m de largeur.

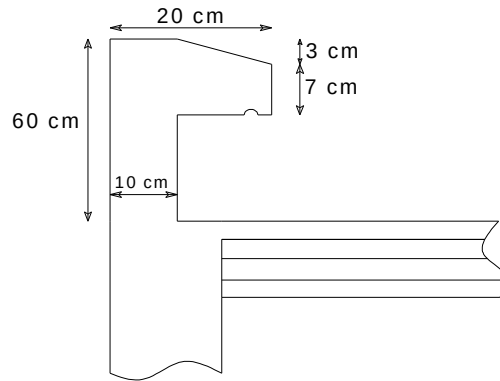


Fig. 2-11 Coupe verticale de l'acrotère

2-2-1 Détermination des sollicitations

- Effort normal dû au poids propre: $G = S \times \rho$ avec S étant la section transversale et ρ : la masse volumique du béton.

$$G = 25 [0.6 \times 0.1 + (0.1 + 0.07) + \frac{(0.3 \times 0.1)}{2}] = 1.713 \text{ kN/ml} ; \text{ d'où : } N = G \times 1\text{ml} = 1.713 \text{ kN.}$$

- Effort horizontal dû à la poussée latérale : $Q = 1 \text{ kN/ml}$
- Moment de renversement dû à l'effort horizontal Q : $M_r = Q \times H = 1 \times 0.6 = 0.6 \text{ kN.m}$
- Effort tranchant: $T = Q \times 1\text{ml} = 1.00 \text{ kN}$

- Diagramme des efforts internes:

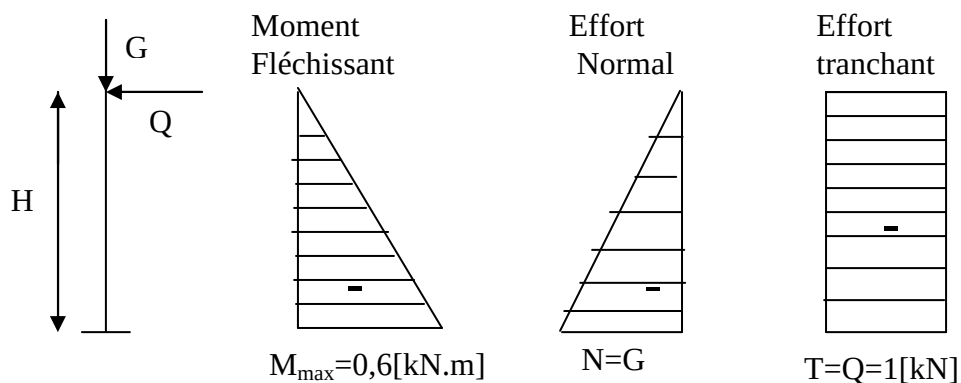


Fig. 2-12 Diagramme des efforts internes

2-2-2 Combinaison des charges

- Etat limite ultime (ELU) : $1.35G + 1.5Q$
 - Effort normal de compression : $N_u = 1.35G = 1.35 \times 1.713 = 2.312 \text{ kN/ml}$
 - Effort tranchant : $T_u = 1.5Q = 1.5 \times 1 = 1.5 \text{ kN/ml}$
 - Moment de renversement : $M_u = 1.5 M_r = 1.5 \times 0.6 = 0.9 \text{ kN.m}$
- Etat limite de service (ELS) : $G + Q$
 - Effort normal de compression : $N_s = G = 1.713 \text{ kN/ml}$
 - Effort tranchant : $T_s = Q = 1 \text{ kN/ml}$
 - Moment de renversement : $M_s = M_r = 0.6 \text{ kN.m}$

2-2-3 Ferrailage de l'acrotère

Le calcul se fera pour une section rectangulaire de hauteur $h=10\text{cm}$ et de largeur $b=100 \text{ cm}$ soumise à la flexion composée à l'ELU que l'on vérifiera ensuite à l'ELS.

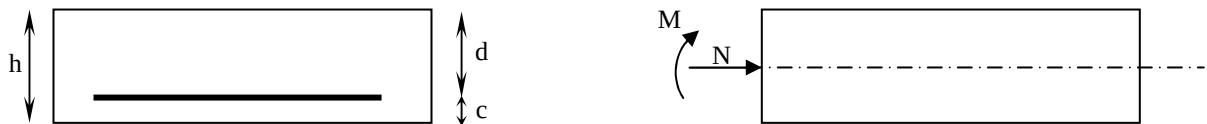


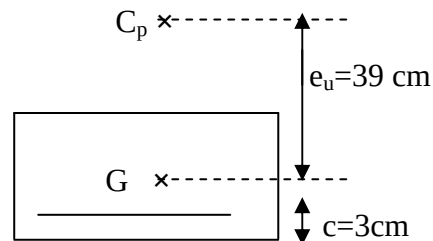
Fig. 2-13 Schéma de calcul de l'acrotère

a) Armatures à l'ELU

$h = 10 \text{ cm}$; $b = 100 \text{ cm}$; $d = 7 \text{ cm}$; $c = 3 \text{ cm}$

$$e_u = \frac{M_u}{N_u} = \frac{0.9}{2.312} = 0.389 = 39 \text{ cm} > \frac{h}{2} - c = 0.02 \text{ m}$$

$$a = \frac{h}{2} - c = \frac{10}{2} - 3 = 2 \text{ cm} \Rightarrow e_u > \frac{h}{2} - c$$



Avec a : la distance entre le CDG de la section et le CDG des armatures tendues.

$e_u > \frac{h}{2} - c \Rightarrow$ le centre de pression (C_p) se trouve à l'extérieur de la zone délimitée par les armatures. L'effort normal N est un effort de compression, donc la section est partiellement comprimée (SPC). Elle sera calculée en flexion simple sous l'effet d'un moment fictif M_f puis vérifiée à la flexion composée.

- Calcul en flexion simple:
le moment fictif est donné par :

$$M_f = M_u + N_u \left(\frac{h}{2} - c \right) = 0.9 + 2.312(0.05 - 0.03) = 0.946 \text{ kN.m.}$$

$$\mu_b = \frac{M_f}{bd^2 f_{bc}} = \frac{0.946 \times 10^3}{100 \cdot 7^2 \cdot 14.2} = 0.0135 ;$$

$\mu_b = 0.0135 < \mu_r = 0.392 \Rightarrow$ la section est simplement armée (SSA) ;

$$\mu_b = 0.0135 \Rightarrow \beta = 0.9935 ; \text{ d'où : } A_f = \frac{M_f}{\beta d \sigma_{st}} = \frac{0.945 \times 10^3}{0.993 \cdot 7 \cdot 348} = 0.39 \text{ cm}^2 ; A_f = 0.39 \text{ cm}^2$$

- Calcul en flexion composée (armatures réelles) :

la section d'acier réelle est déterminée par $A = A_f - (N / \sigma_{st}) = 0.390 - (2,312 \times 10 / 348) = 0.323 \text{ cm}^2$ avec :

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{400}{1.15} = 348 \text{ MPa.}$$

- **Condition de non fragilité du béton (de la section minimale)** [BAEL 91/ Art 4.2, 1] :

Un élément est considéré comme non fragile lorsque la section des armatures tendues qui travaille à la limite élastique est capable d'équilibrer le moment de première fissuration de la section droite. $A_{\min} = 0.23 b d \frac{f_{t28}}{f_e} \times \left[\frac{e_s - 0.455d}{e_s - 0.185d} \right]$; $e_s = \frac{M_s}{N_s} = 0.60 / 1.713 = 0.35 \text{ m} = 35 \text{ cm}$

$$f_{t28} = 0.6 + 0.06 f_{c28} = 2.1 \text{ MPa} ; A_{\min} = 0.23 \times 100 \times 7 \times \left(\frac{2.1}{400} \right) \left[\frac{35 - 0.455 \times 7}{35 - 0.185 \times 7} \right] = 0.798 \text{ cm}^2$$

$A_{\min} = 0.798 \text{ cm}^2 > A = 0.323 \text{ cm}^2 \Rightarrow$ la condition de non fragilité n'est pas vérifiée, donc on prend : $A = A_{\min} = 0.798 \text{ cm}^2$. On opte pour $A = 4\text{HA}8 = 2.01 \text{ cm}^2$ avec un espacement $S_t = 25 \text{ cm}$.

- **Armatures de répartition:**

$$A_r \geq \frac{A}{4} \Rightarrow A_r \geq \frac{2.01}{4} = 0.5025 \text{ cm}^2$$

On prend $A_r = 4\text{HA}8 = 2.01 \text{ cm}^2$, avec un espacement $S_t = 15 \text{ cm}$

- **Vérification au cisaillement :** [Art A.5.1 ; 1..BAEL]

La fissuration étant préjudiciable, le BAEL91 recommande de vérifier:

$$\overline{\tau_u} \leq \min \left[\frac{0.15 f_{c28}}{\gamma_b} ; 4 \text{ MPa} \right] \Rightarrow \overline{\tau_u} = 2.5 \text{ MPa} ; \text{ la contrainte maximale vaut:}$$

$$\tau_u = V_u / b d = \frac{1.5 \times 10^3}{1000 \times 70} = 0.0214 \text{ MPa} ; \tau_u = 0.0214 \text{ MPa} < \overline{\tau_u} = 2.5 \text{ MPa}$$

- **Vérification de l'adhérence des barres :** [Art A.6.1 ; 3..BAEL]

$$\overline{\tau_{se}} = \Psi_s \times f_{t28} = 1,5 \times 2,1 = 3,15 \text{ MPa} ; \Psi_s : \text{Coefficient de scellement}$$

$$\tau_{se} = \frac{V_u}{0,9 \times d \times \sum U_i} \text{ avec } \sum U_i : \text{Somme des périmètres ultimes des barres :}$$

$$\sum U_i = \pi \times n \times \phi = 3,14 \times 4 \times 0,8 = 10,048 \text{ cm} ; n : \text{Nombre de barres ; d'où}$$

$$\tau_{se} = \frac{1,5 \times 10}{0,9 \times 8 \times 10,048} = 0,2 \text{ MPa} ; \tau_{se} < \overline{\tau_{se}} \text{ La section est donc vérifiée.}$$

- **Espacement des barres :**

- armatures principales : $S_t \leq \min (3h, 33 \text{ cm}) = 30 \text{ cm}$.

$$S_t = 25 \text{ cm} < 30 \text{ cm} \quad \text{vérifiée.}$$

- Armatures de répartition : $S_t \leq \min (4h, 45 \text{ cm}) = 40 \text{ cm}$.

$$S_t = 15 \text{ cm} < 40 \text{ cm} \quad \text{vérifiée.}$$

- **Ancrage des barres :** [Art A.6.1 ; 23..BAEL]

La longueur de scellement L_s est donné par : $L_s = 40\phi = 40 \times 0.8 = 32 \text{ cm}$ soit $L_s = 32 \text{ cm}$. Les barres étant comprimés, un scellement d'une longueur de $0,6 L_s = 20 \text{ cm}$ et un crochet normal suffiraient largement pour garantir son ancrage.

b) Vérification à l'ELS :

■ Vérification de la contrainte de compression dans le béton:

On doit vérifier que la contrainte dans le béton $\sigma_{bc} < \bar{\sigma}_{bc}$; $\bar{\sigma}_{bc} = 0.6f_{c28} = 15 \text{ MPa}$

$\sigma_{bc} = \frac{1}{K_1} \times \sigma_{st}$; $\rho_1 = \frac{100A_s}{bd} = \frac{100 \times 2.01}{100 \times 7} = 0.287 \Rightarrow \beta_1 = 0.916 \Rightarrow K_1 = 44.52$ (lecture dans l'abaque) ; $\sigma_{bc} = \frac{1}{K_1} \times \sigma_{st} = \frac{1}{44.52} \times 46.55 = 1.04 \text{ MPa} \leq 15 \text{ MPa}$.

■ Vérification des contraintes d'ouvertures des fissures dans l'acier : [Art. A.4.5.23]

On doit vérifier que la contrainte dans les aciers $\sigma_{st} < \bar{\sigma}_{st}$. L'acrotère est exposée aux intempéries (mauvais temps), donc la fissuration est considérée comme préjudiciable et il faut

vérifier avec $f_e = 400 \text{ MPa}$; $\eta = 1.16$ (HA) que $\bar{\sigma}_{st} = \min \left\{ \frac{2}{3} f_e , 110 \sqrt{\eta \cdot f_{t28}} \right\}$

$$= \min \left\{ \frac{2}{3} \times 400 , 110 \sqrt{1.6 \times 2.1} \right\} = \min \left\{ 266.6 , 201.63 \right\} = 201.63 \text{ MPa}$$

$\sigma_{st} = \frac{M_s}{\beta_1 \times d \times A_s} = \frac{0.6 \times 10^3}{0.916 \times 7 \times 2.01} = 46.55 < 201.63 \text{ MPa}$. D'où le ferrailage adopté : Armatures principales : 4HA8 ($S_t = 25 \text{ cm}$) ; Armatures de répartitions 4 HA 8 ($S_t = 15 \text{ cm}$).

■ Vérification de l'acrotère au séisme:

l'action des forces horizontales F_p , doit être inférieure ou égale à l'action de la main courante Q. Nous avons : $F_p = 4 \times A \times C_p \times W_p$ avec A : Coefficient d'accélération de zone obtenu suivant le tableau (4-1) du RPA99 selon la zone sismique et le groupe d'usage du bâtiment. Dans notre cas, la zone IIa et groupe d'usage 2 donne A = 0.15 ; C_p : Facteur de force horizontale variant entre 0,3 et 0,8 Soit : $C_p = 0,8$.

W_p : Poids propre de l'acrotère (= 1,713 kN/ml) d'où :

$$F_p = 4 \times 0.15 \times 0.3 \times 1.713 = 0.82 \text{ kN/m} < Q = 1 \text{ kN /ml}.$$

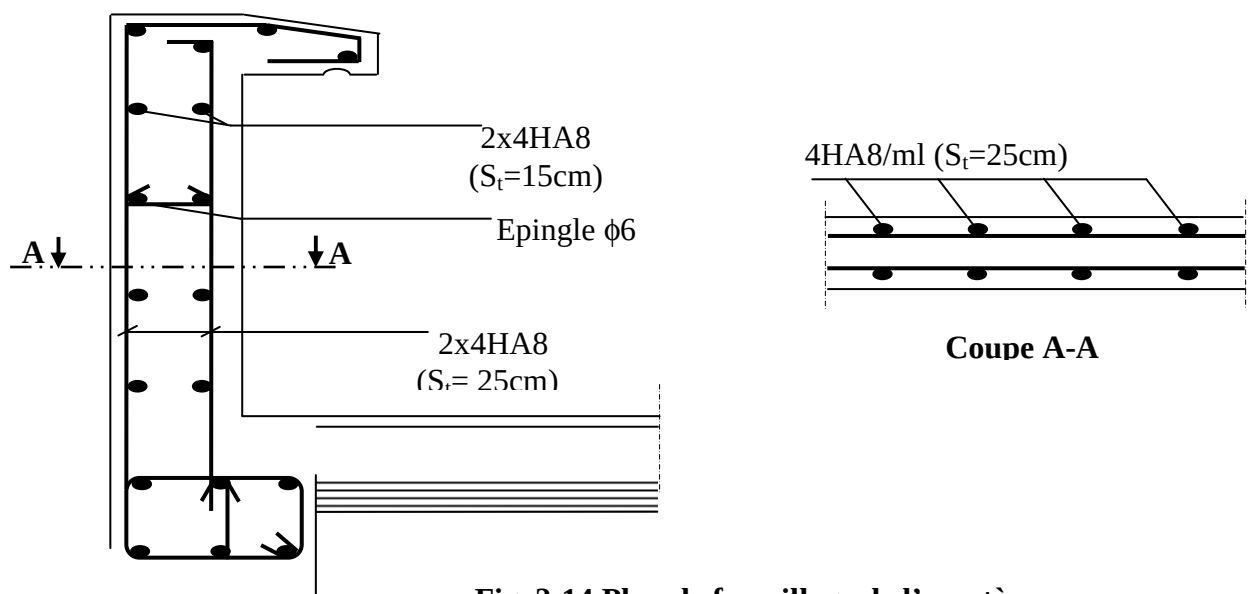


Fig. 2-14 Plan de ferrailage de l'acrotère

2-3 Balcons

Le balcon est constitué d'une dalle pleine qui fait suite à la dalle de plancher que nous considérons comme une console encastree au niveau de la poutre de rive. L'épaisseur de la dalle pleine est déterminée par la condition de la résistance à la flexion : $e_p \geq \frac{L}{10}$ avec L :

largeur du balcon. $e_p \geq \frac{140}{10} = 14 \text{ cm}$. On prend $e_p = 15 \text{ cm}$

2-3-1 Schéma statique

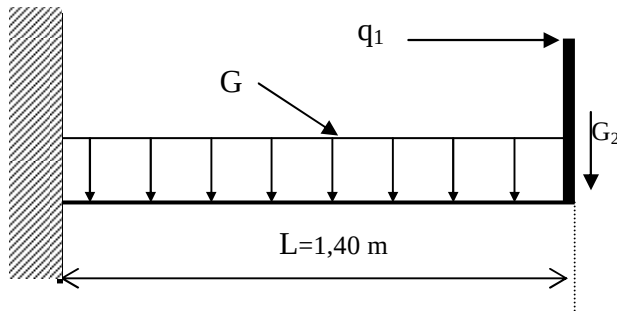


Fig. 2-15 Schéma statique du balcon

Charges permanentes:

- Poids propre de la dalle pleine : $25 \times 0,15 \times 1 = 3,75 \text{ KN/ml}$
 - Couche de sable (3cm) : $0,03 \times 18 = 0,54 \text{ KN/ml}$
 - Mortier de pose (3cm) : $0,03 \times 20 = 0,60 \text{ KN/ml}$
 - Carrelage scellé (2cm) : $0,02 \times 22 = 0,44 \text{ KN/ml}$
 - Enduit de ciment (1cm) : $0,33 \text{ KN/ml}$
- $G_{\text{tot}} = 5,66 \text{ kN/ml}$

- Main courante : $q_1 = 1,5 \times 1 = 1,5 \text{ kN/m}$
- Poids propre du garde corps : $G_2 = 1 \text{ kN/ml}$

Surcharge d'exploitation : $Q = 3,5 \text{ kN/ml}$

2-3-2 Calcul à l'ELU:

Le balcon est calculé en flexion simple avec une bande de 1 m de largeur.

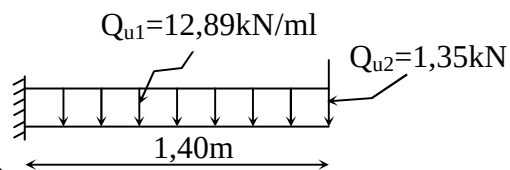
a) Combinaison de charges:

- Dalle pleine : $Q_{u1} = 1,35 G + 1,5 Q = 1,35 (5,66) + 1,5 (3,5) = 12,89 \text{ kN/ml}$
- Garde corps : $Q_{u2} = 1,35 G_2 = 1,35 \text{ kN/ml}$

b) Moment provoqué par la charge Q_u :

$$M_u = -\frac{Q_{u1} L^2}{2} - Q_{u2} \times L$$

$$M_u = -\frac{12,89 \times 1,40^2}{2} - 1,35 \times 1,40 = -14,52 \text{ kN.m}$$



Le signe (-) désigne que la fibre supérieure est tendue.

c) Effort tranchant

$$V_u = -Q_{u1} \cdot L - Q_{u2} = -12,89 \times 1,40 - 1,35 = -19,396 \text{ kN}$$

d) Calcul du ferrailage:

- Armatures principales : $\mu = \frac{M_u}{bd^2 f_{bu}} = \frac{14,52 \times 10^3}{100 \times (12)^2 \times 14,2} = 0,071 < \mu_l = 0,392 \Rightarrow \text{SSA}$

Pour $\mu = 0,071 \Rightarrow \beta = 0,963$; $A_{st} = \frac{M_u}{\beta d \sigma_s} = \frac{14,52 \times 10^3}{0,963 \times 12 \times 348} = 3,61 \text{ cm}^2$

Soit : 4HA 12 = 4,52 cm² avec un espacement e = 25 cm.

- Armatures de répartition: $A_r = \frac{A_{st}}{4} = \frac{4,52}{4} = 1,13 \text{ cm}^2$, soit : 4HA10 = 3,14 cm² avec un espacement e = 25 cm.

e) Condition de non fragilité (ART.A.4.2.1...BAEL91)

$$A_{min} = 0,23 b d \frac{f_{t28}}{f_e} = 0,23 \times 100 \times 12 \times \frac{2,1}{400} = 1,449 \text{ cm}^2$$

Donc $A_s = 4,52 \text{ cm}^2 > A_{min} = 1,449 \text{ cm}^2$.

f) Vérification de l'effort tranchant : (ART.A.5.2.1) : $\tau_u \leq \bar{\tau}$;

$$\bar{\tau} = \min(0,15 f_{c28}; 5 \text{ MPa}) = 3,75 \text{ MPa. (fissuration préjudiciable).}$$

$$\tau_u = \frac{V_u}{bd} = \frac{19,396 \times 10^3}{1000 \times 120} = 0,16 \leq 3,75 \text{ MPa.}$$

g) Influence de l'effort tranchant au voisinage des appuis (ART.4.21..BAEL91)

$$\bar{V}_u = 0,4 f_{c28} 0,9 \frac{db}{\delta_s} = 0,4 \times 25 \cdot 10^3 \times 0,9 \times \frac{0,12 \times 1}{1,15} = 939,13 \text{ kN.}$$

$$V_u = 19,396 \text{ kN} < \bar{V}_u = 939,13 \text{ kN.}$$

h) Vérifications de l'adhérence et de l'entraînement des barres :

(ART.4.2.1,BAEL91)

$$\tau_{se} \leq \bar{\tau}_{se} = \psi_{se} f_{t28} = 1,5 \times 2,1 = 3,15 \text{ MPa}$$

$$\tau_{se} = \frac{V_u}{0,9 d \sum U_i} = \frac{19,396 \cdot 10^3}{0,9 \times 120 \times 150,72} = 1,19 \text{ MPa} :$$

$$\sum U_i = 4 \times 3,14 \times 1,2 = 15,072 \text{ cm} ;$$

$$\tau_{se} = 1,19 \text{ MPa} < \bar{\tau}_{se} = 3,15 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

i) Espacement des barres ; armatures principales :

$S_{t \min}(3h; 33 \text{ cm}) = 33 \text{ cm}$; $S_t = 25 \text{ cm} \leq 33 \text{ cm}$. Armatures de répartitions : $S_t \min\{4h; 45 \text{ cm}\} = 45 \text{ cm}$; $S_t = 25 \text{ cm} \leq 45 \text{ cm}$.

2-3-3 Vérification à l'ELS

Combinaison de charge: $Q_{S1} = G + Q = 5.66 + 3.5 = 9.16 \text{ kN/ml}$; $Q_{S2} = G_2 = 1 \text{ kN/ml}$

- **Etat limite de compression du béton et d'ouverture des fissures:** on doit d'abord homogénéiser la section en BA.

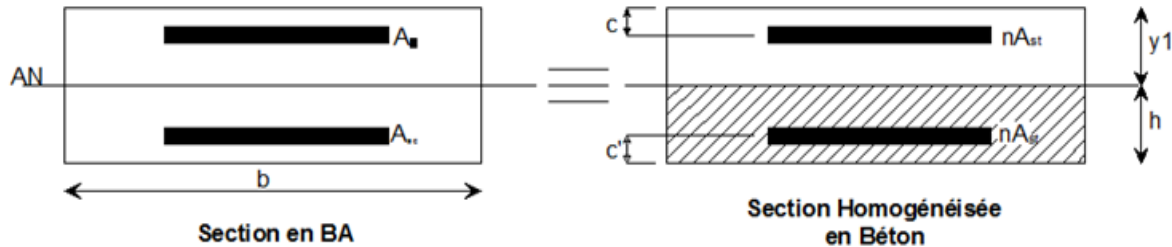


Fig. 2-16 Homogénéisation de la section du béton

$$\sigma_{bc} = \frac{M_s}{I} y_1 \leq \bar{\sigma}_{bc} = 0.6 f_{c28} = 15 \text{ MPa} ; \sigma_{st} = n \frac{M_s}{I} (d - y_1) \leq \bar{\sigma}_{st}$$

- axe neutre:
$$b_0 \frac{y_1^2}{2} - nA_s (d - y_1) = 0 \Leftrightarrow 50y_1^2 - 15 \times 4.52(12 - y_1) = 0$$

$$\Leftrightarrow 50y_1^2 + 67.8y_1 - 813.6 = 0$$

$$\sqrt{\Delta} = 409.04 \Rightarrow y_1 = 3.41 \text{ cm}$$

-Inertie :
$$I = \frac{b}{3} y_1^3 + nA_s (d - y_1)^2 = \frac{100}{3} (3.41)^3 + 15 \times 4.52 \times (12 - 3.41)^2 = 6324.56 \text{ cm}^4$$

- Contraintes:

$$M_{ser} = \frac{Q_{s1} \times L^2}{2} + Q_{s2} \times L = \frac{9.16 \times 1.40^2}{2} + 1 \times 1.40 = 10.37 \text{ KN.m}$$

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I} y = \frac{10.37 \times 10^6}{63245600} \times 34.10 = 5.59 \text{ MPa} < 15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{st} \leq \bar{\sigma}_{st} = \min \left\{ \frac{2}{3} f_e, 110 \sqrt{\eta f_{t28}} \right\} = 201.63 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{st} = n \times \frac{M_{ser}}{I} \times (d - y_1) = 15 \times \frac{10.37 \times 10^6}{63245600} \times (120 - 34.10) = 181.71 \text{ MPa} < 201.63 \text{ MPa}$$

Les conditions sont vérifiées.

- **Etat limite de déformation:**

$$a) \frac{h}{L} = \frac{15}{140} = 0.107 \geq \frac{1}{16} = 0.0625 ; b) \frac{h}{L} = \frac{15}{140} = 0.107 \geq \frac{1}{10} = 0.10$$

$$c) \frac{A_s}{b.d} \leq \frac{4,52}{100 \times 12} = 0.0037 \leq \frac{4.2}{f_e} = 0.0105$$

Puisque ces conditions sont vérifiées, il est inutile de calculer la flèche.

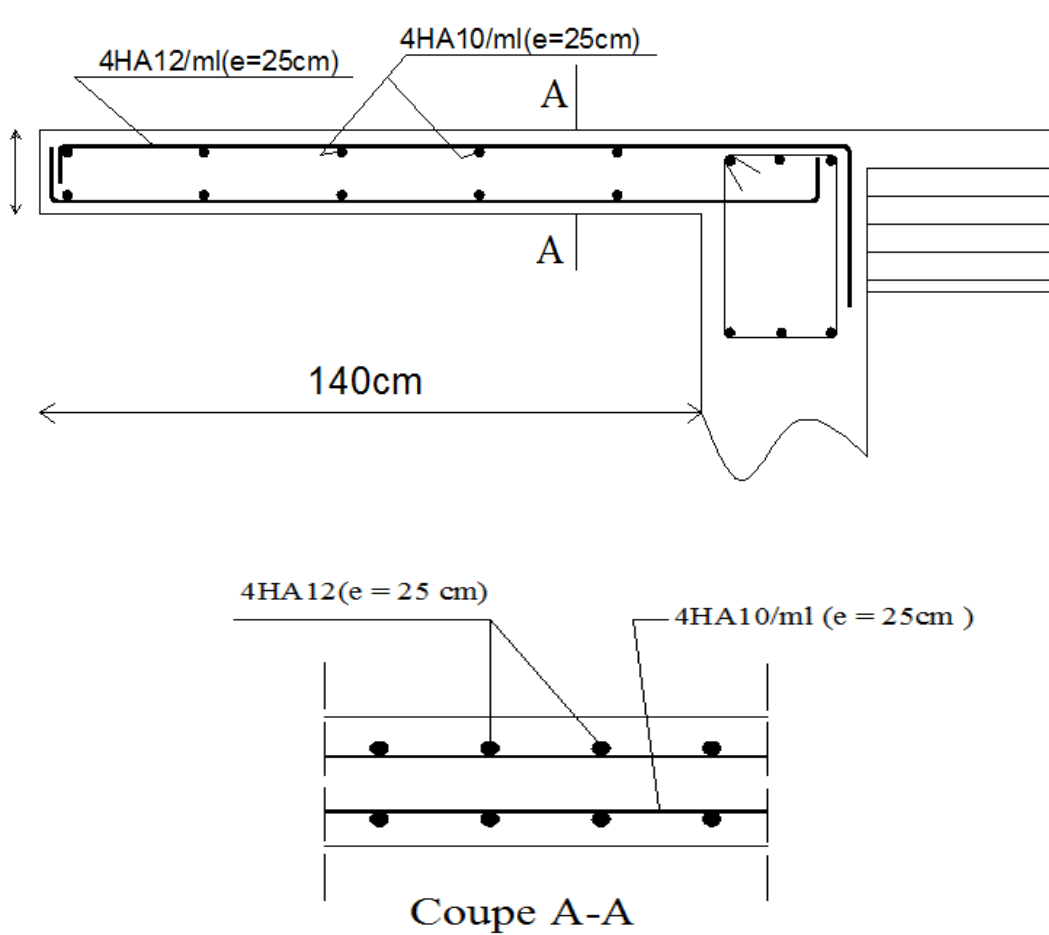


Fig. 2-17 Ferrailage des balcons

2-4 Cage d'ascenseur :

- Caractéristique géométrique de l'ascenseur :
 $L_x = 1.65 \text{ m}$; $L_y = 1.85 \text{ m}$; $S = 30525 \text{ cm}^2$
- Charges nominales et le poids total : Le constructeur précise pour chacun de leur appareil une charge nominale pour un nombre de personnes afin de garantir un fonctionnement normal.
 - Charge 630 kg (8 personnes)
 - Vitesse d'entraînement, $V=1\text{m/s}$
 - La charge total transmise par le système de levage et la cabine chargée, est de $G = 9 \text{ t}$.

2-4-1 Calcul de la dalle pleine de la salle des machines

La dalle est soumise aux charges localisées sur un rectangle concentrique et aux charges uniformément réparties sur toute la surface de la dalle.

a) Sous charge localisée :

La dalle repose sur 4 appuis .elle est soumise à une charge localisée, son calcul se fait à l'aide des abaques de PIGEAUD permettant d'évaluer les moments dans les deux sens en plaçant la charge concentrique au milieu du panneau.

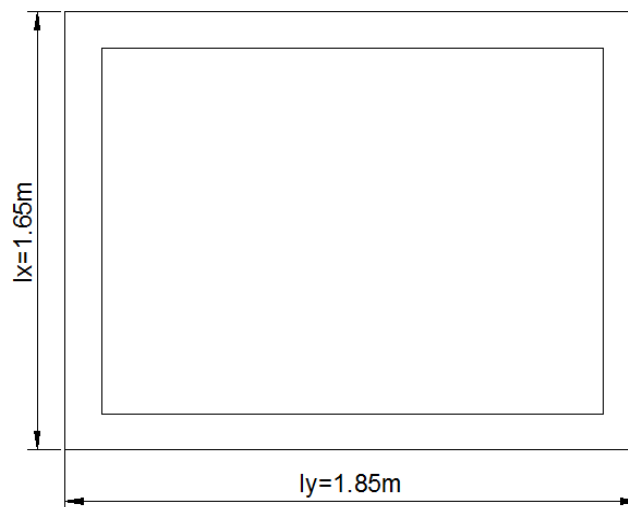


Fig. 2-18 Panneau de dalle de la salle machine

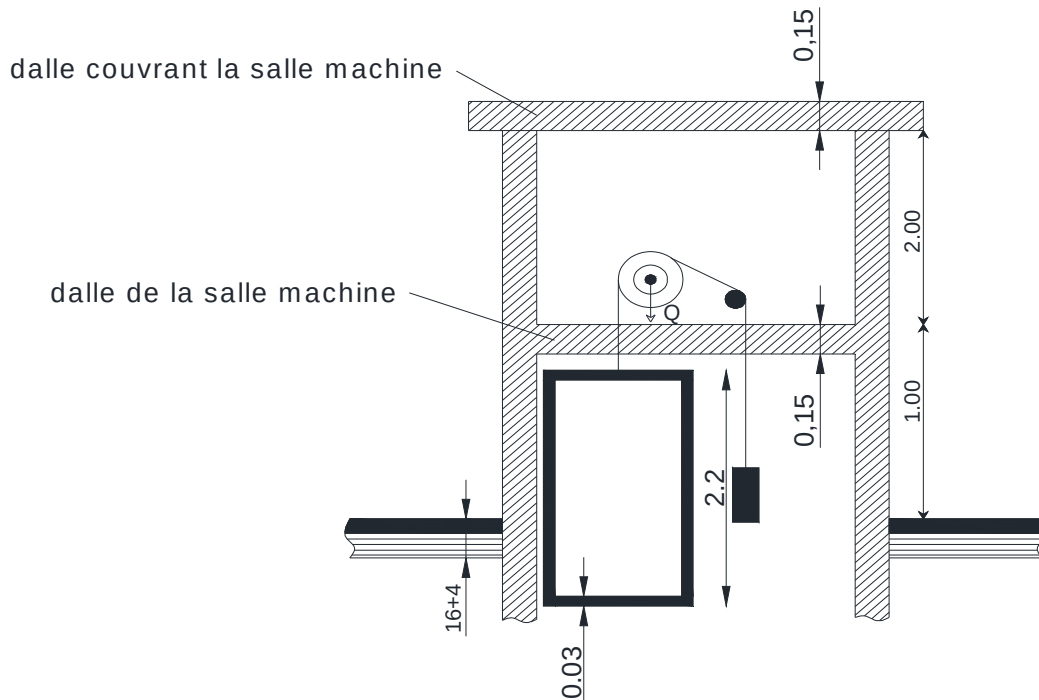


Fig. 2-19 Cage de l'ascenseur

■ **Pré-dimensionnement :**

$$\rho = \frac{l_x}{l_y} = \frac{1.65}{1.85} = 0.892 \quad \rightarrow 0.4 \leq \rho \leq 1$$

Le panneau fonctionne suivant les deux sens, $h_0 \geq \frac{l_x}{30} \Rightarrow h_0 \geq \frac{1.65}{30} \Rightarrow h_0 \geq 5.5 \text{ cm}$ (Panneau rectangulaire isolé portant dans les deux sens) ; h_0 : épaisseur minimale de la dalle pleine qui doit être au moins égale à 12 cm selon le RPA99 version 2003. Alors, on prend $h_0 = 15 \text{ cm}$.

$$\begin{cases} U = U_0 + 2K.e + h_0 \\ V = V_0 + 2K.e + h_0 \end{cases}$$

Avec K : coefficient de la nature de revêtement ; K=1 (revêtement en béton) ; h_0 : hauteur de la dalle ; $U_0 = V_0 = 1 \text{ m}$ ($U_0 \times V_0$: surface de contact, zone dans laquelle q est concentrée) ; e = épaisseur de revêtement en béton = 5cm.

$$\begin{cases} U = U_0 + 2K.e + h_0 = 1 + 2 \times 0.05 + 0.15 = 1.25 \text{ m} \\ V = V_0 + 2K.e + h_0 = 1 + 2 \times 0.05 + 0.15 = 1.25 \text{ m} \end{cases}$$

$$\begin{cases} U = U_0 + 2K.e + h_0 = 1 + 2 \times 0.05 + 0.15 = 1.25 \text{ m} \\ V = V_0 + 2K.e + h_0 = 1 + 2 \times 0.05 + 0.15 = 1.25 \text{ m} \end{cases}$$

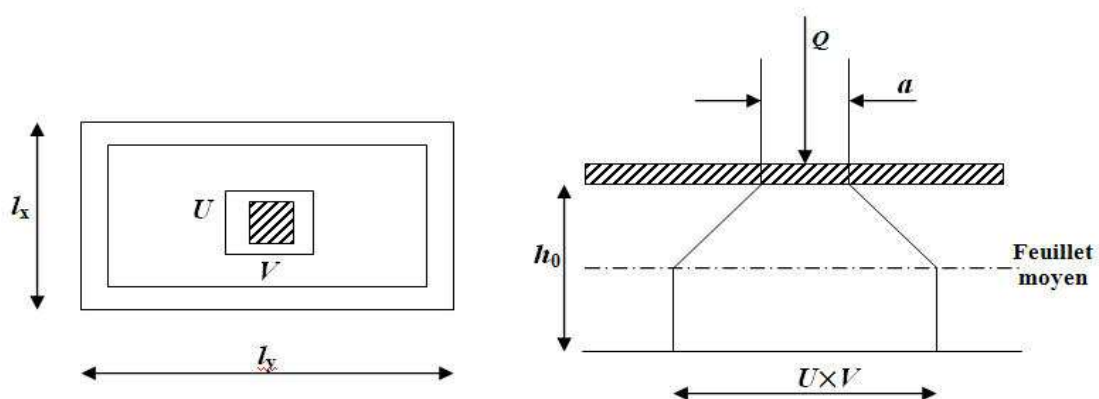


Fig. 2-20 : Schémas représentatifs de diffusion de charge au niveau de feuillet

- Evaluation des moments M_{x1} et M_{y1} dus au système de levage : l'étude de la dalle se fait en utilisant les abaques de PIGEAUD, qui donnent les moments par mètre linéaire au centre de panneau. $M_x = (M_1 + \nu M_2) p$ et $M_y = (M_2 + \nu M_1) p$; ν : Coefficient de poisson (=0 à l'ELU ; =0.2 à l'ELS) ; $P=1.35Q$: intensité de la charge concentrée à l'ELU ; M_1 et M_2 : coefficient à déterminer à partir des abaques de PIGEAUD, en fonction de ρ et des rapports $\frac{u}{l_x}$ et $\frac{v}{l_y}$. Nous avons :

$$\rho = \frac{l_x}{l_y} = \frac{1.65}{1.85} = 0.892 ; \quad \frac{u}{l_x} = \frac{1.25}{1.65} = 0.758 ; \quad 0.7 < \frac{u}{l_x} < 0.8$$

$$\frac{v}{l_y} = \frac{1.25}{1.85} = 0.676 ; \quad 0.6 < \frac{v}{l_y} < 0.7$$

ρ étant égale à 0.892, il faut faire une interpolation entre $\rho = 0.8$ et $\rho = 0.9$

$$\text{Pour } \rho = 0.8 : \left\{ \begin{array}{l} \frac{u}{l_x} = 0.758 \\ \frac{v}{l_y} = 0.676 \end{array} \right\} \rightarrow \begin{cases} M_1 = 0.073 \\ M_2 = 0.011 \end{cases}$$

$$\text{Pour } \rho = 0.9 : \left(\frac{u}{l_x} = 0.758 ; \frac{v}{l_y} = 0.676 \right) ; M_1 = 0.070 \text{ et } M_2 = 0.056$$

Enfin pour $\rho = 0.892$, on trouve : $M_1 = 0.070$ et $M_2 = 0.052$

$P=1.35 G + 1.5 X_0 = 1.35 \times 90 = 121.5$ kN. Pour une bande de 1m de longueur, les moments au milieu de panneau sont :

$$\begin{cases} M_{x1} = p \times M_1 = 121.5 \times 0.070 = 8.505 \text{ KN.m} \\ M_{y1} = p \times M_2 = 121.5 \times 0.052 = 6.318 \text{ KN.m} \end{cases}$$

b) Sous charge uniformément répartie :

b) Evaluation des moments M_{x2} et M_{y2} dus au poids propre de la dalle et de la surcharge :

$$0.4 \leq \rho = \frac{l_x}{l_y} = 0.892 < 1 \rightarrow \text{la dalle travaille dans les deux sens. } M_{x2} = \mu_x \cdot q l_x^2 \quad M_{y2} = \mu_y \cdot M_{x2}$$

$$\rho = 0.892 \quad \Rightarrow \quad \mu_x = 0.0466 \text{ et } \mu_y = 0.7628.$$

$$q = 1.35 G + 1.5 Q \quad \text{avec} \quad G = 25 \times 0.15 + 22 \times 0.05 = 4.85 \text{ KN/m}^2 \text{ et } Q = 1 \text{ kN/m}^2$$

$$q_u = 1.35 \times (4.85) + 1.5 \times 1 = 8.048 \text{ KN/m}^2$$

$$M_{x2} = 0.0466 \times 8.048 \times (1.65)^2 \times 1 = 1.021 \text{ kN.m}; \quad M_{y2} = 0.7628 \times 1.021 = 0.779 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_{x2}}{M_{y2}} = \frac{1.021}{0.779} = 1.31 > 0.25 \text{ (vérifiée).}$$

c) Superposition des moments :

$$M_x = M_{x1} + M_{x2} = 8.505 + 1.021 = 9.625 \text{ kN.m};$$

$$M_y = M_{y1} + M_{y2} = 6.318 + 0.779 = 7.097 \text{ kN.m}$$

- **Correction des moments:** Il faut tenir compte de l'encastrement de la dalle, par conséquent les moments seront minorés en les multipliant par un coefficient 0,85 en travées et de 0,3 sur appuis.

- **Moments en travées :**

$$M_x^t = 0.85 \times M_x = 0.85 \times 9.526 = 8.097 \text{ kN.m}$$

$$M_y^t = 0.85 \times M_y = 0.85 \times 7.097 = 6.033 \text{ kN.m}$$

- **Moments sur appuis :**

$$M_x^a = M_y^a = -0.3 M_x = -0.3 \times 9.526 = -2.858 \text{ KN.m}$$

d) Détermination de la section d'armature :

Le calcul des armatures s'effectue en flexion simple, le moment max s'exerce selon la petite portée, par conséquent les armatures correspondantes constituant le premier lit.

▪ **En travée :**

Le calcul se fera pour une bande de 1m de largeur de la dalle avec $b = 100 \text{ cm}$; $h_0 = 15 \text{ cm}$

Sens x-x : $d_x = h_0 - c = 15 - 2 = 13 \text{ cm}$.

$$\mu = \frac{M_x^t}{b \times d_x^2 \times f_{bc}} = \frac{8.097 \times 10^3}{100 \times 13^2 \times 14.2} = 0.0337$$

$$\mu = 0.0337 < \mu_l = 0.392 \Rightarrow \text{SSA}$$

$$\mu = 0.0337 \Rightarrow \beta = 0.9828$$

$$A_x^t = \frac{8.097 \times 10^3}{0.9828 \times 13 \times 348} = 1.82 \text{ cm}^2$$

On adopte **4HA10 /ml** soit $A_x^t = 3.14 \text{ cm}^2$, avec $S_t = \frac{100}{4} = 25 \text{ cm}$

Sens y-y : On choisit $\Phi_y = 8 \text{ mm}$; $d_y = d_x - \frac{\phi_x + \phi_y}{2} = 13 - \frac{1 + 0.8}{2} = 12.1 \text{ cm}$

$$\mu = \frac{M_y^t}{b \times d_y^2 \times f_{bu}} = \frac{6.033 \times 10^3}{100 \times 12.1^2 \times 14.2} = 0.029$$

$$\mu = 0.029 < \mu_l = 0.392 \Rightarrow \text{SSA}$$

$$\mu = 0.029 \Rightarrow \beta = 0.9853$$

$$A_y^t = \frac{6.033 \times 10^3}{0.9853 \times 12.1 \times 348} = 1.45 \text{ cm}^2$$

On adopte **4 HA8 /ml** soit $A_y^t = 2.01 \text{ cm}^2$, avec $S_t = 25 \text{ cm}$

▪ **Aux appuis :**

$$\mu = \frac{M^a}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{2.858 \times 10^3}{100 \times 13^2 \times 14.2} = 0.0119$$

$$\mu = 0.0119 < \mu_l = 0.392 \Rightarrow \text{SSA}$$

$$\mu = 0.0119 \Rightarrow \beta = 0.9940$$

$$A^a = \frac{2.858 \times 10^3}{0.9940 \times 13 \times 348} = 0.64 \text{ cm}^2$$

On adopte **4 HA8 /ml** soit $A^a = 2.01 \text{ cm}^2$, avec $S_t = 25 \text{ cm}$

e) Condition de non fragilité : [Art B.7.4 BAEL91 modifié 99]

- Armatures inférieures (sens x-x) : $\omega_x = \frac{A_{min}^x}{b x h} \geq \omega_0 \frac{3 - \frac{l_x}{l_y}}{2} \Rightarrow A_{min}^x \geq \omega_0 \frac{3 - \rho}{2} x b x h$
avec : $\omega_0 = 0.8\%$ pour [Fe 400] ; ω_x : taux minimal d'acier dans le sens x-x ; A_{min} : section minimale d'armatures ; $A_{min}^x \geq 0.0008 \frac{3 - 0.892}{2} x 100 x 15 = 1.27 \text{ cm}^2$
 $A_x^t = 3.14 \text{ cm}^2 > A_{min}^x = 1.27 \text{ cm}^2$; condition vérifiée.
- Armatures supérieures (suivant y-y) : $\omega_y = \frac{A_{min}^y}{b x h} \geq \omega_0$; ω_y : taux minimale d'acier dans le sens y-y. ; $A_{min}^y = 0.0008 x (15 x 100) = 1.2 \text{ cm}^2$;
 $A_y^t = 2.01 \text{ cm}^2 > A_{min}^y = 1.2 \text{ cm}^2$; condition vérifiée.

f) Diamètre maximal des barres :

On doit vérifier que : $\phi \leq \phi_{max} = \frac{h}{10} = \frac{150}{10} = 15 \text{ mm}$

ϕ : Diamètre des armatures longitudinales

$$\phi_{max} = \frac{150}{10} = 15 \text{ mm} \rightarrow \phi = 10 \text{ mm} < \phi_{max} = 15 \text{ mm} \rightarrow \text{vérifiée.}$$

g) Poinçonnement : [Art A-5-2-42/BAEL91 modifié 99]

On admet qu'aucune armature transversale n'est nécessaire si la condition suivante est satisfaite : $Q_u \leq Q = 0.045 \mu_c h \frac{f_{c28}}{\gamma_b}$ avec Q_u : charge de calcul à l'ELU ; μ_c : périmètre du contour de la surface sur laquelle agit la charge au niveau de feuillet moyen ; h : épaisseur de la dalle ; $\mu_c = 2(U+V) = 2 x (1.25+1.25) = 5 \text{ m}$. ; $Q = 0.045 x 5 x 0.15 x \frac{25 x 10^3}{1.5} = 562.5 \text{ KN}$.
 $Q_u = 1.35 x 90 = 121.5 \text{ kN} \leq Q$.

h) Vérification de la contrainte tangentielle :

on doit vérifier que : $\tau_u = \frac{T_u^{max}}{b \times d} \leq 0.07 \times \frac{f_{cj}}{\gamma_b}$

- Au milieu de U : $T_u = \frac{P}{2U + V} = \frac{121.5}{2 \times 1.25 + 1.25} = 32.4 \text{ KN}$.

- Au milieu de V :

$$T_u = \frac{P}{3 \times U} = \frac{121.5}{2 \times 1.25} = 32.4 \text{ KN}.$$

$$\left. \begin{aligned} \tau_u &= \frac{T_u^{max}}{b \cdot d} = \frac{32.4 \times 10^3}{1000 \times 130} = 0.27 \text{ MPa} \\ \bar{\tau}_u &= 0.07 \frac{f_{c28}}{\gamma_b} = 0.07 \times \frac{25}{1.5} = 1.16 \text{ MPa} \end{aligned} \right\} \rightarrow \tau_u = 0.327 \text{ MPa} < 1.16 \text{ MPa} \rightarrow \text{vérifiée.}$$

i)Vérification à l'ELS : $\nu=0.2$

- Evaluation des moments M_{x1} et M_{y1} dus au système de levage :

$$P = G+Q = 90 + 0 = 90 \text{ kN}; M_{x1} = P (M_1+0.2M_2) = 90 (0.07+0.2 \times 0.052) = 7.236 \text{ kN.m}$$

$$M_{y1} = P (M_2+0.2M_1) = 90 (0.052+ 0.2 \times 0.07) = 5.94 \text{ kN.m}$$

- Evaluation des moments M_{x2} et M_{y2} dus au poids propre de la dalle et de la surcharge : $q_s = G + Q = 4.85+1 = 5.85 \text{ kN /m}^2$

$$\rho = 0.892 ; \mu_x = 0.0466 ; \mu_y = 0.7628$$

$$M_{x2} = \mu_x \cdot q_s \cdot l_x^2 = 0.0466 \times 5.85 \times 1.65^2 = 0.742 \text{ KN.m}$$

$$M_{y2} = \mu_y \cdot M_{x2} = 0.7628 \times 0.742 = 0.566 \text{ kN.m}$$

- Moments globaux:

$$M_{xser} = M_{x1} + M_{x2} = 7.236+0.742 = 7.978 \text{ kN.m}$$

$$M_{yser} = M_{y1} + M_{y2} = 5.94 + 0.566 = 6.506 \text{ kN.m}$$

- Correction des moments en travée:

$$M_{xser}^t = 0.85 M_{xser} = 0.85 \times 7.978 = 6.781 \text{ kN.m (sens x-x)}$$

$$M_{yser}^t = 0.85 M_{yser} = 0.85 \times 6.506 = 5.53 \text{ kN.m (sens y-y)}$$

- **Moments aux appuis :**

$$M_{xser}^a = M_{yser}^a = -0.3 M_{xser} = -0.3 \times 7.978 = - 2.393 \text{ kN.m (sens x-x et y-y)}$$

- **Etat limite de fissuration :**

La fissuration est peu nuisible donc aucune vérification n'est nécessaire.

- **Etat limite de compression du béton :**

On doit vérifier que $\sigma_{bc} \leq \overline{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa}$. Pour se dispenser du calcul de la contrainte de compression (σ_{bc}) on doit vérifier que :

$$\alpha \leq \frac{\gamma-1}{2} + \frac{f_{c28}}{100}, \text{ avec } \alpha = \frac{y_u}{d} \text{ (Position de l'axe neutre)}; \gamma = \frac{M_u}{M_{ser}}$$

- Aux appuis :

$$\gamma = \frac{2.858}{2.393} = 1.19 \rightarrow \frac{1.19-1}{2} + \frac{25}{100} = 0.345$$

$$\mu = 0.0119 \rightarrow \alpha = 0.015 < 0.345 \rightarrow \text{vérifiée.}$$

- En travées :

Sens x-x :

$$\gamma = \frac{8.097}{6.781} = 1.19 \rightarrow \frac{1.19-1}{2} + \frac{25}{100} = 0.345$$

$$\mu = 0.0337 \rightarrow \alpha = 0.0429 < 0.345 \rightarrow \text{vérifiée.}$$

Sens y-y :

$$\gamma = \frac{6.033}{5.53} = 1.091 \rightarrow \frac{1.091-1}{2} + \frac{25}{100} = 0.2955$$

$$\mu = 0.029 \rightarrow \alpha = 0.0368 < 0.2955 \rightarrow \text{vérifiée.}$$

Donc on peut se dispenser de la vérification des contraintes de compression dans le béton.

- **Etat limite de déformation :**

Dans le cas des dalles rectangulaires appuyées sur 4 cotés, on peut se dispenser de la vérification de la flèche, si les conditions suivantes sont respectées :

$$\frac{h}{l_x} \geq \frac{M_{tx}}{20.M_x}; \quad \frac{A_x}{b.d} \leq \frac{2}{f_e}$$

avec :

h : hauteur de la dalle.

M_{tx} : moment en travée de la dalle continue dans la direction x-x.

M_x : moment isostatique dans la direction (x-x) pour une bande de 1m de largeur.

A_x : section d'armatures par bande de 1m de largeur.

d : la hauteur utile de la bande.

b : la largeur de la bande ($b = 1\text{m}$)

$$\frac{h}{l_x} = \frac{15}{165} = 0.09 ; \quad \frac{M_{tx}}{20.M_x} = \frac{0.85M_x}{20M_x} = 0.0425$$

$$\frac{h}{l_x} = 0.09 > 0.0425 \dots\dots\dots\text{condition vérifiée.}$$

$$\frac{A_x}{b.d} = \frac{3.14}{100.12} = 0.003$$

$$\frac{2}{f_e} = \frac{2}{400} = 0.005$$

$$\frac{A_x}{b.d} = 0.003 < 0.005 \dots\dots\dots\text{condition vérifiée.}$$

Donc, la vérification de la flèche n'est pas nécessaire.

Conclusion : le ferrailage de la dalle de la salle machine est comme suit :

- **En travée :**
Sens (x-x) : 4HA10 /ml , $S_t = 25 \text{ cm}$; Sens (y-y) : 4HA8 /ml , $S_t = 25 \text{ cm}$.
- **Aux appuis :**
4HA8 /ml , $S_t = 25 \text{ cm}$.

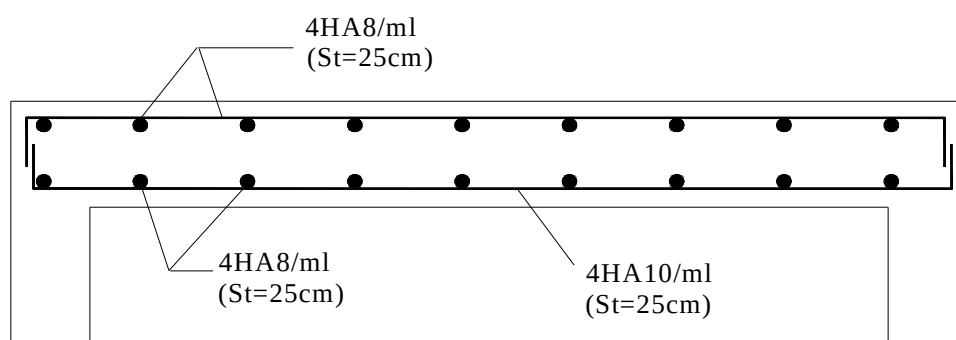


Fig. 2-21 Plan de ferrailage de la dalle de la salle machine suivant (x-x)

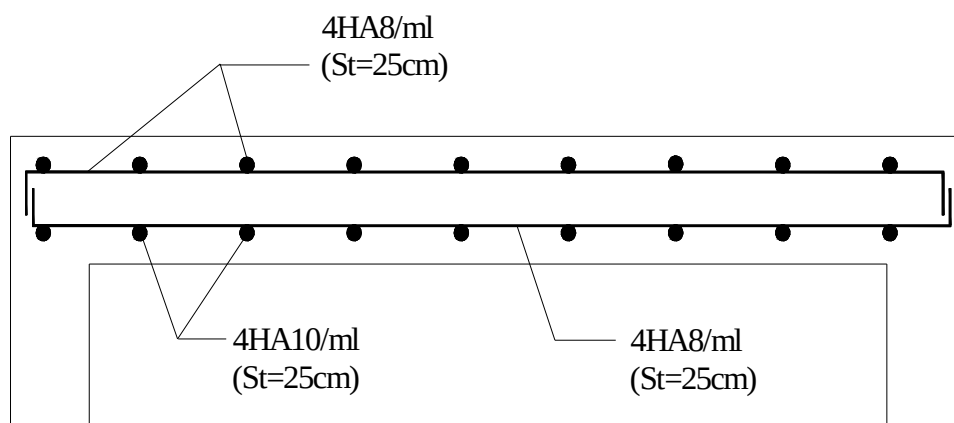


Fig. 2-22 Plan de ferrailage de la dalle de la salle machine suivant (y-y)

2-5 Calcul des escaliers :

Un escalier est un ouvrage constitué d'une suite de degrés horizontaux (marches et palier) permet de passer d'un niveau à un autre dans un bâtiment.

2-5-1 Caractéristiques générales d'un escalier :

- La marche : est la partie horizontale qui reçoit le pied, sa forme est rectangulaire, ou arrondie, etc.
- La contre marche : est la partie verticale entre deux marches évitant la chute des objets.
- Hauteur de contre marche (h) : est la différence de niveau entre deux marches successives, valeurs courantes varient de 13 à 17 cm.
- Le giron (g) : est la distance en plan, mesurée sur la ligne de foulée, séparant deux contremarches.
- La montée : correspond à la hauteur entre les niveaux finaux des sols de départ et d'arrivée.
- Une volée : est l'ensemble des marches compris entre deux paliers consécutifs.
- Un palier : est une plate forme constituant un repos entre deux volées intermédiaires et /ou à chaque étage.
- L'emmarchement (E) : représente la largeur de la marche.
- La ligne de foulée : représente en plan le parcours d'une personne qui emprunte l'escalier, et en général, à 0.65 m de collet, si $E \geq 1\text{m}$.
- La paillasse : est une dalle inclinée en béton armé incorporant les marches et contre marches.

2-5-2 Calcul de l'escalier desservant le premier étage (escaliers du RDC) :

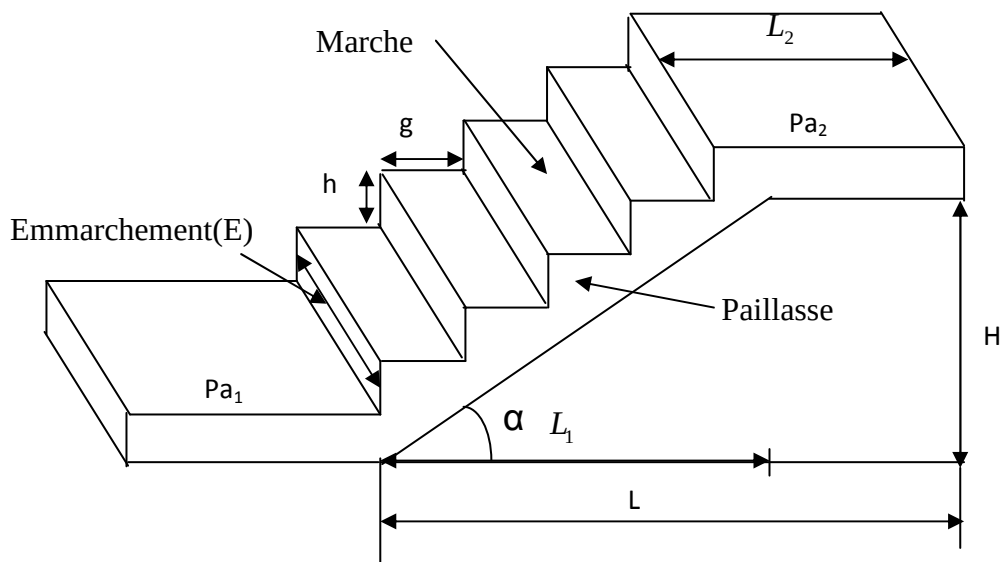


Fig. 2-23 Présentation schématique de l'escalier

Avec :

g : giron ; h : hauteur de la contre marche ; e : épaisseur de la paillasse et de palier ;
H : hauteur d'une volée ; L_1 : longueur de la paillasse projetée ; L_2 : largeur de palier.
L : la somme de la longueur linéaire de la paillasse et celle du palier.

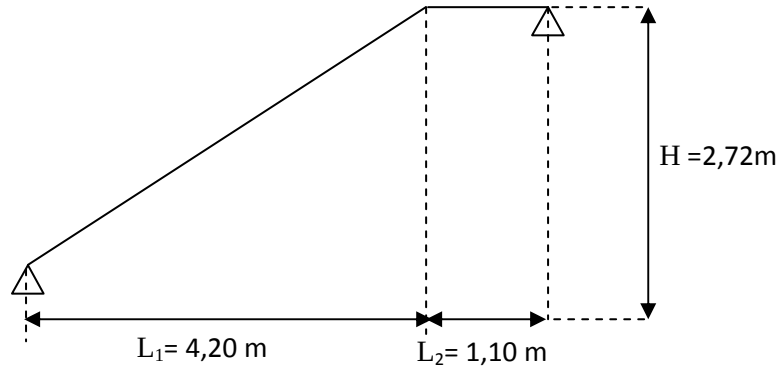


Fig. 2-24 Schéma statique de la 1^{ère} volée

▪ Pré-dimensionnement:

Nous avons : $13 \leq h \leq 17\text{cm}$ et $28 \leq g \leq 36\text{cm}$. On prend alors $h=17\text{cm}$.

Nombre de contre marches : $n = \frac{H}{h} = \frac{272}{17} = 16 \Rightarrow n = 16$ contre marches.

Le nombre de marches est pris égale à $m = n - 1 = 16 - 1 = 15$ marches.

$$m \times g = L_1 \Rightarrow g = \frac{L_1}{m} = \frac{420}{15} = 28 \text{ cm}$$

▪ Vérification de la loi de BLONDEL:

La loi de BLONDEL est une relation empirique qui lie h et g et qui permet de concevoir un escalier ou l'on se déplace de façon confortable.

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

$$59\text{cm} \leq 28 + 2 \times 17 \leq 66\text{cm} \rightarrow 59\text{cm} \leq 62 \leq 66\text{cm} \rightarrow \text{condition vérifiée.}$$

▪ Dimensionnement de la paillasse et de palier :

$$\frac{L}{30} \leq e_p \leq \frac{L}{20} \quad \text{tg}(\alpha) = \frac{H}{L_1} = \frac{272}{420} = 0,648 \Rightarrow \alpha = 32.93^\circ$$

$$\cos \alpha = \frac{L_1}{L'_1} \Rightarrow L'_1 = \frac{L_1}{\cos \alpha} = \frac{420}{\cos 32.93^\circ} = 500.4\text{cm}$$

L'_1 : longueur linéaire de la paillasse ; L : somme de la longueur linéaire de la paillasse et celle du palier. D'où $L = L'_1 + L_2 = 500.4 + 110 = 610.4\text{cm}$

$$\frac{610.4}{30} \leq e_p \leq \frac{610.4}{20} \Rightarrow 20.35\text{cm} \leq e_p \leq 30.52\text{cm}$$

On prend $e_p = 23 \text{ cm}$

▪ Détermination des charges et surcharges :

Les dimensions des marches étant très faibles par rapport a la portée de la paillasse, il est possible d'admettre que leur poids est uniformément répartie sur la paillasse. Le calcul se fera pour un mètre d'emmarchement et pour une bande de 1 m de projection horizontale, et considérant l'escalier comme étant une poutre simplement appuyée en flexion simple.

- Charges permanentes :

a) Paillasse :

Eléments	Poids [kN /ml]
Poids propre de la paillasse	$25 \times 0.23 \times \frac{1}{\cos 32.93} = 6.85$
Poids propre des marches (17cm)	$25 \times 0.17 \times \frac{1}{2} = 2.125$
Revêtements de carrelage (2cm)	$22 \times 0.02 \times 1 = 0.44$
Mortier de pose (2cm)	$22 \times 0.02 \times 1 = 0.44$
Couche de sable (2cm)	$18 \times 0.02 \times 1 = 0.36$
Enduit de plâtre (2cm)	$10 \times 0.02 \times 1 = 0.2$
Poids propre de garde corps	0.2

$$G_1 = 10.615 \text{ [kN /ml]}$$

b) Palier :

Eléments	Poids [kN /ml]
Poids propre de la dalle	$25 \times 0.23 \times 1 = 5.75$
Poids des revêtements (carrelage + mortier + sable + enduit)	1.44

$$G_2 = 7.19 \text{ [kN /ml]}$$

- Charges d'exploitation :

La surcharge d'exploitation des escaliers donnée par le DTR B.C.2.2 est :

$$Q = 2.5 \times 1\text{m} = 2.5 \text{ kN /ml}$$

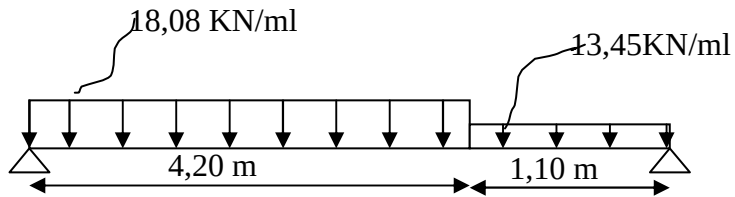
▪ **Calcul à l'ELU :**

a) **Combinaison de charges :**

$$\text{Palier : } q_u = 1.35G + 1.5Q = 1.35 \times 7.19 + 1.5 \times 2.5 = 13.45 \text{ kN/ml}$$

$$\text{Volée : } q_u = 1.35G + 1.5Q = 1.35 \times 10.615 + 1.5 \times 2.5 = 18.08 \text{ kN/ml}$$

b) Calcul des efforts internes :



- Réactions d'appuis : $R_A = 47.38 \text{ kN}$; $R_B = 43.34 \text{ kN}$

- Efforts tranchants et moments fléchissant :

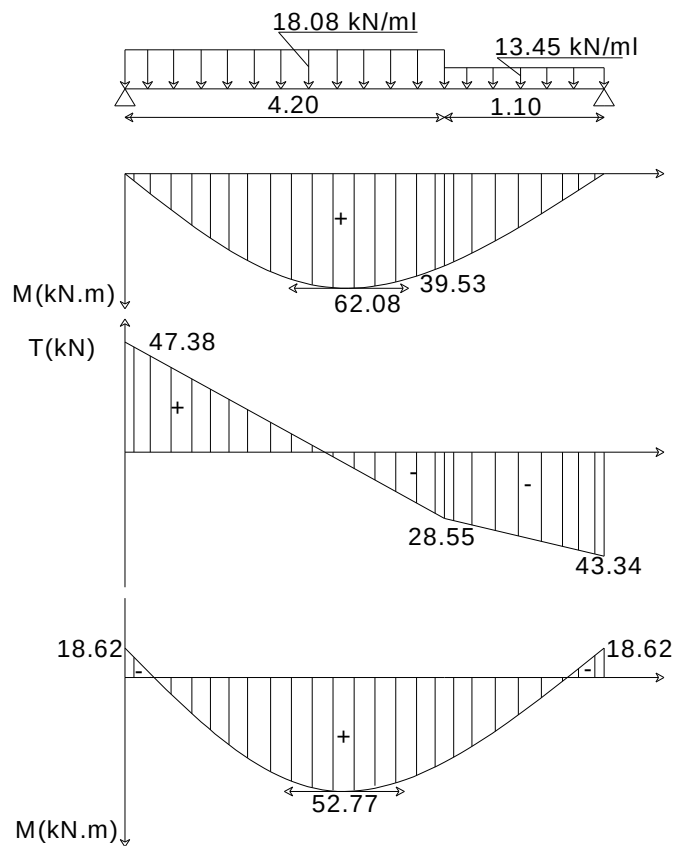


Fig. 2.25 Diagrammes des efforts internes à l'ELU

NB : les moments en travées et en appuis sont affectés par des coefficients 0.85 et 0.3 respectivement afin de tenir compte des emi-encastres :

$$M_t = 0.85M_{\max} = 0.85 \times 62.08 = 52.77 \text{ kN.m} ;$$

$$M_A = -0.3M_{\max} = -0.3 \times 62.08 = -18.62 \text{ kN.m} ; M_B = -0.3M_{\max} = -0.3 \times 62.08 = -18.62 \text{ kN.m}$$

c) Armatures :

On calcule une section rectangulaire dont les caractéristiques géométriques sont :
 $b = 100\text{cm}$; $c = 2\text{cm}$; $d = 21\text{cm}$.

- En travée : $M_u^t = 52.77 \text{ KN.m}$;

Armatures principales :

$$\mu = \frac{M_u^t}{b d^2 f_{bc}} = \frac{52.77 \times 10^3}{100 \times 21^2 \times 14.2} = 0.0842 < 0.392 \Rightarrow \text{SSA} \Rightarrow \beta = 0.956$$

$$A_t = \frac{M_u^t}{\beta d \sigma_{st}} = \frac{52.77 \times 10^3}{0.956 \times 21 \times 348} = 7.55 \text{ cm}^2. \text{ On opte pour } 6\text{HA}14 = 9.23 \text{ cm}^2 \text{ avec } S_t = 17 \text{ cm}.$$

$$\text{Armatures de répartition : } A_r = \frac{A_t}{4} = \frac{9.23}{4} = 2.30 \text{ cm}^2$$

On opte pour $4\text{HA}12/\text{ml} = 4.52 \text{ cm}^2$ avec un espacement $S_t = 25 \text{ cm}$

- En appui : $M_u^a = 18.62 \text{ KN.m}$;

Armatures principales :

$$\mu = \frac{M_u^a}{b d^2 f_{bc}} = \frac{18.62 \times 10^3}{100 \times 21^2 \times 14.2} = 0.0297 < 0.392 \Rightarrow \text{SSA} \Rightarrow \beta = 0.985$$

$$A_a = \frac{M_u^a}{\beta d \sigma_{st}} = \frac{18.62 \times 10^3}{0.985 \times 21 \times 348} = 2.58 \text{ cm}^2 ; \text{ On opte pour : } 4\text{HA}12 = 3.14 \text{ cm}^2 \text{ avec } S_t = 25 \text{ cm}.$$

Armatures de répartition : $A_r = \frac{A_a}{4} = \frac{3.14}{4} = 0.79 \text{ cm}^2$; On opte pour $4\text{HA}12/\text{ml} = 4.52 \text{ cm}^2$ avec $S_t = 25 \text{ cm}$.

- **Vérification de la condition de non fragilité du béton :** [BAEL 91 Art 4.2, 1]

$$A_{min} = 0.23 b d \frac{f_{t28}}{f_e} = 0.23 \times 100 \times 21 \times \frac{2.1}{400} = 2.53 \text{ cm}^2$$

En travée : $A_t = 9.23 \text{ cm}^2 > A_{min}$; En appui : $A_a = 4.52 \text{ cm}^2 > A_{min}$

- **Vérifications de la contrainte tangentielle :** [BAEL 91 Art 5.12,11] :

Fissuration peu nuisible, on doit vérifier que $\tau_u = \frac{T_u}{b d} \leq \bar{\tau}_u$.

Avec : T_u : effort tranchant maximal; $T_u = 47.38 \text{ kN}$

$$\tau_u = T_u / b d = 47.38 \times 10 / 100 \times 21 = 0.225 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau}_u = \min \left\{ 0.2 \frac{f_{c28}}{\gamma_b} ; 5 \text{ MPa} \right\} = 3.33 \text{ MPa} ; \tau_u = 0.225 \text{ MPa} < \bar{\tau}_u = 3.33 \text{ MPa}$$

- **Influence de l'effort tranchant sur le béton** [BAEL 91 /ART A.5.1, 313] :

$$\text{On doit vérifier que : } T_{max} \leq 0.4 \left(\frac{f_{c28}}{\gamma_b} \right) a b = 0.4 \left(\frac{25}{1.5} \right) 18.9 \times 100 \times 10^{-1} = 1260 \text{ kN}$$

Avec $a = 0.9d = 0.9 \times 21 = 18.9 \text{ cm}$; $T_{max} = 47.38 \text{ kN} < 1260 \text{ kN}$; condition vérifiée.

- **Vérification de la contrainte d'adhérence acier-béton :**

$$\text{On doit vérifier que : } \tau_{se} \leq \bar{\tau}_{se} ; \tau_{se} = \frac{T_{max}}{0.9 d \times \sum U_i} = \frac{47.38 \times 10}{0.9 \times 21 \times (6 \times 3.14 \times 1.4)} = 0.95 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau}_{se} = \psi \times f_{t28} = 1.5 \times 2.1 = 3.15 \text{ MPa} ; \tau_{se} < \bar{\tau}_{se} ; \text{ condition vérifiée}$$

Les armatures ne subissent donc pas de glissement à l'intérieur de la masse du béton.

- **Ancrage des barres aux appuis :**

$$\overline{\tau_{sc}} = 0.6 \Psi^2 f_{t28} = 0.6 \times (1.5)^2 \times 2.1 = 2.835 \text{ MPa}$$

La longueur de scellement droit est : $L_s = \frac{\Phi f_e}{4 \overline{\tau_{sc}}} = \frac{1.4 \times 400}{4 \times 2.835} = 49.38 \text{ cm}$

L_s dépasse la largeur du voile dont laquelle il sera ancré, on calcul un crochet :

Les règles du BAEL [Art A.6.1,253/BAEL91modifiée99] admettent que l'ancrage d'une barre rectiligne terminée par un crochet normal est assuré lorsque la longueur de la portée mesurée hors crochet est au moins égale $0,4L_s$ pour les aciers HA ; $L_a = 0,4L_s = 0,4 \times 49,38 = 19,75 \text{ cm}$.

- **Espacement des barres :**

- Armatures principales : $S_{t \max} = 25 \text{ cm} < \min\{3h ; 33 \text{ cm}\} = 33 \text{ cm}$.
- Armatures de répartition : $S_{t \max} = 25 \text{ cm} < \min\{4h ; 45 \text{ cm}\} = 45 \text{ cm}$.

▪ **Vérification à l'ELS :**

a) **Combinaison de charges :**

Palier : $q_s = G+Q = 7.19+2.5 = 9.69 \text{ kN/ml}$;

Volée : $q_s = G+Q = 10.615+2.5 = 13.115 \text{ kN/ml}$.

b) **Efforts internes:**

- Réactions d'appuis : $R_A = 34.36 \text{ kN}$; $R_B = 31.38 \text{ kN}$.
- Efforts tranchants et moments fléchissant :

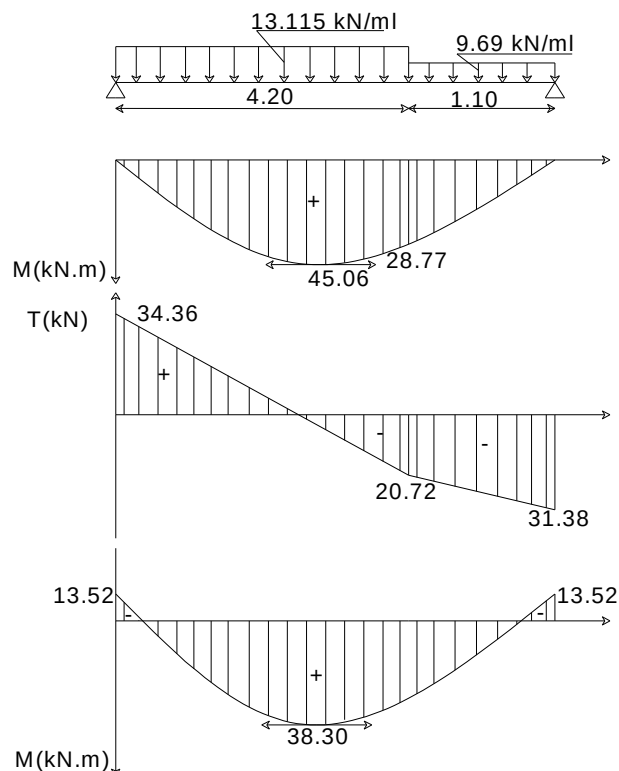


Fig. 2-26 Diagrammes des efforts internes à l'ELS

- **Vérification de la résistance à la compression du béton :**

Aux appuis :

$$\rho = \frac{100 \times A_a}{b_0 \times d} = \frac{100 \times 4,52}{100 \times 21} = 0,215 \Rightarrow \begin{cases} \beta_1 = 0,925 \\ K = 0,019 \end{cases}$$

$$\text{La contrainte dans les aciers est : } \sigma_s = \frac{M_a^s}{\beta_1 \times d \times A_a} = \frac{13,52 \times 10^3}{0,925 \times 21 \times 4,52} = 153,98 \text{ MPa}$$

$$\text{La contrainte dans le béton : } \sigma_{bc} = K \times \sigma_s = 0,019 \times 153,98 = 2,92 \text{ MPa}$$

$$\text{Soit : } \sigma_{bc} \leq \bar{\sigma}_{bc} = 0,6 \times f_{c28} = 15 \text{ MPa}$$

En travée:

$$\rho = \frac{100 \times A_t}{b \times d} = \frac{100 \times 9,23}{100 \times 21} = 0,439 \Rightarrow \begin{cases} \beta_1 = 0,899 \\ K = 0,029 \end{cases}$$

$$\text{La contrainte dans les aciers est } \sigma_s = \frac{M_t^s}{\beta_1 \times d \times A_t} = \frac{38,30 \times 10^3}{0,899 \times 21 \times 9,23} = 219,79 \text{ MPa}$$

$$\text{La contrainte dans le béton : } \sigma_{bc} = K \times \sigma_s = 0,029 \times 219,79 = 6,37 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bc} = 6,37 \text{ MPa} < 15 \text{ MPa} : \text{Condition vérifiée.}$$

- **Vérification de la flèche :**

Elle n'est pas si les conditions suivantes sont satisfaites:

$$1) \frac{h}{L} > \frac{1}{16} ; 2) \frac{h}{L} > \frac{1}{10} \times \frac{M_t^s}{M_0} ; 3) \frac{A}{b \times d} < \frac{4,2}{f_e}$$

où h : hauteur totale (23cm) ; L : portée entre nus d'appuis (L = 530 cm) ; M_t : moment max en travée (M_t=38.30 kN.m) ; M₀ : moment max de la travée isostatique ; A : section des armatures ; b : largeur de la section ; d : hauteur utile de la section droite.

$$\text{Nous avons : } \frac{h}{L} = \frac{23}{530} = 0,043 < \frac{1}{16}$$

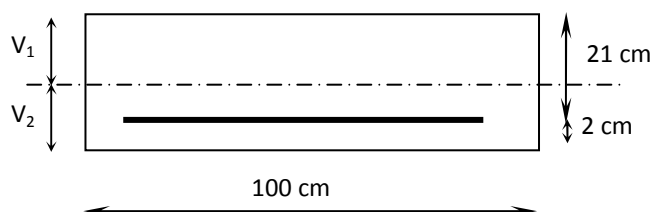
✓ Donc la première condition n'est pas vérifiée, le calcul de la flèche s'impose.

$$f \leq \bar{f} = \frac{L}{500} = 1,06 \text{ cm} ; f = \frac{5}{384} \frac{q_s^{max} L^4}{E_v I} \leq \bar{f} ; \bar{f} : \text{flèche admissible ;}$$

E_v : Module de déformation différée;

$$E_v = 3700 \sqrt[3]{f_{c28}} = 3700 \sqrt[3]{25} = 10818,865 \text{ MPa ;}$$

I : Moment d'inertie totale de la section homogénéisée par rapport au CDG de la section ;



V_1 , position de l'axe neutre : $V_1 = \frac{S_{xx}}{B_0}$; B_0 : aire de la section homogène ;

S_{xx} : moment statique par rapport à l'axe xx passant par la fibre extrême supérieure ;

A_t : section d'armatures tendues

$$B_0 = b \cdot h + 15A_t = 100 \times 23 + 15 \times 9.23 = 2438.45 \text{ cm}^2$$

$$S_{xx} = \frac{bh^2}{2} + 15A_t x d = \frac{100 \times 23^2}{2} + 15 \times 9.23 \times 21 = 29357.45 \text{ cm}^3$$

$$\Rightarrow V_1 = \frac{29357.45}{2438.45} = 12.04 \text{ cm} ; V_2 = h - V_1 = 23 - 12.04 = 10.96 \text{ cm}$$

$$I = \frac{b}{3} (V_1^3 + V_2^3) + 15A_t (V_2 - c)^2$$

$$I = \frac{100}{3} (12.04^3 + 10.96^3) + 15 \times 9.23 (10.96 - 2)^2 = 113177.33 \text{ cm}^4$$

N.B : q_s a prendre est la moyenne entre la charge du palier et celle de la volée.

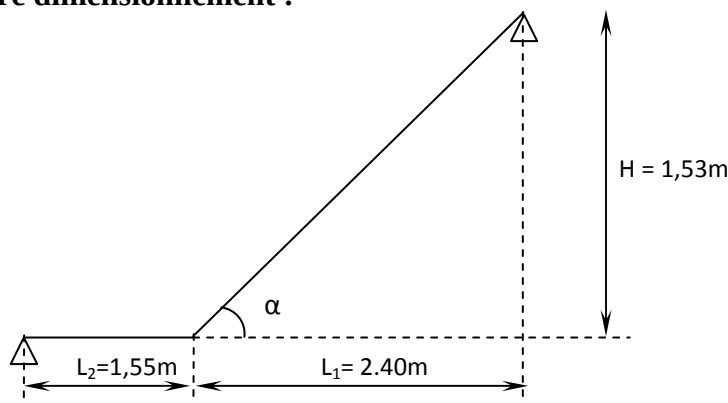
$$\text{Soit : } q_s = \frac{q_{s \text{ palier}} + q_{s \text{ volée}}}{2} = \frac{9.69 + 13.115}{2} = 11.40 \text{ kN/ ml}$$

$$f = \frac{5}{384} \frac{q_s L^4}{E_v I} = \frac{5}{384} \frac{11.40 \times (5.3)^4 \times 10^3}{10818.866 \times 113177.33 \times 10^{-2}} = 0.0095 \text{ m} = 0.95 \text{ cm}$$

$$f = 0.95 \text{ cm} < \bar{f} = 1.06 \text{ cm} ; \text{ condition vérifiée.}$$

2-5-3 Escalier de l'étage courant :

▪ Pré dimensionnement :



On prend la hauteur des marches $h = 17 \text{ cm}$.

$$\text{Nombre de contre marches : } n = \frac{H}{h} = \frac{153}{17} = 9 \Rightarrow n = 9 \text{ contre marches.}$$

Le nombre de marches est pris égale à $m = n - 1 = 9 - 1 = 8$ marches.

$$m \times g = L_1 \Rightarrow g = \frac{L_1}{m} = \frac{240}{8} = 30 \text{ cm}$$

▪ **Vérification de la loi de BLONDEL :**

La loi de BLONDEL est une relation empirique qui lie h et g et qui permet de concevoir un escalier ou l'on se déplace de façon confortable.

$$59cm \leq g + 2h \leq 66cm$$

$$59cm \leq 30 + 2 \times 17 = 64cm < 66cm \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

▪ **Dimensionnement de la paillasse et de palier :**

$$\frac{L}{30} \leq e_p \leq \frac{L}{20}$$

$$tg(\alpha) = \frac{H}{L_1} = \frac{153}{240} = 0,6375 \Rightarrow \alpha = 32,52^\circ$$

$$\cos \alpha = \frac{L_1}{L'_1} \Rightarrow L'_1 = \frac{L_1}{\cos \alpha} = \frac{240}{\cos 32,52^\circ} = 284,7cm$$

L'_1 : longueur linéaire de la paillasse.

L : somme de la longueur linéaire de la paillasse et celle du palier.

$$\text{D'où } L = L'_1 + L_2 = 284,7 + 155 = 439,7cm$$

$$\frac{439,7}{30} \leq e_p \leq \frac{439,7}{20} \Rightarrow 14,65cm \leq e_p \leq 21,98cm$$

On prend $e_p = 18cm$, et on prend la même pour le palier $e_{\text{paillasse}} = e_{\text{palier}} = 18cm$.

Remarque :

Pour les escaliers desservant le 2^{ème} étage on a : $L_1 = 2,70m$ et $L_2 = 1,10m$

$$\frac{L}{30} \leq e_p \leq \frac{L}{20}$$

$$tg(\alpha) = \frac{H}{L_1} = \frac{153}{270} = 0,566 \Rightarrow \alpha = 29,53^\circ$$

$$\cos \alpha = \frac{L_1}{L'_1} \Rightarrow L'_1 = \frac{L_1}{\cos \alpha} = \frac{270}{\cos 29,53^\circ} = 310,3cm$$

L'_1 : longueur linéaire de la paillasse.

L : somme de la longueur linéaire de la paillasse et celle du palier.

$$\text{D'où } L = L'_1 + L_2 = 310,3 + 110 = 420,3cm$$

$$\frac{420,3}{30} \leq e_p \leq \frac{420,3}{20} \Rightarrow 14,01cm \leq e_p \leq 21,015cm$$

Donc : on optera pour une même épaisseur que les autres étages courant $e_p = 18cm$

Et pour le calcul, on va étudier le cas des escaliers où $L = 439,7cm$.

▪ **Ferraillage à l'ELU :**

On opte les sections d'armatures suivantes :

- En travée :

Les armatures principales :

$A_t = 5HA12 = 5,65 \text{ cm}^2$; avec un espacement $S_t = 20\text{cm}$.

Les armatures de répartition :

$A_r = 4HA12 = 4,52 \text{ cm}^2$; avec un espacement $S_t = 25\text{cm}$.

- Aux appuis :

Les armatures principales :

$A_t = 4HA12 = 4,52 \text{ cm}^2$; avec un espacement $S_t = 25 \text{ cm}$.

Les armatures de répartition :

$A_r = 4HA12 = 4,5 \text{ cm}^2$; avec un espacement $S_t = 25\text{cm}$.

▪ **Vérifications à l'ELS :**

La flèche est vérifiée sur la volée des escaliers du RDC, par conséquence elle sera évidemment vérifiée pour celle des escaliers de l'étage courant qui a une longueur linéaire plus petite que la première.

2-6 Etude de la poutre de chaînage :

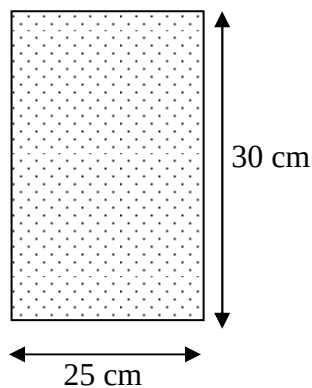
La poutre de chaînage est considérée comme une poutre isostatique avec une inertie constante supportant son poids propre et le poids des cloisons extérieures.

2-6-1 Pré-dimensionnement :

$\frac{L}{15} \leq h < \frac{L}{16}$ soit avec $L = 3.70$ m, on adopte une hauteur $h = 30$ cm.

$0.4h \leq b \leq 0.7h$; $0.4h = 12 \leq b \leq 0.7h = 21$; soit une largeur $b = 25$ cm

où L est la longueur libre (entre nus d'appuis) dans le sens considéré :



Section de la poutre de chaînage

▪ Evaluation des charges et surcharges :

- Charges permanentes :

- Poids propre de la poutre : $0.25 \cdot 0.3 \cdot 25 = 1.875$ KN/ml
- Poids du mur (double cloison) : $(3.06 - 0.3) \cdot 2.36 = 6.514$ KN/ml
- Poids du plancher : $5.44 \times \frac{0.65}{2} = 1.77$ KN/ml

$$G_t = 10.16 \text{ KN/ml.}$$

- Surcharge d'exploitation : $Q = 1.5 \times 0.65 / 2 = 0.49$ kN/m
- Combinaisons des charges :

$$\text{ELU : } q_u = 1.35G + 1.5q = 1.35 \times 10.16 + 1.5 \times 0.487 = 14.45 \text{ KN/ml.}$$

$$\text{ELS : } q_s = G + Q = 10.16 + 0.487 = 10.65 \text{ KN/ml.}$$

2-6-2 Etude de la poutre à l'ELU :

On considère la poutre comme étant une poutre simplement appuyée à ses extrémités.

▪ Moments:

En travée : $M_t = 0.85 \times 14.45 \times 3.7^2 / 8 = 21.02 \text{ kN}$

Sur appuis : $M_a = -0.3 \times 14.45 \times 3.7^2 / 8 = -7.42 \text{ kN.m}$

▪ Réactions d'appuis : $R_A = R_B = \frac{q_u L}{2} = 26.73 \text{ kN.m}$

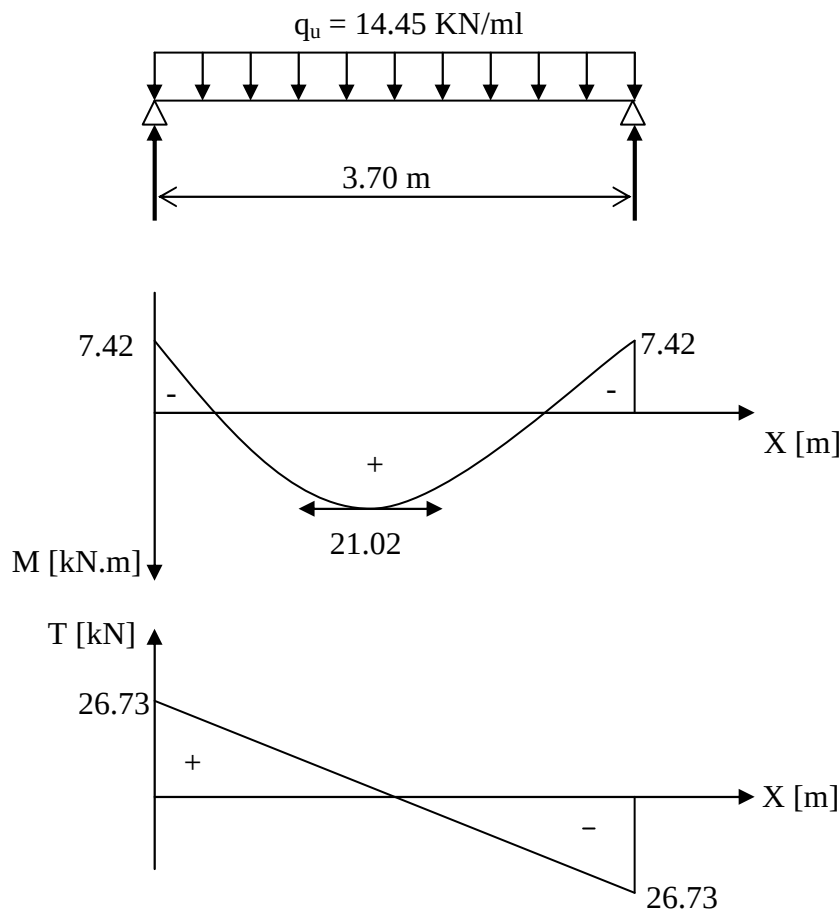


Fig. 2-27 Diagramme des efforts internes à l'ELU

▪ Calcul des armatures : On a: $b = 25 \text{ cm}$; $h = 30 \text{ cm}$; $c = 3 \text{ cm}$

- En travée : $\nu = \frac{M_t}{bh^2 f_{bc}} = \frac{21.02 \times 10^3}{25 \times 27^2 \times 14.2} = 0.081$; $\mu = 0.081 < 0.392 \Rightarrow \text{SSA}$

$\mu = 0.081 \rightarrow \beta = 0.957$; $A_t = \frac{M_t}{\beta d \sigma_{st}} = \frac{21.02 \times 10^3}{0.957 \times 27 \times 348} = 2.337 \text{ cm}^2$; soit 3HA12 = 3.39 cm^2

- Aux appuis : $\mu = \frac{M_t}{bd^2 f_{bc}} = \frac{7.42 \times 10^3}{25 \times 27^2 \times 14.2} = 0.028 < 0.392 \Rightarrow \text{SSA}$;

$\mu = 0.028 \rightarrow \beta = 0.986$; $A_a = \frac{M_t}{\beta d \sigma_{st}} = \frac{7.42 \times 10^3}{0.986 \times 27 \times 348} = 0.80 \text{ cm}^2$; soit 3HA10 = 2.35 cm^2

- **Vérifications de la condition de non fragilité du béton :** [BAEL 91 Art 4.2, 1]

$$A_{min} = 0.23bd \frac{f_{t28}}{f_e} = 0.23 \times 25 \times 27 \times \frac{2.1}{400} = 0.815 \text{ cm}^2$$

- En travée : $A_t = 3.39 \text{ cm}^2 > A_{min}$ ok
- En appui : $A_a = 2.35 \text{ cm}^2 > A_{min}$ ok.

- **Vérifications de la contrainte tangentielle :** [BAEL 91 Art 5.12,11] :

$$T_u^{max} = 26.73 \text{ kN}; \tau_u = \frac{T_u^{max}}{b \times d} = \frac{26.73 \times 10^3}{25 \times 27 \times 10^2} = 0.396 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau}_u = \min \left\{ 0.2 \frac{f_{c28}}{\gamma_b}; 5 \text{ MPa} \right\} = 3.33 \text{ MPa}; \tau_u = 0.396 \text{ MPa} < \bar{\tau}_u = 3.33 \text{ MPa} \text{ ok.}$$

- **Vérifications de la contrainte d'adhérence acier-béton :**

$$\text{On doit vérifier que : } \tau_{se} \leq \bar{\tau}_{se}; \tau_{se} = \frac{T_{max}}{0.9d \times \sum U_i} = \frac{26.73 \times 10}{0.9 \times 27 \times (3 \times 3.14 \times 1)} = 1.16 \text{ MPa.}$$

$$\bar{\tau}_{se} = \psi \times f_{t28} = 1.5 \times 2.1 = 3.15 \text{ MPa. La condition est donc vérifiée.}$$

- **Calcul des armatures transversales :**

$$\text{Diamètre : } \phi_t \leq \min \left\{ \frac{h_t}{35}; \frac{b}{10}; \phi_l \right\} \Leftrightarrow \phi_t \leq \min \left(\frac{30}{35} = 0.857; \frac{25}{10} = 2.5; 1.2 \right)$$

On prend comme diamètre: $\phi_t = 8 \text{ mm}$.

Donc on adopte 4 HA8 = 2.01 cm^2 soit (1 cadre + 1 étrier) $\Phi 8$

- **Espacement des barres :**

Selon (RPA 99 Version 2003/Art : 7.5.2) ; l'espacement doit vérifier :

- En zone nodale (appuis) :

$$S_t \leq \min \left\{ \frac{h}{4}; 12\phi \right\} = \min \{ 7.5 \text{ cm}; 9.6 \text{ cm} \} = 7.5 \text{ cm} \text{ Soit : } S_t = 7 \text{ cm.}$$

- En zone courante (travée) : $S_t \leq \frac{h}{2} = 15 \text{ cm}$, soit $S_t = 15 \text{ cm}$.

2-6-3 Vérification à l'ELS :

$$q_s = G + Q = 10.16 + 0.487 = 10.65 \text{ kN/ml}$$

- **Les réactions d'appuis :** $R_A = R_B = q_s \times \frac{L}{2} = 10.65 \times \frac{3.70}{2} = 19.70 \text{ KN}$

- **Les moments :**

$$M_0 = q_s \times \frac{L^2}{8} = 10.65 \times \frac{3.70^2}{8} = 18.22 \text{ KN.m}$$

En tenant compte des semi encastrements :

$$M_a = -0.3 \times 18.22 = -5.46 \text{ kN.m}; M_t = 0.85 \times 18.22 = 15.48 \text{ kN.m.}$$

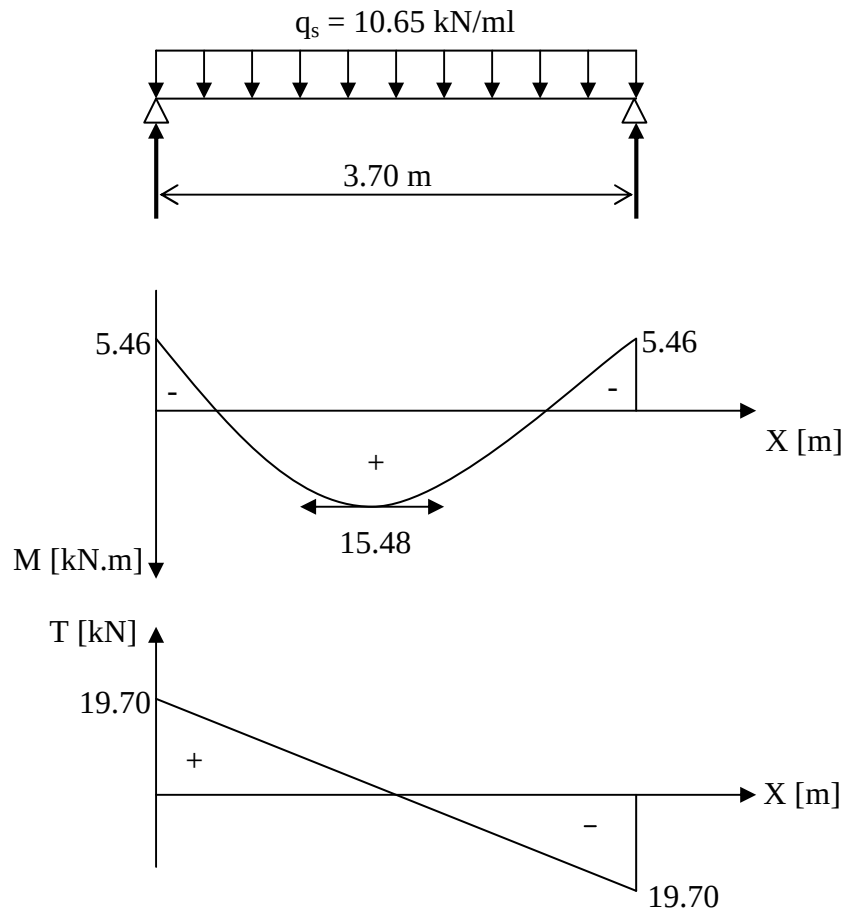


Fig. 2-28 Diagrammes des efforts internes à l'ELS

▪ **Vérification de la résistance du béton à la compression :**

On doit vérifier que : $\sigma_{bc} = K \cdot \sigma_s \leq \overline{\sigma_{bc}} = 0.6 f_{c28}$

- Aux appuis :

$$\rho = \frac{100 \times A_a}{b \times d} = \frac{100 \times 2.35}{25 \times 27} = 0.348 \Rightarrow \begin{cases} \beta_1 = 0.9085 \\ K = 0.025 \end{cases}$$

$$\text{La contrainte dans les aciers est } \sigma_s = \frac{M_{sa}}{\beta_1 \times d \times A_a} = \frac{5.46 \times 10^3}{0.9085 \times 2.35 \times 27} = 94.72 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bc} = K \times \sigma_s = 0.025 \times 94.72 = 2.368 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bc} = 2.368 \text{ MPa} \leq 15 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{Condition vérifiée}$$

- En travée :

$$\rho_1 = \frac{100 \times A_t}{b \times d} = \frac{100 \times 3.39}{25 \times 27} = 0.502 \Rightarrow \begin{cases} \beta_1 = 0.8935 \\ K = 0.03 \end{cases}$$

$$\text{La contrainte dans les aciers est } \sigma_s = \frac{M_{st}}{\beta_1 \times d \times A_t} = \frac{15.48 \times 10^3}{0.8935 \times 27 \times 3.39} = 188.86 \text{ MPa}$$

La contrainte dans le béton $\sigma_{bc} = K \times \sigma_s = 0,03 \times 188,86 = 5,66 \text{ MPa} < 15 \text{ MPa}$

▪ **Etat limite d'ouverture des fissures :**

La fissuration est considérée comme étant peu nuisible, alors il est inutile de vérifier.

▪ **Vérification de la flèche :**

On peut admettre qu'il n'est pas nécessaire de procéder au calcul de la flèche si les trois conditions suivantes sont vérifiées :

$$\left. \begin{array}{l} \frac{h}{L} \geq \frac{1}{16} \\ \frac{h}{L} = \frac{30}{370} = 0,081 \\ \frac{1}{16} = 0,0625 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{h}{L} \succ \frac{1}{16} \text{ condition vérifiée}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{h}{L} \geq \frac{M_t}{10M_0} \\ \frac{h}{L} = \frac{30}{370} = 0,081 \\ \frac{M_t}{10M_0} = \frac{15,48}{10 \times 18,22} = 0,078 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{h}{L} \geq \frac{M_t}{10M_0} \text{ condition vérifiée}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{A_t}{bd} \leq \frac{4,2}{f_e} \\ \frac{A_t}{bd} = \frac{3,39}{25 \times 27} = 0,005 \\ \frac{4,2}{f_e} = \frac{4,2}{400} = 0,0105 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{A_t}{bd} \leq \frac{4,2}{f_e} \text{ condition vérifiée}$$

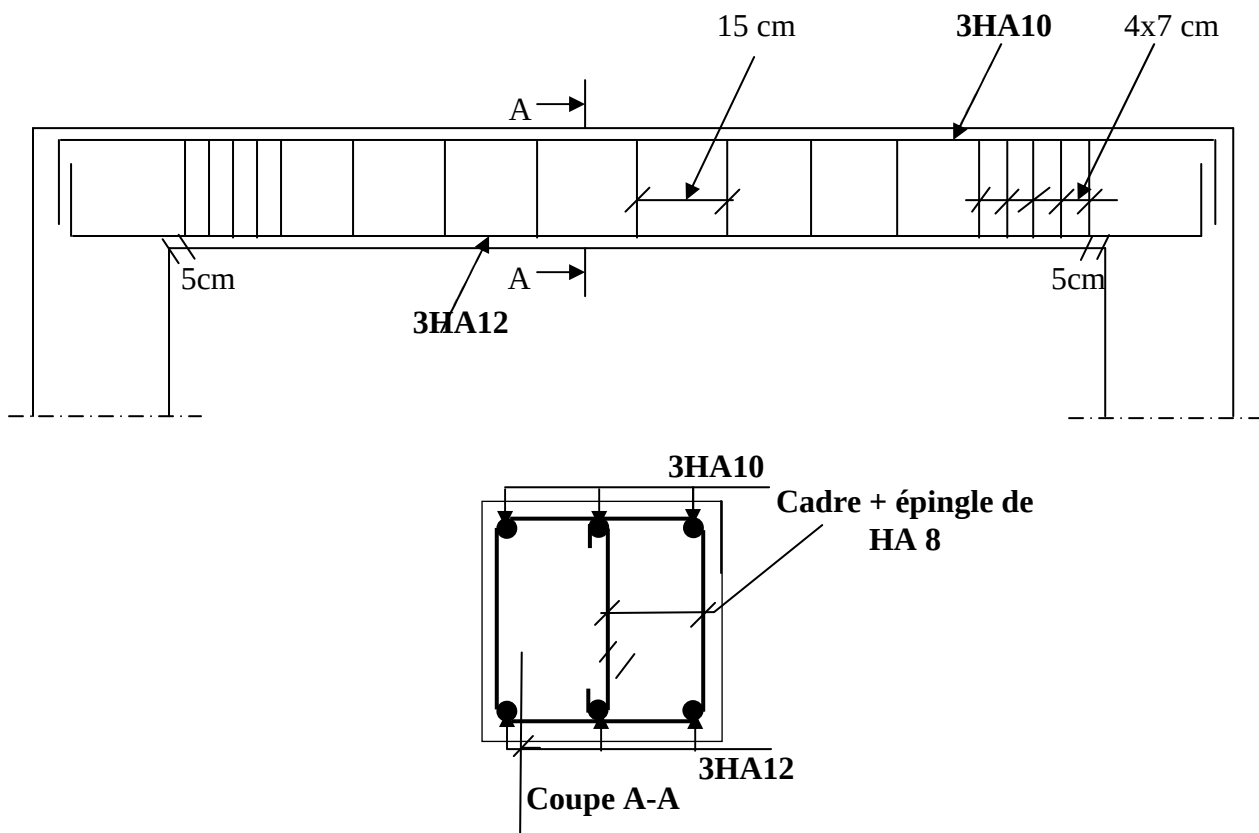


Fig. 2-29 Ferrailage de la poutre de chaînage

CHAPITRE 3

ETUDE DU CONTREVENTEMENT

Introduction :

Dans ce chapitre, nous étudierons le système structurel et les caractéristiques géométrique des éléments de contreventement .la fonction de contreventement consiste à parer la structure contre les sollicitations horizontales ; vent et séisme. Le contreventement peut être assuré par :

- Des voiles ou murs appelés couramment refends entrant dans la composition de l'ouvrage.
- Du système poteaux poutres forment des portiques d'étage.
- Des cages d'escaliers et d'ascenseurs ou gaines représentant une grand rigidité a la flexion et a la torsion.
- Une combinaison de portique et refends rigidement liés travaillant conjointement pour faire face au séisme.

Sous l'action des forces horizontales, un refend et un portique présentent des déformez fondamentalement différentes, la déformation du refend étant régie par la flexion d'ensemble (dans le cas des refends a faible élancement, la déformation est due a l'effort tranchant),et celle du portique par la flexion des barres (due a l'effort tranchant de l'ensemble),la liaison entre le portique et le refend a pour résultat de créer une structure mixte.

Le comportement de ce genre de structure devient très complexe s'il on fait intervenir l'interaction refend portique. Le but de ce chapitre est justement de déterminer la répartition des efforts horizontaux entre les refends et les portiques .pour cela on va comparer l'inertie des voiles a celle des portiques auquel nous attribuer une inertie fictive.

3-1 Etude des refends :

▪ Calcul des inerties :

a) Refend pleins :

- Sens longitudinal :

$$I_y = \frac{eL^3}{12}$$

$$I_x = \frac{Le^3}{12}$$

$I_x \lll I_y$ ($e \lll L$), I_x est négligeable devant I_y .

- Sens transversal :

$$I_y = \frac{Le^3}{12}$$

$$I_x = \frac{eL^3}{12}$$

$I_y \lll I_x$ ($e \lll L$), I_y est négligeable devant I_x .

b) Refend avec ouverture :

- Notion d'inertie équivalente : on appelle inertie équivalente I_e du refend considéré (avec ouverture), inertie d'un refend plein fictif qui étant soumis au même effort horizontal présenterait à son sommet une flèche f égale à celle de refend avec ouverture :

$$f = \frac{T_0 H^3}{8EI_e}$$

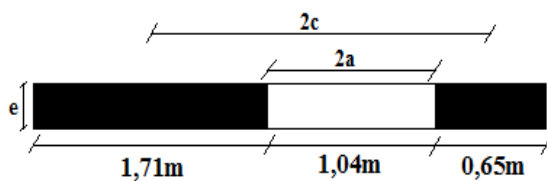
Avec T_0 : effort tranchant à la base du refend ;

H : hauteur du bâtiment ;

E : module d'élasticité du matériau constituant l'élément du refend ;

I_e : moment d'inertie équivalente.

b.1) Inertie équivalente des refends à une seule file d'ouverture VL3 :



$$I_e = \frac{a_n I}{\frac{60 \times 2mc\psi_0}{11I_0\alpha^2} + 1}$$

Avec: $I = I_1 + I_2 + 2mc$

$$I_1 = \frac{0.2 \times 0.65^3}{12} = 0.0046 \text{ cm}^4 \quad \text{et} \quad I_2 = \frac{0.2 \times 1.71^3}{12} = 0.0833 \text{ cm}^4$$

$$2c = 2.22 \text{ m} \rightarrow c = 1.11 \text{ m}$$

$$2a = 1.04 \text{ m} \rightarrow a = 0.52 \text{ m}$$

- Moment statique :

$$m = \frac{2c}{\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2}} = \frac{2.22}{\frac{1}{0.13} + \frac{1}{0.342}} = 0.1884 \text{ m}^3$$

A_1 et A_2 : aires des trumeaux 1 et 2

$$I = I_0 + 2mc = 0.0879 + 2.22 \times 0.1884 = 0.5062 \text{ m}^4$$

- Inertie de linteau :

$$i = \frac{eB^3}{12} = \frac{0.2 \times 0.86^3}{12} = 0.011 \text{ m}^4$$

$$W^2 = \frac{3E'i}{EI_0} \frac{I}{m} \frac{c}{a^3 l} = \frac{3 \times 0.011}{0.0879} \frac{0.5062}{0.1884} \frac{1.11}{0.52^3 \times 3.06} = 2.60 \Rightarrow w = 1.61.$$

E et E' module d'élasticité du matériau constituant le refend et le linteau respectivement.

(Avec $E = E' = 320000 \text{ daN/cm}^2$).

- Degré de monolithisme (concordance) :

$$\alpha = wz = 1.61 \times 35.02 = 56.38 \text{ rd.}$$

$\alpha > 10$ donc le refend se comporte comme refend plein d'après MARIUS DIVERS.

$$a_n = \frac{11}{20} + \frac{9}{20n} - \frac{1}{30n^2} - \frac{1}{30n^3}$$

a : nombre de niveaux.

$$a_n = 1 \text{ avec } (n=11 > 10).$$

$$\psi_0 = \frac{2}{3} + \frac{2 - \alpha^2}{\alpha^3} \times \frac{\text{sh}\alpha}{\text{ch}\alpha} - \frac{2}{\alpha^2 \text{ch}\alpha}$$

$$\alpha = 56.38 \text{ rd} \Rightarrow \text{sh}\alpha = \text{ch}\alpha = 1.52 \times 10^{24}$$

$$\psi_0 = \frac{2}{3} + \frac{2 - 56.38^2}{56.38^3} \times \frac{1.52 \times 10^{24}}{1.52 \times 10^{24}} - \frac{2}{56.38^2 \times 1.52 \times 10^{24}} = 0.649$$

$$I_e = \frac{a_n I}{\frac{60 \times 2mc\psi_0}{11I_0\alpha^2} + 1} = \frac{1 \times 0.5062}{\frac{60 \times 2 \times 0.1884 \times 1.11 \times 0.649}{11 \times 0.0879 \times 56.38^2} + 1} = 0.5035 \text{ m}^4$$

$$I_{VL3} = I_e = 0.5035 \text{ m}^4$$

b.2) Inertie équivalent du refend a une seule file d'ouverture VL4 :

$$I_e = \frac{a_n I}{\frac{60 \times 2mc\psi_0}{11I_0\alpha^2} + 1}$$

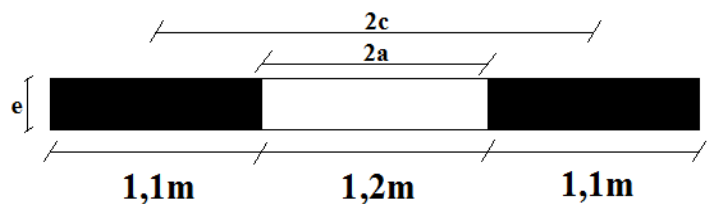
$$\text{Avec: } I = I_1 + I_2 + 2mc$$

$$I_1 = \frac{0.2 \times 1.1^3}{12} = 0.022 \text{ cm}^4 \text{ et } I_2 = \frac{0.2 \times 1.1^3}{12} = 0.022 \text{ cm}^4$$

$$I_0 = I_1 + I_2 = 0.044 \text{ m}^4$$

$$2c = 2.30 \text{ m} \rightarrow c = 1.15 \text{ m}$$

$$2a = 1.2 \text{ m} \rightarrow a = 0.6 \text{ m}$$



- Moment statique :

$$m = \frac{2.c}{\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2}} = \frac{2.30}{\frac{1}{0.22} + \frac{1}{0.22}} = 0.253 \text{ m}^3$$

A_1 et A_2 : aires des trumeaux 1 et 2

$$I = I_0 + 2 mc = 0.044 + 2 \times 0.253 \times 1.15 = 0.626 \text{ m}^4$$

- Inertie de linteau :

$$i = \frac{eB^3}{12} = \frac{0.2 \times 0.86^3}{12} = 0.011 \text{ m}^4$$

$$W^2 = \frac{3E'i}{E I_0} \frac{I}{m} \frac{c}{a^3 l} = \frac{3 \times 0.011}{0.044} \frac{0.626}{0.253} \frac{1.15}{0.6^3 \times 3.06} = 3.228 \Rightarrow w = 1.80$$

E et E' module d'élasticité du matériau constituant le refend et le linteau respectivement.

(Avec $E = E' = 320000 \text{ daN/cm}^2$).

- Degré de monolithisme (concordance) :

$$\alpha = wz = 1.8 \times 35.02 = 63.04 \text{ rd.}$$

$\alpha > 10$ donc le refend se comporte comme refend plein d'après MARIUS DIVERS.

ψ_0 , a_0 coefficients :

$$a_n = \frac{11}{20} + \frac{9}{20n} - \frac{1}{30n^2} - \frac{1}{30n^3}$$

a : number de niveaux.

$$a_n = 1 \text{ pour } (n > 10).$$

$$\psi_0 = \frac{2}{3} + \frac{2 - \alpha^2}{\alpha^3} \times \frac{\text{sh}\alpha}{\text{ch}\alpha} - \frac{2}{\alpha^2 \text{ch}\alpha}$$

$$\alpha = 63.04 \text{ rd} \Rightarrow \text{sh}\alpha = \text{ch}\alpha = 1.2 \times 10^{27}$$

$$\psi_0 = \frac{2}{3} + \frac{2 - 63.04^2}{63.04^3} \times \frac{1.2 \times 10^{27}}{1.2 \times 10^{27}} - \frac{2}{63.04^2 \times 1.2 \times 10^{27}} = 0.651$$

$$I_e = \frac{a_n I}{\frac{60 \times 2mc\psi_0}{11I_0\alpha^2} + 1} = \frac{1 \times 0.626}{\frac{60 \times 2 \times 0.0253 \times 1.15 \times 0.651}{11 \times 0.044 \times 63.04^2} + 1} = 0.6186 \text{ m}^4$$

$$I_{VL4} = I_e = 0.6186 \text{ m}^4.$$

b.3) Inertie équivalent du refend a une seule file d'ouverture VL8 :

$$I_e = \frac{a_n I}{\frac{60 \times 2mc \psi_0}{11I_0 \alpha^2} + 1}$$

Avec : $I = I_1 + I_2 + 2mc$

$$I_1 = \frac{0.2 \times 1.1^3}{12} = 0.022 \text{ cm}^4 \quad \text{et} \quad I_2 = \frac{0.2 \times 1.1^3}{12} = 0.022 \text{ cm}^4$$

$$I_0 = I_1 + I_2 = 0.044 \text{ m}^4$$

$$2c = 2.30 \text{ m} \rightarrow c = 1.15 \text{ m}$$

$$2a = 1.2 \text{ m} \rightarrow a = 0.6 \text{ m}$$

▪ Moment statique :

$$m = \frac{2.c}{\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2}} = \frac{2.30}{\frac{1}{0.22} + \frac{1}{0.22}} = 0.253 \text{ m}^3$$

A_1 et A_2 : aires des trumeaux 1 et 2

$$I = I_0 + 2 mc = 0.044 + 2 \times 0.253 \times 1.15 = 0.626 \text{ m}^4$$

▪ Inertie de linteau :

$$i = \frac{eB^3}{12} = \frac{0.2 \times 1.06^3}{12} = 0.0198 \text{ m}^4$$

$$W^2 = \frac{3E' i}{E I_0} \frac{I}{m} \frac{c}{a^3 l} = \frac{3 \times 0.0198}{0.044} \frac{0.626}{0.253} \frac{1.15}{0.6^3 \times 3.06} = 5.812 \Rightarrow w = 2.41$$

E et E' module d'élasticité du matériau constituant le refend et le linteau respectivement.

(Avec $E = E' = 320000 \text{ daN/cm}^2$).

▪ Degré de monolithisme (concordance) :

$$\alpha = wz = 2.41 \times 35.02 = 84.39 \text{ rd}$$

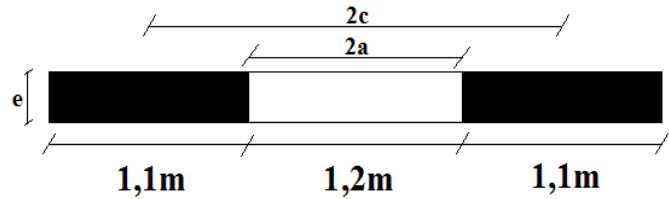
$\alpha > 10$ donc le refend se comporte comme refend plein d'après MARIUS DIVERS.

ψ_0 , a_0 coefficients :

$$a_n = \frac{11}{20} + \frac{9}{20n} - \frac{1}{30n^2} - \frac{1}{30n^3}$$

a : nombre de niveaux.

$$a_n = 1 \text{ pour } (n > 10).$$



$$\psi_0 = \frac{2}{3} + \frac{2 - \alpha^2}{\alpha^3} \times \frac{\text{sh}\alpha}{\text{ch}\alpha} - \frac{2}{\alpha^2 \text{ch}\alpha}$$

$$\alpha = 84.39 \text{rd} \Rightarrow \text{sh}\alpha = \text{ch}\alpha = 2.23 \times 10^{36}$$

$$\psi_0 = \frac{2}{3} + \frac{2 - 84.39^2}{84.39^3} \times \frac{2.23 \times 10^{36}}{2.23 \times 10^{36}} - \frac{2}{84.39^2 \times 2.23 \times 10^{36}} = 0.655$$

$$I_e = \frac{a_n I}{\frac{60 \times 2 m c \psi_0}{11 I_0 \alpha^2} + 1} = \frac{1 \times 0.626}{\frac{60 \times 2 \times 0.0253 \times 1.15 \times 0.655}{11 \times 0.044 \times 84.39^2} + 1} = 0.621 \text{ m}^4$$

$$I_{VL8} = I_e = 0.621 \text{ m}^4$$

Les inerties des voiles par niveau sont résumées dans les tableaux suivants :

- **RDC, 1^{er} et 2^{eme} etage :**
 - Refend longitudinaux :

Voiles	VL1	VL2	VL3	VL4	VL5	VL6	VL7	VL8
Longueur(m)	3.6	3.6	3.4	3.4	2.4	2.3	2.3	3.4
Inertie (m ⁴)	0.7776	0.7776	0.65506	0.65506	0.2304	0.20278	0.20278	0.65506

- Refends transversaux :

Voiles	VT1	VT2	VT3	VT4
Longueur(m)	7.2	7.2	2.35	2.05
Inertie (m ⁴)	6.2208	6.2208	0.21629	0.14358

- **Pour le 3^{eme} 10^{eme} etage :**
 - Refends longitudinaux :

Voiles	VL1	VL2	VL3	VL4	VL5	VL6	VL7	VL8
Longueur(m)	3.6	3.6	3.4	3.4	2.4	2.3	2.3	3.4
Inertie (m ⁴)	0.7776	0.7776	0.5035	0.6186	0.2304	0.20278	0.20278	0.621

- Refends transversaux:

Voiles	VT1	VT2	T3	VT4
Longueur(m)	7.2	7.2	2.35	2.05
Inertie (m ⁴)	6.2208	6.2208	0.21629	0.14358

3-2 Etude des portiques :

3-2-1 Hypothèses de calcul :

Les masses sont considérées concentrées au niveau du plancher ;

Les diagrammes de répartition des charges doivent être triangulaire pour le séisme ;

La raideur des poutres ne doit pas être faible devant celle des poteaux ;

La raideur des travées adjacentes d'une même portée ne doit pas être trop différente.

3-2-2 Etapes de calcul:

- **Détermination des longueurs de calcul des poteaux et poutres :**

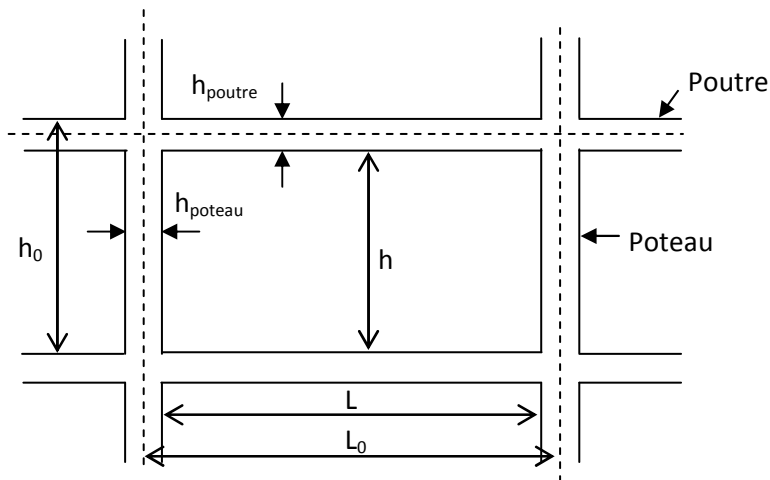


Fig.3-1 identification des paramètres

- poutres :

$$L_c = L + \frac{1}{2} h_{poutre} \leq L_0$$

L_c : longueur de calcul utilisé par MUTO.

L : longueur entre nus des poteaux.

L_0 : longueur entre axe des poteaux.

- poteaux :

$$h_c = h + \frac{1}{2} h_{pot} \leq h_0$$

h_c : hauteur de calcul utilisée par MUTO.

h : hauteur entre nus des poutres.

h_0 : Hauteur entre faces supérieures des planchers successifs.

▪ **Rigidités linéaires des poteaux et poutres :**

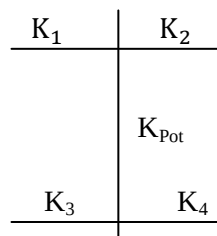
Rigidité linéaire d'un poteau : $K_{pot} = \frac{I_{pot}}{h_c}$ I_{pot} : le moment d'inertie du poteau.

Rigidité linéaire d'une poutre : $K_{poutre} = \frac{I_{poutre}}{L_c}$ I_{poutre} : le moment d'inertie de la poutre.

▪ **Calcul des coefficients $\bar{K}$ (rigidités moyennes) :**

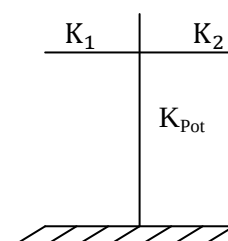
- Cas d'étage courant :

$$\bar{K} = \frac{\sum K_i (poutres sup + poutres inf)}{2K_{poteaux}} = \frac{\sum K_i}{2K_{pot}}$$



- Cas du RDC :

$$\bar{K} = \frac{\sum K_i (poutres sup)}{K_{poteaux}} = \frac{\sum K_i}{K_{pot}}$$



▪ **Calcul des coefficients correcteurs a_j^i du poteau «i» au niveau «j» :**

- Cas d'étage courant : $a_j^i = \frac{\bar{K}}{2 + \bar{K}}$

- Cas du RDC : $a_j^i = \frac{0.5 + \bar{K}}{2 + \bar{K}}$ (poteau encastré)

$$a_j^i = \frac{0.5 + \bar{K}}{1 + 2 \bar{K}} \quad (\text{poteau articulé})$$

▪ **Calcul de la rigidité corrigée du poteau «i» au niveau «j» :**

$$r_j^i = \frac{12E}{h_c^3} a_j^i K_j^i, \quad E : \text{module de déformation instantanée du béton.}$$

$$E = 11000 \sqrt[3]{f_{c28}} = 32164,195 \text{ Mpa.}$$

▪ **Calcul de la rigidité d'un portique au niveau «j» :**

$$R_{jx} = \sum r_{jx}^{(i)} \quad \text{pour chaque niveau dans le sens longitudinal.}$$

$$R_{jy} = \sum r_{jy}^{(i)} \quad \text{pour chaque niveau dans le sens transversal.}$$

Les rigidités des portiques par niveaux dans les deux sens sont dans les tableaux suivants :

3-2-3 Application numérique :

- Paramètres de calcul :

- sens transversal :

	Poutre AB				Poutre BC,DE		
NIVEAU	11,10,9,8	7,6,5,4	1,2,3	NIVEAU	11,10,9,8	7,6,5,4	1,2,3
L0	4,25	4,25	4,25	L0	2,8	2,8	2,8
L	3,95	3,9	3,85	L	2,5	2,45	2,4
hPoutre	0,4	0,4	0,4	hPoutre	0,4	0,4	0,4
Lc	4,15	4,1	4,05	Lc	2,7	2,65	2,6
	Poutre CD				Poutre EF		
NIVEAU	11,10,9,8	7,6,5,4	1,2,3	NIVEAU	11,10,9,8	7,6,5,4	1,2,3
L0	4	4	4	L0	3,25	3,25	3,25
L	3,7	3,65	3,6	L	2,95	2,9	2,85
hPoutre	0,4	0,4	0,4	hPoutre	0,4	0,4	0,4
Lc	3,9	3,85	3,8	Lc	3,15	3,1	3,05

- Sens longitudinal :

	Poutre (1-2),(7-8)				Poutre (3-4),(5-6)		
NIVEAU	11,10,9,8	7,6,5,4	1,2,3	NIVEAU	11,10,9,8	7,6,5,4	1,2,3
L0	3,2	3,2	3,2	L0	3,6	3,6	3,6
L	2,9	2,85	2,8	L	3,3	3,25	3,2
hPoutre	0,35	0,35	0,35	hPoutre	0,35	0,35	0,35
Lc	3,075	3,025	2,975	Lc	3,475	3,425	3,375
	Poutre (2-3),(6-7)				Poutre (4-5)		
NIVEAU	11,10,9,8	7,6,5,4	1,2,3	NIVEAU	11,10,9,8	7,6,5,4	1,2,3
L0	4	4	4	L0	3,1	3,1	3,1
L	3,7	3,65	3,6	L	2,8	2,75	2,7
hPoutre	0,35	0,35	0,35	hPoutre	0,35	0,35	0,35
Lc	3,875	3,825	3,775	Lc	2,975	2,925	2,875

- Calcul des rigidités des poutres : $K_{\text{poutre}} [\text{cm}^3]$

	sens longitudinal			
Niveau	(1-2),(7-8)	(2-3),(6-7)	(3-4),(5-6)	(4-5)
11,10,9,8	348,577	276,613	308,453	360,294
7,6,5,4	354,339	280,229	312,956	366,453
3,2,1	360,294	283,940	317,593	372,826
	sens transversal			
Niveau	A-B	B-C,D-E	C-D	E-F
11,10,9,8	385,542	592,593	410,256	507,937
7,6,5,4	390,244	603,774	415,584	516,129
3,2,1	395,062	615,385	421,053	524,590

▪ **Rigidité totale des portiques par niveau :**

Le calcul des rigidités des poteaux des différents niveaux dans les deux sens considérés est résumé dans les tableaux suivants :

- **Sens longitudinal :**

Rigidité par niveau des portiques [(A1-A4),(A5-A8)] :

Niveau	Poteau	hc (cm)	Kpot	K	aij	aij Kpot	rij [kN/cm]	Rj [kN/cm]
11,10,9	1&8	286	236,014	1,477	0,425	100,254	47,307	432,831
	2&7	286	236,014	2,649	0,570	134,480	63,457	
	3&6	286	236,014	2,479	0,553	130,626	61,638	
	4&5	286	236,014	1,307	0,395	93,275	44,014	
8	1&8	286	236,014	1,489	0,427	100,729	47,531	434,455
	2&7	286	236,014	2,669	0,572	134,912	63,661	
	3&6	286	236,014	2,496	0,555	131,029	61,829	
	4&5	286	236,014	1,316	0,397	93,685	44,207	
7,6,5	1&8	288,5	433,456	0,817	0,290	125,765	58,321	556,496
	2&7	288,5	433,456	1,464	0,423	183,191	84,950	
	3&6	288,5	433,456	1,369	0,406	176,098	81,661	
	4&5	288,5	433,456	0,722	0,265	114,973	53,316	
4	1&8	288,5	433,456	0,824	0,292	126,513	58,668	559,195
	2&7	288,5	433,456	1,475	0,424	183,994	85,323	
	3&6	288,5	433,456	1,378	0,408	176,831	82,001	
	4&5	288,5	433,456	0,727	0,267	115,597	53,606	
3,2	1&8	291	733,104	0,491	0,197	144,611	65,913	649,225
	2&7	291	733,104	0,879	0,305	223,788	102,001	
	3&6	291	733,104	0,821	0,291	213,270	97,207	
	4&5	291	733,104	0,433	0,178	130,524	59,492	
1	1&8	427	499,610	0,721	0,449	224,206	47,462	413,632
	2&7	427	499,610	1,289	0,544	271,788	57,534	
	3&6	427	499,610	1,204	0,532	265,710	56,248	
	4&5	427	499,610	0,636	0,431	215,275	45,571	

Rigidité par niveau des portiques (B1-B8), (C1-C8) :

Niveau	Poteau	hc (cm)	Kpot	K	aij	aij K _{pot}	rij [kN/cm]	Rj [kN/cm]
11,10,9	1&8	286	236,014	1,477	0,425	100,254	47,307	475,377
	2&7	286	236,014	2,649	0,570	134,480	63,457	
	3&4	286	236,014	2,479	0,553	130,626	61,638	
	4&5	286	236,014	2,834	0,586	138,357	65,286	
8	1&8	286	236,014	1,489	0,427	100,729	47,531	477,042
	2&7	286	236,014	2,669	0,572	134,912	63,661	
	3&6	286	236,014	2,496	0,555	131,029	61,829	
	4&5	286	236,014	2,856	0,588	138,811	65,501	
7,6,5	1&8	288,5	433,456	0,817	0,290	125,765	58,321	626,496
	2&7	288,5	433,456	1,464	0,423	183,191	84,950	
	3&6	288,5	433,456	1,369	0,406	176,098	81,661	
	4&5	288,5	433,456	1,567	0,439	190,448	88,316	

4	1&8	288,5	433,456	0,824	0,292	126,513	58,668	629,415
	2&7	288,5	433,456	1,475	0,424	183,994	85,323	
	3&6	288,5	433,456	1,378	0,408	176,831	82,001	
	4&5	288,5	433,456	1,580	0,441	191,310	88,716	
3,2	1&8	291	733,104	0,491	0,197	144,611	65,913	744,186
	2&7	291	733,104	0,879	0,305	223,788	102,001	
	3&6	291	733,104	0,821	0,291	213,270	97,207	
	4&5	291	733,104	0,942	0,320	234,695	106,972	
1	1&8	427	499,610	0,721	0,449	224,206	47,462	440,194
	2&7	427	499,610	1,289	0,544	271,788	57,534	
	3&6	427	499,610	1,204	0,532	265,710	56,248	
	4&5	427	499,610	1,382	0,556	278,015	58,853	

Rigidité par niveau du portique (D3-D4) :

Niveau	Poteau	hc (cm)	Kpot	K	aij	aij K _{pot}	rij [kN/cm]	Rj [kN/cm]
11,10,9	3&4	286	236,014	1,307	0,395	93,275	44,014	88,027
8	3&4	286	236,014	1,316	0,397	93,685	44,207	88,415
7,6,5	3&4	288,5	433,456	0,722	0,265	114,973	53,316	106,632
4	3&4	288,5	433,456	0,727	0,267	115,597	53,606	107,211
3,2	3&4	291	733,104	0,433	0,178	130,524	59,492	118,984
RDC	3&4	427	499,610	0,636	0,241	120,497	25,508	51,016

Rigidité par niveau du portique (E2-E7) :

Niveau	Poteau	hc (cm)	Kpot	K	aij	aij K _{pot}	rij [kN/cm]	Rj [kN/cm]
11,10,9	2&7	286	236,014	1,172	0,369	87,204	41,149	336,147
	3&6	286	236,014	2,479	0,553	130,626	61,638	
	4&5	286	236,014	2,834	0,586	138,357	65,286	
8	2&7	286	236,014	1,180	0,371	87,563	41,318	337,295
	3&6	286	236,014	2,496	0,555	131,029	61,829	
	4&5	286	236,014	2,856	0,588	138,811	65,501	
7,6,5	2&7	288,5	433,456	0,646	0,244	105,887	49,102	438,159
	3&6	288,5	433,456	1,369	0,406	176,098	81,661	
	4&5	288,5	433,456	1,567	0,439	190,448	88,316	
4	2&7	288,5	433,456	0,651	0,246	106,416	49,348	440,130
	3&6	288,5	433,456	1,378	0,408	176,831	82,001	
	4&5	288,5	433,456	1,580	0,441	191,310	88,716	
3,2	2&7	291	733,104	0,387	0,162	118,937	54,211	516,780
	3&6	291	733,104	0,821	0,291	213,270	97,207	
	4&5	291	733,104	0,942	0,320	234,695	106,972	
RDC	2&7	427	499,610	0,568	0,416	207,818	43,993	318,187
	3&6	427	499,610	1,204	0,532	265,710	56,248	
	4&5	427	499,610	1,382	0,556	278,015	58,853	

Rigidité par niveau des portiques (F2-F4), (F5-F7) :

Niveau	Poteau	hc (cm)	Kpot	K	a _{ij}	a _{ij} Kpot	r _{ij} [kN/cm]	R _j [kN/cm]
11,10,9	2&7	286	236,014	1,172	0,369	87,204	41,149	293,602
	3&6	286	236,014	2,479	0,553	130,626	61,638	
	4&5	286	236,014	1,307	0,395	93,275	44,014	
8	2&7	286	236,014	1,180	0,371	87,563	41,318	294,708
	3&6	286	236,014	2,496	0,555	131,029	61,829	
	4&5	286	236,014	1,316	0,397	93,685	44,207	
7,6,5	2&7	288,5	433,456	0,646	0,244	105,887	49,102	438,159
	3&6	288,5	433,456	1,369	0,406	176,098	81,661	
	4&5	288,5	433,456	1,567	0,439	190,448	88,316	
4	2&7	288,5	433,456	0,651	0,246	106,416	49,348	440,130
	3&6	288,5	433,456	1,378	0,408	176,831	82,001	
	4&5	288,5	433,456	1,580	0,441	191,310	88,716	
3,2	2&7	291	733,104	0,387	0,162	118,937	54,211	516,780
	3&6	291	733,104	0,821	0,291	213,270	97,207	
	4&5	291	733,104	0,942	0,320	234,695	106,972	
RDC	2&7	427	499,610	0,568	0,416	207,818	43,993	318,187
	3&6	427	499,610	1,204	0,532	265,710	56,248	
	4&5	427	499,610	1,382	0,556	278,015	58,853	

- Sens transversal :

Rigidité par niveau des portiques (A2-F2),(A4-F4),(A5-F5),(A7-F7)

Niveau	Poteau	hc (cm)	Kpot	K	a _{ij}	a _{ij} Kpot	r _{ij} [kN/cm]	R _j [kN/cm]
11,10,9	A	281	240,214	1,605	0,445	106,947	52,277	431,876
	B	281	240,214	4,072	0,671	161,091	78,743	
	C	281	240,214	4,175	0,676	162,409	79,388	
	D	281	240,214	4,175	0,676	162,409	79,388	
	E	281	240,214	4,581	0,696	167,217	81,737	
	F	281	240,214	2,115	0,514	123,450	60,344	
8	A	281	240,214	1,615	0,447	107,307	52,453	433,136
	B	281	240,214	4,105	0,672	161,519	78,953	
	C	281	240,214	4,209	0,678	162,840	79,598	
	D	281	240,214	4,209	0,678	162,840	79,598	
	E	281	240,214	4,622	0,698	167,661	81,955	
	F	281	240,214	2,132	0,516	123,932	60,579	
7,6,5	A	283,5	441,101	0,885	0,307	135,280	64,965	600,976
	B	283,5	441,101	2,253	0,530	233,694	112,227	
	C	283,5	441,101	2,311	0,536	236,458	113,554	
	D	283,5	441,101	2,311	0,536	236,458	113,554	
	E	283,5	441,101	2,539	0,559	246,735	118,489	
	F	283,5	441,101	1,170	0,369	162,812	78,187	

4	A	283,5	441,101	0,890	0,308	135,858	65,243	603,436
	B	283,5	441,101	2,272	0,532	234,599	112,661	
	C	283,5	441,101	2,330	0,538	237,373	113,993	
	D	283,5	441,101	2,330	0,538	237,373	113,993	
	E	283,5	441,101	2,562	0,562	247,705	118,955	
	F	283,5	441,101	1,180	0,371	163,651	78,590	
3,2	A	286	745,921	0,530	0,209	156,174	73,694	748,432
	B	286	745,921	1,355	0,404	301,210	142,132	
	C	286	745,921	1,389	0,410	305,781	144,289	
	D	286	745,921	1,389	0,410	305,781	144,289	
	E	286	745,921	1,528	0,433	323,097	152,459	
	F	286	745,921	0,703	0,260	194,057	91,570	
1	A	422	505,529	0,781	0,461	232,907	50,479	383,325
	B	422	505,529	1,999	0,625	315,898	68,466	
	C	422	505,529	2,050	0,630	318,306	68,988	
	D	422	505,529	2,050	0,630	318,306	68,988	
	E	422	505,529	2,255	0,647	327,317	70,941	
	F	422	505,529	1,038	0,506	255,902	55,463	

Rigidité par niveau des portiques (A3-C3), (D3-F3), (A6-C6), (D6-F6)

Niveau	Poteau	hc (cm)	Kpot	K	a _{ij}	a _{ij} Kpot	r _{ij} [kN/cm]	R _j [kN/cm]
11,10,9	A	281	240,214	1,605	0,445	106,947	52,277	402,794
	B	281	240,214	4,072	0,671	161,091	78,743	
	C	281	240,214	2,467	0,552	132,662	64,847	
	D	281	240,214	2,467	0,552	132,662	64,847	
	E	281	240,214	4,581	0,696	167,217	81,737	
	F	281	240,214	2,115	0,514	123,450	60,344	
8	A	281	240,214	1,615	0,447	107,307	52,453	404,178
	B	281	240,214	4,105	0,672	161,519	78,953	
	C	281	240,214	2,490	0,555	133,219	65,119	
	D	281	240,214	2,490	0,555	133,219	65,119	
	E	281	240,214	4,622	0,698	167,661	81,955	
	F	281	240,214	2,132	0,516	123,932	60,579	
7,6,5	A	283,5	441,101	0,885	0,307	135,280	64,965	546,007
	B	283,5	441,101	2,253	0,530	233,694	112,227	
	C	283,5	441,101	1,369	0,406	179,226	86,069	
	D	283,5	441,101	1,369	0,406	179,226	86,069	
	E	283,5	441,101	2,539	0,559	246,735	118,489	
	F	283,5	441,101	1,170	0,369	162,812	78,187	
4	A	283,5	441,101	0,890	0,308	135,858	65,243	548,566
	B	283,5	441,101	2,272	0,532	234,599	112,661	
	C	283,5	441,101	1,382	0,409	180,245	86,559	
	D	283,5	441,101	1,382	0,409	180,245	86,559	
	E	283,5	441,101	2,562	0,562	247,705	118,955	
	F	283,5	441,101	1,180	0,371	163,651	78,590	

3,2	A	286	745,921	0,530	0,209	156,174	73,694	665,434
	B	286	745,921	1,355	0,404	301,210	142,132	
	C	286	745,921	0,825	0,292	217,835	102,790	
	D	286	745,921	0,825	0,292	217,835	102,790	
	E	286	745,921	1,528	0,433	323,097	152,459	
	F	286	745,921	0,703	0,260	194,057	91,570	
1	A	422	505,529	0,781	0,461	232,907	50,479	362,316
	B	422	505,529	1,999	0,625	315,898	68,466	
	C	422	505,529	1,217	0,534	269,837	58,483	
	D	422	505,529	1,217	0,534	269,837	58,483	
	E	422	505,529	2,255	0,647	327,317	70,941	
	F	422	505,529	1,038	0,506	255,902	55,463	

Rigidité par niveau des portiques (A1-B1), (A8-B8)

Niveau	Poteau	hc (cm)	Kpot	K	aij	aij Kpot	rij [kN/cm]	Rj [kN/cm]
11,10,9	A&B	281	240,214	1,605	0,445	106,947	52,277	104,553
8	A&B	281	240,214	1,615	0,447	107,307	52,453	104,906
5,6,7	A&B	283,5	441,101	0,885	0,307	135,280	64,965	129,931
4	A&B	283,5	441,101	0,890	0,308	135,858	65,243	130,486
2,3	A&B	286	745,921	0,530	0,209	156,174	73,694	147,387
1(RDC)	A&B	422	505,529	0,781	0,461	232,907	50,479	100,958

3-2-4 Rigidité des voiles :

$$R_{vy} = \frac{12 EI_x}{h^3}$$

$$R_{vx} = \frac{12 EI_y}{h^3}$$

Avec :

h : hauteur de voile.

I_x et I_y : inertie des voiles transversaux et longitudinaux, respectivement.

NIV	Snes longitudinal				sens transversal		
	h (cm)	voiles	$I_y.10^4(cm^4)$	$R_{vx} (kN/cm)$	voiles	$I_x.10^4(cm^4)$	$R_{vy} (kN/cm)$
RDC	442	VL1	7776	34757,093	VT1	62208	278056,743
	442	VL2	7776	34757,093	VT2	62208	278056,743
	442	VL3	6550,6	29279,811	VT3	2162,9	9667,710
	442	VL4	6550,6	29279,811	VT4	1435,8	6417,726
	442	VL5	2304	10298,398			
	442	VL6	2027,8	9063,842			
	442	VL7	2027,8	9063,842			
	442	VL8	6550,6	29279,811			
	SOMME			185779,701	SOMME		572198,921

NIV	Snes longitudinal				sens transversal		
	h (cm)	voiles	Iy.10 ⁴ (cm ⁴)	Rvx (kN/cm)	voiles	Ix.10 ⁴ (cm ⁴)	Rvy (kN/cm)
2,3	306	VL1	7776	104748,056	VT1	62208	837984,449
	306	VL2	7776	104748,056	VT2	62208	837984,449
	306	VL3	6550,6	88241,077	VT3	2162,9	29135,747
	306	VL4	6550,6	88241,077	VT4	1435,8	19341,211
	306	VL5	2304	31036,461			
	306	VL6	2027,8	27315,858			
	306	VL7	2027,8	27315,858			
	306	VL8	6550,6	88241,077			
	SOMME			559887,520	SOMME		1724445,857

NIV	Snes longitudinal				sens transversal		
	h (cm)	voiles	Iy.10 ⁴ (cm ⁴)	Rvx (kN/cm)	voiles	Ix.10 ⁴ (cm ⁴)	Rvy (kN/cm)
4a11	306	VL1	7776	104748,056	VT1	62208	837984,449
	306	VL2	7776	104748,056	VT2	62208	837984,449
	306	VL3	5035	67824,905	VT3	2162,9	29135,747
	306	VL4	6186	83329,665	VT4	1435,8	19341,211
	306	VL5	2304	31036,461			
	306	VL6	2027,8	27315,858			
	306	VL7	2027,8	27315,858			
	306	VL8	6210	83652,962			
	SOMME			529971,820	SOMME		1724445,857

3-2-4 Rigidité de l'ensemble (portiques+voiles) :

NIV	portiques		voiles		portiques+voiles	
	Rjx(kN/cm)	Rjy(kN/cm)	Rjx(kN/cm)	Rjy(kN/cm)	Rjx(kN/cm)	Rjy(kN/cm)
11,10,9	2742,199	2101,361	529971,82	1724445,857	532714,019	1726547,219
8	2750,710	2108,956	529971,820	1724445,857	532722,530	1726554,814
7,6,5	3755,782	2792,439	529971,820	1724445,857	533727,602	1727238,296
4	3771,847	2805,496	529971,820	1724445,857	533743,667	1727251,353
3,2	4619,370	3290,141	559887,520	1724445,857	564506,890	1727735,998
RDC	2459,849	1981,410	185779,701	572198,921	188239,550	574180,331

3-3 Inertie fictive des portiques :

Dans le but de comparer l'inertie des voiles a celle des portiques, nous allons utiliser la méthode des approximations successives exposée dans l'ouvrage d'ALBERT Fuentes «**calcul pratique des ossatures de bâtiment en béton armé**».

Pour obtenir cette inertie fictive ,il suffira de calculer les déplacements de chaque portique au droit de chaque plancher sous l'effet d'une série de forces égale a «**1 tonne**» et de comparer ces déplacements aux flèches que prendrait un refend équivalent a l'ensemble des refends disposés dans la même direction sous l'effet du même système de forces horizontales (**1 tonne a chaque niveau**).

En fixant l'inertie du refend a 1m^4 , il sera alors possible d'attribuer a chaque portique et pour chaque niveau une «inertie fictive» puisque, dans l'hypothèse de la raideur infinie des planchers, nous devons obtenir la même a chaque niveau, pour des refends et pour les portiques.

$$I_{en} = \frac{f_n}{D_n} \rightarrow D_n = \sum \Delta_n$$

Avec :

I_{en} : Inertie fictive du portique au niveau «n».

f_n : Flèche des refends au niveau «n».

Δ_n : Déplacement du portique au niveau «n».

D_n : Déplacement du niveau «n» (somme des déplacements des portiques du niveau «n»).

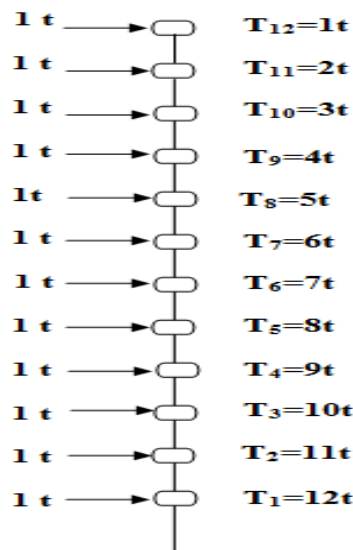


Fig.3-2 Système de forces horizontales et efforts tranchants résultants

3-3-1 Calcul des flèches dans les refends :

Le calcul des flèches du refend dont l'inertie $I = 1\text{m}^4$, soumis au même système de forces que le portique (une force égal a une tonne a chaque étage), sera obtenu par la méthode du «moment des aires». Le diagramme des moments fléchissant engendré par la série de forces horizontales égales a 1 tonne, est une succession de trapèzes superposés et délimités par les niveaux, comme le montre la figure qui suit :

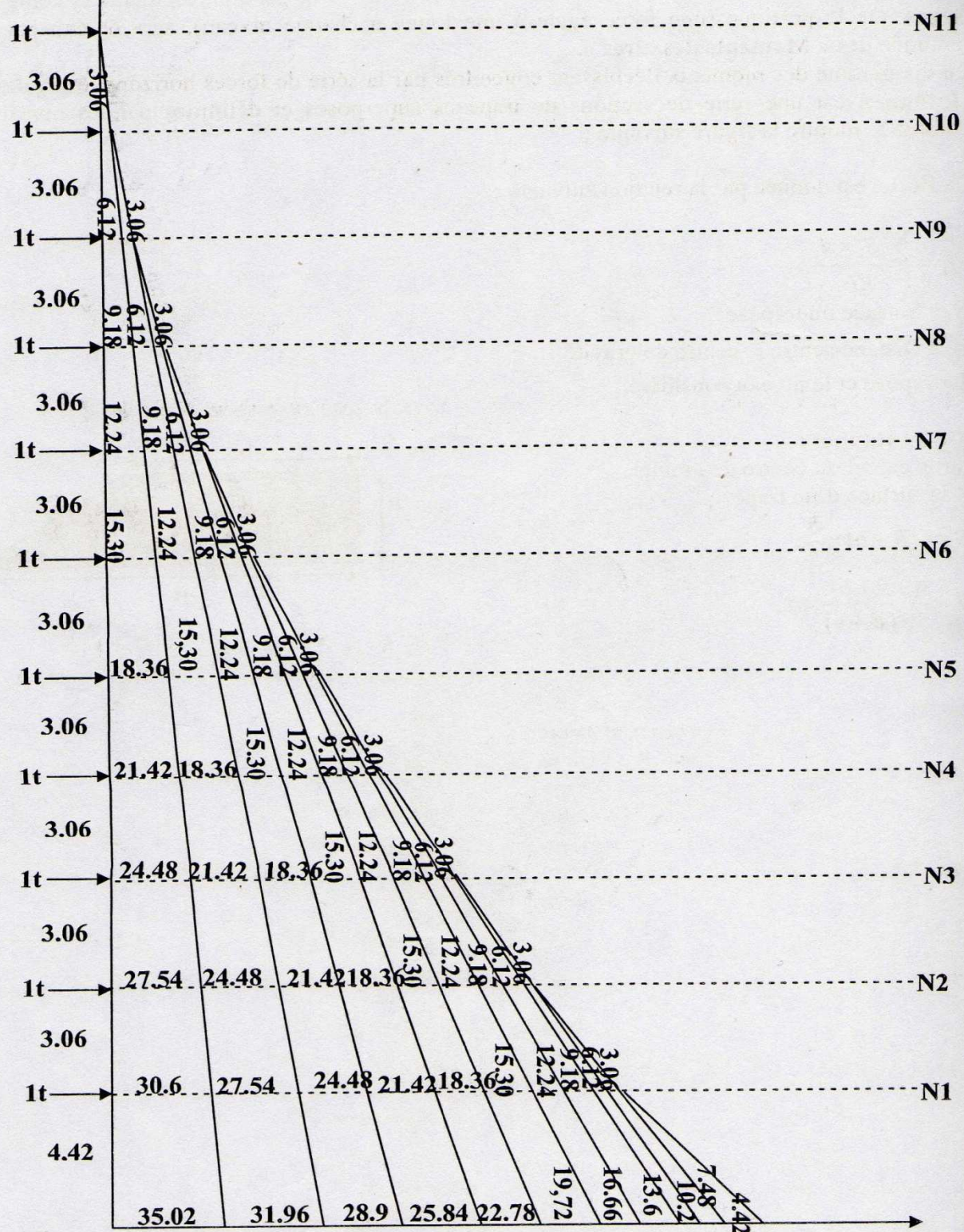


Diagramme des moments

La flèche est donnée par :

$$f_i = \frac{\sum S_i d_i}{EI}$$

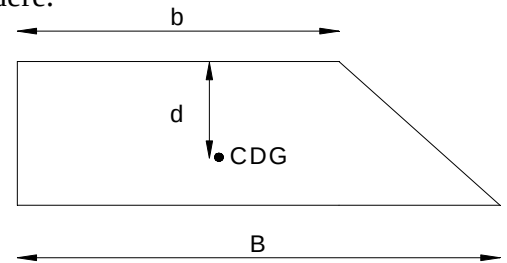
S_i : surface du trapèze

d_i : Distance entre le centre de gravité du trapèze et le niveau considéré.

Rappel: surface et centre de gravité d'un trapèze.

$$S = (B+b) \times h/2$$

$$d = \frac{(2B+b)}{3 \times (B+b)} \times h$$



▪ Valeurs des flèches des refends par niveau pour un refend d'une inertie de $1m^4$:

Niveau	h(m)	B (m)	b (m)	Si (m ²)	di (m)	f _i .EI
11	3,06	3,06	0,00	4,68	2,04	68698,14
10	3,06	9,18	3,06	18,73	1,79	60584,50
9	3,06	18,36	9,18	42,14	1,70	52504,29
8	3,06	30,6	18,36	74,91	1,66	44514,81
7	3,06	45,9	30,6	117,05	1,63	36702,02
6	3,06	64,26	45,9	168,54	1,62	29180,53
5	3,06	85,68	64,26	229,41	1,60	22092,34
4	3,06	110,16	85,68	299,64	1,59	15611,90
3	3,06	137,7	110,16	379,23	1,59	9938,50
2	3,06	168,3	137,7	468,18	1,58	5301,38
RDC	4,42	216,58	168,3	850,58	2,30	1958,39

Nous aurons donc :

$$f_{01} = \frac{850,58 \times 2,30}{EI} = \frac{1958,39}{EI}$$

$$f_{02} = \frac{850,58 \times 5,36 + 468,18 \times 1,58}{EI} = \frac{5301,38}{EI}$$

Ainsi de suite jusqu'au dernier niveau.

On obtient alors les résultats suivants :

$$f_{03} = \frac{9938,50}{EI}, f_{04} = \frac{15611,90}{EI}$$

$$f_{06} = \frac{29180,53}{EI}, f_{07} = \frac{36702,02}{EI}$$

$$f_{09} = \frac{52504,29}{EI}, f_{10} = \frac{60584,50}{EI}$$

$$f_{05} = \frac{22092,34}{EI}$$

$$f_{08} = \frac{44514,81}{EI}$$

$$f_{11} = \frac{68698,14}{EI}$$

3-3-2 Calcul du déplacement des portiques :

- La translation est donnée par :

$$\Delta_n = \Psi_n \times h \quad \text{Avec : } E\Psi_n = \frac{M_n}{12 \sum K_{pn}} + \frac{E\theta_n + E\theta_{n-1}}{2}$$

h : hauteur du portique considéré.

$\sum K_{pn}$: somme des raideurs des poteaux au niveau n .

$$\sum K_{pn} = \sum \frac{I_{pn}}{h}$$

I_{pn} : inertie des poteaux du niveau n .

$$M_n = T_n \times h$$

M_n : moment d'étage

T_n : effort tranchant au niveau n .

- La rotation est donnée par les formules suivantes :

- Pour les niveaux supérieurs :

$$E\theta_n = \frac{M_n + M_{n+1}}{24 \sum K_{tn}}$$

- Pour le premier niveau (RDC) :

$$E\theta_1 = \frac{M_1 + M_2}{24 \sum K_{t1} + 2 \sum K_{p1}}$$

$\sum K_{tn}$: Somme des raideurs des poutres au niveau n .

$$\sum K_{tn} = \sum \frac{I_{tn}}{L} \quad I_{tn} : \text{inertie des poutres du niveau } n.$$

L : portées des poutres.

Les étapes de calcul des déplacements et des inerties fictives des portiques par niveaux sont résumées dans les tableaux qui suivent.

- Inertie fictive des portiques dans le sens longitudinal :

Niv	Raideurs et moments					Rotation et déplacements				Flèche	Inertie fictive	
	Portiques	$10^{-4}\sum K_{pn}$	$10^{-4}\sum K_{tn}$	Mn	Mn+1	E0n	Eψn	EΔn	Dn=ΣEΔn	fn	Ien	Ien
11	A1-A8	17,65	19,84	3,06	0,00	64,26	273,00	835,39	40050,73	68698,14	1,72	9,17
	B1-B8	17,65	23,64	3,06	0,00	53,93	252,34	772,17	36343,05	68698,14	1,89	
	C1-C8	17,65	23,64	3,06	0,00	53,93	252,34	772,17	36343,05	68698,14	1,89	
	D1-D8	17,65	10,62	3,06	0,00	120,06	384,59	1176,84	58932,16	68698,14	1,17	
	E2-E7	13,24	16,11	3,06	0,00	79,14	350,88	1073,71	50903,44	68698,14	1,35	
	F2-F7	13,24	12,28	3,06	0,00	103,83	400,25	1224,77	59524,53	68698,14	1,15	
10	A1-A8	17,65	19,84	6,12	3,06	192,79	546,01	1670,79	39215,34	60584,50	1,54	8,26
	B1-B8	17,65	23,64	6,12	3,06	161,80	504,69	1544,34	35570,88	60584,50	1,70	
	C1-C8	17,65	23,64	6,12	3,06	161,80	504,69	1544,34	35570,88	60584,50	1,70	
	D1-D8	17,65	10,62	6,12	3,06	360,17	769,18	2353,68	57755,32	60584,50	1,05	
	E2-E7	13,24	16,11	6,12	3,06	237,43	701,77	2147,42	49829,73	60584,50	1,22	
	F2-F7	13,24	12,28	6,12	3,06	311,48	800,51	2449,55	58299,75	60584,50	1,04	
9	A1-A8	17,65	19,84	9,18	6,12	321,32	819,01	2506,18	37544,56	52504,29	1,40	7,47
	B1-B8	17,65	23,64	9,18	6,12	269,67	757,03	2316,52	34026,53	52504,29	1,54	
	C1-C8	17,65	23,64	9,18	6,12	269,67	757,03	2316,52	34026,53	52504,29	1,54	
	D1-D8	17,65	10,62	9,18	6,12	600,28	1153,77	3530,53	55401,64	52504,29	0,95	
	E2-E7	13,24	16,11	9,18	6,12	395,72	1052,65	3221,12	47682,32	52504,29	1,10	
	F2-F7	13,24	12,28	9,18	6,12	519,14	1200,76	3674,32	55850,21	52504,29	0,94	
8	A1-A8	17,65	19,84	12,24	9,18	449,85	1089,70	3334,49	35038,38	44514,81	1,27	6,79
	B1-B8	17,65	23,64	12,24	9,18	377,54	1006,84	3080,92	31710,01	44514,81	1,40	
	C1-C8	17,65	23,64	12,24	9,18	377,54	1006,84	3080,92	31710,01	44514,81	1,40	
	D1-D8	17,65	10,62	12,24	9,18	840,40	1528,37	4676,81	51871,11	44514,81	0,86	
	E2-E7	13,24	16,11	12,24	9,18	554,00	1398,10	4278,18	44461,19	44514,81	1,00	
	F2-F7	13,24	12,28	12,24	9,18	726,79	1593,16	4875,06	52175,89	44514,81	0,85	

Niv	Raideurs et moments					Rotation et déplacements				Flèche	Inertie fictive	
	Portiques	$10^{-4}\sum K_{pn}$	$10^{-4}\sum K_{tn}$	Mn	Mn+1	E θ_n	E ψ_n	E Δ_n	Dn= $\sum E\Delta_n$	fn	Ien	Ien
7	A1-A8	32,69	20,00	15,3	12,24	573,75	1027,53	3144,23	31703,89	36702,02	1,16	6,19
	B1-B8	32,69	23,89	15,3	12,24	480,33	923,72	2826,59	28629,10	36702,02	1,28	
	C1-C8	32,69	23,89	15,3	12,24	480,33	923,72	2826,59	28629,10	36702,02	1,28	
	D1-D8	32,69	10,82	15,3	12,24	1060,54	1568,40	4799,31	47194,30	36702,02	0,78	
	E2-E7	24,52	16,36	15,3	12,24	701,41	1299,32	3975,93	40183,01	36702,02	0,91	
	F2-F7	24,52	12,49	15,3	12,24	918,73	1540,80	4714,85	47300,83	36702,02	0,78	
6	A1-A8	32,69	20,00	18,36	15,3	701,25	1233,03	3773,08	28559,65	29180,53	1,02	5,46
	B1-B8	32,69	23,89	18,36	15,3	587,07	1108,47	3391,91	25802,50	29180,53	1,13	
	C1-C8	32,69	23,89	18,36	15,3	587,07	1108,47	3391,91	25802,50	29180,53	1,13	
	D1-D8	32,69	10,82	18,36	15,3	1296,21	1882,08	5759,17	42394,99	29180,53	0,69	
	E2-E7	24,52	16,36	18,36	15,3	857,27	1559,19	4771,12	36207,08	29180,53	0,81	
	F2-F7	24,52	12,49	18,36	15,3	1122,90	1848,96	5657,82	42585,98	29180,53	0,69	
5	A1-A8	32,69	20,00	21,42	18,36	828,75	1438,54	4401,93	24786,57	22092,34	0,89	4,77
	B1-B8	32,69	23,89	21,42	18,36	693,80	1293,21	3957,23	22410,59	22092,34	0,99	
	C1-C8	32,69	23,89	21,42	18,36	693,80	1293,21	3957,23	22410,59	22092,34	0,99	
	D1-D8	32,69	10,82	21,42	18,36	1531,89	2195,76	6719,03	36635,83	22092,34	0,60	
	E2-E7	24,52	16,36	21,42	18,36	1013,14	1819,05	5566,30	31435,97	22092,34	0,70	
	F2-F7	24,52	12,49	21,42	18,36	1327,06	2157,12	6600,79	36928,16	22092,34	0,60	
4	A1-A8	32,69	20,00	24,48	21,42	956,25	1635,77	5005,47	20384,64	15611,90	0,77	4,10
	B1-B8	32,69	23,89	24,48	21,42	800,54	1470,67	4500,25	18453,36	15611,90	0,85	
	C1-C8	32,69	23,89	24,48	21,42	800,54	1470,67	4500,25	18453,36	15611,90	0,85	
	D1-D8	32,69	10,82	24,48	21,42	1767,56	2493,05	7628,74	29916,80	15611,90	0,52	
	E2-E7	24,52	16,36	24,48	21,42	1169,01	2068,55	6329,78	25869,67	15611,90	0,60	
	F2-F7	24,52	12,49	24,48	21,42	1531,22	2454,31	7510,18	30327,37	15611,90	0,51	

Niv	Raideurs et moments					Rotation et déplacements				Flèche	Inertie fictive	
	Portiques	$10^{-4}\sum K_{pn}$	$10^{-4}\sum K_{tn}$	Mn	Mn+1	E θ_n	E ψ_n	E Δ_n	Dn= $\sum E\Delta_n$	f _n	I _{en}	I _{en}
3	A1-A8	55,77	20,31	27,54	24,48	1067,21	1541,50	4716,98	15379,18	9938,50	0,65	3,46
	B1-B8	55,77	24,28	27,54	24,48	892,71	1356,73	4151,61	13953,10	9938,50	0,71	
	C1-C8	55,77	24,28	27,54	24,48	892,71	1356,73	4151,61	13953,10	9938,50	0,71	
	D1-D8	55,77	11,00	27,54	24,48	1970,45	2497,88	7643,50	22288,06	9938,50	0,45	
	E2-E7	41,83	16,62	27,54	24,48	1304,15	1929,52	5904,32	19539,89	9938,50	0,51	
	F2-F7	41,83	12,65	27,54	24,48	1713,44	2362,88	7230,41	22817,20	9938,50	0,44	
2	A1-A8	55,77	20,31	30,60	27,54	1192,76	1601,38	4900,22	10662,20	5301,38	0,50	2,67
	B1-B8	55,77	24,28	30,60	27,54	997,73	1428,69	4371,80	9801,50	5301,38	0,54	
	C1-C8	55,77	24,28	30,60	27,54	997,73	1428,69	4371,80	9801,50	5301,38	0,54	
	D1-D8	55,77	11,00	30,60	27,54	2202,27	2432,05	7442,06	14644,56	5301,38	0,36	
	E2-E7	41,83	16,62	30,60	27,54	1457,58	2018,34	6176,13	13635,57	5301,38	0,39	
	F2-F7	41,83	12,65	30,60	27,54	1915,02	2414,35	7387,93	15586,79	5301,38	0,34	
RDC	A1-A8	38,61	20,31	35,02	30,60	1095,53	1303,61	5761,97	5761,97	1958,39	0,34	1,83
	B1-B8	38,61	24,28	35,02	30,60	945,18	1228,44	5429,70	5429,70	1958,39	0,36	
	C1-C8	38,61	24,28	35,02	30,60	945,18	1228,44	5429,70	5429,70	1958,39	0,36	
	D1-D8	38,61	11,00	35,02	30,60	1747,35	1629,52	7202,50	7202,50	1958,39	0,27	
	E2-E7	28,96	16,62	35,02	30,60	1359,89	1687,66	7459,44	7459,44	1958,39	0,26	
	F2-F7	28,96	12,65	35,02	30,60	1694,47	1854,95	8198,86	8198,86	1958,39	0,24	

- Inertie fictive des portiques dans le sens transversal :

Niv	Raideurs et moments					Rotation et déplacements				Flèche	Inertie fictive	
	Portiques	$10^{-4}\sum K_{pn}$	$10^{-4}\sum K_{tn}$	Mn	Mn+1	E θ_n	E ψ_n	E Δ_n	Dn= $\sum E\Delta_n$	fn	Ien	Ien
11	A1-D1	8,82	4,05	3,06	0,00	314,81	918,75	2 811,36	143 399,66	68 698,14	0,48	11,12
	A2-F2	13,24	26,59	3,06	0,00	47,95	288,50	882,81	39 756,64	68 698,14	1,73	
	A3-F3	13,24	19,32	3,06	0,00	65,99	324,59	993,23	43 479,66	68 698,14	1,58	
	A4-F4	13,24	26,59	3,06	0,00	47,95	288,50	882,81	39 756,64	68 698,14	1,73	
	A5-F5	13,24	26,59	3,06	0,00	47,95	288,50	882,81	39 756,64	68 698,14	1,73	
	A6-F6	13,24	18,17	3,06	0,00	70,17	332,94	1 018,79	43 677,77	68 698,14	1,57	
	A7-F7	13,24	26,59	3,06	0,00	47,95	288,50	882,81	39 756,64	68 698,14	1,73	
	A8-D8	8,82	4,05	3,06	0,00	314,81	918,75	2 811,36	119 737,99	68 698,14	0,57	
10	A1-D1	8,82	4,05	6,12	3,06	944,44	1 837,49	5 622,72	140 588,30	60 584,50	0,43	10,03
	A2-F2	13,24	26,59	6,12	3,06	143,85	577,00	1 765,61	38 873,84	60 584,50	1,56	
	A3-F3	13,24	19,32	6,12	3,06	197,98	649,17	1 986,46	42 486,43	60 584,50	1,43	
	A4-F4	13,24	26,59	6,12	3,06	143,85	577,00	1 765,61	38 873,84	60 584,50	1,56	
	A5-F5	13,24	26,59	6,12	3,06	143,85	577,00	1 765,61	38 873,84	60 584,50	1,56	
	A6-F6	13,24	18,17	6,12	3,06	210,51	665,88	2 037,59	42 658,97	60 584,50	1,42	
	A7-F7	13,24	26,59	6,12	3,06	143,85	577,00	1 765,61	38 873,84	60 584,50	1,56	
	A8-D8	8,82	4,05	6,12	3,06	944,44	1 837,49	5 622,72	116 926,63	60 584,50	0,52	
9	A1-D1	8,82	4,05	9,18	6,12	1 574,07	2 756,24	8 434,08	134 965,58	52 504,29	0,39	9,11
	A2-F2	13,24	26,59	9,18	6,12	239,75	865,50	2 648,42	37 108,23	52 504,29	1,41	
	A3-F3	13,24	19,32	9,18	6,12	329,97	973,76	2 979,70	40 499,96	52 504,29	1,30	
	A4-F4	13,24	26,59	9,18	6,12	239,75	865,50	2 648,42	37 108,23	52 504,29	1,41	
	A5-F5	13,24	26,59	9,18	6,12	239,75	865,50	2 648,42	37 108,23	52 504,29	1,41	
	A6-F6	13,24	18,17	9,18	6,12	350,85	998,82	3 056,38	40 621,38	52 504,29	1,29	
	A7-F7	13,24	26,59	9,18	6,12	239,75	865,50	2 648,42	37 108,23	52 504,29	1,41	
	A8-D8	8,82	4,05	9,18	6,12	1 574,07	2 756,24	8 434,08	111 303,91	52 504,29	0,47	

Niv	Raideurs et moments					Rotation et déplacements				Flèche	Inertie fictive	
	Portiques	$10^{-4} \sum K_{pn}$	$10^{-4} \sum K_{tn}$	Mn	Mn+1	E0n	Eψn	EΔn	Dn=ΣEΔn	fn	Ien	Ien
8	A1-D1	8,82	4,05	12,24	9,18	2 203,70	3 657,70	11 192,58	126 531,50	44 514,81	0,35	8,32
	A2-F2	13,24	26,59	12,24	9,18	335,65	1 150,25	3 519,76	34 459,81	44 514,81	1,29	
	A3-F3	13,24	19,32	12,24	9,18	461,96	1 254,35	3 838,30	37 520,27	44 514,81	1,19	
	A4-F4	13,24	26,59	12,24	9,18	335,65	1 150,25	3 519,76	34 459,81	44 514,81	1,29	
	A5-F5	13,24	26,59	12,24	9,18	335,65	1 150,25	3 519,76	34 459,81	44 514,81	1,29	
	A6-F6	13,24	18,17	12,24	9,18	491,19	1 268,97	3 883,04	37 565,00	44 514,81	1,19	
	A7-F7	13,24	26,59	12,24	9,18	335,65	1 150,25	3 519,76	34 459,81	44 514,81	1,29	
	A8-D8	8,82	4,05	12,24	9,18	2 203,70	3 657,70	11 192,58	102 869,83	44 514,81	0,43	
7	A1-D1	16,35	4,10	15,30	12,24	2 798,78	3 889,57	11 902,09	115 338,92	36 702,02	0,32	7,64
	A2-F2	24,52	27,06	15,30	12,24	424,06	991,16	3 032,95	30 940,05	36 702,02	1,19	
	A3-F3	24,52	22,68	15,30	12,24	505,95	1 082,15	3 311,39	33 681,96	36 702,02	1,09	
	A4-F4	24,52	27,06	15,30	12,24	424,06	991,16	3 032,95	30 940,05	36 702,02	1,19	
	A5-F5	24,52	27,06	15,30	12,24	424,06	991,16	3 032,95	30 940,05	36 702,02	1,19	
	A6-F6	24,52	22,68	15,30	12,24	505,95	1 082,15	3 311,39	33 681,96	36 702,02	1,09	
	A7-F7	24,52	27,06	15,30	12,24	424,06	991,16	3 032,95	30 940,05	36 702,02	1,19	
	A8-D8	16,35	4,10	15,30	12,24	2 798,78	3 889,57	11 902,09	91 677,25	36 702,02	0,40	
6	A1-D1	16,35	4,10	18,36	15,30	3 420,73	4 667,49	14 282,51	103 436,83	29 180,53	0,28	6,75
	A2-F2	24,52	27,06	18,36	15,30	518,29	1 189,39	3 639,54	27 907,10	29 180,53	1,05	
	A3-F3	24,52	22,68	18,36	15,30	618,39	1 298,58	3 973,67	30 370,58	29 180,53	0,96	
	A4-F4	24,52	27,06	18,36	15,30	518,29	1 189,39	3 639,54	27 907,10	29 180,53	1,05	
	A5-F5	24,52	27,06	18,36	15,30	518,29	1 189,39	3 639,54	27 907,10	29 180,53	1,05	
	A6-F6	24,52	22,68	18,36	15,30	618,39	1 298,58	3 973,67	30 370,58	29 180,53	0,96	
	A7-F7	24,52	27,06	18,36	15,30	518,29	1 189,39	3 639,54	27 907,10	29 180,53	1,05	
	A8-D8	16,35	4,10	18,36	15,30	3 420,73	4 667,49	14 282,51	79 775,16	29 180,53	0,37	

Niv	Raideurs et moments					Rotation et déplacements				Flèche	Inertie fictive	
	Portiques	$10^{-4}\sum K_{pn}$	$10^{-4}\sum K_{tn}$	Mn	Mn+1	E θ_n	E ψ_n	E Δ_n	Dn= $\sum E\Delta_n$	f _n	I _{en}	I _{en}
5	A1-D1	16,35	4,10	21,42	18,36	4 042,68	5 445,40	16 662,93	89 154,32	22 092,34	0,25	5,90
	A2-F2	24,52	27,06	21,42	18,36	612,53	1 387,62	4 246,12	24 267,57	22 092,34	0,91	
	A3-F3	24,52	22,68	21,42	18,36	730,82	1 515,01	4 635,94	26 396,91	22 092,34	0,84	
	A4-F4	24,52	27,06	21,42	18,36	612,53	1 387,62	4 246,12	24 267,57	22 092,34	0,91	
	A5-F5	24,52	27,06	21,42	18,36	612,53	1 387,62	4 246,12	24 267,57	22 092,34	0,91	
	A6-F6	24,52	22,68	21,42	18,36	730,82	1 515,01	4 635,94	26 396,91	22 092,34	0,84	
	A7-F7	24,52	27,06	21,42	18,36	612,53	1 387,62	4 246,12	24 267,57	22 092,34	0,91	
	A8-D8	16,35	4,10	21,42	18,36	4 042,68	5 445,40	16 662,93	65 492,65	22 092,34	0,34	
4	A1-D1	16,35	4,10	24,48	21,42	4 664,63	6 185,19	18 926,69	72 491,39	15 611,90	0,22	5,09
	A2-F2	24,52	27,06	24,48	21,42	706,76	1 578,87	4 831,35	20 021,44	15 611,90	0,78	
	A3-F3	24,52	22,68	24,48	21,42	843,25	1 722,76	5 271,64	21 760,97	15 611,90	0,72	
	A4-F4	24,52	27,06	24,48	21,42	706,76	1 578,87	4 831,35	20 021,44	15 611,90	0,78	
	A5-F5	24,52	27,06	24,48	21,42	706,76	1 578,87	4 831,35	20 021,44	15 611,90	0,78	
	A6-F6	24,52	22,68	24,48	21,42	843,25	1 722,76	5 271,64	21 760,97	15 611,90	0,72	
	A7-F7	24,52	27,06	24,48	21,42	706,76	1 578,87	4 831,35	20 021,44	15 611,90	0,78	
	A8-D8	16,35	4,10	24,48	21,42	4 664,63	4 436,74	13 576,43	48 829,72	15 611,90	0,32	
3	A1-D1	27,88	4,16	27,54	24,48	5 210,34	6 340,00	19 400,39	53 564,70	9 938,50	0,19	4,29
	A2-F2	41,83	27,54	27,54	24,48	787,04	1 381,98	4 228,87	15 190,09	9 938,50	0,65	
	A3-F3	41,83	23,10	27,54	24,48	938,31	1 542,16	4 719,00	16 489,33	9 938,50	0,60	
	A4-F4	41,83	27,54	27,54	24,48	787,04	1 381,98	4 228,87	15 190,09	9 938,50	0,65	
	A5-F5	41,83	27,54	27,54	24,48	787,04	1 381,98	4 228,87	15 190,09	9 938,50	0,65	
	A6-F6	41,83	23,10	27,54	24,48	938,31	1 542,16	4 719,00	16 489,33	9 938,50	0,60	
	A7-F7	41,83	27,54	27,54	24,48	787,04	1 381,98	4 228,87	15 190,09	9 938,50	0,65	
	A8-D8	27,88	12,65	27,54	24,48	1 713,44	2 637,40	8 070,44	35 253,29	9 938,50	0,28	

Niv	Raideurs et moments					Rotation et déplacements				Flèche	Inertie fictive	
	Portiques	$10^{-4}\sum K_{pn}$	$10^{-4}\sum K_{tn}$	Mn	Mn+1	E θ_n	E ψ_n	E Δ_n	Dn= $\sum E\Delta_n$	fn	Ien	Ien
2	A1-D1	27,88	4,16	30,60	27,54	5 823,32	5 934,90	18 160,81	34 164,31	5 301,38	0,16	3,19
	A2-F2	41,83	27,54	30,60	27,54	879,63	1 490,05	4 559,56	10 961,22	5 301,38	0,48	
	A3-F3	41,83	23,10	30,60	27,54	1 048,70	1 648,18	5 043,42	11 770,33	5 301,38	0,45	
	A4-F4	41,83	27,54	30,60	27,54	879,63	1 490,05	4 559,56	10 961,22	5 301,38	0,48	
	A5-F5	41,83	27,54	30,60	27,54	879,63	1 490,05	4 559,56	10 961,22	5 301,38	0,48	
	A6-F6	41,83	23,10	30,60	27,54	1 048,70	1 648,18	5 043,42	11 770,33	5 301,38	0,45	
	A7-F7	41,83	27,54	30,60	27,54	879,63	1 490,05	4 559,56	10 961,22	5 301,38	0,48	
	A8-D8	27,88	12,65	30,60	27,54	1 915,02	2 785,16	8 522,58	27 182,84	5 301,38	0,20	
RDC	A1-D1	19,30	4,16	35,02	30,60	4 217,22	3 620,70	16 003,50	16 003,50	1 958,39	0,12	2,03
	A2-F2	28,96	27,54	35,02	30,60	881,25	1 448,34	6 401,66	6 401,66	1 958,39	0,31	
	A3-F3	28,96	23,10	35,02	30,60	1 028,43	1 521,93	6 726,92	6 726,92	1 958,39	0,29	
	A4-F4	28,96	27,54	35,02	30,60	881,25	1 448,34	6 401,66	6 401,66	1 958,39	0,31	
	A5-F5	28,96	27,54	35,02	30,60	881,25	1 448,34	6 401,66	6 401,66	1 958,39	0,31	
	A6-F6	28,96	23,10	35,02	30,60	1 028,43	1 521,93	6 726,92	6 726,92	1 958,39	0,29	
	A7-F7	28,96	27,54	35,02	30,60	881,25	1 448,34	6 401,66	6 401,66	1 958,39	0,31	
	A8-D8	8,82	12,65	35,02	30,60	1 826,02	4 221,78	18 660,27	18 660,27	1 958,39	0,10	

3-4 Comparaison des inerties des voiles à celles des portiques :

Pourcentage de participation des voiles et des portiques dans chaque sens:

- Dans le sens longitudinal :

	Imoy par niveau (m ⁴)	Taux de participation(%)
Portiques	5,47	56,86
Voiles	4,15	43,14
Σ	9,62	100

- Dans le sens transversal :

	Imoy par niveau (m ⁴)	Taux de participation(%)
Portiques	6,68	34.29
Voiles	12,802	65.71
Σ	19,482	100

Conclusion :

Pour concevoir une structure contreventée par des voiles et des portiques avec justification d'interaction portique-voile, le **(RPA99)** recommande ce qui suit :

- Les voiles de contreventement doivent reprendre au plus **20%** des sollicitations dues aux charges verticales.
- Les charges horizontales sont reprises conjointement par les voiles et les portiques proportionnellement à leurs rigidité relatives ainsi que les sollicitation résultant de leur interactions a tous les niveaux.
- Les portiques doivent reprendre outre les sollicitations dues aux charges verticales, au moins **25%** de l'effort tranchant de l'étage.

En comparant les résultats, on voit bien que dans le sens longitudinal, l'inertie des voiles représente **43.14%** de l'inertie totale de la structure, et l'inertie des portiques représente **56.86%** de l'inertie totale de la structure, et dans le sens transversal, l'inertie des voiles représente **65.71%** de l'inertie total de la structure et l'inertie des portiques représente **34.29%** de l'inertie totale de la structure.

3-5 Calcul des centres de masse des éléments de la structure :

Le centre de masse noté **G** défini comme étant le barycentre des masses des éléments constituant la structure.sa position par apport a un système d'axes (oxy) choisi arbitrairement, est donnée par les deux formules suivantes :

$$X_G = \sum m_i x_i / \sum m_i \quad Y_G = \sum m_i y_i / \sum m_i$$

m_i : Masse de l'élément considéré. $m_i = G \times \text{Aire}$

x_iy_i : cordonnées du centre de gravité de l'élément considéré par apport a (oxy).

Aire : la surface de l'élément considéré.

3-5-1 Centre de masse des voiles :

- Centre de masse des voiles de RDC :

VOILES	Si (m ²)	Mi (t)	Xi (m)	Yi (m)	Mi.Xi	Mi.Yi
VL1	0,72	7,96	4,15	12,55	33,02	99,85
VL2	0,72	7,96	20,85	12,55	165,88	99,85
VL3	0,68	7,51	12,50	12,75	93,93	95,80
VL4	0,68	7,51	12,50	18,80	93,93	141,26
VL5	0,48	5,30	8,50	10,60	45,08	56,22
VL6	0,46	5,08	16,45	10,70	83,62	54,39
VL7	0,46	5,08	16,45	12,55	83,62	63,79
VL8	0,68	7,51	12,50	0,10	93,88	0,75
VT1	1,44	15,91	0,10	9,25	1,59	147,19
VT2	1,44	15,91	24,90	9,25	396,21	147,19
VT3	0,47	4,86	7,40	11,67	35,98	56,74
VT4	0,41	4,53	17,55	11,67	79,51	52,87
SOMME		95,14	SOMME		1206,23	1015,90
					XG(m)	12,68
					YG(m)	10,68

- Centre de masse des voiles des niveaux 2 et 3 :

VOILES	Si (m ²)	Mi (t)	Xi (m)	Yi (m)	Mi.Xi	Mi.Yi
VL1	0,72	5,51	4,15	12,55	22,86	69,13
VL2	0,72	5,51	20,85	12,55	114,84	69,13
VL3	0,68	5,20	12,50	12,75	65,03	66,33
VL4	0,68	5,20	12,50	18,80	65,03	97,80
VL5	0,48	3,67	8,50	10,60	31,21	38,92
VL6	0,46	3,52	16,45	10,70	57,89	37,65
VL7	0,46	3,52	16,45	12,55	57,89	44,16
VL8	0,68	5,20	12,50	0,10	65,03	0,52
VT1	1,44	11,02	0,10	9,25	1,10	101,90
VT2	1,44	11,02	24,90	9,25	274,30	101,90
VT3	0,47	3,37	7,40	11,67	24,91	39,28
VT4	0,41	3,14	17,55	11,67	55,05	36,60
SOMME		65,87	SOMME		835,12	703,31
					XG(m)	12,68
					YG(m)	10,68

- Centre de masse des voiles des niveaux 4 à 11 :

VOILES	Si (m ²)	Mi (t)	Xi (m)	Yi (m)	Mi.Xi	Mi.Yi
VL1	0,72	5,51	4,15	12,55	22,86	69,13
VL2	0,72	5,51	20,85	12,55	114,84	69,13
VL3	0,68	4,26	12,50	12,75	53,21	54,28
VL4	0,68	3,88	12,50	18,80	48,53	72,98
VL5	0,48	3,67	8,50	10,60	31,21	38,92
VL6	0,46	3,52	16,45	10,70	57,89	37,65
VL7	0,46	3,52	16,45	12,55	57,89	44,16
VL8	0,68	4,30	12,50	0,10	53,78	0,43
VT1	1,44	11,02	0,10	9,25	1,10	101,90
VT2	1,44	11,02	24,90	9,25	274,30	101,90

VT3	0,47	3,37	7,40	11,67	24,91	39,28
VT4	0,41	3,14	17,55	11,67	55,05	36,60
SOMME		62,70	SOMME		795,55	666,36
					XG(m)	12,69
					YG(m)	10,63

3-5-2 Centre de masse des poteaux :

- Centre de masse des poteaux de RDC :

poteau	Si(m2)	Mi(t)	Xi(m)	Mi.Xi	Yi(m)	Mi.Yi
A1	0,16	1,77	0,20	0,35	1,60	2,83
A2	0,16	1,77	3,40	6,01	1,60	2,83
A3	0,16	1,77	7,40	13,08	1,60	2,83
A4	0,16	1,77	11,00	19,45	1,60	2,83
A5	0,16	1,77	14,10	24,93	1,60	2,83
A6	0,16	1,77	17,70	31,29	1,60	2,83
A7	0,16	1,77	21,70	38,37	1,60	2,83
A8	0,16	1,77	24,90	44,02	1,60	2,83
B1	0,16	1,77	0,20	0,35	5,85	10,34
B2	0,16	1,77	3,40	6,01	5,85	10,34
B3	0,16	1,77	7,40	13,08	5,85	10,34
B4	0,16	1,77	11,00	19,45	5,85	10,34
B5	0,16	1,77	14,10	24,93	5,85	10,34
B6	0,16	1,77	17,70	31,29	5,85	10,34
B7	0,16	1,77	21,70	38,37	5,85	10,34
B8	0,16	1,77	24,90	44,02	5,85	10,34
C1	0,16	1,77	0,20	0,35	8,65	15,29
C2	0,16	1,77	3,40	6,01	8,65	15,29
C3	0,16	1,77	7,40	13,08	8,65	15,29
C4	0,16	1,77	11,00	19,45	8,65	15,29
C5	0,16	1,77	14,10	24,93	8,65	15,29
C6	0,16	1,77	17,70	31,29	8,65	15,29
C7	0,16	1,77	21,70	38,37	8,65	15,29
C8	0,16	1,77	24,90	44,02	8,65	15,29
D1	0,16	1,77	0,20	0,35	12,65	22,37
D2	0,16	1,77	3,40	6,01	12,65	22,37
D3	0,16	1,77	7,40	13,08	12,65	22,37
D4	0,16	1,77	11,00	19,45	12,65	22,37
D5	0,16	1,77	14,10	24,93	12,65	22,37
D6	0,16	1,77	17,70	31,29	12,65	22,37
D7	0,16	1,77	21,70	38,37	12,65	22,37
D8	0,16	1,77	24,90	44,02	12,65	22,37
E2	0,16	1,77	3,40	6,01	15,45	27,32
E3	0,16	1,77	7,40	13,08	15,45	27,32
E4	0,16	1,77	11,00	19,45	15,45	27,32
E5	0,16	1,77	14,10	24,93	15,45	27,32
E6	0,16	1,77	17,70	31,29	15,45	27,32
E7	0,16	1,77	21,70	38,37	15,45	27,32

F2	0,16	1,77	3,40	6,01	18,70	33,06
F3	0,16	1,77	7,40	13,08	18,70	33,06
F4	0,16	1,77	11,00	19,45	18,70	33,06
F5	0,16	1,77	14,10	24,93	18,70	33,06
F6	0,16	1,77	17,70	31,29	18,70	33,06
F7	0,16	1,77	21,70	38,37	18,70	33,06
SOMME	7,04	77,79		976,29		768,90
					XG(m)	12,55
					YG(m)	9,88

- Centre de masse des poteaux supérieur :

niveau	Si(m2)	Mi(t)	$\sum Mi.Xi$	$\sum Mi.Yi$	XG(m)	YG(m)
2&3	7,04	53,86	675,89	532,32	12,55	9,88
4 a 7	5,39	41,23	517,48	407,56	12,55	9,88
8 a 11	3,96	30,29	380,19	299,43	12,55	9,88

3-5-3 Centre de masse des poutres :

a) Centre de masse des poutres longitudinales :

Element	Li(m)	Si(m2)	Mi(t)	Xi(m)	Mi.Xi	Yi(m)	Mi.Yi
L1	3,20	0,105	0,84	1,75	1,47	1,60	1,34
L2	4,00	0,105	1,05	5,35	5,62	1,60	1,68
L3	3,60	0,105	0,95	9,15	8,65	1,60	1,51
L4	3,10	0,105	0,81	12,50	10,17	1,60	1,30
L5	3,60	0,105	0,95	15,85	14,98	1,60	1,51
L6	4,00	0,105	1,05	19,65	20,63	1,60	1,68
L7	3,20	0,105	0,84	23,25	19,53	1,60	1,34
L8	3,20	0,105	0,84	1,75	1,47	5,85	4,91
L9	4,00	0,105	1,05	5,35	5,62	5,85	6,14
L10	3,60	0,105	0,95	9,15	8,65	5,85	5,53
L11	3,10	0,105	0,81	12,50	10,17	5,85	4,76
L12	3,60	0,105	0,95	15,85	14,98	5,85	5,53
L13	4,00	0,105	1,05	19,65	20,63	5,85	6,14
L14	3,20	0,105	0,84	23,25	19,53	5,85	4,91
L15	3,20	0,105	0,84	1,75	1,47	8,65	7,27
L16	4,00	0,105	1,05	5,35	5,62	8,65	9,08
L17	3,60	0,105	0,95	9,15	8,65	8,65	8,17
L18	3,10	0,105	0,81	12,50	10,17	8,65	7,04
L19	3,60	0,105	0,95	15,85	14,98	8,65	8,17
L20	4,00	0,105	1,05	19,65	20,63	8,65	9,08
L21	3,20	0,105	0,84	23,25	19,53	8,65	7,27
L22	3,20	0,105	0,84	1,75	1,47	12,65	10,63
L23	4,00	0,105	1,05	5,35	5,62	12,65	13,28
L24	3,60	0,105	0,95	9,15	8,65	12,65	11,95
L25	3,10	0,105	0,81	12,50	10,17	12,65	10,29
L26	3,60	0,105	0,95	15,85	14,98	12,65	11,95
L27	4,00	0,105	1,05	19,65	20,63	12,65	13,28
L28	3,20	0,105	0,84	23,25	19,53	12,65	10,63

L29	4,00	0,105	1,05	5,35	5,62	15,45	16,22
L30	3,60	0,105	0,95	9,15	8,65	15,45	14,60
L31	3,10	0,105	0,81	12,50	10,17	15,45	12,57
L32	3,60	0,105	0,95	15,85	14,98	15,45	14,60
L33	4,00	0,105	1,05	19,65	20,63	15,45	16,22
L34	4,00	0,105	1,05	5,35	5,62	18,70	19,64
L35	3,60	0,105	0,95	9,15	8,65	18,70	17,67
L36	3,10	0,105	0,81	12,50	10,17	18,70	15,22
L37	3,60	0,105	0,95	15,85	14,98	18,70	17,67
L38	4,00	0,105	1,05	19,65	20,63	18,70	19,64
SOMME			35,54		444,28		350,46
						XG(m)	12,50
						YG(m)	9,86

b) Centre de masse des poutres transversales :

- Centre de masse des poutres transversales de RDC :

Elément	Li(m)	Si(m2)	Mi(t)	Xi(m)	Mi.Xi	Yi(m)	Mi.Yi
T1	11,05	0,120	3,32	0,15	0,50	7,125	23,62
T2	17,10	0,120	5,13	3,35	17,19	10,15	52,07
T3	17,10	0,120	5,13	7,35	37,71	10,15	52,07
T4	17,10	0,120	5,13	10,95	56,17	10,15	52,07
T5	17,10	0,120	5,13	14,05	72,08	10,15	52,07
T6	17,10	0,120	5,13	17,65	90,54	10,15	52,07
T7	17,10	0,120	5,13	21,65	111,06	10,15	52,07
T8	11,05	0,120	3,32	24,85	82,38	7,125	23,62
somme			37,41		467,63		359,66
						XG(m)	12,50
						YG(m)	9,614

- Centre de masse des poutres transversales de niveau 2a 11:

Element	Li(m)	Si(m2)	Mi(t)	Xi(m)	Mi.Xi	Yi(m)	Mi.Yi
T1	12,65	0,120	3,80	0,15	0,57	7,125	27,04
T2	18,70	0,120	5,61	3,35	18,79	10,15	56,94
T3	19,90	0,120	5,97	7,35	43,88	10,75	64,18
T4	19,90	0,120	5,97	10,95	65,37	10,75	64,18
T5	19,90	0,120	5,97	14,05	83,88	10,75	64,18
T6	19,90	0,120	5,97	17,65	105,37	10,75	64,18
T7	18,70	0,120	5,61	21,65	121,46	10,15	56,94
T8	12,65	0,120	3,80	24,85	94,31	7,125	27,04
somme			42,69		533,63		424,67
						XG(m)	12,50
						YG(m)	9,948

3-5-4 Centre de masse des planchers :

- Plancher de RDC :

panneau	Si(m ²)	Mi(t)	Xi(m)	Mi.Xi	Yi(m)	Mi.Yi
3x4,05	12,15	6,61	1,75	11,57	3,73	24,65
3x2,4	7,20	3,92	1,75	6,85	7,25	28,40
3x3,8	11,40	6,20	1,75	10,85	10,65	66,05
3,6x4,05	14,58	7,93	5,35	42,43	3,73	29,58
3,6x2,4	8,64	4,70	5,35	25,15	7,25	34,08
3,6x3,8	13,68	7,44	5,35	39,81	10,65	79,26
3,6x2,4	8,64	4,70	5,35	25,15	14,05	66,04
3,6x3,05	10,98	5,97	5,35	31,96	17,08	102,02
3,4x4,05	13,77	7,49	9,15	68,54	3,73	27,94
3,4x2,4	8,16	4,44	9,15	40,62	7,25	32,18
3,4x3,8	12,92	7,03	9,15	64,31	10,65	74,85
3,4x2,4	8,16	4,44	9,15	40,62	14,05	62,37
3,4x3,05	10,37	5,64	9,15	51,62	17,08	96,35
2,7x4,05	10,94	5,95	12,50	74,36	3,73	22,19
2,7x2,4	6,48	3,53	12,50	44,06	7,25	25,56
2,7x2,4	6,48	3,53	12,50	44,06	14,05	49,53
2,7x3,05	8,24	7,77	12,50	97,17	17,08	132,78
3,4x4,05	13,77	7,49	15,85	118,73	3,73	27,94
3,4x2,4	8,16	4,44	15,85	70,36	7,25	32,18
3,4x3,8	12,92	7,03	15,85	111,40	10,65	74,85
3,4x2,4	8,16	4,44	15,85	70,36	14,05	62,37
3,4x3,05	10,37	5,64	15,85	89,41	17,08	96,35
3,6x4,05	14,58	7,93	19,65	155,85	3,73	29,58
3,6x2,4	8,64	4,70	19,65	92,36	7,25	34,08
3,6x3,8	13,68	7,44	19,65	146,23	10,65	79,26
3,6x2,4	8,64	4,70	19,65	92,36	14,05	66,04
3,6x3,05	10,98	5,97	19,65	117,37	17,08	102,02
3x4,05	12,15	6,61	23,25	153,67	3,73	24,65
3x2,4	7,20	3,92	23,25	91,07	7,25	28,40
3x3,8	11,40	6,20	23,25	144,19	10,65	66,05
SOMME	313,43	173,80		2 172,50		1 677,59
					XG(m)	12,50
					YG(m)	9,65

- Centre de masse des planchers des niveaux supérieurs :

Niveau	$\sum Si(m^2)$	$\sum Mi(t)$	$\sum Mi.Xi$	$\sum Mi.Yi$	XG(m)	YG(m)
2	302,50	164,56	2 056,97	1 599,14	12,50	9,72
3a8	316,33	172,08	2 151,06	1 644,11	12,50	9,55
9a10	306,68	166,83	2 085,42	1 644,11	12,50	9,85
p.terrasse	332,85	186,44	2 319,22	1 833,50	12,44	9,83

3-5-5 Centre de masse des balcons :

- Centre de masse des balcons du 3^{ème} au 8^{ème} étage :

balcon	Li(m)	Si(m²)	M(t)	Xi (m)	Yi (m)	Mi.Xi	Mi.Yi
BL1	4,20	3,90	2,21	9,60	0,70	21,19	1,55
BL2	4,20	3,90	2,21	15,40	0,70	33,99	1,55
BL3	2,80	2,20	1,25	12,50	19,40	15,57	24,16
BL4	3,10	3,60	2,04	1,55	0,70	3,16	1,43
BL5	3,10	3,60	2,04	23,45	0,70	47,78	1,43
SOMME			9,74	SOMME		121,69	30,10
						XG (m)	12,50
						YG (m)	3,09

- Centre de masse des balcons du 9^{ème} et 10^{ème} étage :

Balcon	Li(m)	Si(m²)	M(t)	Xi (m)	Yi (m)	Mi.Xi	Mi.Yi
BL1	6,35	7,00	3,96	9,60	0,70	38,04	2,77
BL2	6,35	7,00	3,96	15,40	0,70	61,01	2,77
BL3	2,80	2,20	1,25	12,50	19,40	15,57	24,16
SOMME			9,17	SOMME		114,62	29,70
						XG (m)	12,50
						YG (m)	3,24

3-5-6 Centre de masse des escaliers :

- Centre de masse des escaliers de RDC :

Element	Si(m²)	M(t)	Xi (m)	Yi (m)	Mi.Xi	Mi.Yi
volée 1	5,25	5,57	13,38	9,45	74,57	52,66
volée 2	3,38	3,59	11,93	10,20	42,80	36,60
palier	3,08	2,21	12,50	12,10	27,68	26,80
somme		11,38	somme		145,05	116,06
					XG (m)	12,75
					YG (m)	10,20

- Centre de masse des escaliers du 1^{er} étage :

Element	Si(m²)	M(t)	Xi (m)	Yi (m)	Mi.Xi	Mi.Yi
volée 1	3,38	3,08	13,38	9,45	41,15	29,07
volée 2	3,38	3,08	11,93	10,20	36,69	31,37
palier	3,08	1,83	12,50	12,10	22,87	22,14
somme		7,98	somme		100,72	82,58
					XG (m)	12,62
					YG (m)	10,35

- Centre de masse des escaliers des étages supérieurs :

Element	Si(m²)	M(t)	Xi (m)	Yi (m)	Mi.Xi	Mi.Yi
volée 1	3,00	2,73	13,38	9,45	36,53	25,80
volée 2	3,00	2,73	11,93	10,20	32,57	27,85
palier	4,34	2,58	12,50	12,10	32,22	31,19
somme		8,04	somme		101,32	84,84
					XG (m)	12,61
					YG (m)	10,55

3-5-7 Centre de masse des murs extérieurs :

- Centre de masse des murs de RDC :

Mur	Li(m)	Si(m²)	M(t)	Xi (m)	Yi (m)	Mi.Xi	Mi.Yi
MF1	2,80	11,40	2,69	1,75	5,85	4,71	15,73
MF2	3,60	14,65	3,46	5,35	5,85	18,50	20,23
MF3	3,20	13,02	3,07	10,65	5,85	32,73	17,98
MF4	2,70	10,99	2,59	12,50	5,85	32,42	15,17
MF5	3,20	13,02	3,07	15,85	5,85	48,72	17,98
MF6	3,60	14,65	3,46	19,65	5,85	67,95	20,23
MF7	2,80	11,40	2,69	23,25	5,85	62,53	15,73
MF8	2,80	11,40	2,69	1,75	12,65	4,71	34,02
MF9	2,80	11,40	2,69	23,25	12,65	62,53	34,02
MF10	3,60	14,65	3,46	5,35	18,75	18,50	64,84
MF11	3,20	13,02	3,07	10,65	18,75	32,73	57,63
MF12	3,20	13,02	3,07	15,85	18,75	48,72	57,63
MF13	3,60	14,65	3,46	19,65	18,75	67,95	64,84
MF14	2,40	9,77	2,31	3,40	14,05	7,84	32,39
MF15	2,85	11,60	2,74	3,40	17,13	9,31	46,89
MF16	2,40	9,77	2,31	21,70	14,05	50,02	32,39
MF17	2,85	11,60	2,74	21,70	17,13	59,40	46,89
somme			49,56	somme		629,26	594,60
						XG (m)	12,70
						YG (m)	12,00

- Centre de masse des murs des étages supérieurs :

Etage	$\sum Mi(t)$	$\sum Mi.Xi$	$\sum Mi.Yi$	XG (m)	YG (m)
1	34,54	438,18	395,17	12,69	11,44
2	36,26	456,02	352,20	12,58	9,71
3a8	36,42	431,50	355,48	12,45	9,76
9&10	36,97	438,00	367,09	12,45	9,93

3-5-8 Centre de masse de l'acrotère :

Elements	Li(m)	M(t)	Xi (m)	Yi (m)	Mi.Xi	Mi.Yi
1	3,00	0,51	1,50	1,45	0,77	0,75
2	1,40	0,24	2,95	0,70	0,71	0,17
3	8,30	1,42	7,15	0,05	10,17	0,07
4	1,40	0,24	11,25	0,70	2,70	0,17
5	2,40	0,41	12,50	1,45	5,14	0,60
6	1,40	0,24	13,65	0,70	3,27	0,17
7	8,30	1,42	17,85	0,05	25,38	0,07
8	1,40	0,24	21,95	0,70	5,26	0,17
9	3,00	0,51	23,50	1,45	12,08	0,75
10	11,45	1,96	24,95	7,13	48,94	13,98
11	3,00	0,51	23,50	12,80	12,08	6,58
12	6,45	1,10	21,95	16,80	24,25	18,56
13	4,00	0,69	20,00	19,25	13,70	13,19
14	0,60	0,10	17,95	19,60	1,84	2,01
15	11,00	1,88	12,50	19,85	23,55	37,40

16	0,60	0,10	7,05	19,60	0,72	2,01
17	4,00	0,69	5,00	19,25	3,43	13,19
18	6,45	1,10	2,95	16,80	3,26	18,56
19	3,00	0,51	1,50	12,80	0,77	6,58
20	11,45	1,96	0,05	7,13	0,10	13,98
somme		15,86	somme		198,12	148,96
					XG (m)	12,49
					YG (m)	9,39

3-5-9 Centre de masse des niveaux :

- Centre de masse du RDC (1^{er} niveau) :

Elements	Mi(t)	Xi(m)	Yi(m)	Mi.Xi	Mi.Yi
voiles	95,14	12,68	10,68	1206,23	1015,90
poteaux	77,79	12,55	9,88	976,29	768,90
poutres L	35,54	12,50	9,86	444,28	350,46
poutres T	37,41	12,50	9,614	467,63	359,66
plancher	173,80	12,50	9,65	2172,50	1677,59
murs ext	49,56	12,70	12,00	629,26	594,60
escaliers	11,38	12,75	10,20	145,05	116,06
somme	480,62	somme		6041,23	4883,16
				XG (m)	12,57
				YG (m)	10,16

- Centre de masse du 2^{ème} niveau :

Elements	Mi(t)	Xi(m)	Yi(m)	Mi.Xi	Mi.Yi
voiles	65,87	12,68	10,68	835,12	703,31
poteaux	53,86	12,55	9,88	675,89	532,32
poutres L	35,54	12,50	9,86	444,28	350,46
poutres T	37,41	12,50	9,860	467,63	368,87
plancher	164,56	12,50	9,72	2056,97	1599,14
murs ext	34,54	12,69	11,44	438,18	395,17
escaliers	7,98	12,62	10,35	100,72	82,58
somme	399,75	somme		5018,78	4031,85
				XG (m)	12,55
				YG (m)	10,09

- Centre de masse du 3^{ème} niveau :

Elements	Mi(t)	Xi(m)	Yi(m)	Mi.Xi	Mi.Yi
voiles	62,70	12,69	10,63	795,55	666,36
poteaux	41,23	12,55	9,88	517,48	407,56
poutres L	35,54	12,50	9,86	444,28	350,46
poutres T	37,41	12,50	9,948	467,63	372,15
plancher	172,08	12,50	9,55	2151,06	1644,11
murs ext	36,42	12,45	9,76	453,47	355,48
escaliers	8,04	12,75	10,20	102,49	82,01
balcon	9,74	12,50	3,09	121,69	30,10
somme	403,17	somme		5053,65	3908,22
				XG (m)	12,53
				YG (m)	9,69

- Centre de masse des niveaux 4 à 7:

Elements	Mi(t)	Xi(m)	Yi(m)	Mi.Xi	Mi.Yi
voiles	62,70	12,69	10,63	795,55	666,36
poteaux	41,23	12,55	9,88	517,48	407,56
poutres L	35,54	12,50	9,86	444,28	350,46
poutres T	42,69	12,50	9,948	533,63	424,67
plancher	172,08	12,50	9,55	2151,06	1644,11
murs ext	36,42	12,45	9,76	453,47	355,48
escaliers	8,04	12,75	10,20	102,49	82,01
balcon	9,74	12,50	3,09	121,69	30,10
somme	408,45	somme		5119,65	3960,74
				XG (m)	12,53
				YG (m)	9,70

- Centre de masse du 8^{ème} niveau :

Elements	Mi(t)	Xi(m)	Yi(m)	Mi.Xi	Mi.Yi
voiles	62,70	12,69	10,63	795,55	666,36
poteaux	30,29	12,55	9,88	380,19	299,43
poutres L	35,54	12,50	9,86	444,28	350,46
poutres T	42,69	12,50	9,948	533,63	424,67
plancher	172,08	12,50	9,55	2151,06	1644,11
murs ext	36,97	12,45	9,76	460,23	360,79
escaliers	8,04	12,75	10,20	102,49	82,01
balcon	9,74	12,50	3,09	121,69	30,10
somme	398,05	somme		4989,13	3857,92
				XG (m)	12,53
				YG (m)	9,69

- Centre de masse du 9^{ème} et 10^{ème} niveau :

Elements	Mi(t)	Xi(m)	Yi(m)	Mi.Xi	Mi.Yi
voiles	62,70	12,69	10,63	795,55	666,36
poteaux	30,29	12,55	9,88	380,19	299,43
poutres L	35,54	12,50	9,86	444,28	350,46
poutres T	42,69	12,50	9,948	533,63	424,67
plancher	166,83	12,50	9,85	2085,42	1644,11
murs ext	36,97	12,45	9,93	460,23	367,09
escaliers	8,04	12,75	10,20	102,49	82,01
balcon	9,17	12,50	3,24	114,62	29,70
somme	392,24	somme		4916,42	3863,82
				XG (m)	12,53
				YG (m)	9,85

- Centre de masse du 11^{ème} niveau :

Elements	Mi(t)	Xi(m)	Yi(m)	Mi.Xi	Mi.Yi
voiles	62,70	12,69	10,63	795,55	666,36
poteaux	30,29	12,55	9,88	380,19	299,43
poutres L	35,54	12,50	9,86	444,28	350,46
poutres T	42,69	12,50	9,948	533,63	424,67
plancher	186,44	12,50	9,83	2330,49	1833,50
murs ext	36,97	12,45	9,93	460,23	367,09
escaliers	8,04	12,75	10,20	102,49	82,01
balcon	9,17	12,50	3,24	114,62	29,70
acrotere	15,86	12,49	9,39	198,12	148,96
somme	427,70	somme		5359,60	4202,17
				XG (m)	12,53
				YG (m)	9,82

3-6 Centre de torsion :

Le centre de torsion d'un groupe de refends est le point caractérisé par les propriétés suivantes :

- Une force dans la ligne d'action passe par le centre de torsion engendre uniquement une translation des refends, dans la même direction de celle-ci.
- Un moment dont l'axe vertical passe par le centre de torsion engendre seulement une rotation des refends dans le même sens de celui-ci.
- Une force dont la ligne d'action passe par le CDG de la structure engendre par rapport au centre de torsion un effet de translation et un effet de rotation de la structure.

Les coordonnées de centre de torsion des voiles sont données par :

$$X_C = \frac{\sum_{i=1}^n R_{jy} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n R_{jy}} ; \quad Y_C = \frac{\sum_{i=1}^n R_{jy} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n R_{jy}}$$

N.B : les refends ont tous le même module d'élasticité, la même hauteur et présentent les mêmes conditions aux appuis. Donc on peut simplifier les calculs en remplaçant les rigidités par les inerties.

$$X_C = \frac{\sum_{i=1}^n I_{ey} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n I_{ey}} ; \quad Y_C = \frac{\sum_{i=1}^n I_{ex} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n I_{ex}}$$

Avec :

I_{ey} : inertie équivalente d'un refend longitudinal

X_i : abscisse du centre de gravité du voile ou portique par rapport à l'axe (Y-Y)

I_{ex} : inertie équivalente d'un refend transversal

Y_i : abscisse du centre de gravité du voile ou portique par rapport à l'axe (X-X)

R_{jy}, R_{jx} : rigidité des voiles ou portique par rapport à l'axe (X-X) et (Y-Y).

3-6-1 Centre de torsion des portiques longitudinaux :

niveau	portiques	$I_x(m^4)$	$\sum I_x (m^4)$	$Y_i(m)$	$I_x.Y_i$	$\sum I_x.Y_i$	$Y_c(m)$
11	A1-A8	1,72	9,17	1,60	2,75	87,32	9,52
	B1-B8	1,89		5,85	11,06		
	C1-C8	1,89		8,65	16,35		
	D1-D8	1,17		12,65	14,80		
	E2-E6	1,35		15,45	20,86		
	F2-F6	1,15		18,70	21,51		
10	A1-A8	1,54	8,25	1,60	2,46	78,69	9,54
	B1-B8	1,70		5,85	9,95		
	C1-C8	1,70		8,65	14,71		
	D1-D8	1,05		12,65	13,28		
	E2-E6	1,22		15,45	18,85		
	F2-F6	1,04		18,70	19,45		
9	A1-A8	1,40	7,47	1,60	2,24	71,16	9,53
	B1-B8	1,54		5,85	9,01		
	C1-C8	1,54		8,65	13,32		
	D1-D8	0,95		12,65	12,02		
	E2-E6	1,10		15,45	17,00		
	F2-F6	0,94		18,70	17,58		
8	A1-A8	1,27	6,78	1,60	2,03	64,56	9,52
	B1-B8	1,40		5,85	8,19		
	C1-C8	1,40		8,65	12,11		
	D1-D8	0,86		12,65	10,88		
	E2-E6	1,00		15,45	15,45		
	F2-F6	0,85		18,70	15,90		
7	A1-A8	1,16	6,19	1,60	1,86	58,93	9,52
	B1-B8	1,28		5,85	7,49		
	C1-C8	1,28		8,65	11,07		
	D1-D8	0,78		12,65	9,87		
	E2-E6	0,91		15,45	14,06		
	F2-F6	0,78		18,70	14,59		
6	A1-A8	1,02	5,47	1,60	1,63	52,16	9,54
	B1-B8	1,13		5,85	6,61		
	C1-C8	1,13		8,65	9,77		
	D1-D8	0,69		12,65	8,73		
	E2-E6	0,81		15,45	12,51		
	F2-F6	0,69		18,70	12,90		

niveau	portiques	$I_x(m^4)$	$\sum I_x (m^4)$	$Y_i(m)$	$I_x.Y_i$	$\sum I_x.Y_i$	$Y_c(m)$
5	A1-A8	0,89	4,77	1,60	1,42	45,40	9,52
	B1-B8	0,99		5,85	5,79		
	C1-C8	0,99		8,65	8,56		
	D1-D8	0,60		12,65	7,59		
	E2-E6	0,70		15,45	10,82		
	F2-F6	0,60		18,70	11,22		
4	A1-A8	0,77	4,10	1,60	1,23	38,94	9,50
	B1-B8	0,85		5,85	4,97		
	C1-C8	0,85		8,65	7,35		
	D1-D8	0,52		12,65	6,58		
	E2-E6	0,60		15,45	9,27		
	F2-F6	0,51		18,70	9,54		
3	A1-A8	0,65	3,47	1,60	1,04	33,14	9,55
	B1-B8	0,71		5,85	4,15		
	C1-C8	0,71		8,65	6,14		
	D1-D8	0,45		12,65	5,69		
	E2-E6	0,51		15,45	7,88		
	F2-F6	0,44		18,70	8,23		
2	A1-A8	0,50	2,67	1,60	0,80	25,57	9,58
	B1-B8	0,54		5,85	3,16		
	C1-C8	0,54		8,65	4,67		
	D1-D8	0,36		12,65	4,55		
	E2-E6	0,39		15,45	6,03		
	F2-F6	0,34		18,70	6,36		
RDC	A1-A8	0,34	1,83	1,60	0,54	17,68	9,66
	B1-B8	0,36		5,85	2,11		
	C1-C8	0,36		8,65	3,11		
	D1-D8	0,27		12,65	3,42		
	E2-E6	0,26		15,45	4,02		
	F2-F6	0,24		18,70	4,49		

3-6-2 Centre de torsion des portiques transversaux :

niveau	portiques	Iy(m4)	$\sum Iy$	Xi(m)	Iy.Yi	$\sum Iy.Yi$	Xc(m)
11	A1-D1	0,48	11,12	0,15	0,07	140,06	12,60
	A2-F2	1,73		3,35	5,80		
	A3-F3	1,58		7,35	11,61		
	A4-F4	1,73		10,95	18,94		
	A5-F5	1,73		14,05	24,31		
	A6-F6	1,57		17,65	27,71		
	A7-F7	1,73		21,65	37,45		
	A8-D8	0,57		24,85	14,16		
10	A1-D1	0,43	10,04	0,15	0,06	126,56	12,61
	A2-F2	1,56		3,35	5,23		
	A3-F3	1,43		7,35	10,51		
	A4-F4	1,56		10,95	17,08		
	A5-F5	1,56		14,05	21,92		
	A6-F6	1,42		17,65	25,06		
	A7-F7	1,56		21,65	33,77		
	A8-D8	0,52		24,85	12,92		
9	A1-D1	0,39	9,09	0,15	0,06	114,56	12,60
	A2-F2	1,41		3,35	4,72		
	A3-F3	1,3		7,35	9,56		
	A4-F4	1,41		10,95	15,44		
	A5-F5	1,41		14,05	19,81		
	A6-F6	1,29		17,65	22,77		
	A7-F7	1,41		21,65	30,53		
	A8-D8	0,47		24,85	11,68		
8	A1-D1	0,35	8,32	0,15	0,05	104,99	12,62
	A2-F2	1,29		3,35	4,32		
	A3-F3	1,19		7,35	8,75		
	A4-F4	1,29		10,95	14,13		
	A5-F5	1,29		14,05	18,12		
	A6-F6	1,19		17,65	21,00		
	A7-F7	1,29		21,65	27,93		
	A8-D8	0,43		24,85	10,69		
7	A1-D1	0,32	7,66	0,15	0,05	96,74	12,63
	A2-F2	1,19		3,35	3,99		
	A3-F3	1,09		7,35	8,01		
	A4-F4	1,19		10,95	13,03		
	A5-F5	1,19		14,05	16,72		
	A6-F6	1,09		17,65	19,24		
	A7-F7	1,19		21,65	25,76		
	A8-D8	0,4		24,85	9,94		
6	A1-D1	0,28	6,77	0,15	0,04	85,74	12,66
	A2-F2	1,05		3,35	3,52		
	A3-F3	0,96		7,35	7,06		
	A4-F4	1,05		10,95	11,50		
	A5-F5	1,05		14,05	14,75		
	A6-F6	0,96		17,65	16,94		
	A7-F7	1,05		21,65	22,73		
	A8-D8	0,37		24,85	9,19		

5	A1-D1	0,25	5,91	0,15	0,04	74,99	12,69
	A2-F2	0,91		3,35	3,05		
	A3-F3	0,84		7,35	6,17		
	A4-F4	0,91		10,95	9,96		
	A5-F5	0,91		14,05	12,79		
	A6-F6	0,84		17,65	14,83		
	A7-F7	0,91		21,65	19,70		
	A8-D8	0,34		24,85	8,45		
4	A1-D1	0,22	5,10	0,15	0,03	64,99	12,74
	A2-F2	0,78		3,35	2,61		
	A3-F3	0,72		7,35	5,29		
	A4-F4	0,78		10,95	8,54		
	A5-F5	0,78		14,05	10,96		
	A6-F6	0,72		17,65	12,71		
	A7-F7	0,78		21,65	16,89		
	A8-D8	0,32		24,85	7,95		
3	A1-D1	0,19	4,27	0,15	0,03	54,49	12,76
	A2-F2	0,65		3,35	2,18		
	A3-F3	0,6		7,35	4,41		
	A4-F4	0,65		10,95	7,12		
	A5-F5	0,65		14,05	9,13		
	A6-F6	0,6		17,65	10,59		
	A7-F7	0,65		21,65	14,07		
	A8-D8	0,28		24,85	6,96		
2	A1-D1	0,16	3,18	0,15	0,02	40,24	12,66
	A2-F2	0,48		3,35	1,61		
	A3-F3	0,45		7,35	3,31		
	A4-F4	0,48		10,95	5,26		
	A5-F5	0,48		14,05	6,74		
	A6-F6	0,45		17,65	7,94		
	A7-F7	0,48		21,65	10,39		
	A8-D8	0,2		24,85	4,97		
RDC	A1-D1	0,12	2,04	0,15	0,02	25,25	12,38
	A2-F2	0,31		3,35	1,04		
	A3-F3	0,29		7,35	2,13		
	A4-F4	0,31		10,95	3,39		
	A5-F5	0,31		14,05	4,36		
	A6-F6	0,29		17,65	5,12		
	A7-F7	0,31		21,65	6,71		
	A8-D8	0,1		24,85	2,49		

3-6-3 Centre de torsion des voiles :

- Sens longitudinal :

sens longitudinal					
Niveau	voiles	$I_x(m^4)$	$Y_i(m)$	$I_x.Y_i$	$Y_c(m)$
4 à 11	VL1	0,78	12,58	9,78	11,62
	VL2	0,78	12,58	9,78	
	VL3	0,50	12,75	6,42	
	VL4	0,62	18,80	11,63	
	VL5	0,23	10,60	2,44	
	VL6	0,20	10,70	2,17	
	VL7	0,20	12,58	2,55	
	VL8	0,62	1,50	0,93	
somme		3,93	somme	45,70	

sens longitudinal					
Niveau	voiles	$I_x(m^4)$	$Y_i(m)$	$I_x.Y_i$	$Y_c(m)$
1 à 3	VL1	0,7776	12,58	9,78	11,64
	VL2	0,7776	12,58	9,78	
	VL3	0,65506	12,75	8,35	
	VL4	0,65506	18,80	12,32	
	VL5	0,2304	10,60	2,44	
	VL6	0,20278	10,70	2,17	
	VL7	0,20278	12,58	2,55	
	VL8	0,65506	1,50	0,98	
somme		4,15634	somme	48,37	

- Sens transversal :

sens transversal					
Niveau	voiles	$I_y(m^4)$	$X_i(m)$	$I_y.X_i$	$X_c(m)$
1 à 11	VT1	6,2208	0,10	0,62	12,47
	VT2	6,2208	24,90	154,90	
	VT3	0,21629	7,40	1,60	
	VT4	0,14358	17,55	2,52	
somme		12,80147	somme	159,64	

3-6-4 Centre de torsion de l'ensemble (portique + voiles) :

Niv	Élément	$\sum I_x(m^4)$	$Y_c(m)$	$\sum I_x.Y_c$	$\sum I_y(m)$	$X_c(m)$	$\sum I_y.X_c$	$X_c(m)$	$Y_c(m)$
11	voiles	4,043	11,616	46,962	12,801	12,470	159,640	12,52	10,41
	portiques	5,470	9,522	52,087	6,682	12,595	84,160		
	somme	9,513		99,050	19,483		243,800		
10	voiles	4,043	11,616	46,962	12,801	12,470	159,640	12,52	10,41
	portiques	5,470	9,53	52,129	6,682	12,606	84,228		
	somme	9,513		99,091	19,483		243,869		
9	voiles	4,043	11,616	46,962	12,801	12,470	159,640	12,52	10,41
	portiques	5,470	9,526	52,108	6,682	12,603	84,211		
	somme	9,513		99,071	19,483		243,851		

8	voiles	4,043	11,616	46,962	12,801	12,470	159,640	12,52	10,41
	portiques	5,470	9,522	52,083	6,682	12,619	84,316		
	somme	9,513		99,045	19,483		243,957		
7	voiles	4,043	11,616	46,962	12,801	12,470	159,640	12,54	10,41
	portiques	5,470	9,520	52,074	6,682	12,629	84,385		
	somme	9,513		99,037	19,483		244,025		
6	voiles	4,043	11,616	46,962	12,801	12,470	159,640	12,54	10,42
	portiques	5,470	9,536	52,163	6,682	12,664	84,620		
	somme	9,513		99,125	19,483		244,260		
5	voiles	4,043	11,616	46,962	12,801	12,470	159,640	12,55	10,40
	portiques	5,470	9,498	51,954	6,682	12,688	84,779		
	somme	9,513		98,917	19,483		244,420		
4	voiles	4,043	11,616	46,962	12,801	12,470	159,640	12,56	10,40
	portiques	5,470	9,498	51,954	6,682	12,742	85,141		
	somme	9,513		98,917	19,483		244,781		
3	voiles	4,043	11,616	46,962	12,801	12,470	159,640	12,57	10,43
	portiques	5,470	9,549	52,233	6,682	12,760	85,262		
	somme	9,513		99,195	19,483		244,902		
2	voiles	4,043	11,616	46,962	12,801	12,470	159,640	12,54	10,44
	portiques	5,470	9,576	52,380	6,682	12,655	84,561		
	somme	9,513		99,342	19,483		244,201		
1	voiles	4,043	11,616	46,962	12,801	12,470	159,640	12,44	10,49
	portiques	5,470	9,664	52,860	6,682	12,379	82,714		
	somme	9,513		99,823	19,483		242,354		

3-7 Calcul de l'excentricité :

Pour toutes les structures comportant des plancher ou diaphragmes horizontaux rigides dans leur plan, on suppose qu'à chaque niveau et direction, la résultante des forces horizontales à une excentricité par rapport au centre de torsion égale à la plus grande des deux valeurs suivantes :

- Excentricité accidentelle: 5% de la plus grande dimension du bâtiment à ce niveau dans les deux directions.

Excentricité accidentelle : $e_x = 0.005 \times 25 = 1.25\text{m}$ (selon le RPA).

Excentricité théorique résultant des plans (e_x et e_y)

$$e_x = |X_G - X_{Cj}|, \quad e_y = |Y_G - Y_{Cj}|$$

Les excentricités théoriques sont résumées dans le tableau suivant :

Niveau	RDC	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$X_G(\text{m})$	12,57	12,55	12,53	12,53	12,53	12,53	12,53	12,53	12,53	12,53	12,53
$X_C(\text{m})$	12,44	12,54	12,57	12,56	12,55	12,54	12,52	12,52	12,52	12,52	12,51
$e_x(\text{m})$	0,13	0,01	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
$Y_G(\text{m})$	10,16	10,09	9,69	9,70	9,70	9,70	9,70	9,69	9,85	9,85	9,82
$Y_C(\text{m})$	10,49	10,44	10,43	10,40	10,40	10,42	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41
$e_y(\text{m})$	0,33	0,35	0,74	0,70	0,70	0,72	0,71	0,72	0,56	0,56	0,59

Donc : $e_x = e_y = 0,74\text{m}$

3-8 Rigidité à la torsion de l'étage (portiques) :

$$R_{J\theta} = \sum R_{JY} \cdot (X_j^T)^2 + \sum R_{JX} \cdot (Y_j^L)^2$$

Avec :

R_{JX} et R_{JY} : respectivement, rigidité de portique longitudinale et transversale.

X_j^T : La distance entre le portique transversal et le centre de torsion C.

Y_j^L : La distance entre le portique longitudinal et le centre de torsion C.

- Sens longitudinal :

niveau 11,10 &9				niveau 8			
portique	Rjx(kN/m)	Yj(m)	Rjx.(Yj) ²	portique	Rjx(kN/m)	Yj(m)	Rjx.(Yj) ²
A-A	43283,10	-8,81	3359465,418	A-A	43445,50	-8,81	3372070,273
B-B	47537,70	-4,56	988479,919	B-B	47704,20	-4,56	991942,053
C-C	47537,70	-1,76	147252,780	C-C	47704,20	-1,76	147768,530
D-D	8802,70	2,24	44168,428	D-D	8841,50	2,24	44363,110
E-E	33614,70	5,04	853867,164	E-E	33729,50	5,04	856783,267
F-F	29360,20	8,29	2017753,321	F-F	29470,80	8,29	2025354,206
somme	210136,10		7410987,028	somme	210895,70		7438281,439
niveau 7,6 &5				niveau 4			
portique	Rjx(kN/m)	Yj(m)	Rjx.(Yj) ²	portique	Rjx(kN/m)	Yj(m)	Rjx.(Yj) ²
A-A	55649,60	-8,81	4319304,919	A-A	55919,50	-8,81	4340253,504
B-B	62649,60	-4,56	1302710,723	B-B	62941,50	-4,56	1308780,374
C-C	62649,60	-1,76	194063,401	C-C	62941,50	-1,76	194967,590
D-D	10663,20	2,24	53503,672	D-D	10721,10	2,24	53794,191
E-E	43815,90	5,04	1112993,965	E-E	44013,00	5,04	1118000,621
F-F	36815,90	8,29	2530139,593	F-F	36991,00	8,29	2542173,183
somme	272243,80		9512716,273	somme	273527,60		9557969,464
niveau 3&2				RDC			
portique	Rjx(kN/m)	Yj(m)	Rjx.(Yj) ²	portique	Rjx(kN/m)	Yj(m)	Rjx.(Yj) ²
A-A	64922,50	-8,83	5061935,910	A-A	41363,20	-8,89	3269020,559
B-B	74418,60	-4,58	1561034,321	B-B	44019,40	-4,64	947720,074
C-C	74418,60	-1,78	235787,892	C-C	44019,40	-1,84	149032,081
D-D	11898,40	2,22	58640,075	D-D	5101,60	2,16	23802,025
E-E	51678,00	5,02	1302306,271	E-E	31818,70	4,96	782790,930
F-F	42181,90	8,27	2884942,469	F-F	29162,50	8,21	1965672,066
somme	319518,00		11104646,938	somme	195484,80		7138037,735

- Sens transversal :

niveau 11,10 &9				niveau 8			
portique	Rjx(kN/m)	Xj(m)	Rjx.(Xj) ²	portique	Rjx(kN/m)	Xj(m)	Rjx.(Xj) ²
A1-D1	10455,3	-12,36	1597251,999	A1-D1	10490,6	-12,36	1602644,77
A2-F2	43187,6	-9,16	3623681,491	A2-F2	43313,6	-9,16	3634253,6
A3-F3	40279,4	-5,16	1072463,193	A3-F3	40417,8	-5,16	1076148,18
A4-F4	43187,6	-1,56	105101,3434	A4-F4	43313,6	-1,56	105407,977
A5-F5	43187,6	1,54	102423,7122	A5-F5	43313,6	1,54	102722,534
A6-F6	40279,4	5,14	1064165,636	A6-F6	40417,8	5,14	1067822,11
A7-F7	43187,6	9,14	3607874,829	A7-F7	43313,6	9,14	3618400,82
A8-D8	10455,3	12,34	1592087,081	A8-D8	10490,6	12,34	1597462,41
somme	274219,8		12765049,28	somme	275071,2		12804862,4
niveau 7,6 &5				niveau 4			
portique	Rjx(kN/m)	Xj(m)	Rjx.(Xj) ²	portique	Rjx(kN/m)	Xj(m)	Rjx.(Xj) ²
A1-D1	12993,1	-12,365	1986556,962	A1-D1	13048,6	-12,385	2001501,59
A2-F2	60097,6	-9,165	5048031,629	A2-F2	60343,6	-9,185	5090841,05
A3-F3	54600,7	-5,165	1456595,159	A3-F3	54856,6	-5,185	1474777,18
A4-F4	60097,6	-1,565	147192,5444	A4-F4	60343,6	-1,585	151596,701
A5-F5	60097,6	1,535	141603,4676	A5-F5	60343,6	1,515	138502,139
A6-F6	54600,7	5,135	1439723,543	A6-F6	54856,6	5,115	1435225,57
A7-F7	60097,6	9,135	5015038,047	A7-F7	60343,6	9,115	5013540,9
A8-D8	12993,1	12,335	1976929,075	A8-D8	13048,6	12,315	1978940,56
somme	375578		17211670,43	somme	377184,8		17284925,7
niveau 3&2				RDC			
portique	Rjx(kN/m)	Xj(m)	Rjx.(Xj) ²	portique	Rjx(kN/m)	Xj(m)	Rjx.(Xj) ²
A1-D1	14738,7	-12,37	2255270,184	A1-D1	10095,8	-12,24	1512528,53
A2-F2	74843,2	-9,17	6293482,36	A2-F2	38332,5	-9,04	3132593,23
A3-F3	66543,4	-5,17	1778631,884	A3-F3	36231,6	-5,04	920340,611
A4-F4	74843,2	-1,57	184481,0037	A4-F4	38332,5	-1,44	79486,272
A5-F5	74843,2	1,53	175200,4469	A5-F5	38332,5	1,66	105629,037
A6-F6	66543,4	5,13	1751216,003	A6-F6	36231,6	5,26	1002441,42
A7-F7	74843,2	9,13	6238697,138	A7-F7	38332,5	9,26	3286919,88
A8-D8	14738,7	12,33	2240708,348	A8-D8	10095,8	12,46	1567389,1
somme	461937		20917687,37	somme	245984,8		11607328,1

La rigidité à la torsion des niveaux est donnée par le tableau suivant :

la rigidité a la torsion des niveaux						
niveau	11,10&9	8	7,6&5	4	3&2	RDC
Rjx.(Xj) ²	12765049,28	12804862	17211670,43	17284926	20917687	11607328,1
Rjx.(Yj) ²	7410987,028	7438281,4	9512716,273	9557969	11104647	7138037,73
Rj (kN/m)	20176036,31	20243144	26724386,7	26842895	32022334	18745365,8

3-9 Calcul de l'inertie polaire des voiles J_0 :

$$J_0 = \sum (I_x \cdot d_1^2) + \sum (I_y \cdot d_2^2)$$

Avec :

I_x et I_y : respectivement l'inertie dans le sens Y-Y et X-X.

d_1 et d_2 : la distance entre le CDG du voile transversal et du voile longitudinal, respectivement et le centre de torsion.

- Sens longitudinal :

niveau 11,10 &9				niveau 8			
voiles	$I_y(m^4)$	$d_2(m)$	$I_y.(d_2)^2 (m^6)$	voiles	$I_y(m^4)$	$d_2(m)$	$I_y.(d_2)^2 (m^6)$
VL1	0,7776	2,19	3,72944736	VL1	0,7776	2,19	3,72944736
VL2	0,7776	2,19	3,72944736	VL2	0,7776	2,19	3,72944736
VL3	0,5035	2,29	2,64040435	VL3	0,5035	2,29	2,64040435
VL4	0,6186	8,34	43,02709416	VL4	0,6186	8,34	43,0270942
VL5	0,2304	-0,37	0,03154176	VL5	0,2304	-0,37	0,03154176
VL6	0,20278	-0,29	0,017053798	VL6	0,20278	-0,29	0,0170538
VL7	0,20278	2,19	0,972553158	VL7	0,20278	2,19	0,97255316
VL8	0,621	-8,91	49,3000101	VL8	0,621	-8,91	49,3000101
somme	3,73148		103,447552	somme	3,93426		103,447552
niveau 7,6 &5				niveau 4			
voiles	$I_y(m^4)$	$d_2(m)$	$I_y.(d_2)^2 (m^6)$	voiles	$I_y(m^4)$	$d_2(m)$	$I_y.(d_2)^2 (m^6)$
VL1	0,7776	2,19	3,72944736	VL1	0,7776	2,2	3,763584
VL2	0,7776	2,19	3,72944736	VL2	0,7776	2,2	3,763584
VL3	0,5035	2,29	2,64040435	VL3	0,5035	2,3	2,663515
VL4	0,6186	8,34	43,02709416	VL4	0,6186	8,35	43,1303385
VL5	0,2304	-0,37	0,03154176	VL5	0,2304	-0,36	0,02985984
VL6	0,20278	-0,29	0,017053798	VL6	0,20278	-0,28	0,01589795
VL7	0,20278	2,19	0,972553158	VL7	0,20278	2,2	0,9814552
VL8	0,621	-8,91	49,3000101	VL8	0,621	-8,9	49,18941
somme	3,93426		103,447552	somme	3,93426		103,537644
niveau 3&2				RDC			
voiles	$I_y(m^4)$	$d_2(m)$	$I_y.(d_2)^2 (m^6)$	voiles	$I_y(m^4)$	$d_2(m)$	$I_y.(d_2)^2 (m^6)$
VL1	0,7776	2,12	3,49484544	VL1	0,7776	2,06	3,29982336
VL2	0,7776	2,12	3,49484544	VL2	0,7776	2,06	3,29982336
VL3	0,65507	2,22	3,228446988	VL3	0,65507	2,26	3,34583553
VL4	0,65507	8,27	44,802137	VL4	0,65507	8,31	45,2365794
VL5	0,2304	-0,44	0,04460544	VL5	0,2304	-0,06	0,00082944
VL6	0,20278	-0,36	0,026280288	VL6	0,20278	-0,16	0,00519117
VL7	0,20278	2,12	0,911374432	VL7	0,20278	2,06	0,86051721
VL8	0,65507	-8,98	52,82510683	VL8	0,65507	-8,99	52,9428229
somme	4,15637		108,8276419	somme	4,15637		108,991422

- Sens transversal :

niveau	voiles	$I_x(m^4)$	$d_1(m)$	$I_x.(d_1)^2 (m^6)$
1 a 11	VT1	6,2208	-12,44	962,6912
	VT2	6,2208	12,86	1028,793
	VT3	0,21629	-4,99	5,385643
	VT4	0,14358	5,11	3,749175
somme		12,80147	somme	2000,619

- L'inertie polaire des voiles pour chaque niveau :

Niveau	$\Sigma I_x.(d_1)^2$	$\Sigma I_y.(d_2)^2$	$J_\theta (m^6)$
11 à 4	2000,619	103,447	2104,067
3 et 2	2000,619	108,827	2109,447
RDC	2000,619	108,991	2109,610

CHAPITRE 4

ETUDE SOUS CHARGES VERTICALES

4-1 Etude des portiques sous charges verticales :

Le calcul des portiques se fera en appliquant la méthode de CAQUOT.

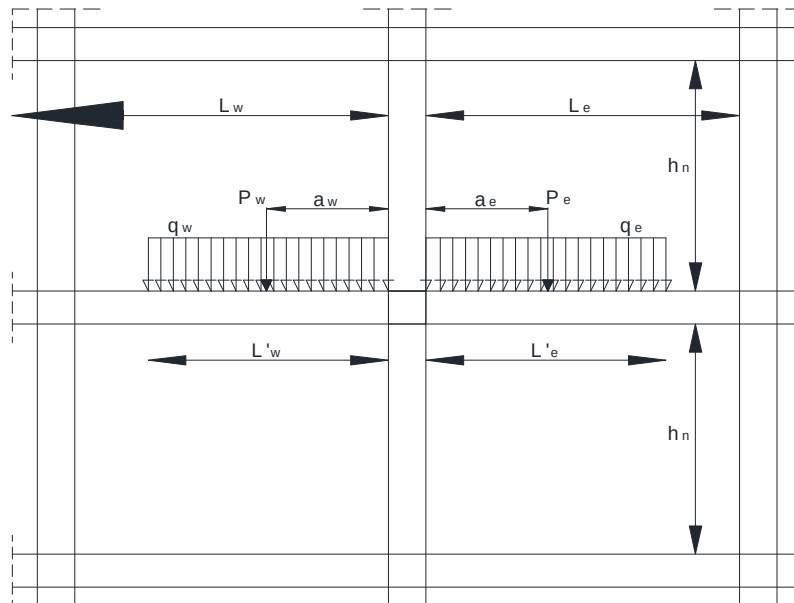
4-1-1 Principe de la méthode :

C'est une méthode approchée pour le calcul des poutres continues, solidaires ou non solidaires des poteaux qui les supportent sous l'action des charges verticales. Elle s'applique essentiellement à des éléments de plancher constitués de nervures et de poutres associées à des hourdis. Elle convient notamment aux éléments de plancher à charge d'exploitation relativement élevée.

Cette méthode consiste à calculer le moment sur appuis d'une poutre continue en considérant uniquement les travées qui encadrent l'appui considéré. Une poutre à plusieurs travées est assimilée pour le calcul des moments sur appui à une succession de poutres à deux travées, quant aux moments en travées ils sont déterminés à partir des moments sur appui en utilisant les méthodes usuelles de la RDM.

4-1-2 Définitions et notations :

Soit A nœud intérieur de la structure et non voisin d'un nœud de rive.



Les paramètres de calcul sont :

h_n : hauteur du poteau situé au dessus du nœud considéré ;

h_s : la hauteur de poteau situé au dessous du nœud considéré ;

L_w : portée de la travée a gauche du nœud considéré ;

L_e : portée de la travée a droite du nœud considéré ;

M_w, M_e, M_s, M_n :moments de continuités agissant dans les sections :

L'_w, L'_e, h'_n, h'_s :longueurs fictives égales a :

$L'_w = 0.8 L_w$: pour les travées intermédiaires

$L'_e = 0.8 L_e$: pour les travées intermédiaires.

$h'_n = 0.9 h_n$: pour les nœuds appartenant à l'avant dernier plancher ;

$h'_n = 0.8 h_n$; pour les autres planchers ;

$h'_s = h_s$: pour les poteaux articulés a la base ;

$h'_s = 0.8 h_s$: pour les autres planchers ;

$L'_{wi} = X_i L_{wi}$: pour les nœuds voisins du nœud de rive ;

$L'_{ei} = X_i L_{ei}$: pour les nœuds voisins du nœud de rive ;

Avec :

$0.8 \leq X_i \leq 1$;(nœud voisin de nœud de rive)

$X_i = 0.8$ pour $(K_{si} + K_{ni})1.5 \geq K_{ei}$

$X_i = 1 - (K_{si} + K_{ni}) / 7.5 K_{ei}$ pour $(K_{si} + K_{ni})1.5 < K_{ei}$

- Les rigidités linéaires :

Soient I_w, I_e, I_n, I_s les moments d'inertie des différents éléments (poteaux-poutres).

Nous posons les rigidités linéaires suivantes :

$K_w = I_w / L'_w$, $K_e = I_e / L'_e$, $K_n = I_n / L'_n$, $K_s = I_s / L'_s$

$D = K_w + K_e + K_n + K_s$

4-1-3 Les moments de références :

$P_{w,e}$: charges concentrées appliquées sur les travées de gauche et de droite du nœud A.

q_{we} : charges uniformément réparties sur les travées de gauche et de droite (par unité de longueur).

- Travées intermédiaires :

$$M'_w = (q_w L'_w{}^2 / 8.5) + L'_w \sum K_w P_w$$

$$M'_e = (q_e L'_e{}^2 / 8.5) + L'_e \sum K_e P_e$$

$$K_{we} = x(x-1)(x-2)/2.125 \quad \text{avec} \quad x = a_{ew}/L'_{ew}$$

$$M_w = M'_e \frac{k_w}{D} + M'_w (1 - \frac{k_w}{D}) \quad , \quad M_e = M'_w \frac{k_e}{D} + M'_e (1 - \frac{k_e}{D})$$

$$M_s = (M'_e - M'_w) \frac{k_s}{D} \quad , \quad M_n = (M'_e - M'_w) \frac{k_n}{D}$$

- Travées de rive avec console :
 - Nœud de rive (nœud 1) :

$$M_{e1} = M'_{e1} (1 - \frac{k_{e1}}{D_1}) + M'_{w1} \frac{k_{w1}}{D_1}$$

$$M_{s,n1} = M_{e1} \frac{k_{s,n1}}{D_1}$$

$$M'_{e1} = (q_e L'_e{}^2 / 8.5) + L'_e \sum K_e p_e$$

$$k_{e1} = I_e / L'_e \quad , \quad k_{n1} = I_n / h'_n \quad , \quad k_{s1} = I_s / h'_s \quad , \quad D_1 = k_{e1} + k_{n1} + k_{s1}$$

avec : $k_{w1} = 0$ (travée de rive avec console)

$$M_{w1} = M'_{w1} \text{ pour une console de moment } M_{w1}$$

- Nœud voisin du nœud de rive (nœud 2) :

$$M_{e2} = M'_{e2} (1 - \frac{k_{e2}}{D_2}) + M''_{w2} \frac{k_{w2}}{D_2} \quad , \quad M_{w2} = M'_{w2} (1 - \frac{k_{w2}}{D_2}) + M''_{e2} \frac{k_{e2}}{D_2}$$

$$M_{s2} = (M'_{e2} - M''_{w2}) \frac{k_{s2}}{D_2} \quad , \quad M_n = (M'_{e2} - M''_{w2}) \frac{k_{n2}}{D_2}$$

$$M''_{w2} = (M'_{w2} - M_{w1} k_{e1}) / (2.125 D_1)$$

$$M'_{e2} = (q_e L'_{e2}{}^2 / 8.5) + L'_{e2} \sum K_e p_e \quad , \quad M'_{w2} = (q_w L'_{w2}{}^2 / 8.5) + L'_{w2} \sum K_w p_w$$

- Travée de rive son console :

Les règles données ci-dessus s'étendent à ce cas en faisant $M_{wl} = 0$.

• **Convention de signe au niveau de nœud considéré :**

- Poutre : les faces tendues se trouvent à la partie supérieure (M_w et $M_e < 0$).
- Poteaux : la face tendue du tronçon supérieur est du côté correspondant à la plus grande des deux valeurs absolues de M'_w et M'_e et la face tendue du tronçon inférieur est du côté opposé.

Remarque : les pointillés représentent les fibres tendues.

4-1-4 Moment en travées :

Ils se déterminent à partir des moments sur appuis en utilisant les méthodes usuelles de la RDM.

$$M_t(x) = q \frac{L}{2} x - q \frac{x^2}{2} + M_w \left(1 - \frac{x}{L}\right) + M_e \frac{x}{L}$$

$$\frac{dM_t(x)}{dx} = 0 \Rightarrow x = \frac{L}{2} + \frac{M_e - M_w}{qL}$$

M_w, M_e seront pris en valeurs absolues.

4-1-5 Efforts tranchants dans les poutres :

Ils sont calculés en utilisant les moments de continuité dans la méthode générale applicable aux poutres continues.

$$T(x) = \frac{dM(x)}{dx} \Rightarrow \begin{cases} T_w = \frac{qL}{2} + \frac{M_e - M_w}{L} \\ T_e = \frac{qL}{2} + \frac{M_e - M_w}{L} \end{cases}$$

M_w, M_e seront pris en valeurs algébriques.

4-1-6 Calcul des efforts normaux dans les poteaux :

Ils sont calculés à partir des efforts tranchants dans les poutres.

$$N = |T_w| + |T_e|$$

Détermination du point d'inflexion dans les poteaux :

(Moment nul dans les poteaux du 1^{er} niveau)

Le point d'inflexion est situé approximativement à 0.6h à partir de la base du poteau.

H ; hauteur d'étage

$$\frac{M_n}{0.6h} = \frac{M_s}{0.4h} \Rightarrow M_n = 1.5M_s$$

4-1-7 Application :

a) Le portique longitudinal (C-C)

Travées (1-2),(2-3),(3-4),(4-5),(5-6),(6-7),(7-8).

Niveau 11 :

▪ Charges permanentes :

Poids propre du planche terrasse : $5.68 \times 0.65 = 3.692$ KN/ml

Poids des poutres secondaires : $0.3 \times 0.35 \times 25 = 2.625$ KN/ml

$G_{11} = 3.692 + 2.625 = 6.32$ KN/ml

▪ Charges d'exploitations :

Plancher terrasse : $Q_{11} = 1 \times 0.65 = 0.65$ KN/ml

Niveau (10-3) :

▪ Charges permanentes :

Poids propre du planche courant : $5.44 \times 0.65 = 3.536$ KN/ml

Poids des poutres secondaires : $0.3 \times 0.35 \times 25 = 2.625$ KN/ml

$G = 3.536 + 2.625 = 6.2$ KN/ml

▪ Charges d'exploitations :

Plancher courant : $Q = 1.5 \times 0.65 = 0.975$ KN/ml

Niveau 2 :

▪ **Charges permanentes :** $G_2 = 6.2$ KN/ml

▪ **Charges d'exploitations :** $Q_2 = 2.5 \times 0.65 = 1.625$ KN/ml

Niveau 1:

▪ **Charges permanentes :** $G_1 = 6.2$ KN/ml

▪ **Charges d'exploitations :** $Q_1 = 4 \times 0.65 = 2.6$ KN/ml

Caractéristiques géométriques du portique longitudinal (C-C) :

Niveau	Nœud	longueurs entre nus (m)				longueur fictives (m)				moments d'inerties (poteaux & poutres) 10^{-4} m^4				Rigidité lineaires (poteaux & poutre) 10^{-4} m^4					X1
		L _w	L _e	h _n	h _s	L' _w	L' _e	h' _n	h' _s	I _w	I _e	I _n	I _s	K _w	K _e	K _n	K _s	D	
11	1	0,00	2,90	0,00	2,71	0,00	2,32	0,00	2,17	0,000	10,719	0,000	6,750	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,80
	2	2,90	3,70	0,00	2,71	2,32	2,96	0,00	2,17	10,719	10,719	0,000	6,750	4,620	3,621	0,000	3,113	11,355	0,80
	3	3,70	3,30	0,00	2,71	2,96	2,64	0,00	2,17	10,719	10,719	0,000	6,750	3,621	4,060	0,000	3,113	10,795	0,80
	4	3,30	2,80	0,00	2,71	2,64	2,24	0,00	2,17	10,719	10,719	0,000	6,750	4,060	4,785	0,000	3,113	11,959	0,80
	5	2,80	3,30	0,00	2,71	2,24	2,64	0,00	2,17	10,719	10,719	0,000	6,750	4,785	4,060	0,000	3,113	11,959	0,80
	6	3,30	3,70	0,00	2,71	2,64	2,96	0,00	2,17	10,719	10,719	0,000	6,750	4,060	3,621	0,000	3,113	10,795	0,80
	7	3,70	2,90	0,00	2,71	2,96	2,32	0,00	2,17	10,719	10,719	0,000	6,750	3,621	4,620	0,000	3,113	11,355	0,80
	8	2,90	0,00	0,00	2,71	2,32	0,00	0,00	2,17	10,719	0,000	0,000	6,750	4,620	0,000	0,000	3,113	7,734	0,80
10,9,8	1	0,00	2,90	2,71	2,71	0,00	2,32	2,44	2,17	0,000	10,719	6,750	6,750	0,000	4,620	2,768	3,113	10,501	0,80
	2	2,90	3,70	2,71	2,71	2,32	2,96	2,44	2,17	10,719	10,719	6,750	6,750	4,620	3,621	2,768	3,113	14,123	0,80
	3	3,70	3,30	2,71	2,71	2,96	2,64	2,44	2,17	10,719	10,719	6,750	6,750	3,621	4,060	2,768	3,113	13,563	0,80
	4	3,30	2,80	2,71	2,71	2,64	2,24	2,44	2,17	10,719	10,719	6,750	6,750	4,060	4,785	2,768	3,113	14,726	0,80
	5	2,80	3,30	2,71	2,71	2,24	2,64	2,44	2,17	10,719	10,719	6,750	6,750	4,785	4,060	2,768	3,113	14,726	0,80
	6	3,30	3,70	2,71	2,71	2,64	2,96	2,44	2,17	10,719	10,719	6,750	6,750	4,060	3,621	2,768	3,113	13,563	0,80
	7	3,70	2,90	2,71	2,71	2,96	2,32	2,44	2,17	10,719	10,719	6,750	6,750	3,621	4,620	2,768	3,113	14,123	0,80
	8	2,90	0,00	2,71	2,71	2,32	0,00	2,44	2,17	10,719	0,000	6,750	6,750	4,620	0,000	2,768	3,113	10,501	0,80

Caractéristiques géométriques du portique longitudinal (C-C)(suite):

Niveau	Nœud	longueurs entre nus (m)				longueur fictives (m)				moments d'inerties (poteaux & poutres) 10-4 m4				Rigidité linéaires (poteaux & poutre) 10-4m4					
		L _w	L _e	h _n	h _s	L' _w	L' _e	h' _n	h' _s	I _w	I _e	I _n	I _s	K _w	K _e	K _n	K _s	D	X1
7	1	0,00	2,85	2,71	2,71	0,00	2,28	2,17	2,17	0,000	10,719	6,750	12,505	0,000	4,701	3,113	5,768	13,583	0,80
	2	2,85	3,65	2,71	2,71	2,28	2,92	2,17	2,17	10,719	10,719	6,750	12,505	4,701	3,671	3,113	5,768	17,254	0,80
	3	3,65	3,25	2,71	2,71	2,92	2,60	2,17	2,17	10,719	10,719	6,750	12,505	3,671	4,123	3,113	5,768	16,675	0,80
	4	3,25	2,75	2,71	2,71	2,60	2,20	2,17	2,17	10,719	10,719	6,750	12,505	4,123	4,872	3,113	5,768	17,876	0,80
	5	2,75	3,25	2,71	2,71	2,20	2,60	2,17	2,17	10,719	10,719	6,750	12,505	4,872	4,123	3,113	5,768	17,876	0,80
	6	3,25	3,65	2,71	2,71	2,60	2,92	2,17	2,17	10,719	10,719	6,750	12,505	4,123	3,671	3,113	5,768	16,675	0,80
	7	3,65	2,85	2,71	2,71	2,92	2,28	2,17	2,17	10,719	10,719	6,750	12,505	3,671	4,701	3,113	5,768	17,254	0,80
	8	2,85	0,00	2,71	2,71	2,28	0,00	2,17	2,17	10,719	0,000	6,750	12,505	4,701	0,000	3,113	5,768	13,583	0,80
6,5,4	1	0,00	2,85	2,71	2,71	0,00	2,28	2,17	2,17	0,000	10,719	12,505	12,505	0,000	4,701	5,768	5,768	16,237	0,80
	2	2,85	3,65	2,71	2,71	2,28	2,92	2,17	2,17	10,719	10,719	12,505	12,505	4,701	3,671	5,768	5,768	19,908	0,80
	3	3,65	3,25	2,71	2,71	2,92	2,60	2,17	2,17	10,719	10,719	12,505	12,505	3,671	4,123	5,768	5,768	19,330	0,80
	4	3,25	2,75	2,71	2,71	2,60	2,20	2,17	2,17	10,719	10,719	12,505	12,505	4,123	4,872	5,768	5,768	20,531	0,80
	5	2,75	3,25	2,71	2,71	2,20	2,60	2,17	2,17	10,719	10,719	12,505	12,505	4,872	4,123	5,768	5,768	20,531	0,80
	6	3,25	3,65	2,71	2,71	2,60	2,92	2,17	2,17	10,719	10,719	12,505	12,505	4,123	3,671	5,768	5,768	19,330	0,80
	7	3,65	2,85	2,71	2,71	2,92	2,28	2,17	2,17	10,719	10,719	12,505	12,505	3,671	4,701	5,768	5,768	19,908	0,80
	8	2,85	0,00	2,71	2,71	2,28	0,00	2,17	2,17	10,719	0,000	12,505	12,505	4,701	0,000	5,768	5,768	16,237	0,80
3	1	0,00	2,80	2,71	2,71	0,00	2,24	2,17	2,17	0,000	10,719	12,505	21,333	0,000	4,785	5,768	9,840	20,393	0,80
	2	2,80	3,60	2,71	2,71	2,24	2,88	2,17	2,17	10,719	10,719	12,505	21,333	4,785	3,722	5,768	9,840	24,115	0,80
	3	3,60	3,20	2,71	2,71	2,88	2,56	2,17	2,17	10,719	10,719	12,505	21,333	3,722	4,187	5,768	9,840	23,517	0,80
	4	3,20	2,70	2,71	2,71	2,56	2,16	2,17	2,17	10,719	10,719	12,505	21,333	4,187	4,963	5,768	9,840	24,758	0,80
	5	2,70	3,20	2,71	2,71	2,16	2,56	2,17	2,17	10,719	10,719	12,505	21,333	4,963	4,187	5,768	9,840	24,758	0,80
	6	3,20	3,60	2,71	2,71	2,56	2,88	2,17	2,17	10,719	10,719	12,505	21,333	4,187	3,722	5,768	9,840	23,517	0,80
	7	3,60	2,80	2,71	2,71	2,88	2,24	2,17	2,17	10,719	10,719	12,505	21,333	3,722	4,785	5,768	9,840	24,115	0,80
	8	2,80	0,00	2,71	2,71	2,24	0,00	2,17	2,17	10,719	0,000	12,505	21,333	4,785	0,000	5,768	9,840	20,393	0,80

Caractéristiques géométriques du portique longitudinal (C-C)(suite):

		longueurs entre nus (m)				longueur fictives (m)				moments d'inerties (poteaux & poutres)10-4 m4				Rigidité lineaires (poteaux &poutre)10-4m4					
Niveau	Nœud	L _w	L _e	h _n	h _s	L' _w	L' _e	h' _n	h' _s	I _w	I _e	I _n	I _s	K _w	K _e	K _n	K _s	D	X1
2	1	0,00	2,80	2,71	2,71	0,00	2,24	2,17	2,17	0,000	10,719	21,333	21,333	0,000	4,785	9,840	9,840	24,465	0,80
	2	2,80	3,60	2,71	2,71	2,24	2,88	2,17	2,17	10,719	10,719	21,333	21,333	4,785	3,722	9,840	9,840	28,187	0,80
	3	3,60	3,20	2,71	2,71	2,88	2,56	2,17	2,17	10,719	10,719	21,333	21,333	3,722	4,187	9,840	9,840	27,589	0,80
	4	3,20	2,70	2,71	2,71	2,56	2,16	2,17	2,17	10,719	10,719	21,333	21,333	4,187	4,963	9,840	9,840	28,829	0,80
	5	2,70	3,20	2,71	2,71	2,16	2,56	2,17	2,17	10,719	10,719	21,333	21,333	4,963	4,187	9,840	9,840	28,829	0,80
	6	3,20	3,60	2,71	2,71	2,56	2,88	2,17	2,17	10,719	10,719	21,333	21,333	4,187	3,722	9,840	9,840	27,589	0,80
	7	3,60	2,80	2,71	2,71	2,88	2,24	2,17	2,17	10,719	10,719	21,333	21,333	3,722	4,785	9,840	9,840	28,187	0,80
	8	2,80	0,00	2,71	2,71	2,24	0,00	2,17	2,17	10,719	0,000	21,333	21,333	4,785	0,000	9,840	9,840	24,465	0,80
1	1	0,00	2,80	2,71	4,07	0,00	2,24	2,17	3,26	0,000	10,719	21,333	21,333	0,000	4,785	9,840	6,552	21,177	0,80
	2	2,80	3,60	2,71	4,07	2,24	2,88	2,17	3,26	10,719	10,719	21,333	21,333	4,785	3,722	9,840	6,552	24,899	0,80
	3	3,60	3,20	2,71	4,07	2,88	2,56	2,17	3,26	10,719	10,719	21,333	21,333	3,722	4,187	9,840	6,552	24,301	0,80
	4	3,20	2,70	2,71	4,07	2,56	2,16	2,17	3,26	10,719	10,719	21,333	21,333	4,187	4,963	9,840	6,552	25,541	0,80
	5	2,70	3,20	2,71	4,07	2,16	2,56	2,17	3,26	10,719	10,719	21,333	21,333	4,963	4,187	9,840	6,552	25,541	0,80
	6	3,20	3,60	2,71	4,07	2,56	2,88	2,17	3,26	10,719	10,719	21,333	21,333	4,187	3,722	9,840	6,552	24,301	0,80
	7	3,60	2,80	2,71	4,07	2,88	2,24	2,17	3,26	10,719	10,719	21,333	21,333	3,722	4,785	9,840	6,552	24,899	0,80
	8	2,80	0,00	2,71	4,07	2,24	0,00	2,17	3,26	10,719	0,000	21,333	21,333	4,785	0,000	9,840	6,552	21,177	0,80

Moments fictifs et moment réels au niveau des nœuds du portique longitudinal :

		sous G								sous Q							
		kN/ml		kN.ml						kN/ml		kN.ml					
niveau	nœud	Gw	Ge	M'w	M'e	Mw	Me	Mn	Ms	Qw	Qe	M'w	M'e	Mw	Me	Mn	Ms
11	1	0,00	6,32	0,000	4,002	0,000	1,611	0,000	1,611	0,000	0,650	0,000	0,412	0,000	0,166	0,000	0,166
	2	6,32	6,32	4,002	6,515	5,376	5,713	0,000	0,689	0,650	0,650	0,412	0,670	0,553	0,588	0,000	0,071
	3	6,32	6,32	6,515	5,182	5,803	5,683	0,000	-0,384	0,650	0,650	0,670	0,533	0,597	0,585	0,000	-0,040
	4	6,32	6,32	5,182	3,731	4,375	4,311	0,000	-0,378	0,650	0,650	0,533	0,384	0,450	0,443	0,000	-0,039
	5	6,32	6,32	3,731	5,182	4,538	4,689	0,000	0,378	0,650	0,650	0,384	0,533	0,467	0,482	0,000	0,039
	6	6,32	6,32	5,182	6,515	5,894	6,068	0,000	0,384	0,650	0,650	0,533	0,670	0,606	0,624	0,000	0,040
	7	6,32	6,32	6,515	4,002	5,140	5,024	0,000	-0,689	0,650	0,650	0,670	0,412	0,529	0,517	0,000	-0,071
	8	6,32	0,00	4,002	0,000	4,002	0,000	0,000	-1,611	0,650	0,000	0,412	0,000	0,412	0,000	0,000	-0,166
10,9,8	1	0,00	6,20	0,000	3,926	0,000	2,199	1,035	1,164	0,000	0,975	0,000	0,617	0,000	0,346	0,163	0,183
	2	6,20	6,20	3,926	6,391	5,010	5,759	0,483	0,543	0,975	0,975	0,617	1,005	0,788	0,906	0,076	0,085
	3	6,20	6,20	6,391	5,084	5,835	5,475	-0,267	-0,300	0,975	0,975	1,005	0,799	0,918	0,861	-0,042	-0,047
	4	6,20	6,20	5,084	3,660	4,441	4,123	-0,268	-0,301	0,975	0,975	0,799	0,576	0,698	0,648	-0,042	-0,047
	5	6,20	6,20	3,660	5,084	4,303	4,691	0,268	0,301	0,975	0,975	0,576	0,799	0,677	0,738	0,042	0,047
	6	6,20	6,20	5,084	6,391	5,640	6,042	0,267	0,300	0,975	0,975	0,799	1,005	0,887	0,950	0,042	0,047
	7	6,20	6,20	6,391	3,926	5,307	4,732	-0,483	-0,543	0,975	0,975	1,005	0,617	0,835	0,744	-0,076	-0,085
	8	6,20	0,00	3,926	0,000	3,926	0,000	-1,035	-1,164	0,975	0,000	0,617	0,000	0,617	0,000	-0,163	-0,183

Moments fictifs et moment réels au niveau des nœuds du portique longitudinal :

niveau	nœud	sous G								sous Q							
		kN/ml		kN.ml						kN/ml		kN.ml					
		Gw	Ge	M'w	M'e	Mw	Me	Mn	Ms	Qw	Qe	M'w	M'e	Mw	Me	Mn	Ms
7	1	0,00	6,20	0,000	3,792	0,000	2,479	0,869	1,610	0,000	0,975	0,000	0,596	0,000	0,390	0,137	0,253
	2	6,20	6,20	3,792	6,219	4,680	5,703	0,438	0,812	0,975	0,975	0,596	0,978	0,736	0,897	0,069	0,128
	3	6,20	6,20	6,219	4,931	5,767	5,249	-0,241	-0,446	0,975	0,975	0,978	0,775	0,907	0,826	-0,038	-0,070
	4	6,20	6,20	4,931	3,530	4,401	3,912	-0,244	-0,452	0,975	0,975	0,775	0,555	0,692	0,615	-0,038	-0,071
	5	6,20	6,20	3,530	4,931	4,060	4,608	0,244	0,452	0,975	0,975	0,555	0,775	0,638	0,725	0,038	0,071
	6	6,20	6,20	4,931	6,219	5,383	5,936	0,241	0,446	0,975	0,975	0,775	0,978	0,847	0,933	0,038	0,070
	7	6,20	6,20	6,219	3,792	5,331	4,453	-0,438	-0,812	0,975	0,975	0,978	0,596	0,838	0,700	-0,069	-0,128
	8	6,20	0,00	3,792	0,000	3,792	0,000	-0,869	-1,610	0,975	0,000	0,596	0,000	0,596	0,000	-0,137	-0,253
6,5,4	1	0,00	6,20	0,000	3,792	0,000	2,694	1,347	1,347	0,000	0,975	0,000	0,596	0,000	0,424	0,212	0,212
	2	6,20	6,20	3,792	6,219	4,561	5,772	0,703	0,703	0,975	0,975	0,596	0,978	0,717	0,908	0,111	0,111
	3	6,20	6,20	6,219	4,931	5,829	5,206	-0,384	-0,384	0,975	0,975	0,978	0,775	0,917	0,819	-0,060	-0,060
	4	6,20	6,20	4,931	3,530	4,470	3,863	-0,393	-0,393	0,975	0,975	0,775	0,555	0,703	0,607	-0,062	-0,062
	5	6,20	6,20	3,530	4,931	3,992	4,650	0,393	0,393	0,975	0,975	0,555	0,775	0,628	0,731	0,062	0,062
	6	6,20	6,20	4,931	6,219	5,321	5,975	0,384	0,384	0,975	0,975	0,775	0,978	0,837	0,940	0,060	0,060
	7	6,20	6,20	6,219	3,792	5,450	4,365	-0,703	-0,703	0,975	0,975	0,978	0,596	0,857	0,686	-0,111	-0,111
	8	6,20	0,00	3,792	0,000	3,792	0,000	-1,347	-1,347	0,975	0,000	0,596	0,000	0,596	0,000	-0,212	-0,212
3	1	0,00	6,20	0,000	3,660	0,000	2,801	1,035	1,766	0,000	0,975	0,000	0,576	0,000	0,440	0,163	0,278
	2	6,20	6,20	3,660	6,050	4,296	5,681	0,572	0,975	0,975	0,975	0,576	0,951	0,676	0,893	0,090	0,153
	3	6,20	6,20	6,050	4,780	5,729	5,006	-0,311	-0,531	0,975	0,975	0,951	0,752	0,901	0,787	-0,049	-0,084
	4	6,20	6,20	4,780	3,403	4,398	3,679	-0,321	-0,547	0,975	0,975	0,752	0,535	0,692	0,579	-0,050	-0,086
	5	6,20	6,20	3,403	4,780	3,786	4,547	0,321	0,547	0,975	0,975	0,535	0,752	0,595	0,715	0,050	0,086
	6	6,20	6,20	4,780	6,050	5,101	5,849	0,311	0,531	0,975	0,975	0,752	0,951	0,802	0,920	0,049	0,084
	7	6,20	6,20	6,050	3,660	5,414	4,134	-0,572	-0,975	0,975	0,975	0,951	0,576	0,851	0,650	-0,090	-0,153
	8	6,20	0,00	3,660	0,000	3,660	0,000	-1,035	-1,766	0,975	0,000	0,576	0,000	0,576	0,000	-0,163	-0,278

Moments fictifs et moment réels au niveau des nœuds du portique longitudinal :

niveau	nœud	sous G								sous Q							
		kN/ml		kN.ml						kN/ml		kN.ml					
		Gw	Ge	M'w	M'e	Mw	Me	Mn	Ms	Qw	Qe	M'w	M'e	Mw	Me	Mn	Ms
2	1	0,00	6,20	0,000	3,660	0,000	2,944	1,472	1,472	0,000	0,975	0,000	0,576	0,000	0,463	0,231	0,231
	2	6,20	6,20	3,660	6,050	4,204	5,734	0,834	0,834	0,975	0,975	0,576	0,951	0,661	0,902	0,131	0,131
	3	6,20	6,20	6,050	4,780	5,777	4,973	-0,453	-0,453	0,975	0,975	0,951	0,752	0,908	0,782	-0,071	-0,071
	4	6,20	6,20	4,780	3,403	4,452	3,640	-0,470	-0,470	0,975	0,975	0,752	0,535	0,700	0,572	-0,074	-0,074
	5	6,20	6,20	3,403	4,780	3,732	4,580	0,470	0,470	0,975	0,975	0,535	0,752	0,587	0,720	0,074	0,074
	6	6,20	6,20	4,780	6,050	5,054	5,879	0,453	0,453	0,975	0,975	0,752	0,951	0,795	0,924	0,071	0,071
	7	6,20	6,20	6,050	3,660	5,506	4,066	-0,834	-0,834	0,975	0,975	0,951	0,576	0,866	0,639	-0,131	-0,131
	8	6,20	0,00	3,660	0,000	3,660	0,000	-1,472	-1,472	0,975	0,000	0,576	0,000	0,576	0,000	-0,231	-0,231
1	1	0,00	6,20	0,000	3,660	0,000	2,833	1,701	1,132	0,000	0,975	0,000	0,576	0,000	0,445	0,267	0,178
	2	6,20	6,20	3,660	6,050	4,276	5,693	0,945	0,629	0,975	0,975	0,576	0,951	0,672	0,895	0,149	0,099
	3	6,20	6,20	6,050	4,780	5,740	4,999	-0,514	-0,342	0,975	0,975	0,951	0,752	0,903	0,786	-0,081	-0,054
	4	6,20	6,20	4,780	3,403	4,409	3,671	-0,531	-0,353	0,975	0,975	0,752	0,535	0,693	0,577	-0,083	-0,056
	5	6,20	6,20	3,403	4,780	3,774	4,555	0,531	0,353	0,975	0,975	0,535	0,752	0,593	0,716	0,083	0,056
	6	6,20	6,20	4,780	6,050	5,091	5,856	0,514	0,342	0,975	0,975	0,752	0,951	0,801	0,921	0,081	0,054
	7	6,20	6,20	6,050	3,660	5,434	4,119	-0,945	-0,629	0,975	0,975	0,951	0,576	0,855	0,648	-0,149	-0,099
	8	6,20	0,00	3,660	0,000	3,660	0,000	-1,701	-1,132	0,975	0,000	0,576	0,000	0,576	0,000	-0,267	-0,178

Moment et travée et effort tranchant du portique longitudinal sous G :

moment en travée et l'effort tranchant du portique longitudinal sous G										
Niveau	Travée	L	G	Mw	Me	X	m(x)	Mt	Tw	Te
11	(1-2)	2,9	6,32	1,611	5,024	1,636	6,644	10,071	10,341	-7,987
	(2-3)	3,7	6,32	5,713	6,068	1,865	10,815	16,706	11,788	-11,596
	(3-4)	3,3	6,32	5,683	4,689	1,602	8,603	13,797	10,127	-10,729
	(4-5)	2,8	6,32	4,311	4,311	1,400	6,194	10,505	8,848	-8,848
	(5-6)	3,3	6,32	4,689	5,683	1,698	8,603	13,797	10,729	-10,127
	(6-7)	3,7	6,32	6,068	5,713	1,835	10,815	16,706	11,596	-11,788
	(7-8)	2,9	6,32	5,024	1,611	1,264	6,644	10,071	7,987	-10,341
10,9,8	(1-2)	2,9	6,2	2,199	4,732	1,591	6,518	10,045	9,864	-8,116
	(2-3)	3,7	6,2	5,759	6,042	1,862	10,610	16,511	11,546	-11,394
	(3-4)	3,3	6,2	5,475	4,691	1,612	8,440	13,527	9,992	-10,468
	(4-5)	2,8	6,2	4,123	4,123	1,400	6,076	10,199	8,680	-8,680
	(5-6)	3,3	6,2	4,691	5,475	1,688	8,440	13,527	10,468	-9,992
	(6-7)	3,7	6,2	6,042	5,759	1,838	10,610	16,511	11,394	-11,546
	(7-8)	2,9	6,2	4,732	2,199	1,309	6,518	10,045	8,116	-9,864
7	(1-2)	2,85	6,2	2,479	4,453	1,537	6,295	9,800	9,528	-8,142
	(2-3)	3,65	6,2	5,703	5,936	1,835	10,325	16,144	11,379	-11,251
	(3-4)	3,25	6,2	5,249	4,608	1,593	8,186	13,118	9,878	-10,272
	(4-5)	2,75	6,2	3,912	3,912	1,375	5,861	9,773	8,525	-8,525
	(5-6)	3,25	6,2	4,608	5,249	1,657	8,186	13,118	10,272	-9,878
	(6-7)	3,65	6,2	5,936	5,703	1,815	10,325	16,144	11,251	-11,379
	(7-8)	2,85	6,2	4,453	2,479	1,313	6,295	9,800	8,142	-9,528
6,5,4	(1-2)	2,85	6,2	2,694	4,365	1,520	6,295	9,852	9,421	-8,249
	(2-3)	3,65	6,2	5,772	5,975	1,834	10,325	16,198	11,371	-11,259
	(3-4)	3,25	6,2	5,206	4,650	1,597	8,186	13,116	9,904	-10,246
	(4-5)	2,75	6,2	3,863	3,863	1,375	5,861	9,724	8,525	-8,525
	(5-6)	3,25	6,2	4,650	5,206	1,653	8,186	13,116	10,246	-9,904
	(6-7)	3,65	6,2	5,975	5,772	1,816	10,325	16,198	11,259	-11,371
	(7-8)	2,85	6,2	4,365	2,694	1,330	6,295	9,852	8,249	-9,421

Moment et travée et effort tranchant du portique longitudinal sous G :

moment en travée et l'effort tranchant du portique longitudinal sous G										
Niveau	Travée	L	G	Mw	Me	X	m(x)	Mt	Tw	Te
3	(1-2)	2,8	6,2	2,801	4,134	1,477	6,076	9,562	9,156	-8,204
	(2-3)	3,6	6,2	5,681	5,849	1,808	10,044	15,809	11,207	-11,113
	(3-4)	3,2	6,2	5,006	4,547	1,577	7,936	12,715	9,777	-10,063
	(4-5)	2,7	6,2	3,679	3,679	1,350	5,650	9,329	8,370	-8,370
	(5-6)	3,2	6,2	4,547	5,006	1,623	7,936	12,715	10,063	-9,777
	(6-7)	3,6	6,2	5,849	5,681	1,792	10,044	15,809	11,113	-11,207
	(7-8)	2,8	6,2	4,134	2,801	1,323	6,076	9,562	8,204	-9,156
2	(1-2)	2,8	6,2	2,944	4,066	1,465	6,076	9,594	9,081	-8,279
	(2-3)	3,6	6,2	5,734	5,879	1,806	10,044	15,851	11,200	-11,120
	(3-4)	3,2	6,2	4,973	4,580	1,580	7,936	12,714	9,797	-10,043
	(4-5)	2,7	6,2	3,640	3,640	1,350	5,650	9,290	8,370	-8,370
	(5-6)	3,2	6,2	4,580	4,973	1,620	7,936	12,714	10,043	-9,797
	(6-7)	3,6	6,2	5,879	5,734	1,794	10,044	15,851	11,120	-11,200
	(7-8)	2,8	6,2	4,066	2,944	1,335	6,076	9,594	8,279	-9,081
1	(1-2)	2,8	6,2	2,833	4,119	1,474	6,076	9,569	9,139	-8,221
	(2-3)	3,6	6,2	5,693	5,856	1,807	10,044	15,818	11,205	-11,115
	(3-4)	3,2	6,2	4,999	4,555	1,578	7,936	12,714	9,781	-10,059
	(4-5)	2,7	6,2	3,671	3,671	1,350	5,650	9,320	8,370	-8,370
	(5-6)	3,2	6,2	4,555	4,999	1,622	7,936	12,714	10,059	-9,781
	(6-7)	3,6	6,2	5,856	5,693	1,793	10,044	15,818	11,115	-11,205
	(7-8)	2,8	6,2	4,119	2,833	1,326	6,076	9,569	8,221	-9,139

Moment et travée et effort tranchant du portique longitudinal sous Q:

moment en travée et l'effort tranchant du portique longitudinal sous Q										
Niveau	Travée	L	Q	Mw	Me	X	m(x)	Mt	Tw	Te
11	(1-2)	2,9	0,65	0,166	0,517	1,636	0,683	1,036	1,064	-0,821
	(2-3)	3,7	0,65	0,588	0,624	1,865	1,112	1,718	1,212	-1,193
	(3-4)	3,3	0,65	0,585	0,482	1,602	0,885	1,419	1,042	-1,103
	(4-5)	2,8	0,65	0,443	0,443	1,400	0,637	1,080	0,910	-0,910
	(5-6)	3,3	0,65	0,482	0,585	1,698	0,885	1,419	1,103	-1,042
	(6-7)	3,7	0,65	0,624	0,588	1,835	1,112	1,718	1,193	-1,212
	(7-8)	2,9	0,65	0,517	0,166	1,264	0,683	1,036	0,821	-1,064
10,9,8	(1-2)	2,9	0,975	0,346	0,744	1,591	1,025	1,580	1,551	-1,276
	(2-3)	3,7	0,975	0,906	0,950	1,862	1,668	2,596	1,816	-1,792
	(3-4)	3,3	0,975	0,861	0,738	1,612	1,327	2,127	1,571	-1,646
	(4-5)	2,8	0,975	0,648	0,648	1,400	0,956	1,604	1,365	-1,365
	(5-6)	3,3	0,975	0,738	0,861	1,688	1,327	2,127	1,646	-1,571
	(6-7)	3,7	0,975	0,950	0,906	1,838	1,668	2,596	1,792	-1,816
	(7-8)	2,9	0,975	0,744	0,346	1,309	1,025	1,580	1,276	-1,551
7	(1-2)	2,85	0,975	0,390	0,700	1,537	0,990	1,541	1,498	-1,280
	(2-3)	3,65	0,975	0,897	0,933	1,835	1,624	2,539	1,789	-1,769
	(3-4)	3,25	0,975	0,826	0,725	1,593	1,287	2,063	1,553	-1,615
	(4-5)	2,75	0,975	0,615	0,615	1,375	0,922	1,537	1,341	-1,341
	(5-6)	3,25	0,975	0,725	0,826	1,657	1,287	2,063	1,615	-1,553
	(6-7)	3,65	0,975	0,933	0,897	1,815	1,624	2,539	1,769	-1,789
	(7-8)	2,85	0,975	0,700	0,390	1,313	0,990	1,541	1,280	-1,498
6,5,4	(1-2)	2,85	0,975	0,424	0,686	1,520	0,990	1,549	1,482	-1,297
	(2-3)	3,65	0,975	0,908	0,940	1,834	1,624	2,547	1,788	-1,771
	(3-4)	3,25	0,975	0,819	0,731	1,597	1,287	2,063	1,557	-1,611
	(4-5)	2,75	0,975	0,607	0,607	1,375	0,922	1,529	1,341	-1,341
	(5-6)	3,25	0,975	0,731	0,819	1,653	1,287	2,063	1,611	-1,557
	(6-7)	3,65	0,975	0,940	0,908	1,816	1,624	2,547	1,771	-1,788
	(7-8)	2,85	0,975	0,686	0,424	1,330	0,990	1,549	1,297	-1,482

Moment et travée et effort tranchant du portique longitudinal sous Q :

moment en travée et l'effort tranchant du portique longitudinal sous Q										
Niveau	Travée	L	Q	Mw	Me	X	m(x)	Mt	Tw	Te
3	(1-2)	2,8	0,975	0,440	0,650	1,477	0,956	1,504	1,440	-1,290
	(2-3)	3,6	0,975	0,893	0,920	1,808	1,580	2,486	1,762	-1,748
	(3-4)	3,2	0,975	0,787	0,715	1,577	1,248	1,999	1,537	-1,583
	(4-5)	2,7	0,975	0,579	0,579	1,350	0,888	1,467	1,316	-1,316
	(5-6)	3,2	0,975	0,715	0,787	1,623	1,248	1,999	1,583	-1,537
	(6-7)	3,6	0,975	0,920	0,893	1,792	1,580	2,486	1,748	-1,762
	(7-8)	2,8	0,975	0,650	0,440	1,323	0,956	1,504	1,290	-1,440
2	(1-2)	2,8	1,625	0,772	1,066	1,465	1,593	2,515	2,380	-2,170
	(2-3)	3,6	1,625	1,503	1,541	1,806	2,633	4,154	2,936	-2,914
	(3-4)	3,2	1,625	1,303	1,200	1,580	2,080	3,332	2,568	-2,632
	(4-5)	2,7	1,625	0,954	0,954	1,350	1,481	2,435	2,194	-2,194
	(5-6)	3,2	1,625	1,200	1,303	1,620	2,080	3,332	2,632	-2,568
	(6-7)	3,6	1,625	1,541	1,503	1,794	2,633	4,154	2,914	-2,936
	(7-8)	2,8	1,625	1,066	0,772	1,335	1,593	2,515	2,170	-2,380
1	(1-2)	2,8	2,6	1,188	1,727	1,474	2,548	4,013	3,833	-3,447
	(2-3)	3,6	2,6	2,387	2,456	1,807	4,212	6,633	4,699	-4,661
	(3-4)	3,2	2,6	2,096	1,910	1,578	3,328	5,332	4,102	-4,218
	(4-5)	2,7	2,6	1,539	1,539	1,350	2,369	3,909	3,510	-3,510
	(5-6)	3,2	2,6	1,910	2,096	1,622	3,328	5,332	4,218	-4,102
	(6-7)	3,6	2,6	2,456	2,387	1,793	4,212	6,633	4,661	-4,699
	(7-8)	2,8	2,6	1,727	1,188	1,326	2,548	4,013	3,447	-3,833

Effort normaux dans le portique longitudinal :

niveau	fin du poteau	poids des poteaux	Effort normaux sous G				Effort normaux sous Q			
			Tw (kN)	Te (kN)	N (kN)	Nc (kN)	Tw (kN)	Te (kN)	N (kN)	Nc (kN)
11	1	0,000	0,000	10,341	10,341	10,341	0,000	1,064	1,064	1,064
	2	0,000	-7,987	11,788	19,775	19,775	-0,821	1,212	2,034	2,034
	3	0,000	-11,596	10,127	21,723	21,723	-1,193	1,042	2,234	2,234
	4	0,000	-10,729	8,848	19,577	19,577	-1,103	0,910	2,013	2,013
	5	0,000	-8,848	10,729	19,577	19,577	-0,910	1,103	2,013	2,013
	6	0,000	-10,127	11,596	21,723	21,723	-1,042	1,193	2,234	2,234
	7	0,000	-11,788	7,987	19,775	19,775	-1,212	0,821	2,034	2,034
	8	0,000	-10,341	0,000	10,341	10,341	-1,064	0,000	1,064	1,064
10	1	6,885	0,000	9,864	16,749	27,090	0,000	1,551	8,436	9,500
	2	6,885	-8,116	11,546	26,548	46,323	-1,276	1,816	9,977	12,011
	3	6,885	-11,394	9,992	28,271	49,994	-1,792	1,571	10,248	12,482
	4	6,885	-10,468	8,680	26,033	45,610	-1,646	1,365	9,896	11,910
	5	6,885	-8,680	10,468	26,033	45,610	-1,365	1,646	9,896	11,910
	6	6,885	-9,992	11,394	28,271	49,994	-1,571	1,792	10,248	12,482
	7	6,885	-11,546	8,116	26,548	46,323	-1,816	1,276	9,977	12,011
	8	6,885	-9,864	0,000	16,749	27,090	-1,551	0,000	8,436	9,500
9	1	6,885	0,000	11,379	18,264	45,353	0,000	1,789	8,674	18,174
	2	6,885	-11,251	9,878	28,014	74,336	-1,769	1,553	10,208	22,219
	3	6,885	-10,272	8,525	25,682	75,676	-1,615	1,341	9,841	22,323
	4	6,885	-8,525	10,272	25,682	71,292	-1,341	1,615	9,841	21,751
	5	6,885	-9,878	11,251	28,014	73,624	-1,553	1,769	10,208	22,117
	6	6,885	-11,379	8,142	26,406	76,400	-1,789	1,280	9,955	22,437
	7	6,885	-9,528	9,421	25,834	72,157	-1,498	1,482	9,865	21,876
	8	6,885	-8,249	0,000	15,134	42,223	-1,297	0,000	8,182	17,682
8	1	6,885	0,000	9,904	16,789	62,142	0,000	1,557	8,442	26,617
	2	6,885	-10,246	8,525	25,656	99,993	-1,611	1,341	9,837	32,056
	3	6,885	-8,525	10,246	25,656	101,333	-1,341	1,611	9,837	32,160
	4	6,885	-9,904	11,259	28,048	99,340	-1,557	1,771	10,213	31,964
	5	6,885	-11,371	8,249	26,504	100,128	-1,788	1,297	9,970	32,088
	6	6,885	-9,421	9,156	25,462	101,863	-1,482	1,440	9,806	32,244
	7	6,885	-8,204	11,207	26,296	98,452	-1,290	1,762	9,937	31,813
	8	6,885	-11,113	0,000	17,998	60,222	-1,748	0,000	8,633	26,315

Effort normaux dans le portique longitudinal :

niveau	fin du poteau	poids des poteaux	Effort normaux sous G				Effort normaux sous Q			
			Tw (kN)	Te (kN)	N (kN)	Nc (kN)	Tw (kN)	Te (kN)	N (kN)	Nc (kN)
7	1	6,885	0,000	9,528	16,413	78,555	0,000	1,498	8,383	35,000
	2	6,885	-8,142	11,379	26,406	126,399	-1,280	1,789	9,955	42,010
	3	6,885	-11,251	9,878	28,014	129,346	-1,769	1,553	10,208	42,368
	4	6,885	-10,272	8,525	25,682	125,023	-1,615	1,341	9,841	41,805
	5	6,885	-8,525	10,272	25,682	125,810	-1,341	1,615	9,841	41,929
	6	6,885	-9,878	11,251	28,014	129,877	-1,553	1,769	10,208	42,451
	7	6,885	-11,379	8,142	26,406	124,858	-1,789	1,280	9,955	41,768
	8	6,885	-9,528	0,000	16,413	76,634	-1,498	0,000	8,383	34,698
6	1	9,371	0,000	9,421	18,793	97,348	0,000	1,482	10,853	45,853
	2	9,371	-8,249	11,371	28,990	155,389	-1,297	1,788	12,457	54,467
	3	9,371	-11,259	9,904	30,535	159,881	-1,771	1,557	12,699	55,067
	4	9,371	-10,246	8,525	28,142	153,165	-1,611	1,341	12,323	54,128
	5	9,371	-8,525	10,246	28,142	153,953	-1,341	1,611	12,323	54,252
	6	9,371	-9,904	11,259	30,535	160,411	-1,557	1,771	12,699	55,151
	7	9,371	-11,371	8,249	28,990	153,849	-1,788	1,297	12,457	54,225
	8	9,371	-9,421	0,000	18,793	95,427	-1,482	0,000	10,853	45,551
5	1	9,371	0,000	11,207	20,578	117,925	0,000	1,762	11,134	56,986
	2	9,371	-11,113	9,777	30,261	185,650	-1,748	1,537	12,656	67,123
	3	9,371	-10,063	8,370	27,805	187,686	-1,583	1,316	12,270	67,337
	4	9,371	-8,370	10,063	27,805	180,970	-1,316	1,583	12,270	66,398
	5	9,371	-9,777	11,113	30,261	184,214	-1,537	1,748	12,656	66,908
	6	9,371	-11,207	8,204	28,782	189,193	-1,762	1,290	12,424	67,574
	7	9,371	-9,156	9,081	27,608	181,457	-1,440	2,380	13,191	67,416
	8	9,371	-8,279	0,000	17,651	113,078	-2,170	0,000	11,541	57,092
4	1	9,371	0,000	9,797	19,169	137,094	0,000	2,568	11,939	68,925
	2	9,371	-10,043	8,370	27,784	213,434	-2,632	2,194	14,197	81,320
	3	9,371	-8,370	10,043	27,784	215,470	-2,194	2,632	14,197	81,534
	4	9,371	-9,797	11,120	30,288	211,258	-2,568	2,914	14,854	81,252
	5	9,371	-11,200	8,279	28,851	213,064	-2,936	2,170	14,477	81,385
	6	9,371	-9,081	9,139	27,591	216,784	-2,380	3,833	15,584	83,158
	7	9,371	-8,221	11,205	28,797	210,254	-3,447	4,699	17,518	84,933
	8	9,371	-11,115	0,000	20,486	133,564	-4,661	0,000	14,032	71,124

Effort normaux dans le portique longitudinal :

niveau	fin du poteau	poids des poteaux	Effort normaux sous G				Effort normaux sous Q			
			Tw (kN)	Te (kN)	N (kN)	Nc (kN)	Tw (kN)	Te (kN)	N (kN)	Nc (kN)
3	1	9,371	0,000	9,156	18,527	155,621	0,000	1,440	10,811	79,736
	2	9,371	-8,204	11,207	28,782	242,216	-1,290	1,762	12,424	93,744
	3	9,371	-11,113	9,777	30,261	245,731	-1,748	1,537	12,656	94,191
	4	9,371	-10,063	8,370	27,805	239,063	-1,583	1,316	12,270	93,522
	5	9,371	-8,370	10,063	27,805	240,869	-1,316	1,583	12,270	93,655
	6	9,371	-9,777	11,113	30,261	247,045	-1,537	1,748	12,656	95,815
	7	9,371	-11,207	8,204	28,782	239,036	-1,762	1,290	12,424	97,357
	8	9,371	-9,156	0,000	18,527	152,091	-1,440	0,000	10,811	81,935
2	1	12,240	0,000	9,081	21,321	176,942	0,000	2,380	14,620	94,356
	2	12,240	-8,279	11,200	31,720	273,936	-2,170	2,936	17,346	111,090
	3	12,240	-11,120	9,797	33,157	278,888	-2,914	2,568	17,722	111,913
	4	12,240	-10,043	8,370	30,653	269,716	-2,632	2,194	17,066	110,588
	5	12,240	-8,370	10,043	30,653	271,522	-2,194	2,632	17,066	110,721
	6	12,240	-9,797	11,120	33,157	280,202	-2,568	2,914	17,722	113,537
	7	12,240	-11,200	8,279	31,720	270,755	-2,936	2,170	17,346	114,703
	8	12,240	-9,081	0,000	21,321	173,411	-2,380	0,000	14,620	96,555
1	1	12,240	0,000	9,139	21,379	198,321	0,000	3,833	16,073	110,429
	2	12,240	-8,221	11,205	31,666	305,601	-3,447	4,699	20,386	131,476
	3	12,240	-11,115	9,781	33,136	312,024	-4,661	4,102	21,003	132,916
	4	12,240	-10,059	8,370	30,669	300,385	-4,218	3,510	19,968	130,556
	5	12,240	-8,370	10,059	30,669	302,191	-3,510	4,218	19,968	130,689
	6	12,240	-9,781	11,115	33,136	313,338	-4,102	4,661	21,003	134,540
	7	12,240	-11,205	8,221	31,666	302,421	-4,699	3,447	20,386	135,089
	8	12,240	-9,139	0,000	21,379	194,791	-3,833	0,000	16,073	112,628

b) Le portique transversal :

Travées : (A-B), (B-C), (C-D), (D-E), (E-F)

Niveaux 11 :

▪ **Charges permanentes :**

Poids propre du plancher terrasse $5,68 \times 3,8 = 21,58 \text{ KN/ml}$

Poids des poutres principales $0,3 \times 0,4 \times 25 = 3 \text{ KN/ml}$

$G_{11} = 21,58 + 3 = 24,58 \text{ KN/ml}$

▪ **Charges d'exploitations :**

Plancher terrasse $Q_{11} = 1 \times 3,8 = 3,8 \text{ KN/ml}$

Niveaux (du 10^{ème} au 3^{ème}) :

▪ **Charges permanentes :**

Poids propre du plancher courant $5,44 \times 3,8 = 20,67 \text{ KN/ml}$

Poids des poutres principales $0,3 \times 0,4 \times 25 = 3 \text{ KN/ml}$

$G = 20,67 + 3 = 23,67 \text{ KN/ml}$

▪ **Charges d'exploitations :**

Plancher courant $Q = 1,5 \times 3,8 = 5,7 \text{ KN/ml}$

Niveaux 2 :

▪ **Charges permanentes :** $G_2 = 23,67 \text{ KN/ml}$

▪ **Charges d'exploitations :** $Q_2 = 2,5 \times 3,8 = 9,5 \text{ KN/ml}$

Niveaux 1 :

▪ **Charges permanentes :** $G_1 = 23,67 \text{ KN/ml}$

▪ **Charges d'exploitations :** $Q_1 = 4 \times 3,8 = 15,2 \text{ KN/ml}$

Caractéristiques du portique transversal (6-6)																			
Niv	Nœud	Longueurs entre				Longueurs				Moments d'inerties (poteaux				Rigidités linéaires (poteaux					
		nus (m)				fictives (m)				& poutres) 10 ⁻⁴ m ⁴				&poutres) 10 ⁻⁴ m ⁴					
		Lw	Le	hn	hs	L'w	L'e	h'n	h's	Iw	Ie	In	Is	Kw	Ke	Kn	Ks	D	X1
11	A	0,00	3,95	0,00	2,71	0,00	3,16	0,00	2,168	0,000	10,719	0,00	6,75	0,000	3,392	0,000	3,113	6,506	0,8
	B	3,95	2,50	0,00	2,71	3,16	2,00	0,00	2,168	10,719	10,719	0,00	6,75	3,392	5,360	0,000	3,113	11,865	0,8
	C	2,50	3,70	0,00	2,71	2,00	2,96	0,00	2,168	10,719	10,719	0,00	6,75	5,360	3,621	0,000	3,113	12,094	0,8
	D	3,70	2,50	0,00	2,71	2,96	2,00	0,00	2,168	10,719	10,719	0,00	6,75	3,621	5,360	0,000	3,113	12,094	0,8
	E	2,50	2,95	0,00	2,71	2,00	2,36	0,00	2,168	10,719	10,719	0,00	6,75	5,360	4,542	0,000	3,113	13,015	0,8
	F	2,95	0,00	0,00	2,71	2,36	0,00	0,00	2,168	10,719	0,000	0,00	6,75	4,542	0,000	0,000	3,113	7,655	0,8
10	A	0,00	3,95	2,71	2,71	0,00	3,16	2,439	2,168	0,000	10,719	6,75	6,75	0,000	3,392	2,768	3,113	9,273	0,8
	B	3,95	2,50	2,71	2,71	3,16	2,00	2,439	2,168	10,719	10,719	6,75	6,75	3,392	5,360	2,768	3,113	14,633	0,8
	C	2,50	3,70	2,71	2,71	2,00	2,96	2,439	2,168	10,719	10,719	6,75	6,75	5,360	3,621	2,768	3,113	14,862	0,8
	D	3,70	2,50	2,71	2,71	2,96	2,00	2,439	2,168	10,719	10,719	6,75	6,75	3,621	5,360	2,768	3,113	14,862	0,8
	E	2,50	2,95	2,71	2,71	2,00	2,36	2,439	2,168	10,719	10,719	6,75	6,75	5,360	4,542	2,768	3,113	15,782	0,8
	F	2,95	0,00	2,71	2,71	2,36	0,00	2,439	2,168	10,719	0,000	6,75	6,75	4,542	0,000	2,768	3,113	10,423	0,8
9 & 8	A	0,00	3,95	2,71	2,71	0,00	3,16	2,168	2,168	0,000	10,719	6,75	6,75	0,000	3,392	3,113	3,113	9,619	0,8
	B	3,95	2,50	2,71	2,71	3,16	2,00	2,168	2,168	10,719	10,719	6,75	6,75	3,392	5,360	3,113	3,113	14,979	0,8
	C	2,50	3,70	2,71	2,71	2,00	2,96	2,168	2,168	10,719	10,719	6,75	6,75	5,360	3,621	3,113	3,113	15,208	0,8
	D	3,70	2,50	2,71	2,71	2,96	2,00	2,168	2,168	10,719	10,719	6,75	6,75	3,621	5,360	3,113	3,113	15,208	0,8
	E	2,50	2,95	2,71	2,71	2,00	2,36	2,168	2,168	10,719	10,719	6,75	6,75	5,360	4,542	3,113	3,113	16,128	0,8
	F	2,95	0,00	2,71	2,71	2,36	0,00	2,168	2,168	10,719	0,000	6,75	6,75	4,542	0,000	3,113	3,113	10,769	0,8

Caractéristiques du portique transversal (6-6)(suite):																			
Niv	Nœud	Longueurs entre				Longueurs				Moments d'inerties (poteaux				Rigidités linéaires (poteaux					
		nus (m)				fictives (m)				& poutres) 10 ⁻⁴ m ⁴				&poutres) 10 ⁻⁴ m ⁴					
		Lw	Le	hn	hs	L'w	L'e	h'n	h's	Iw	Ie	In	Is	Kw	Ke	Kn	Ks	D	X1
7	A	0,00	3,90	2,71	2,71	0,00	3,12	2,168	2,168	0,000	10,719	6,75	12,5	0,000	3,436	3,113	5,766	12,315	0,8
	B	3,90	2,45	2,71	2,71	3,12	1,96	2,168	2,168	10,719	10,719	6,75	12,5	3,436	5,469	3,113	5,766	17,784	0,8
	C	2,45	3,65	2,71	2,71	1,96	2,92	2,168	2,168	10,719	10,719	6,75	12,5	5,469	3,671	3,113	5,766	18,019	0,8
	D	3,65	2,45	2,71	2,71	2,92	1,96	2,168	2,168	10,719	10,719	6,75	12,5	3,671	5,469	3,113	5,766	18,019	0,8
	E	2,45	2,90	2,71	2,71	1,96	2,32	2,168	2,168	10,719	10,719	6,75	12,5	5,469	4,620	3,113	5,766	18,968	0,8
	F	2,90	0,00	2,71	2,71	2,32	0,00	2,168	2,168	10,719	0,000	6,75	12,5	4,620	0,000	3,113	5,766	13,499	0,8
6,5&4	A	0,00	3,90	2,71	2,71	0,00	3,12	2,168	2,168	0,000	10,719	12,5	12,5	0,000	3,436	5,766	5,766	14,967	0,8
	B	3,90	2,45	2,71	2,71	3,12	1,96	2,168	2,168	10,719	10,719	12,5	12,5	3,436	5,469	5,766	5,766	20,436	0,8
	C	2,45	3,65	2,71	2,71	1,96	2,92	2,168	2,168	10,719	10,719	12,5	12,5	5,469	3,671	5,766	5,766	20,671	0,8
	D	3,65	2,45	2,71	2,71	2,92	1,96	2,168	2,168	10,719	10,719	12,5	12,5	3,671	5,469	5,766	5,766	20,671	0,8
	E	2,45	2,90	2,71	2,71	1,96	2,32	2,168	2,168	10,719	10,719	12,5	12,5	5,469	4,620	5,766	5,766	21,621	0,8
	F	2,90	0,00	2,71	2,71	2,32	0,00	2,168	2,168	10,719	0,000	12,5	12,5	4,620	0,000	5,766	5,766	16,152	0,8
3	A	0,00	3,85	2,71	2,71	0,00	3,08	2,168	2,168	0,000	10,719	12,5	21,333	0,000	3,480	5,766	9,840	19,086	0,8
	B	3,85	2,40	2,71	2,71	3,08	1,92	2,168	2,168	10,719	10,719	12,5	21,333	3,480	5,583	5,766	9,840	24,669	0,8
	C	2,40	3,60	2,71	2,71	1,92	2,88	2,168	2,168	10,719	10,719	12,5	21,333	5,583	3,722	5,766	9,840	24,910	0,8
	D	3,60	2,40	2,71	2,71	2,88	1,92	2,168	2,168	10,719	10,719	12,5	21,333	3,722	5,583	5,766	9,840	24,910	0,8
	E	2,40	2,85	2,71	2,71	1,92	2,28	2,168	2,168	10,719	10,719	12,5	21,333	5,583	4,701	5,766	9,840	25,890	0,8
	F	2,85	0,00	2,71	2,71	2,28	0,00	2,168	2,168	10,719	0,000	12,5	21,333	4,701	0,000	5,766	9,840	20,307	0,8

Caractéristiques du portique transversal (6-6)(suite):

		Longueures entre				Longueures				Moments d'inerties (poteaux				Rigidités linéaires (poteaux					
		nus (m)				fictives (m)				& poutres) 10 ⁻⁴ m ⁴				&poutres) 10 ⁻⁴ m ⁴					
Niv	Nœud	Lw	Le	hn	hs	L'w	L'e	h'n	h's	Iw	Ie	In	Is	Kw	Ke	Kn	Ks	D	X1
2	A	0,00	3,85	2,71	2,71	0,00	3,08	2,168	2,168	0,000	10,719	21,333	21,333	0,000	3,480	9,840	9,840	23,160	0,8
	B	3,85	2,40	2,71	2,71	3,08	1,92	2,168	2,168	10,719	10,719	21,333	21,333	3,480	5,583	9,840	9,840	28,743	0,8
	C	2,40	3,60	2,71	2,71	1,92	2,88	2,168	2,168	10,719	10,719	21,333	21,333	5,583	3,722	9,840	9,840	28,985	0,8
	D	3,60	2,40	2,71	2,71	2,88	1,92	2,168	2,168	10,719	10,719	21,333	21,333	3,722	5,583	9,840	9,840	28,985	0,8
	E	2,40	2,85	2,71	2,71	1,92	2,28	2,168	2,168	10,719	10,719	21,333	21,333	5,583	4,701	9,840	9,840	29,964	0,8
	F	2,85	0,00	2,71	2,71	2,28	0,00	2,168	2,168	10,719	0,000	21,333	21,333	4,701	0,000	9,840	9,840	24,381	0,8
1	A	0,00	3,85	2,71	4,07	0,00	3,08	2,168	3,256	0,000	10,719	21,333	21,333	0,000	3,480	9,840	6,552	19,872	0,8
	B	3,85	2,40	2,71	4,07	3,08	1,92	2,168	3,256	10,719	10,719	21,333	21,333	3,480	5,583	9,840	6,552	25,455	0,8
	C	2,40	3,60	2,71	4,07	1,92	2,88	2,168	3,256	10,719	10,719	21,333	21,333	5,583	3,722	9,840	6,552	25,697	0,8
	D	3,60	2,40	2,71	4,07	2,88	1,92	2,168	3,256	10,719	10,719	21,333	21,333	3,722	5,583	9,840	6,552	25,697	0,8
	E	2,40	2,85	2,71	4,07	1,92	2,28	2,168	3,256	10,719	10,719	21,333	21,333	5,583	4,701	9,840	6,552	26,676	0,8
	F	2,85	0,00	2,71	4,07	2,28	0,00	2,168	3,256	10,719	0,000	21,333	21,333	4,701	0,000	9,840	6,552	21,093	0,8

Moments fictif et moments réel au niveau des nœuds du portique transversal (6-6) :																	
Niv	Nœud	Sous G								Sous Q							
		kN/ml		kN.m						kN/ml		kN.m					
		Gw	Ge	M'w	M'e	Mw	Me	Mn	Ms	Qw	Qe	M'w	M'e	Mw	Me	Mn	Ms
11	A	14,25	24,58	17,118	28,876	17,118	22,745	0,000	10,886	3,8	3,8	4,564	4,464	4,564	4,516	0,000	2,161
	B	24,58	24,58	28,876	11,567	20,928	17,488	0,000	-3,440	3,8	3,8	4,464	1,788	2,899	2,491	0,000	-0,408
	C	24,58	24,58	11,567	25,336	17,669	21,214	0,000	3,545	3,8	3,8	1,788	3,917	2,732	3,280	0,000	0,548
	D	24,58	24,58	25,336	11,567	21,214	17,669	0,000	-3,545	3,8	3,8	3,917	1,788	3,280	2,732	0,000	-0,548
	E	24,58	24,58	11,567	16,106	18,275	13,711	0,000	-0,788	3,8	3,8	1,788	2,490	3,265	2,029	0,000	-0,088
	F	24,58	6,75	16,106	4,463	9,198	4,463	0,000	3,741	3,8	1,8	2,490	1,190	1,719	1,190	0,000	0,699
10	A	14,25	23,67	17,118	27,807	17,118	23,897	7,132	8,023	5,7	5,7	6,847	6,696	6,847	6,751	2,015	2,267
	B	23,67	23,67	27,807	11,139	21,679	16,165	-2,595	-2,920	5,7	5,7	6,696	2,682	4,860	3,721	-0,536	-0,603
	C	23,67	23,67	11,139	24,398	15,921	21,168	2,469	2,778	5,7	5,7	2,682	5,875	3,834	5,097	0,595	0,669
	D	23,67	23,67	24,398	11,139	21,168	15,921	-2,469	-2,778	5,7	5,7	5,875	2,682	5,097	3,834	-0,595	-0,669
	E	23,67	23,67	11,139	15,510	12,312	13,600	-0,606	-0,682	5,7	5,7	2,682	3,735	2,915	3,171	-0,120	-0,135
	F	23,67	6,75	15,510	4,463	10,696	4,463	2,840	3,195	5,7	2,7	3,735	1,785	2,885	1,785	0,766	0,862
9 & 8	A	14,25	23,67	17,118	27,807	17,118	24,038	7,780	7,780	5,7	5,7	6,847	6,696	6,847	6,749	2,185	2,185
	B	23,67	23,67	27,807	11,139	21,835	16,086	-2,874	-2,874	5,7	5,7	6,696	2,682	4,908	3,712	-0,598	-0,598
	C	23,67	23,67	11,139	24,398	15,812	21,241	2,715	2,715	5,7	5,7	2,682	5,875	3,808	5,115	0,654	0,654
	D	23,67	23,67	24,398	11,139	21,241	15,812	-2,715	-2,715	5,7	5,7	5,875	2,682	5,115	3,808	-0,654	-0,654
	E	23,67	23,67	11,139	15,510	12,297	13,642	-0,673	-0,673	5,7	5,7	2,682	3,735	2,914	3,184	-0,135	-0,135
	F	23,67	6,75	15,510	4,463	10,851	4,463	3,137	3,137	5,7	2,7	3,735	1,785	2,913	1,785	0,842	0,842

Moments fictif et moments réel au niveau des nœuds du portique transversal (6-6) (suite):																	
Niv	Nœud	Sous G								Sous Q							
		kN/ml		kN.m						kN/ml		kN.m					
		Gw	Ge	M'w	M'e	Mw	Me	Mn	Ms	Qw	Qe	M'w	M'e	Mw	Me	Mn	Ms
7	A	14,25	23,67	17,674	27,107	17,674	24,476	2,385	4,417	5,7	5,7	7,070	6,528	7,070	6,679	-0,137	-0,254
	B	23,67	23,67	27,107	10,698	22,065	15,031	-2,467	-4,568	5,7	5,7	6,528	2,576	5,015	3,506	-0,529	-0,980
	C	23,67	23,67	10,698	23,744	14,657	21,086	2,254	4,174	5,7	5,7	2,576	5,718	3,530	5,078	0,543	1,005
	D	23,67	23,67	23,744	10,698	21,086	14,657	-2,254	-4,174	5,7	5,7	5,718	2,576	5,078	3,530	-0,543	-1,005
	E	23,67	23,67	10,698	14,988	11,718	13,376	-0,581	-1,076	5,7	5,7	2,576	3,609	2,787	3,131	-0,120	-0,223
	F	23,67	6,75	14,988	4,660	11,453	4,660	2,642	4,892	5,7	2,7	3,609	1,864	3,012	1,864	0,695	1,286
6,5&4	A	14,25	23,67	17,674	27,107	17,674	24,942	3,634	3,634	5,7	5,7	7,070	6,528	7,070	6,652	-0,209	-0,209
	B	23,67	23,67	27,107	10,698	22,761	14,578	-4,091	-4,091	5,7	5,7	6,528	2,576	5,228	3,429	-0,899	-0,899
	C	23,67	23,67	10,698	23,744	14,149	21,427	3,639	3,639	5,7	5,7	2,576	5,718	3,407	5,160	0,876	0,876
	D	23,67	23,67	23,744	10,698	21,427	14,149	-3,639	-3,639	5,7	5,7	5,718	2,576	5,160	3,407	-0,876	-0,876
	E	23,67	23,67	10,698	14,988	11,624	13,578	-0,977	-0,977	5,7	5,7	2,576	3,609	2,774	3,191	-0,209	-0,209
	F	23,67	6,75	14,988	4,660	12,034	4,660	4,296	4,296	5,7	2,7	3,609	1,864	3,110	1,864	1,110	1,110
3	A	14,25	23,67	18,240	26,417	18,240	24,926	2,470	4,216	5,7	5,7	7,296	6,361	7,296	6,532	-0,282	-0,482
	B	23,67	23,67	26,417	10,266	22,794	13,567	-3,409	-5,818	5,7	5,7	6,361	2,472	5,275	3,211	-0,763	-1,302
	C	23,67	23,67	10,266	23,097	13,141	21,180	2,970	5,069	5,7	5,7	2,472	5,562	3,165	5,100	0,715	1,221
	D	23,67	23,67	23,097	10,266	21,180	13,141	-2,970	-5,069	5,7	5,7	5,562	2,472	5,100	3,165	-0,715	-1,221
	E	23,67	23,67	10,266	14,476	11,059	13,278	-0,820	-1,399	5,7	5,7	2,472	3,486	2,645	3,129	-0,179	-0,305
	F	23,67	6,75	14,476	4,860	12,250	4,860	3,478	5,936	5,7	2,7	3,486	1,944	3,129	1,944	0,888	1,516

Moments fictif et moments réel au niveau des nœuds du portique transversal (6-6) (suite):																	
Niv	Nœud	Sous G								Sous Q							
		kN/ml		kN.m						kN/ml		kN.m					
		Gw	Ge	M'w	M'e	Mw	Me	Mn	Ms	Qw	Qe	M'w	M'e	Mw	Me	Mn	Ms
2	A	0,00	23,67	0,000	26,417	0,000	22,447	11,224	11,224	0,00	9,50	0,000	10,602	0,000	9,009	4,505	4,505
	B	23,67	23,67	26,417	10,266	24,461	13,403	-5,529	-5,529	9,50	9,50	10,602	4,120	9,818	5,379	-2,219	-2,219
	C	23,67	23,67	10,266	23,097	12,737	21,450	4,356	4,356	9,50	9,50	4,120	9,270	5,112	8,609	1,748	1,748
	D	23,67	23,67	23,097	10,266	21,450	12,737	-4,356	-4,356	9,50	9,50	9,270	4,120	8,609	5,112	-1,748	-1,748
	E	23,67	23,67	10,266	14,476	11,050	13,815	-1,383	-1,383	9,50	9,50	4,120	5,810	4,435	5,545	-0,555	-0,555
	F	23,67	0,00	14,476	0,000	11,685	0,000	4,716	4,716	9,50	0,00	5,810	0,000	4,690	0,000	1,893	1,893
1	A	0,00	23,67	0,000	26,417	0,000	21,790	13,081	8,710	0,00	15,20	0,000	16,964	0,000	13,993	8,400	5,593
	B	23,67	23,67	26,417	10,266	24,209	13,808	-6,244	-4,157	15,20	15,20	16,964	6,592	15,546	8,867	-4,009	-2,670
	C	23,67	23,67	10,266	23,097	13,053	21,239	4,914	3,272	15,20	15,20	6,592	14,832	8,382	13,639	3,155	2,101
	D	23,67	23,67	23,097	10,266	21,239	13,053	-4,914	-3,272	15,20	15,20	14,832	6,592	13,639	8,382	-3,155	-2,101
	E	23,67	23,67	10,266	14,476	11,147	13,734	-1,553	-1,034	15,20	15,20	6,592	9,296	7,158	8,819	-0,997	-0,664
	F	23,67	0,00	14,476	0,000	11,250	0,000	5,248	3,494	15,20	0,00	9,296	0,000	7,224	0,000	3,370	2,244

Moments en travées et efforts tranchants du portique transversal sous G :

Niv	Travée	L	G	Mw	Me	X	m(x)	Mt	Tw	Te
11	0-A	1,55	14,25	0,000	17,118				22,088	0,000
	A-B	3,95	24,58	22,745	20,928	1,956	47,939	69,780	48,085	-49,006
	B-C	2,50	24,58	17,488	17,669	1,253	19,203	36,782	30,797	-30,653
	C-D	3,70	24,58	21,214	21,214	1,850	42,063	63,276	45,473	-45,473
	D-E	2,50	24,58	17,669	18,275	1,260	19,203	37,176	30,967	-30,483
	E-F	2,95	24,58	13,711	9,198	1,413	26,738	38,241	34,726	-37,785
	F-0	1,15	6,75	4,463	0,000				0,000	-7,762
10	0-A	1,55	14,25	0,000	17,118				22,088	0,000
	A-B	3,95	23,67	23,897	21,679	1,951	46,164	68,959	46,187	-47,310
	B-C	2,50	23,67	16,165	15,921	1,246	18,492	34,535	29,490	-29,685
	C-D	3,70	23,67	21,168	21,168	1,850	40,505	61,673	43,790	-43,790
	D-E	2,50	23,67	15,921	12,312	1,189	18,492	32,653	28,144	-31,031
	E-F	2,95	23,67	13,600	10,696	1,433	25,749	37,917	33,929	-35,898
	F-0	1,15	6,75	4,463	0,000				0,000	-7,762
9 et 8	0-A	1,55	14,25	0,000	17,118				22,088	0,000
	A-B	3,95	23,67	24,038	21,835	1,951	46,164	69,107	46,191	-47,306
	B-C	2,50	23,67	16,086	15,812	1,245	18,492	34,442	29,478	-29,697
	C-D	3,70	23,67	21,241	21,241	1,850	40,505	61,746	43,790	-43,790
	D-E	2,50	23,67	15,812	12,297	1,191	18,492	32,588	28,182	-30,993
	E-F	2,95	23,67	13,642	10,851	1,435	25,749	38,014	33,967	-35,860
	F-0	1,15	6,75	4,463	0,000				0,000	-7,762
7	0-A	1,575	14,25	0,000	17,674				22,443	0,000
	A-B	3,90	23,67	24,476	22,065	1,924	45,003	68,281	45,538	-46,775
	B-C	2,45	23,67	15,031	14,657	1,219	17,760	32,604	28,843	-29,148
	C-D	3,65	23,67	21,086	21,086	1,825	39,418	60,504	43,198	-43,198
	D-E	2,45	23,67	14,657	11,718	1,174	17,760	30,978	27,796	-30,195
	E-F	2,90	23,67	13,376	11,453	1,422	24,883	37,307	33,659	-34,984
	F-0	1,175	6,75	4,660	0,000				0,000	-7,932

Moments en travées et efforts tranchants du portique transversal sous G (suite):

Niv	Travée	L	G	Mw	Me	X	m(x)	Mt	Tw	Te
6, 5 et 4	0-A	1,575	14,25	0,000	17,674				22,443	0,000
	A-B	3,90	23,67	24,942	22,761	1,926	45,003	68,860	45,597	-46,716
	B-C	2,45	23,67	14,578	14,149	1,218	17,760	32,124	28,821	-29,171
	C-D	3,65	23,67	21,427	21,427	1,825	39,418	60,845	43,198	-43,198
	D-E	2,45	23,67	14,149	11,624	1,181	17,760	30,669	27,965	-30,026
	E-F	2,90	23,67	13,578	12,034	1,428	24,883	37,695	33,789	-34,854
	F-0	1,175	6,75	4,660	0,000				0,000	-7,932
3	0-A	1,60	14,25	0,000	18,240				22,800	0,000
	A-B	3,85	23,67	24,926	22,794	1,902	43,856	67,722	45,011	-46,118
	B-C	2,40	23,67	13,567	13,141	1,193	17,042	30,397	28,227	-28,581
	C-D	3,60	23,67	21,180	21,180	1,800	38,345	59,526	42,606	-42,606
	D-E	2,40	23,67	13,141	11,059	1,163	17,042	29,159	27,536	-29,272
	E-F	2,85	23,67	13,278	12,250	1,410	24,032	36,799	33,369	-34,091
	F-0	1,20	6,75	4,860	0,000				0,000	-8,100
2	A-B	3,85	23,67	22,447	0,000	1,679	43,856	55,798	39,734	-51,395
	B-C	2,40	23,67	13,403	24,461	1,395	17,042	36,423	33,012	-23,796
	C-D	3,60	23,67	21,450	12,737	1,698	38,345	55,563	40,186	-45,026
	D-E	2,40	23,67	12,737	21,450	1,353	17,042	34,414	32,034	-24,774
	E-F	2,85	23,67	13,815	11,050	1,384	24,032	36,485	32,759	-34,700
1	A-B	3,85	23,67	21,790	0,000	1,686	43,856	55,428	39,905	-51,225
	B-C	2,40	23,67	13,808	24,209	1,383	17,042	36,447	32,738	-24,070
	C-D	3,60	23,67	21,239	13,053	1,704	38,345	55,601	40,332	-44,880
	D-E	2,40	23,67	13,053	21,239	1,344	17,042	34,434	31,815	-24,993
	E-F	2,85	23,67	13,734	11,147	1,387	24,032	36,490	32,822	-34,638

Moments en travées et efforts tranchants du portique transversal sous Q :

Niv	Travée	L	Q	Mw	Me	X	m(x)	Mt	Tw	Te
11	0-A	1,55	3,80	0,000	4,564				5,890	0,000
	A-B	3,95	3,80	4,516	2,899	1,867	7,411	11,141	7,096	-7,914
	B-C	2,50	3,80	2,491	2,732	1,275	2,969	5,581	4,846	-4,654
	C-D	3,70	3,80	3,280	3,280	1,850	6,503	9,782	7,030	-7,030
	D-E	2,50	3,80	2,732	3,265	1,306	2,969	5,973	4,963	-4,537
	E-F	2,95	3,80	2,029	1,719	1,447	4,134	6,009	5,500	-5,710
	F-0	1,15	1,80	1,190	0,000				0,000	-2,070
10	0-A	1,55	5,70	0,000	6,847				8,835	0,000
	A-B	3,95	5,70	6,751	4,860	1,891	11,117	16,943	10,779	-11,736
	B-C	2,50	5,70	3,721	3,834	1,258	4,453	8,231	7,170	-7,080
	C-D	3,70	5,70	5,097	5,097	1,850	9,754	14,852	10,545	-10,545
	D-E	2,50	5,70	3,834	2,915	1,186	4,453	7,840	6,758	-7,492
	E-F	2,95	5,70	3,171	2,885	1,458	6,201	9,230	8,311	-8,504
	F-0	1,15	2,70	1,785	0,000				0,000	-3,105
9 et 8	0-A	1,55	5,70	0,000	6,847				8,835	0,000
	A-B	3,95	5,70	6,749	4,908	1,893	11,117	16,965	10,791	-11,724
	B-C	2,50	5,70	3,712	3,808	1,257	4,453	8,213	7,163	-7,087
	C-D	3,70	5,70	5,115	5,115	1,850	9,754	14,869	10,545	-10,545
	D-E	2,50	5,70	3,808	2,914	1,187	4,453	7,825	6,768	-7,482
	E-F	2,95	5,70	3,184	2,913	1,459	6,201	9,250	8,315	-8,500
	F-0	1,15	2,70	1,785	0,000				0,000	-3,105
7	0-A	1,58	5,70	0,000	7,070				8,978	0,000
	A-B	3,90	5,70	6,679	5,015	1,875	10,837	16,700	10,688	-11,542
	B-C	2,45	5,70	3,506	3,530	1,227	4,277	7,795	6,992	-6,973
	C-D	3,65	5,70	5,078	5,078	1,825	9,492	14,570	10,403	-10,403
	D-E	2,45	5,70	3,530	2,787	1,172	4,277	7,443	6,680	-7,285
	E-F	2,90	5,70	3,131	3,012	1,443	5,992	9,064	8,224	-8,306
	F-0	1,18	2,70	1,864	0,000				0,000	-3,173

Moments en travées et efforts tranchants du portique transversal sous Q (suite) :

Niv	Travée	L	Q	Mw	Me	X	m(x)	Mt	Tw	Te
6, 5 et 4	0-A	1,58	5,70	0,000	7,070				8,978	0,000
	A-B	3,90	5,70	6,652	5,228	1,886	10,837	16,789	10,750	-11,480
	B-C	2,45	5,70	3,429	3,407	1,223	4,277	7,695	6,974	-6,991
	C-D	3,65	5,70	5,160	5,160	1,825	9,492	14,652	10,403	-10,403
	D-E	2,45	5,70	3,407	2,774	1,180	4,277	7,373	6,724	-7,241
	E-F	2,90	5,70	3,191	3,110	1,445	5,992	9,143	8,237	-8,293
	F-0	1,18	2,70	1,864	0,000				0,000	-3,173
3	0-A	1,60	5,70	0,000	7,296				9,120	0,000
	A-B	3,85	5,70	6,532	5,275	1,868	10,561	16,474	10,646	-11,299
	B-C	2,40	5,70	3,211	3,165	1,197	4,104	7,292	6,821	-6,859
	C-D	3,60	5,70	5,100	5,100	1,800	9,234	14,334	10,260	-10,260
	D-E	2,40	5,70	3,165	2,645	1,162	4,104	7,013	6,624	-7,056
	E-F	2,85	5,70	3,129	3,129	1,425	5,787	8,916	8,123	-8,122
	F-0	1,20	2,70	1,944	0,000				0,000	-3,240
2	A-B	3,85	9,50	9,009	0,000	1,679	17,602	22,395	15,947	-20,628
	B-C	2,40	9,50	5,379	9,818	1,395	6,840	14,618	13,249	-9,551
	C-D	3,60	9,50	8,609	5,112	1,698	15,390	22,300	16,129	-18,071
	D-E	2,40	9,50	5,112	8,609	1,353	6,840	13,812	12,857	-9,943
	E-F	2,85	9,50	5,545	4,435	1,384	9,645	14,643	13,148	-13,927
1	A-B	3,85	15,20	13,993	0,000	1,686	28,163	35,594	25,625	-32,895
	B-C	2,40	15,20	8,867	15,546	1,383	10,944	23,405	21,023	-15,457
	C-D	3,60	15,20	13,639	8,382	1,704	24,624	35,705	25,900	-28,820
	D-E	2,40	15,20	8,382	13,639	1,344	10,944	22,112	20,430	-16,050
	E-F	2,85	15,20	8,819	7,158	1,387	15,433	23,433	21,077	-22,243

Efforts normaux dans le portique transversal :										
Niveau	Fin du poteau	Poids des poteaux	Effort normaux sous G				Effort normaux sous Q			
			Tw(kN)	Te(kN)	N(kN)	Nc(kN)	Tw(kN)	Te(kN)	N(kN)	Nc(kN)
11	A	0,000	-49,006	22,088	71,093	71,093	-7,914	5,890	13,804	13,804
	B	0,000	-30,653	48,085	78,738	78,738	-4,654	7,096	11,750	11,750
	C	0,000	-45,473	30,797	76,270	76,270	-7,030	4,846	11,876	11,876
	D	0,000	-30,483	45,473	75,956	75,956	-4,537	7,030	11,567	11,567
	E	0,000	-37,785	30,967	68,752	68,752	-5,710	4,963	10,673	10,673
	F	0,000	-7,762	34,726	42,488	42,488	-2,070	5,500	7,570	7,570
10	A	6,885	-47,310	22,088	76,282	147,375	-11,736	8,835	27,456	41,260
	B	6,885	-29,685	46,187	82,757	161,495	-7,080	10,779	24,744	36,493
	C	6,885	-43,790	29,490	80,164	156,435	-10,545	7,170	24,600	36,476
	D	6,885	-31,031	43,790	81,705	157,661	-7,492	10,545	24,922	36,489
	E	6,885	-35,898	28,144	70,927	139,679	-8,504	6,758	22,147	32,821
	F	6,885	-7,762	33,929	48,576	91,064	-3,105	8,311	18,300	25,870
9	A	6,885	-47,306	22,088	76,279	223,654	-11,724	8,835	27,444	68,704
	B	6,885	-29,697	46,191	82,773	244,268	-7,087	10,791	24,763	61,256
	C	6,885	-43,790	29,478	80,152	236,587	-10,545	7,163	24,593	61,070
	D	6,885	-30,993	43,790	81,668	239,329	-7,482	10,545	24,912	61,401
	E	6,885	-35,860	28,182	70,926	210,606	-8,500	6,768	22,152	54,973
	F	6,885	-7,762	33,967	48,614	139,678	-3,105	8,315	18,305	44,175
8	A	6,885	-47,306	22,088	76,279	299,932	-11,724	8,835	27,444	96,147
	B	6,885	-29,697	46,191	82,773	327,041	-7,087	10,791	24,763	86,019
	C	6,885	-43,790	29,478	80,152	316,739	-10,545	7,163	24,593	85,663
	D	6,885	-30,993	43,790	81,668	320,997	-7,482	10,545	24,912	86,314
	E	6,885	-35,860	28,182	70,926	281,532	-8,500	6,768	22,152	77,125
	F	6,885	-7,762	33,967	48,614	188,292	-3,105	8,315	18,305	62,480
7	A	6,885	-46,775	22,443	76,103	376,036	-11,542	8,978	27,404	123,551
	B	6,885	-29,148	45,538	81,572	408,613	-6,973	10,688	24,546	110,566
	C	6,885	-43,198	28,843	78,926	395,665	-10,403	6,992	24,280	109,943
	D	6,885	-30,195	43,198	80,278	401,275	-7,285	10,403	24,573	110,887
	E	6,885	-34,984	27,796	69,666	351,197	-8,306	6,680	21,870	98,996
	F	6,885	-7,932	33,659	48,475	236,767	-3,173	8,224	18,282	80,762
6	A	9,371	-46,716	22,443	78,530	454,566	-11,480	8,978	29,829	153,380
	B	9,371	-29,171	45,597	84,139	492,752	-6,991	10,750	27,112	137,678
	C	9,371	-43,198	28,821	81,389	477,054	-10,403	6,974	26,747	136,690
	D	9,371	-30,026	43,198	82,595	483,870	-7,241	10,403	27,014	137,901
	E	9,371	-34,854	27,965	72,190	423,387	-8,293	6,724	24,388	123,384
	F	9,371	-7,932	33,789	51,092	287,859	-3,173	8,237	20,781	101,543

Efforts normaux dans le portique transversal (suite):

Niveau	Fin du poteau	Poids des poteaux	Effort normaux sous G				Effort normaux sous Q			
			Tw(kN)	Te(kN)	N(kN)	Nc(kN)	Tw(kN)	Te(kN)	N(kN)	Nc(kN)
5	A	9,371	-46,716	22,443	78,530	533,096	-11,480	8,978	29,829	183,209
	B	9,371	-29,171	45,597	84,139	576,891	-6,991	10,750	27,112	164,790
	C	9,371	-43,198	28,821	81,389	558,444	-10,403	6,974	26,747	163,437
	D	9,371	-30,026	43,198	82,595	566,465	-7,241	10,403	27,014	164,915
	E	9,371	-34,854	27,965	72,190	495,578	-8,293	6,724	24,388	147,772
	F	9,371	-7,932	33,789	51,092	338,950	-3,173	8,237	20,781	122,323
4	A	9,371	-46,716	22,443	78,530	611,627	-11,480	8,978	29,829	213,038
	B	9,371	-29,171	45,597	84,139	661,030	-6,991	10,750	27,112	191,903
	C	9,371	-43,198	28,821	81,389	639,833	-10,403	6,974	26,747	190,184
	D	9,371	-30,026	43,198	82,595	649,060	-7,241	10,403	27,014	191,930
	E	9,371	-34,854	27,965	72,190	567,768	-8,293	6,724	24,388	172,160
	F	9,371	-7,932	33,789	51,092	390,042	-3,173	8,237	20,781	143,104
3	A	9,371	-46,118	22,800	78,289	689,916	-11,299	9,120	29,790	242,828
	B	9,371	-28,581	45,011	82,963	743,993	-6,859	10,646	26,876	218,779
	C	9,371	-42,606	28,227	80,204	720,037	-10,260	6,821	26,452	216,636
	D	9,371	-29,272	42,606	81,249	730,309	-7,056	10,260	26,687	218,617
	E	9,371	-34,091	27,536	70,998	638,766	-8,122	6,624	24,117	196,276
	F	9,371	-8,100	33,369	50,840	440,882	-3,240	8,123	20,734	163,837
2	A	12,240	0,000	39,734	51,974	741,890	0,000	15,947	28,187	271,015
	B	12,240	-51,395	33,012	96,647	840,640	-20,628	13,249	46,117	264,896
	C	12,240	-23,796	40,186	76,222	796,259	-9,551	16,129	37,919	254,555
	D	12,240	-45,026	32,034	89,300	819,609	-18,071	12,857	43,168	261,786
	E	12,240	-24,774	32,759	69,773	708,539	-9,943	13,148	35,331	231,607
	F	12,240	-34,700	0,000	46,940	487,822	-13,927	0,000	26,167	190,004
1	A	12,240	0,000	39,905	52,145	794,035	0,000	25,625	37,865	308,880
	B	12,240	-51,395	32,738	96,373	937,013	-32,895	21,023	66,157	331,053
	C	12,240	-23,796	40,332	76,369	872,628	-15,457	25,900	53,597	308,152
	D	12,240	-45,026	31,815	89,081	908,690	-28,820	20,430	61,490	323,276
	E	12,240	-24,774	32,822	69,836	778,375	-16,050	21,077	49,367	280,974
	F	12,240	-34,700	0,000	46,940	534,762	-22,243	0,000	34,483	224,487

4-2 Calcul des refends sous chargement verticale :

a) Détermination des charges et surcharges verticales reprises par les voiles :

Les sollicitations verticales sont dues aux charges permanentes et aux surcharges d'exploitation.

Elles sont uniformément réparties sur toute la longueur des voiles. Leurs intensité sont en fonction de la surface des planchers qui leurs revient.

b) Méthodes de calcul :

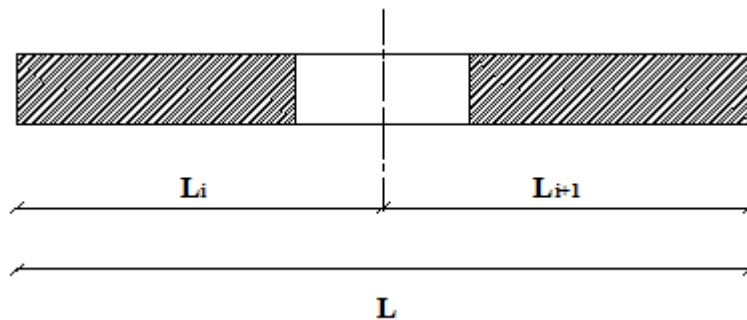
- Voiles pleins : Les charges verticales sont distribuées suivant toute la longueur du voile considéré.
- Voiles à files d'ouvertures : Les charges verticales sont distribuées sur la longueur des trumeaux.

La charge verticale revenant au trumeau (i) est : $F_i = F \cdot L_i / L$

F : Charge verticale revenant à tout le voile.

L_i : Longueur du trumeau (i) plus une demi-longueur du linteau.

L : Longueur totale du voile.



Poids propre des voiles (kN)

Sens longitudinal:

Niveau	VL1	VL2	VL3	VL4	VL5	VL6	VL7	VL8
11 à 4	55,10	55,10	42,60	38,80	36,70	35,20	35,20	43,00
3 à 2	55,10	55,10	52,00	52,00	36,70	35,20	35,20	52,00
1	79,60	79,60	75,10	75,10	53,00	50,80	50,80	75,10

Sens transversal:

Niveau	VT1	VT2	VT3	VT4
11 à 2	110,2	110,2	33,7	31,4
1	159,1	159,1	48,6	45,3

Poids de l'acrotère en (kN):

VT1	VT2	VL4	VL8
11,64	11,64	5,31	5,31

Surfaces de plancher revenant à chaque voile (m²):

Sens longitudinal								
Niveau	VL1	VL2	VL3	VL4	VL5	VL6	VL7	VL8
11 à 3	2,16	2,16	2,04	1,79	1,08	0,69	1,09	1,45
1er et 2ème	2,16	2,16	1,45	1,02	1,08	0,69	1,09	1,53

Sens transversal				
Niveau	VT1	VT2	VT3	VT4
11 à 1	12,6	12,6	8,93	4,10

Charges d'exploitation Q (kN/m²):	
Plancher terrasse	1,00
Plancher d'étage courant	1,50
Plancher d'étage de bureaux	2,50
Plancher d'étage commercial	4,00

Charges permanente G (kN/m²)	
Plancher terrasse	5,68
Plancher étage courant	5,44

Charges et surcharges verticales reprises par les voiles :

Niveau	Charge (kN)	Sens longitudinal							
		VL1	VL2	VL3	VL4	VL5	VL6	VL7	VL8
11	Gc	67,369	67,369	54,187	54,277	42,834	39,119	41,391	56,546
	Qc	2,160	2,160	2,040	1,790	1,080	0,690	1,090	1,450
10	Gc	134,219	134,219	107,885	102,815	85,410	78,073	82,521	107,434
	Qc	5,400	5,400	5,100	4,475	2,700	1,725	2,725	3,625
9	Gc	201,070	201,070	161,582	151,352	127,985	117,026	123,650	158,322
	Qc	8,640	8,640	8,160	7,160	4,320	2,760	4,360	5,800
8	Gc	267,920	267,920	215,280	199,890	170,560	155,980	164,780	209,210
	Qc	11,880	11,880	11,220	9,845	5,940	3,795	5,995	7,975
7	Gc	334,770	334,770	268,978	248,428	213,135	194,934	205,910	260,098
	Qc	15,120	15,120	14,280	12,530	7,560	4,830	7,630	10,150
6	Gc	401,621	401,621	322,675	296,965	255,710	233,887	247,039	310,986
	Qc	18,360	18,360	17,340	15,215	9,180	5,865	9,265	12,325
5	Gc	468,471	468,471	376,373	345,503	298,286	272,841	288,169	361,874
	Qc	21,600	21,600	20,400	17,900	10,800	6,900	10,900	14,500
4	Gc	535,322	535,322	430,070	394,040	340,861	311,794	329,298	412,762
	Qc	24,840	24,840	23,460	20,585	12,420	7,935	12,535	16,675
3	Gc	602,172	602,172	493,168	455,778	383,436	350,748	370,428	472,650
	Qc	28,080	28,080	26,520	23,270	14,040	8,970	14,170	18,850
2	Gc	669,022	669,022	553,056	513,327	426,011	389,702	411,558	532,973
	Qc	33,480	33,480	30,145	25,820	16,740	10,695	16,895	22,675
1	Gc	760,373	760,373	636,044	593,976	484,886	444,255	468,287	616,396
	Qc	42,120	42,120	35,945	29,900	21,060	13,455	21,255	28,795

Niveau	Charge (kN)	Sens transversal			
		VT1	VT2	VT3	VT4
11	Gc	193,408	193,408	84,4224	54,688
	Qc	12,6	12,6	8,93	4,1
10	Gc	372,152	372,152	166,7016	108,392
	Qc	31,5	31,5	22,325	10,25
9	Gc	550,896	550,896	248,9808	162,096
	Qc	50,4	50,4	35,72	16,4
8	Gc	729,64	729,64	331,26	215,8
	Qc	69,3	69,3	49,115	22,55
7	Gc	908,384	908,384	413,5392	269,504
	Qc	88,2	88,2	62,51	28,7
6	Gc	1087,128	1087,128	495,8184	323,208
	Qc	107,1	107,1	75,905	34,85
5	Gc	1265,872	1265,872	578,0976	376,912
	Qc	126	126	89,3	41
4	Gc	1444,616	1444,616	660,3768	430,616
	Qc	144,9	144,9	102,695	47,15
3	Gc	1623,36	1623,36	742,656	484,32
	Qc	163,8	163,8	116,09	53,3
2	Gc	1802,104	1802,104	824,9352	538,024
	Qc	195,3	195,3	138,415	63,55
1	Gc	2029,748	2029,748	922,1144	605,628
	Qc	245,7	245,7	174,135	79,95

Effort vertical revenant à chaque trumeaux:							
Niveau	Charge (kN)	VL3		VL4		VL8	
		trumeau		trumeau		trumeau	
		1	2	1	2	1	2
11	Gc	27,253	10,359	17,560	17,560	18,294	18,294
	Qc	1,026	0,390	0,579	0,579	0,469	0,469
10	Gc	54,260	20,625	33,264	33,264	34,758	34,758
	Qc	2,565	0,975	1,448	1,448	1,173	1,173
9	Gc	81,266	30,891	48,967	48,967	51,222	51,222
	Qc	4,104	1,560	2,316	2,316	1,876	1,876
8	Gc	108,273	41,156	64,670	64,670	67,686	67,686
	Qc	5,643	2,145	3,185	3,185	2,580	2,580
7	Gc	135,280	51,422	80,374	80,374	84,149	84,149
	Qc	7,182	2,730	4,054	4,054	3,284	3,284
6	Gc	162,287	61,688	96,077	96,077	100,613	100,613
	Qc	8,721	3,315	4,923	4,923	3,988	3,988
5	Gc	189,293	71,954	111,780	111,780	117,077	117,077
	Qc	10,260	3,900	5,791	5,791	4,691	4,691
4	Gc	216,300	82,219	127,484	127,484	133,541	133,541
	Qc	11,799	4,485	6,660	6,660	5,395	5,395

CHAPITRE 5

ETUDE AU SEISME

Introduction :

Le séisme est un phénomène naturel, peut être défini comme des mouvements transitoires et passagers qui résultent de relâchement brutal de contraintes dans la croûte terrestre, et qui provoquent un glissement de deux compartiments le long d'une faille préexistante en affectant des roches de l'écorce terrestre, et en fonction de leur intensité, peuvent provoquer des dommages importants et même la ruine des constructions.

Dans notre pays, plusieurs régions sont susceptibles d'être soumises à d'importantes secousses qui posent de graves menaces sur la population, en détruisant des habitations et les différents biens publics. Pour cela, le règlement parasismique algérien prévoit des mesures nécessaires à la conception et à la réalisation de la construction de manière à assurer un degré de protection acceptable.

5-1 Choix de la méthode de calcul :

En fonction de la forme, des dimensions et du type de la construction, le RPA prévoit d'utiliser soit la méthode statique équivalente, soit la méthode d'analyse modale spectrale ou bien la méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes.

a) Méthode statique équivalente :

Cette méthode conçoit le remplacement des forces réelles dynamiques par un système de forces statiques fictives dont les effets sont supposés identiques.

Puisque notre ouvrage ne satisfait pas toutes les conditions d'application de la méthode statique équivalente (notre bâtiment présente une configuration irrégulière, classé dans le RPA dans le groupe d'usage 2 en zone IIa : zone de sismicité moyenne), dont la hauteur égale $35.02\text{m} > 23\text{m}$, donc cette condition n'est pas vérifiée. Alors cette méthode ne peut être appliquée.

b) Méthode dynamique par accélérogrammes :

La méthode d'analyse dynamique par accélérogramme peut être utilisée au cas par cas un personnel qualifié, ayant justifié auparavant les choix des séismes de calcul et des lois de comportement utilisées ainsi que la méthode d'interpolation des résultats et les critères de sécurité à satisfaire.

c) Méthode dynamique modale spectrale :

▪ Principe :

Par cette méthode, il est recherché pour chaque mode de vibration, le maximum des effets engendrés dans la structure par les forces sismiques représentées par un spectre de réponse de calcul. Ces effets sont par la suite combinés pour obtenir la réponse de la structure.

▪ **Spectre de réponse de calcul :**

L'action sismique est représentée par le spectre de calcul suivant (RPA art 4.13)

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

A : coefficient d'accélération de zone.

Zone II_a , groupe 2 → A = 0.15

η : Facteur de correction d'amortissement (quand l'amortissement est différent de 5%)

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{(2+\zeta)}} \geq 0.7$$

ζ : Pourcentage d'amortissement critique en fonction de matériau.

Béton armé / maçonnerie → ζ = 10 %.

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{(2+10)}} = 0.76 > 0.7 \dots\dots\dots\text{vérifiée.}$$

R : coefficient de comportement de la structure → R = 5.

T₁, T₂ : périodes caractéristiques associées à la catégorie de site.

$$Q = 1 + \sum_1^6 P_q$$

▪ **Valeurs des pénalités P_q :**

Critère	Observé ou Non	Pénalités P _q
1- Conditions minimales sur les files de contreventements	oui	0
2- Redondance en plan	non	0.05
3- Régularité en élévation	oui	0
4- Contrôle de qualité des matériaux	oui	0
5- Contrôle de qualité de l'exécution	oui	0
6- Régularité en plan	non	0.05

$$D'où : Q_x = Q_y = 1 + 2(0.05) = 1.1$$

▪ **Valeurs de T_1 et T_2 :**

Site	S_1	S_2	S_3	S_4
T_1 (sec)	0.15	0.15	0.15	0.15
T_2 (sec)	0.30	0.40	0.50	0.70

Dans notre cas, on a un site meuble (S_3) donc : $T_1 = 0.15s$; $T_2 = 0.50s$

5-2 Modélisation de la structure :

▪ **Hypothèses de travail :**

- Les masses sont supposées concentrées aux niveaux des planchers.
- Seules les déplacements horizontaux suivant (XX) et (YY) sont pris en compte.
- Les planchers et l'infrastructure sont supposés infiniment rigides dans leurs plans.
- Le modèle se présente comme une console flexible rigidement encastree à la base.
- Le nombre de DDL par direction est **11**.
- Le nombre de mode à prendre en compte est de **03**.

C'est une méthode qui est basée sur un principe itératif donnant les solutions correspondantes à un mode de vibration répondant à l'équation du mouvement suivante :

$$M x \ddot{V}(t) + C x \dot{V}(t) + K x V(t) = F(t)$$

5-3 Caractéristiques propres de la structure :

5-3-1 Evaluation des masses de chaque niveau :

Selon le RPA, le poids W_i de chaque niveau « i » est calculée comme suit :

$$W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi}$$

Avec :

W_i : Poids totale du niveau « i ».

W_{Gi} : Poids du aux charges permanentes au niveau « i ».

W_{Qi} : Charge d'exploitation au niveau « i ».

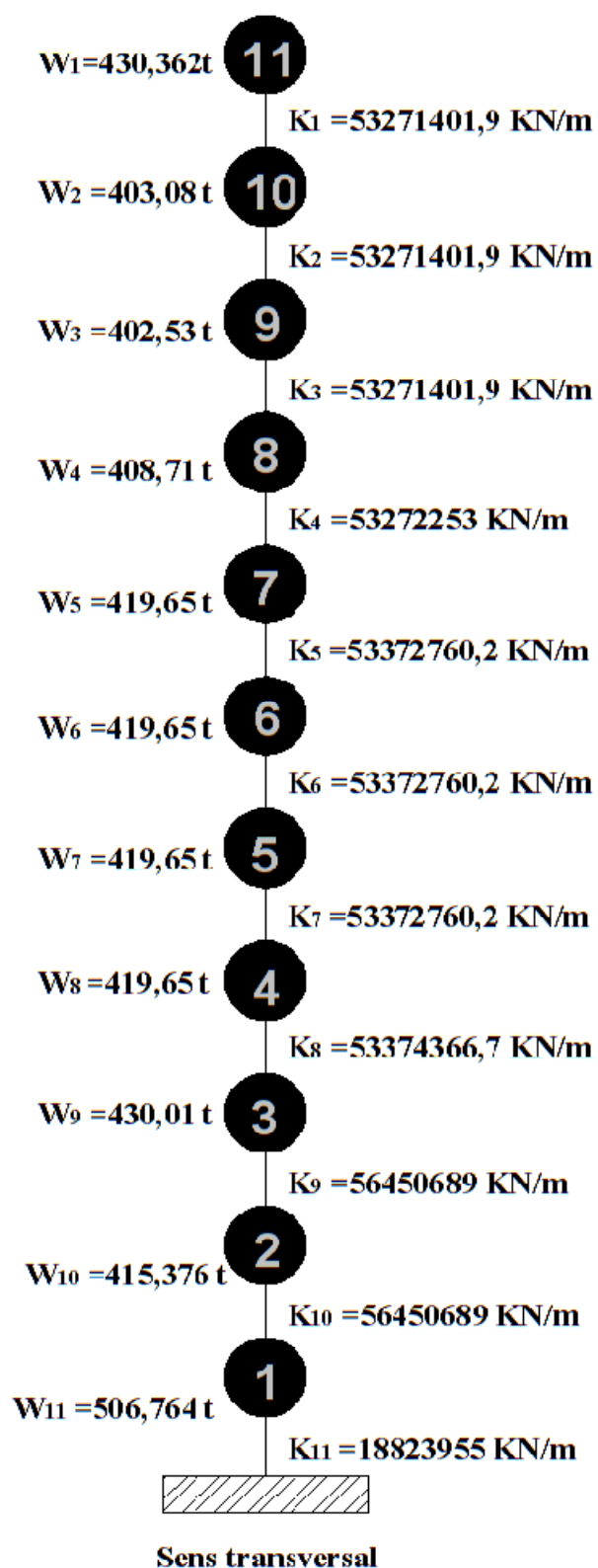
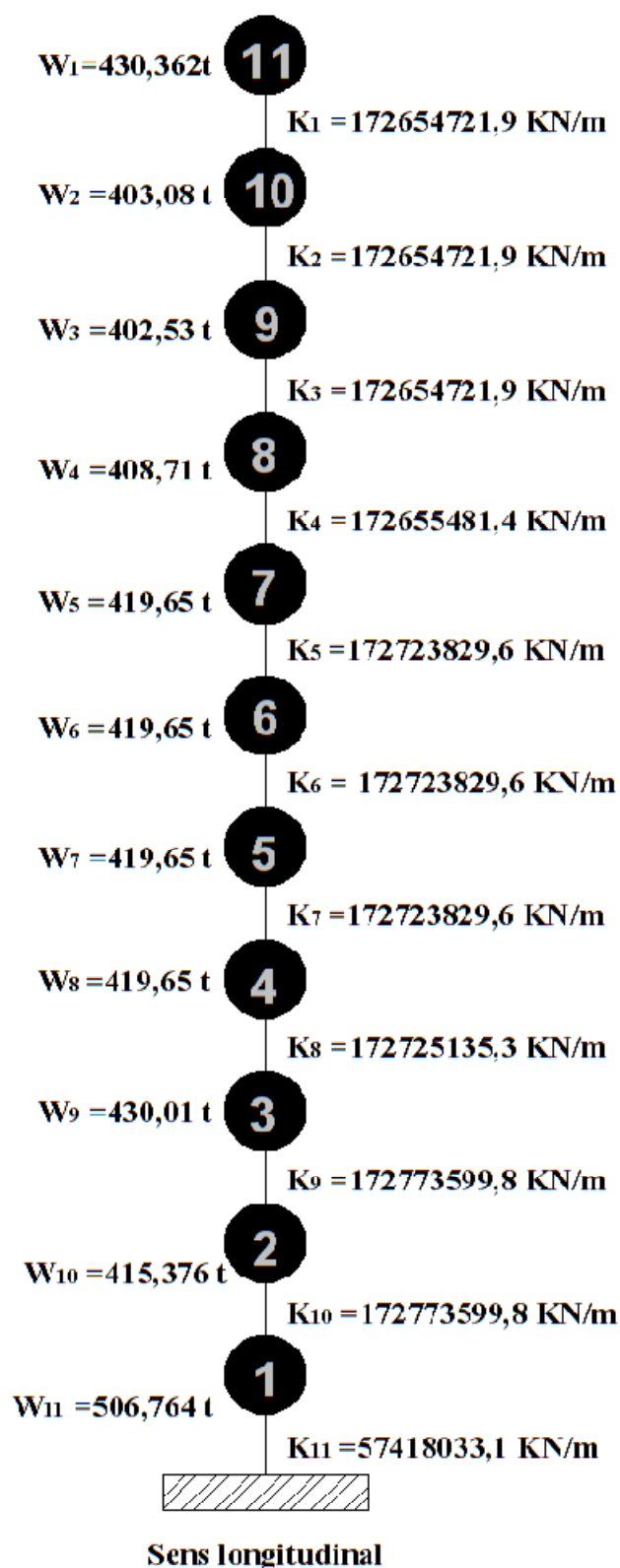
β : Coefficient de pondération, fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation, donné par (tableau 4.5/RPA) $\rightarrow \beta = 0.20$.

les charges permanentes et les surcharges d'exploitation, ainsi que le poids totale qui revient à chaque niveau sont donnée par le tableau suivant (**Tableau 5-1**)

Niveau	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	RDC
Plancher	189,06	166,83	166,83	172,08	172,08	172,08	172,08	172,08	172,08	164,56	173,8
Poutres Principales	42,69	42,69	42,69	42,69	42,69	42,69	42,69	42,69	37,41	37,41	37,41
Poutres Secondaires	35,54	35,54	35,54	35,54	35,54	35,54	35,54	35,54	35,54	35,54	35,54
Poteaux	30,29	30,29	30,29	30,29	41,23	41,23	41,23	41,23	53,86	53,86	77,79
Voiles	62,7	62,7	62,7	62,7	62,7	62,7	62,7	62,7	65,87	65,87	95,14
Murs Exterieurs	36,97	36,97	36,42	36,42	36,42	36,42	36,42	36,42	36,26	34,54	49,56
Escaliers	0	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04	7,98	11,38
Acrotère	15,86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Balcons	9,17	9,17	9,17	9,74	9,74	9,74	9,74	9,74	9,74	0	0
Q plancher	33,28	46	46	47,45	47,45	47,45	47,45	47,45	47,45	75,62	127,79
Q escalier	0	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2,46	2,93
Q balcon	7,13	5,67	5,67	6,02	6,02	6,02	6,02	6,02	6,02	0	0
Wi(t)=G+ 0,2Q	430,362	403,08	402,53	408,71	419,65	419,65	419,65	419,65	430,01	415,376	506,764

Le poids total de la structure : $W_{\text{tot}} = \sum_{i=1}^{11} W_i = 4675,432 \text{ t}$

5-3-2 Le modèle mathématiques :



5-3-3 Equation de mouvement :

C'est un système forcé non amorti à plusieurs degrés de liberté. L'équation différentielle du mouvement s'écrit :

$$M \ddot{V}(t) + C \dot{V}(t) + K V(t) = F(t)$$

Le mode de vibration est propre à la structure, c'est-à-dire il ne dépend pas de l'excitation dynamique $F(t)$, mais uniquement des caractéristiques de la structure (masse, rigidité et souplesse).

La détermination des modes propres d'une structure est possible en considérant le mouvement en oscillation non amortie.

L'équation du mouvement va s'écrire comme suit :

$$[M] \{\ddot{V}(t)\} + [K] \{V(t)\} = 0$$

- **Détermination des pulsations propres (ω_i):**

$$([K] - \omega^2[M]) \{V(t)\} = 0 \dots\dots\dots \textbf{(I)}$$

Avec :

$[K]$: Matrice de rigidité (nxn)

$[M]$: Matrice de masse (nxn)

$$([K] - \omega^2[M]) = 0 \Rightarrow \det([K] - \omega^2[M]) = 0$$

En développant le système nous aurons un polynôme de degré « n » en ω^2 sous la forme :

$$P(\omega^2) = a_0(\omega^2)^0 + a_1(\omega^2)^1 + a_2(\omega^2)^2 + a_3(\omega^2)^3 \dots\dots\dots + a_n(\omega^2)^n = 0$$

En posant $\omega^2 = \lambda$:

$$P(\lambda) = a_0(\lambda)^0 + a_1(\lambda)^1 + a_2(\lambda)^2 + a_3(\lambda)^3 \dots\dots\dots + a_n(\lambda)^n = 0$$

Avec : $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$, coefficient qui résultent des développement des sous déterminants de l'équation **(I)**.

Les solutions de $P(\lambda) = 0$ sont les racines ($\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$) ou ($\omega_0^2, \omega_1^2, \omega_2^2, \dots, \omega_n^2$).

Le problème finalement consiste à trouver les valeurs de ω_i pour lesquelles l'équation **(I)** possède des solutions non nulles.

Les ω_i ainsi déterminés s'appellent les pulsations propres du système dynamique ; à chaque pulsation propre correspond un mode propre de vibration de la structure.

Le mode correspondant à la pulsation la plus basse est appelé le premier mode ou le mode fondamentale, le second mode correspond à la pulsation suivante etc.

• **Détermination des modes propres :**

Une fois les pulsations propres sont déterminées, on peut déterminer les modes propres de la structure.

Les modes propres $\{a_I\}$, $\{a_{II}\}$, $\{a_{III}\}$, ..., $\{a_N\}$, sont déterminés à partir de l'équation suivante :

$$([K] - \omega^2[M])\{a_i\} = 0 \dots\dots\dots(\text{II})$$

L'équation (II) permettra de déterminer directement les modes propres donnés par le vecteur $\{a_i\}$.

Pour trouver $\{a_I\}$, il suffit de résoudre :

$$([K] - \omega_I^2[M])\{a_I\} = 0$$

Remarque :

- 1- Pour avoir une solution $\{a_i\} \neq 0$, on suppose une déformée approchée en attribuant une valeur non nulle à l'une des composantes de ce vecteur, en général pour une question de simplicité et de commodité on prend cette valeur égale à l'unité. On se donne la première composante $a_{1I} = 1$ et on cherche les autres composantes ; en procédant par la même manière, on détermine les autres modes.
- 2- Selon le RPA 99, le nombre de mode à prendre en compte est tel que la somme des coefficients de participation α de ces modes doit être au moins égale à 90% avec un minimum de trois modes.

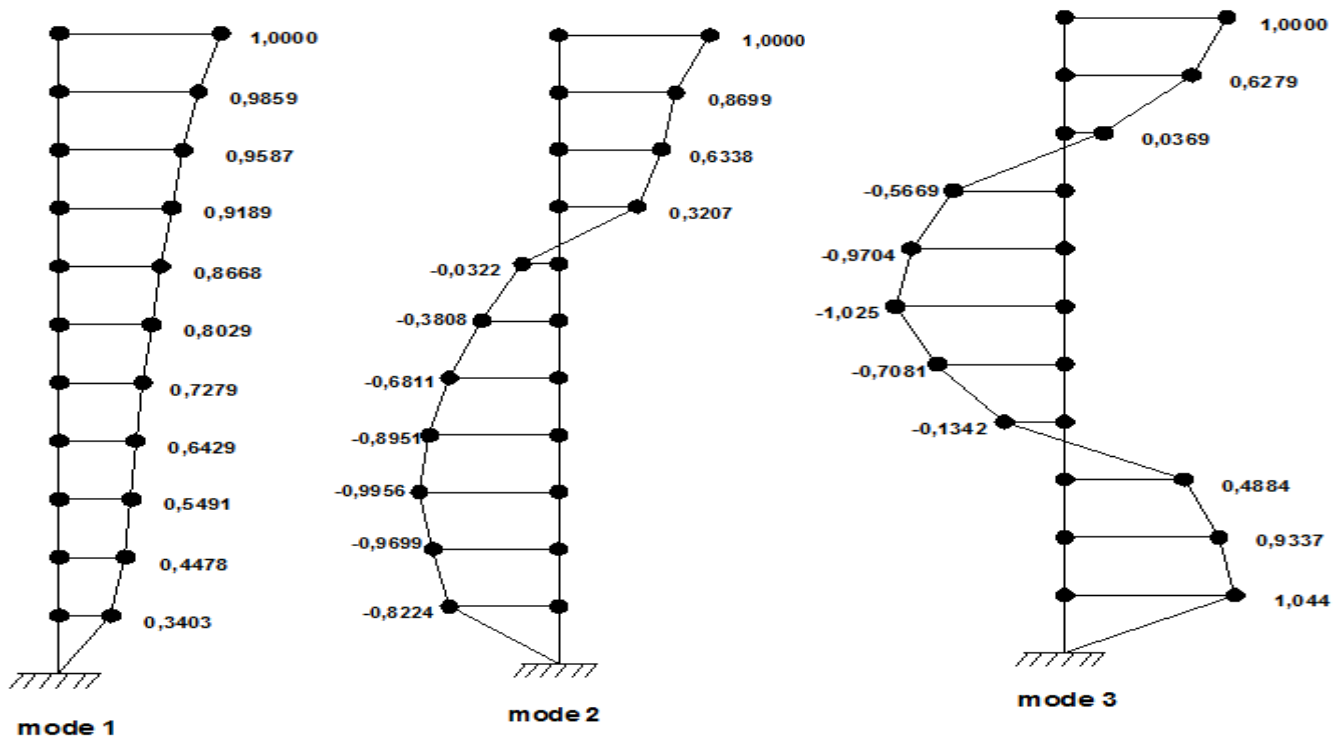
$$\alpha_j = \frac{\left[\sum_{k=1}^n M_k a_{kj} \right]^2}{\sum_{k=1}^n M_k \left[\sum_{k=1}^n M_k a_{kj}^2 \right]}$$

Le calcul manuel étant relativement très long, nous avons alors utilisé le logiciel « MATLAB » qui nous permet de déterminer les pulsations propres, vecteurs propres des vibrations de la structure.

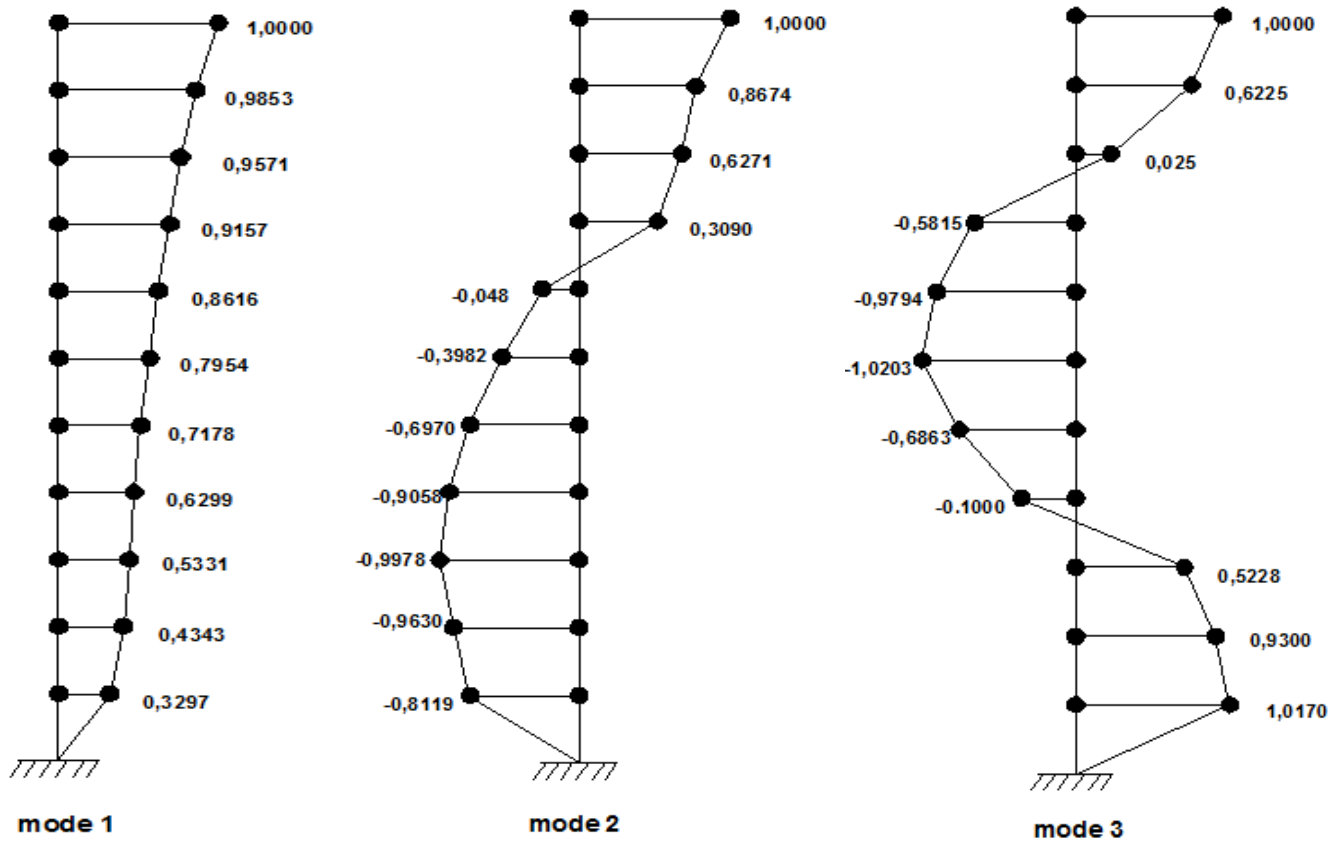
Les résultats obtenus dans les deux sens sont les suivants :

Tableau 5-2 : Vecteurs propres de chaque mode dans les deux sens

	Sens longitudinal			Sens transversal		
Niveau	mode 1	mode 2	mode 3	mode 1	mode 2	mode 3
11	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
10	0,9859	0,8699	0,6279	0,9853	0,8674	0,6225
9	0,9587	0,6338	0,0369	0,9571	0,6271	0,025
8	0,9189	0,3207	-0,5669	0,9157	0,309	-0,5815
7	0,8668	-0,0322	-0,9704	0,8616	-0,048	-0,9794
6	0,8029	-0,3808	-1,025	0,7954	-0,3982	-1,0203
5	0,7279	-0,6811	-0,7081	0,7178	-0,697	-0,6863
4	0,6429	-0,8951	-0,1342	0,6299	-0,9058	-0,1
3	0,5491	-0,9956	0,4884	0,5331	-0,9978	0,5228
2	0,4478	-0,9699	0,9337	0,4343	-0,963	0,93
1	0,3403	-0,8224	1,044	0,3297	-0,8119	1,017
W(rd/s)	23,79	72,24	122,18	13,48	40,51	68,35
T(s)	0,26	0,087	0,051	0,46	0,16	0,092
$\alpha(\%)$	91,74	6,65	1,24	91,26	7,04	1,3
Somme	99,63			99,6		



Allure des modes dans le sens longitudinal



Allure des modes dans le sens transversal

5-4 Calcul des forces sismiques :

La force sismique latérale au niveau « k » pour le mode « i » est donné par la formule suivante :

$$F_{ki} = \frac{S_{ai}}{g} \gamma_{ki} W_{ki} \quad \text{avec :}$$

W_{ki} : Poids du niveau « k » ;

$\frac{S_{ai}}{g}$: Accélération donnée par le spectre de réponse ;

γ_{ki} : Facteur de distribution ;

$$\text{Où : } \gamma_i = \Phi_{ki} \frac{|\sum_{k=1}^{11} W_k \Phi_{ki}|}{\sum_{k=1}^{11} W_k \Phi_{ki}^2}$$

Φ_{ki} : Amplitude au niveau « k » pour le mode « i ».

- Calcul des facteurs de distribution (γ_{ki}) dans les deux sens :

	mode 1				mode 2				mode 3				Wk (t)
Niv	Φ	Wk x Φ	Wk x Φ^2	γ_{ki}	Φ	Wk x Φ	Wk x Φ^2	γ_{ki}	Φ	Wk x Φ	Wk x Φ^2	γ_{ki}	
11	1,000	430,362	430,362	1,239	1,000	430,362	430,362	0,340	1,000	430,362	430,362	0,144	430,362
10	0,985	397,396	391,793	1,222	0,869	350,639	305,021	0,295	0,627	253,093	158,917	0,090	403,08
9	0,958	385,905	369,967	1,188	0,633	255,123	161,697	0,215	0,036	14,853	0,548	0,005	402,53
8	0,918	375,563	345,105	1,139	0,320	131,073	42,035	0,109	-0,566	-231,697	131,349	-0,081	408,71
7	0,866	363,752	315,300	1,074	-0,032	-13,512	0,435	-0,010	-0,970	-407,228	395,174	-0,139	419,65
6	0,802	336,936	270,526	0,995	-0,380	-159,802	60,852	-0,129	-1,025	-430,141	440,894	-0,147	419,65
5	0,727	305,463	222,346	0,902	-0,681	-285,823	194,674	-0,231	-0,708	-297,154	210,414	-0,102	419,65
4	0,642	269,792	173,449	0,797	-0,895	-375,628	336,225	-0,304	-0,134	-56,317	7,557	-0,019	419,65
3	0,549	236,118	129,652	0,680	-0,995	-428,117	426,234	-0,338	0,488	210,016	102,572	0,070	430,01
2	0,447	186,005	83,293	0,555	-0,969	-402,873	390,746	-0,329	0,933	387,836	362,123	0,134	415,376
1	0,340	172,451	58,685	0,421	-0,822	-416,762	342,745	-0,279	1,044	529,061	552,340	0,150	506,764
somme		3459,74	2790,48			915,323	2691,029			402,68	2792,25		

Tableau 5-3-a : Calcul des facteurs de distribution (sens longitudinal)

	mode 1				mode 2				mode 3				
Niv	Φ	$W_k \times \Phi$	$W_k \times \Phi^2$	γ_{ki}	Φ	$W_k \times \Phi$	$W_k \times \Phi^2$	γ_{ki}	Φ	$W_k \times \Phi$	$W_k \times \Phi^2$	γ_{ki}	$W_k (t)$
11	1,000	430,362	430,362	1,246	1,000	430,362	430,362	0,349	1,000	430,362	430,362	0,148	430,362
10	0,985	397,154	391,316	1,227	0,867	349,631	303,270	0,303	0,622	250,917	156,196	0,092	403,08
9	0,957	385,261	368,733	1,192	0,627	252,426	158,296	0,219	0,025	10,063	0,251	0,003	402,53
8	0,915	374,255	342,705	1,140	0,309	126,291	39,024	0,108	-0,581	-237,664	138,202	-0,086	408,71
7	0,861	361,570	311,529	1,073	-0,048	-20,143	0,966	-0,016	-0,979	-411,005	402,538	-0,145	419,65
6	0,795	333,789	265,496	0,991	-0,398	-167,104	66,541	-0,139	-1,020	-428,168	436,860	-0,151	419,65
5	0,717	301,224	216,219	0,894	-0,697	-292,496	203,869	-0,243	-0,686	-288,005	197,658	-0,101	419,65
4	0,629	264,337	166,506	0,784	-0,905	-380,118	344,311	-0,316	-0,100	-41,965	4,196	-0,014	419,65
3	0,533	229,238	122,206	0,664	-0,997	-429,063	428,120	-0,348	0,522	224,809	117,530	0,077	430,01
2	0,434	180,397	78,346	0,544	-0,963	-400,007	385,206	-0,336	0,93	386,299	359,258	0,138	415,376
1	0,329	167,080	55,086	0,410	-0,811	-411,441	334,049	-0,283	1,017	515,378	524,140	0,151	506,764
somme		3424,67	2748,50			941,664	2694,02			411,020	2767,195		

Tableau 5-3-b : Calcul des facteurs de distribution (sens transversal)

- **Calcul de l'accélération spectrale :**

- **Sens longitudinal :**

Mode 1 : $T = 0,26s \rightarrow T_1 = 0,15s < T < T_2 = 0,5s$

$$\frac{S_a}{g} = 2,5 \eta (1,25 A) \left(\frac{Q}{R} \right) \Rightarrow \frac{S_a}{g} = 2,5 \cdot 0,76 (1,25 \cdot 0,15) \left(\frac{1,1}{5} \right) = 0,078$$

Mode 2 : $T = 0,087s \rightarrow 0 < T < T_1 = 0,15s$

$$\frac{S_a}{g} = 1,25A \left(1 + \frac{T}{T_1} \left(2,5 \eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right) = 1,25 \cdot 0,15 \left(1 + \frac{0,087}{0,15} \left(2,5 \cdot 0,76 \cdot \frac{1,1}{5} - 1 \right) \right) =$$

$$\frac{S_a}{g} = 0,124$$

Mode 3 : $T = 0,051s \rightarrow 0 < T < T_1 = 0,15s$

$$\frac{S_a}{g} = 1,25A \left(1 + \frac{T}{T_1} \left(2,5 \eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right) = 1,25 \cdot 0,15 \left(1 + \frac{0,051}{0,15} \left(2,5 \cdot 0,76 \cdot \frac{1,1}{5} - 1 \right) \right) =$$

$$\frac{S_a}{g} = 0,15$$

- **Sens transversal :**

Mode 1 : $T = 0,46s \rightarrow T_1 = 0,15s < T < T_2 = 0,5s$

$$\frac{S_a}{g} = 2,5 \eta (1,25 A) \left(\frac{Q}{R} \right) \Rightarrow \frac{S_a}{g} = 2,5 \cdot 0,76 (1,25 \cdot 0,15) \left(\frac{1,1}{5} \right) = 0,078$$

Mode 2 : $T = 0,16s \rightarrow T_1 = 0,15s < T < T_2 = 0,5s$

$$\frac{S_a}{g} = 2,5 \eta (1,25 A) \left(\frac{Q}{R} \right) \Rightarrow \frac{S_a}{g} = 2,5 \cdot 0,76 (1,25 \cdot 0,15) \left(\frac{1,1}{5} \right) = 0,078$$

Mode 3 : $T = 0,092s \rightarrow 0 < T < T_1 = 0,15s$

$$\begin{aligned} \frac{S_a}{g} &= 1,25A \left(1 + \frac{T}{T_1} \left(2,5 \eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right) = 1,25 \cdot 0,15 \left(1 + \frac{0,092}{0,15} \left(2,5 \cdot 0,76 \cdot \frac{1,1}{5} - 1 \right) \right) \\ &= \frac{S_a}{g} = 0,12 \end{aligned}$$

NIV	Wk (t)	mode 1			mode 2			mode 3		
		Sai/g	γ_{ki}	Fk1(t)	Sai/g	γ_{ki}	Fk2(t)	Sai/g	γ_{ki}	Fk3(t)
11	430,362	0,078	1,239	41,619	0,124	0,340	18,151	0,15	0,144	9,309
10	403,08	0,078	1,222	38,431	0,124	0,295	14,788	0,15	0,090	5,475
9	402,53	0,078	1,188	37,319	0,124	0,215	10,760	0,15	0,005	0,321
8	408,71	0,078	1,139	36,319	0,124	0,109	5,528	0,15	-0,081	-5,012
7	419,65	0,078	1,074	35,177	0,124	-0,010	-0,569	0,15	-0,139	-8,809
6	419,65	0,078	0,995	32,584	0,124	-0,129	-6,740	0,15	-0,147	-9,304
5	419,65	0,078	0,902	29,540	0,124	-0,231	-12,055	0,15	-0,102	-6,428
4	419,65	0,078	0,797	26,090	0,124	-0,304	-15,842	0,15	-0,019	-1,218
3	430,01	0,078	0,680	22,834	0,124	-0,338	-18,056	0,15	0,070	4,543
2	415,376	0,078	0,555	17,988	0,124	-0,329	-16,992	0,15	0,134	8,389
1	506,764	0,078	0,421	16,677	0,124	-0,279	-17,577	0,15	0,150	11,444

Tableau 5-4-a : Les forces sismiques par niveau et par mode en (t) (sens longitudinal)

NIV	Wk (t)	mode 1			mode 2			mode 3		
		Sai/g	γ_{ki}	Fk1(t)	Sai/g	γ_{ki}	Fk2(t)	Sai/g	γ_{ki}	Fk3(t)
11	430,362	0,078	1,246	41,826	0,078	0,349	11,733	0,12	0,148	7,670
10	403,08	0,078	1,227	38,599	0,078	0,303	9,532	0,12	0,092	4,472
9	402,53	0,078	1,192	37,443	0,078	0,219	6,882	0,12	0,003	0,179
8	408,71	0,078	1,140	36,373	0,078	0,108	3,443	0,12	-0,086	-4,236
7	419,65	0,078	1,073	35,140	0,078	-0,016	-0,549	0,12	-0,145	-7,325
6	419,65	0,078	0,991	32,440	0,078	-0,139	-4,555	0,12	-0,151	-7,631
5	419,65	0,078	0,894	29,275	0,078	-0,243	-7,974	0,12	-0,101	-5,133
4	419,65	0,078	0,784	25,690	0,078	-0,316	-10,363	0,12	-0,0148	-0,747
3	430,01	0,078	0,664	22,279	0,078	-0,348	-11,698	0,12	0,077	4,006
2	415,376	0,078	0,541	17,532	0,078	-0,336	-10,905	0,12	0,138	6,885
1	506,764	0,078	0,410	16,238	0,078	-0,283	-11,217	0,12	0,151	9,186

Tableau 5-4-b : Les forces sismiques par niveau et par mode en (t) (sens transversal)

5-5 Combinaison des réponses modales : [RPA99/ Art 4.3.5]

Les réponses des deux modes de vibrations « i » et « j » de périodes « T_i » et « T_j » et d'amortissement « ζ_i » et « ζ_j » sont considérées indépendantes si le rapport $r = T_i/T_j$,

($T_i < T_j$) vérifie la relation suivante : $r \leq 10 \left(10 + \sqrt{\zeta_i + \zeta_j} \right)$. Dans notre cas $\zeta_i = \zeta_j = 10 \Rightarrow r = 0,5$.

Tableau 5-5 combinaison des réponses dans les deux sens :

Sens longitudinal

	T_i (s)	T_j (s)	$r = T_i / T_j$	$10 / (10 + (\zeta_i + \zeta_j)^{1/2})$	Observation
Mode 1 et 2	0,087	0,26	0,33	0,5	vérifiée
Mode 2 et 3	0,051	0,087	0,58	0,5	Pas vérifiée
Mode 1 et 3	0,051	0,26	0,19	0,5	vérifiée

Sens transversal

	T_i (s)	T_j (s)	$r = T_i / T_j$	$10 / (10 + (\zeta_i + \zeta_j)^{1/2})$	Observation
Mode 1 et 2	0,16	0,46	0,35	0,5	vérifiée
Mode 2 et 3	0,092	0,16	0,57	0,5	Pas vérifiée
Mode 1 et 3	0,092	0,46	0,20	0,5	vérifiée

Conclusion :

Les réponses modales (F_2 et F_3) sont pas indépendantes dans les deux sens, donc la réponse modale totale est donnée par :

$$F_k = \sqrt{|F_{k2}| + |F_{k3}| + F_{k1}^2}$$

Avec :

F_k : Force résultante au niveau « k ».

F_{ki} : Valeur modale de F selon le mode « i ».

	sens longitudinal				sens transversal			
	mode 1	mode 2	mode 3		mode 1	mode 2	mode 3	
Niveau	$F_{k1}^2(t)$	$F_{k2}(t)$	$F_{k3}(t)$	$F_k(t)$	$F_{k1}^2(t)$	$F_{k2}(t)$	$F_{k3}(t)$	$F_k(t)$
11	1732,157	18,151	9,309	41,947	1749,447	11,733	7,670	42,057
10	1476,956	14,788	5,475	38,693	1489,883	9,532	4,472	38,780
9	1392,776	10,760	0,321	37,468	1401,987	6,882	0,179	37,537
8	1319,126	5,528	-5,012	36,464	1323,030	3,443	-4,236	36,478
7	1237,461	-0,569	-8,809	35,310	1234,863	-0,549	-7,325	35,252
6	1061,736	-6,740	-9,304	32,829	1052,394	-4,555	-7,631	32,627
5	872,644	-12,055	-6,428	29,851	857,066	-7,974	-5,133	29,498
4	680,739	-15,842	-1,218	26,415	660,010	-10,363	-0,747	25,906
3	521,410	-18,056	4,543	23,324	496,372	-11,698	4,006	22,629
2	323,571	-16,992	8,389	18,680	307,394	-10,905	6,885	18,032
1	278,134	-17,577	11,444	17,525	263,683	-11,217	9,186	16,854
SOMME				338,512				335,655

Tableau 5-6 Forces sismiques résultantes par niveau dans les deux sens

5-6 Répartition des forces sismiques dans les voiles et les portiques :

Les forces sismiques sont réparties sur les voiles et les portiques proportionnellement à leurs inerties calculées et données en pourcentage dans l'étude du contreventement.

5-6-1 Calcul des efforts tranchants et des moments fléchissant :

$$T_k = F_k + T_{k+1}$$

$$M_k = T_{k+1} \times h_e + M_{k+1}$$

Où :

F_k : force sismique au niveau « k » reprise par le portique ou par le voile.

h_e : hauteur d'étage du niveau « k ».

T_k : effort tranchant au niveau « k ».

M_k : moment fléchissant au niveau « k ».

Niveau	h _e (m)	sens longitudinal			sens transversal		
		F _k (t)	T _k (t)	M _k (t.m)	F _k (t)	T _k (t)	M _k (t.m)
11	3,06	41,947	41,947	0,000	42,057	42,057	0,000
10	3,06	38,693	80,641	128,360	38,780	80,837	128,696
9	3,06	37,468	118,109	375,124	37,537	118,375	376,060
8	3,06	36,464	154,574	736,540	36,478	154,853	738,287
7	3,06	35,310	189,885	1209,537	35,252	190,106	1212,140
6	3,06	32,829	222,714	1790,586	32,627	222,734	1793,866
5	3,06	29,851	252,566	2472,093	29,498	252,233	2475,433
4	3,06	26,415	278,982	3244,946	25,906	278,139	3247,266
3	3,06	23,324	302,306	4098,632	22,629	300,768	4098,371
2	3,06	18,680	320,986	5023,689	18,032	318,801	5018,722
1	4,42	17,525	338,512	6442,450	16,854	335,655	6427,823

Tableau 5-7 Les différentes sollicitations par niveau

Niveau	Cote Z(m)	Voiles (43,14%)				Portiques (56,86%)			
		F _{k tot} (t)	F _k (t)	T _k (t)	M _k (t.m)	F _{k tot} (t)	F _k (t)	T _k (t)	M _k (t.m)
11	35,02	41,947	18,096	18,096	0,000	41,947	23,851	23,851	0,000
10	31,96	38,693	16,692	34,788	55,374	38,693	22,001	45,852	72,985
9	28,9	37,468	16,163	50,952	161,828	37,468	21,304	67,157	213,295
8	25,84	36,464	15,730	66,683	317,743	36,464	20,733	87,891	418,796
7	22,78	35,310	15,233	81,916	521,794	35,310	20,077	107,968	687,743
6	19,72	32,829	14,162	96,079	772,458	32,829	18,666	126,635	1018,127
5	16,66	29,851	12,878	108,957	1066,460	29,851	16,973	143,609	1405,632
4	13,6	26,415	11,395	120,352	1399,869	26,415	15,020	158,629	1845,076
3	10,54	23,324	10,061	130,414	1768,149	23,324	13,262	171,891	2330,482
2	7,48	18,680	8,058	138,473	2167,219	18,680	10,621	182,513	2856,470
1	4,42	17,525	7,560	146,034	2779,273	17,525	9,965	192,478	3663,177

Tableau 5-8-a : Répartition des forces sismiques dans les voiles et les portiques dans le sens longitudinal

Niveau	Cote Z(m)	Voiles (65,71%)				Portiques (34,29%)			
		F _{k tot} (t)	F _k (t)	T _k (t)	M _k (t.m)	F _{k tot} (t)	F _k (t)	T _k (t)	M _k (t.m)
11	35,02	42,057	27,636	27,636	0,000	42,057	14,421	14,421	0,000
10	31,96	38,780	25,482	53,118	84,566	38,780	13,297	27,719	44,130
9	28,9	37,537	24,665	77,784	247,109	37,537	12,871	40,590	128,950
8	25,84	36,478	23,970	101,754	485,128	36,478	12,508	53,099	253,158
7	22,78	35,252	23,164	124,918	796,497	35,252	12,088	65,187	415,642
6	19,72	32,627	21,439	146,358	1178,749	32,627	11,188	76,375	615,116
5	16,66	29,498	19,383	165,742	1626,607	29,498	10,115	86,490	848,826
4	13,6	25,906	17,022	182,765	2133,778	25,906	8,883	95,373	1113,487
3	10,54	22,629	14,869	197,634	2693,040	22,629	7,759	103,133	1405,331
2	7,48	18,032	11,849	209,484	3297,802	18,032	6,183	109,316	1720,919
1	4,42	16,854	11,075	220,559	4223,722	16,854	5,779	115,096	2204,100

Tableau 5-8-b : Répartition des forces sismiques dans les voiles et les portiques dans le sens transversal

5-7 Calcul et vérification des déplacements relatifs de niveau : [RPA99/Art 5.10]

Les déplacements relatifs latéraux d'un étage par rapport aux étages qui lui sont adjacents, ne doivent pas dépasser 1% la hauteur d'étage à moins qu'il ne puisse être prouvé qu'un plus grand déplacement relatif peut être toléré.

Le déplacement horizontal de chaque niveau « k » de la structure est donnée par les relations suivantes : [RPA99/ Art A.4.4.3]

$$\delta_k = R \times \delta_{ek}$$

$$\delta_{ek} = \frac{\{F_k\}}{[K]} = [K]^{-1}\{F_k\}$$

Avec :

δ_{ek} : Déplacement du niveau « k » dû à la force sismique F_k ;

R : Coefficient de comportement.

Et : $\Delta_k = \delta_k - \delta_{k-1}$ (déplacement relatif).

On calcul l'inverse de la matrice de rigidité $[K]^{-1}$ avec le logiciel « MATLAB ».

Les déplacements ainsi que les vérifications à faire sont résumées dans les deux tableaux suivants :

Niveau	F_k (KN)	δ_{ek} (cm)	R	δ_k (cm)	Δ_k (cm)	$1\%h_{ek}$ (cm)
11	420,23	0,0172	5	0,086	0,001	3,06
10	387,57	0,017	5	0,085	0,0025	3,06
9	375,18	0,0165	5	0,0825	0,0035	3,06
8	364,79	0,0158	5	0,079	0,0045	3,06
7	352,33	0,0149	5	0,0745	0,0055	3,06
6	326,24	0,0138	5	0,069	0,0065	3,06
5	294,84	0,0125	5	0,0625	0,007	3,06
4	258,76	0,0111	5	0,0555	0,008	3,06
3	226,52	0,0095	5	0,0475	0,009	3,06
2	180,26	0,0077	5	0,0385	0,009	3,06
1	167,85	0,0059	5	0,0295	0,0295	4,42

Tableau 5-9-a : Calcul des déplacements suivants le sens longitudinal

Niveau	F_k (KN)	δ_{ek} (cm)	R	δ_k (cm)	Δ_k (cm)	$1\%h_{ek}$ (cm)
11	419,19	0,0539	5	0,2695	0,004	3,06
10	386,81	0,0531	5	0,2655	0,0075	3,06
9	374,16	0,0516	5	0,258	0,011	3,06
8	364,54	0,0494	5	0,247	0,015	3,06
7	352,54	0,0464	5	0,232	0,0175	3,06
6	328,13	0,0429	5	0,2145	0,021	3,06
5	298,34	0,0387	5	0,1935	0,0235	3,06
4	264,12	0,034	5	0,17	0,026	3,06
3	232,96	0,0288	5	0,144	0,027	3,06
2	186,71	0,0234	5	0,117	0,028	3,06
1	174,13	0,0178	5	0,089	0,089	4,42

Tableau 5-9-b : Calcul des déplacements suivant le sens transversal

5-8 Comparaison entre l'effort tranchant à la base de la méthode dynamique et celui de la méthode statique équivalente :

L'une des vérifications préconisées par le RPA99 est relative à la résultante des forces sismiques.

En effet, la résultante des forces sismiques à la base V_{tot} obtenue par la combinaison des valeurs modales ne doit pas être inférieure à 80% de la résultante des forces sismiques déterminées par la méthode statique équivalente V .

5-8 Calcul de la force sismique totale :

La force sismique totale V appliquée à la base de la structure, est donnée par la formule suivante :

$$V = \frac{A.D.Q}{R} \chi W_T$$

A : Coefficient d'accélération de zone donnée par le tableau des règles RPA en fonction de la zone sismique et du groupe d'usage.

R : Facteur de comportement dépendant du type de système de contreventement de la structure.

D : Facteur d'amplification dynamique, dépendant de la période T et du type de sol d'assise de fondation.

Q : Facteur de qualité, dépendant de la qualité du système structurel (régularité en plan, en élévation, contrôle de qualité des matériaux....).

$$D = \begin{cases} 2.5 \eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5 \eta \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0 \text{ s} \\ 2.5 \eta \left(\frac{T_2}{3} \right)^{2/3} \left(\frac{3}{T} \right)^{5/3} & T > 3.0 \text{ s} \end{cases}$$

$$T = \min \left\{ C_t h_n^{3/4}; 0.09 \frac{h_n}{\sqrt{D}} \right\}$$

h : hauteur du bâtiment à partir de sa base jusqu'au dernier niveau.

C_t : coefficient, fonction de système de contreventement, du type de remplissage.

D : dimension du bâtiment à sa base dans la direction de calcul considérée.

▪ **Sens longitudinal :**

$$\left\{ \begin{array}{l} D_x = 25\text{m} \\ C_t = 0,050 \Rightarrow T = \min \{0,05x(35,02)^{\frac{3}{4}}; 0,09x35,02/\sqrt{25}\} = 0,630\text{s} \\ h_n = 35,02\text{m} \end{array} \right.$$

Et on a : $T_2 = 0,50\text{s}$

$$\left\{ \begin{array}{l} T_2 = 0,5\text{s} \leq T = 0,630\text{s} \leq 3,0\text{s} \rightarrow D = 2,5 \eta \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} \\ \eta = \left[\frac{7}{2+\zeta} \right]^{1/2} = 0,76 \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow D = 2,5x0,76x \left(\frac{0,5}{0,630} \right)^{\frac{2}{3}} = 1,62$$

$$V_x = \frac{0,15x1,62x1,1}{5} x4675,432 = 249,94 \text{ t}$$

▪ **Sens transversal**

$$\left\{ \begin{array}{l} D_y = 19,9\text{m} \\ C_t = 0,050 \Rightarrow T = \min \{0,05x(35,02)^{\frac{3}{4}}; 0,09x35,02/\sqrt{19,90}\} = 0,706\text{s} \\ h_n = 35,02\text{m} \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow D = 2,5x0,76x \left(\frac{0,5}{0,706} \right)^{\frac{2}{3}} = 1,5$$

$$V_y = \frac{0,15x1,5x1,1}{5} x4675,432 = 231,43 \text{ t}$$

Sens	V _{dynamique} (t)	V _{statique} (t)	$\frac{V_{dynamique}}{V_{statique}}$	Observation
Longitudinal	338,512	249,94	1,35 > 0,8	Vérifiée
Transversal	335,655	231,43	1,45 > 0,8	Vérifiée

Conclusion :

La condition du RPA étant satisfaite, nous opterons pour les efforts sismiques obtenus par la méthode dynamique.

Les déplacements relatifs de tous les niveaux et dans les deux sens sont inférieurs aux déplacements admissibles qui sont égal à :

- Etage courant : $0,01 \times 306 \text{ cm} = 3,06 \text{ cm}$.
- RDC : $0,01 \times 442 \text{ cm} = 4,42 \text{ cm}$.

CHAPITRE 6

ETUDE SOUS CHARGES HORIZONTALES

La méthode MUTO est une méthode approchée, qui permet de calculer les efforts dus aux charges horizontales (séisme ou vent) dans chaque élément de la structure. Cette méthode est basée sur la théorie des rigidités de niveau, elle permet la distribution des efforts tranchants suivants les différents portiques, et répartie ensuite l'effort tranchant de chaque portique dans les poteaux proportionnellement à leur rigidités relative de niveau, et permet aussi d'en déduire les moments fléchissant et les autres sollicitations dans les poutres et les portiques de chaque portique.

6-1 hypothèse de calcul :

- La raideur des poutres ne doit pas être faible devant celle des poteaux.
- Les raideurs des travées adjacentes d'une même portée ne doivent pas être très différentes.
- Les charges sont considérées concentrées au niveau des planchers.
- Les diagrammes de répartition des charges en élévation doivent être :
 - Rectangulaires pour le vent jusqu'à 10 m de hauteur.
 - Triangulaires pour le séisme.

6-2 Distribution de l'effort tranchant par niveau et par portiques :

Les efforts tranchants de niveau j revenant aux portiques longitudinaux et transversaux sont donnés comme suit :

$$T_{jx} = \frac{R_{jx}}{\sum R_{jx}} \tau_{jx} + \frac{R_{jx}}{R_{j\theta}} e_x y_i \tau_{jx} ; T_{jy} = \frac{R_{jy}}{\sum R_{jy}} \tau_{jy} + \frac{R_{jy}}{R_{j\theta}} e_y x_j^t \tau_{jy}$$

Soient :

- τ_{jx} : L'effort tranchant de niveau j dans le sens X-X.
- τ_{jy} : L'effort tranchant de niveau j dans le sens Y-Y.
- T_{jx} : L'effort tranchant revenant au portique longitudinal.
- T_{jy} : L'effort tranchant revenant au portique transversal.
- $R_{j\theta}$: La rigidité à la torsion de l'étage j.

6-3 Calcul des sollicitations dans les portiques :

6-3-1 Calcul des efforts tranchants revenant à chaque poteau d'un portique :

$$t_{ij} = \frac{r_{ij} T_j}{R_j} \quad \text{Avec } R_j = \sum r_{ij} \quad ; \quad T_j : \text{effort tranchant revenant au portique du niveau } j$$

6-3-2 Calcul de la position du point du moment nul dans un poteau :

$$Z = Y h_i$$

Avec : h : hauteur du poteau « i »

$$Y : \sum Y_i = Y_0 + Y_1 + Y_2 + Y_3$$

Y_0 : est donné par le tableau en fonction de $\bar{K}$

Y_1 : terme de correction dû à la variation de la rigidité linéaire (I/L) des poutres supérieure. Et inférieure, donné en fonction de α_1 et $\bar{K}$

$$\alpha_1 = \frac{\sum K_{poutSup}}{\sum K_{potInf}}$$

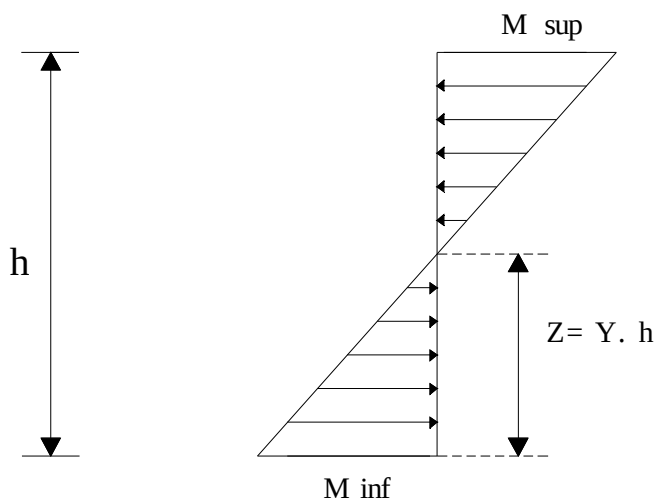
Y_2 : terme de correction dû à la variation de la hauteur d'étage supérieur. Adjacent donnée en fonction de $\alpha_2 = \frac{h_s}{h}$

Y_3 : terme de correction dû à la variation de la hauteur d'étage inférieur. Adjacent donnée en fonction de α_3 et $\bar{K}$ $\alpha_3 = \frac{h_i}{h}$

6-3-3 Calcul des moments en tête des poteaux :

$$M_{sup} = t_{ij}(h_j + Z)$$

$$M_{inf} = t_{ij} Z$$



6-3-4 Calcul des moments dans les poteaux :

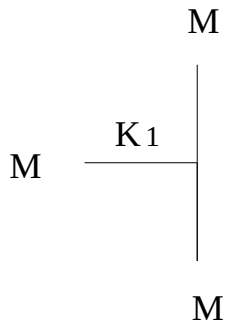


Fig 6-1-a

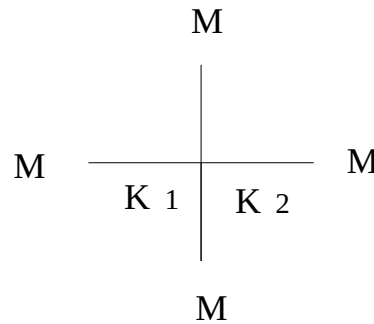


Fig 6-1-b

- Figure 7.1.2.a : $M_1 = M_a + M_b$
- Figure 7.1.2.b : $M_1 = \frac{K_1}{K_1 + K_2} (M_a + M_b)$ et $M_2 = \frac{K_2}{K_1 + K_2} (M_a + M_b)$

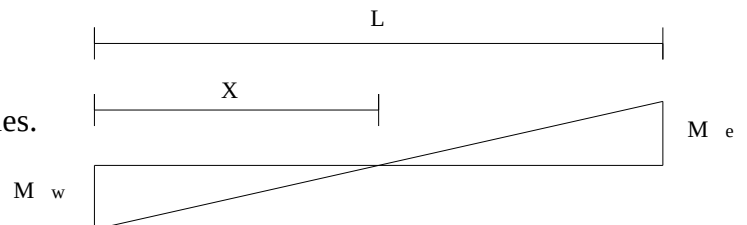
6-3-5 Calcul des moments en travée :

$$M_x = M_w - \frac{M_w + M_e}{L} X$$

Avec :

L : longueur libre de la poutre.

X : distance déjà calculée sous charges verticales.



6-3-6 Calcul de l'effort tranchant dans les poutres :

Fig 6 - 2

$$T = \pm \frac{M_w + M_e}{L} \quad \text{Avec : } M_w \text{ et } M_e : \text{ en valeur absolue.}$$

6-3-7 Calcul des efforts normaux des poteaux et des poutres :

$$N = |T_{wi}| - |T_{ei}|$$

Répartition des efforts horizontaux par portique dans le sens longitudinal (C-C) :								
Niv	Portique	Rix (kN/m)	$\sum R_{ix}$ (kN/m)	t _{jx} (kN)	e _y (m)	Y _i	R _{jθ} (kN,m)	T _{jx} (kN)
11	A-A	43283,140	210136,157	238,515	0,74	-8,81	20176036,31	45,793
	B-B	47537,700	210136,157	238,515	0,74	-4,56	20176036,31	52,061
	C-C	47537,700	210136,157	238,515	0,74	-1,76	20176036,31	53,226
	D-D	8802,713	210136,157	238,515	0,74	2,24	20176036,31	10,164
	E-E	33614,703	210136,157	238,515	0,74	5,04	20176036,31	39,636
	F-F	29360,200	210136,157	238,515	0,74	8,29	20176036,31	35,455
10	A-A	43283,140	210136,157	458,529	0,74	-8,81	20176036,31	88,033
	B-B	47537,700	210136,157	458,529	0,74	-4,56	20176036,31	100,084
	C-C	47537,700	210136,157	458,529	0,74	-1,76	20176036,31	102,323
	D-D	8802,713	210136,157	458,529	0,74	2,24	20176036,31	19,540
	E-E	33614,703	210136,157	458,529	0,74	5,04	20176036,31	76,198
	F-F	29360,200	210136,157	458,529	0,74	8,29	20176036,31	68,159
9	A-A	43283,140	210136,157	671,573	0,74	-8,81	20176036,31	128,936
	B-B	47537,700	210136,157	671,573	0,74	-4,56	20176036,31	146,586
	C-C	47537,700	210136,157	671,573	0,74	-1,76	20176036,31	149,865
	D-D	8802,713	210136,157	671,573	0,74	2,24	20176036,31	28,618
	E-E	33614,703	210136,157	671,573	0,74	5,04	20176036,31	111,602
	F-F	29360,200	210136,157	671,573	0,74	8,29	20176036,31	99,827
8	A-A	43445,530	210895,644	878,910	0,74	-8,81	20243144	168,762
	B-B	47704,200	210895,644	878,910	0,74	-4,56	20243144	191,819
	C-C	47704,200	210895,644	878,910	0,74	-1,76	20243144	196,110
	D-D	8841,461	210895,644	878,910	0,74	2,24	20243144	37,483
	E-E	33729,452	210895,644	878,910	0,74	5,04	20243144	146,030
	F-F	29470,800	210895,644	878,910	0,74	8,29	20243144	130,669
7	A-A	55649,641	272243,867	1079,687	0,74	-8,81	26724386,7	206,042
	B-B	62649,600	272243,867	1079,687	0,74	-4,56	26724386,7	239,920
	C-C	62649,600	272243,867	1079,687	0,74	-1,76	26724386,7	245,164
	D-D	10663,198	272243,867	1079,687	0,74	2,24	26724386,7	43,003
	E-E	43815,928	272243,867	1079,687	0,74	5,04	26724386,7	180,371
	F-F	36815,900	272243,867	1079,687	0,74	8,29	26724386,7	155,132
6	A-A	55649,641	272243,867	1266,356	0,74	-8,81	26724386,7	241,665
	B-B	62649,600	272243,867	1266,356	0,74	-4,56	26724386,7	281,400
	C-C	62649,600	272243,867	1266,356	0,74	-1,76	26724386,7	287,551
	D-D	10663,198	272243,867	1266,356	0,74	2,24	26724386,7	50,438
	E-E	43815,928	272243,867	1266,356	0,74	5,04	26724386,7	211,556
	F-F	36815,900	272243,867	1266,356	0,74	8,29	26724386,7	181,953

Répartition des efforts horizontaux par portique dans le sens longitudinal (C-C) (suite):

Niv	Portique	Rix (kN/m)	$\sum R_{ix}$ (kN/m)	tjx (kN)	ey (m)	Yi	Rjθ(kN,m)	Tjx(kN)
5	A-A	55649,641	272243,867	1436,093	0,74	-8,81	26724386,7	274,057
	B-B	62649,600	272243,867	1436,093	0,74	-4,56	26724386,7	319,118
	C-C	62649,600	272243,867	1436,093	0,74	-1,76	26724386,7	326,093
	D-D	10663,198	272243,867	1436,093	0,74	2,24	26724386,7	57,198
	E-E	43815,928	272243,867	1436,093	0,74	5,04	26724386,7	239,912
	F-F	36815,900	272243,867	1436,093	0,74	8,29	26724386,7	206,341
4	A-A	55919,491	273527,596	1586,294	0,74	-8,81	26842895	302,755
	B-B	62941,500	273527,596	1586,294	0,74	-4,56	26842895	352,471
	C-C	62941,500	273527,596	1586,294	0,74	-1,76	26842895	360,178
	D-D	10721,120	273527,596	1586,294	0,74	2,24	26842895	63,226
	E-E	44012,986	273527,596	1586,294	0,74	5,04	26842895	264,949
	F-F	36991,000	273527,596	1586,294	0,74	8,29	26842895	227,936
3	A-A	64922,522	319517,989	1718,914	0,74	-8,83	32022334	326,493
	B-B	74418,600	319517,989	1718,914	0,74	-4,58	32022334	386,812
	C-C	74418,600	319517,989	1718,914	0,74	-1,78	32022334	395,089
	D-D	11898,376	319517,989	1718,914	0,74	2,22	32022334	65,059
	E-E	51677,991	319517,989	1718,914	0,74	5,02	32022334	288,317
	F-F	42181,900	319517,989	1718,914	0,74	8,27	32022334	240,783
2	A-A	64922,522	319517,989	1825,130	0,74	-8,83	32022334	346,668
	B-B	74418,600	319517,989	1825,130	0,74	-4,58	32022334	410,714
	C-C	74418,600	319517,989	1825,130	0,74	-1,78	32022334	419,502
	D-D	11898,376	319517,989	1825,130	0,74	2,22	32022334	69,079
	E-E	51677,991	319517,989	1825,130	0,74	5,02	32022334	306,133
	F-F	42181,900	319517,989	1825,130	0,74	8,27	32022334	255,662
1	A-A	41363,174	195484,779	1924,782	0,74	-8,89	18745365,8	379,330
	B-B	44019,400	195484,779	1924,782	0,74	-4,64	18745365,8	417,904
	C-C	44019,400	195484,779	1924,782	0,74	-1,84	18745365,8	427,270
	D-D	5101,592	195484,779	1924,782	0,74	2,16	18745365,8	51,069
	E-E	31818,714	195484,779	1924,782	0,74	4,96	18745365,8	325,285
	F-F	29162,500	195484,779	1924,782	0,74	8,21	18745365,8	305,332

Efforts tranchant dans les poteaux du portique longitudinal (C-C):

Niv	poteau	Rjx(kN/m))	rjx(kN/m)	Tjx(kN)	tjx(kN)
11	1	47537,700	4730,700	53,226	5,297
	2	47537,700	6345,700	53,226	7,105
	3	47537,700	6163,800	53,226	6,901
	4	47537,700	6528,600	53,226	7,310
	5	47537,700	6528,600	53,226	7,310
	6	47537,700	6163,800	53,226	6,901
	7	47537,700	6345,700	53,226	7,105
	8	47537,700	4730,700	53,226	5,297
10	1	47537,700	4730,700	102,323	10,183
	2	47537,700	6345,700	102,323	13,659
	3	47537,700	6163,800	102,323	13,267
	4	47537,700	6528,600	102,323	14,053
	5	47537,700	6528,600	102,323	14,053
	6	47537,700	6163,800	102,323	13,267
	7	47537,700	6345,700	102,323	13,659
	8	47537,700	4730,700	102,323	10,183
9	1	47537,700	4730,700	149,865	14,914
	2	47537,700	6345,700	149,865	20,005
	3	47537,700	6163,800	149,865	19,432
	4	47537,700	6528,600	149,865	20,582
	5	47537,700	6528,600	149,865	20,582
	6	47537,700	6163,800	149,865	19,432
	7	47537,700	6345,700	149,865	20,005
	8	47537,700	4730,700	149,865	14,914
8	1	47700,685	4753,100	196,110	19,541
	2	47700,685	6366,100	196,110	26,173
	3	47700,685	6182,900	196,110	25,420
	4	47700,685	6550,100	196,110	26,929
	5	47700,685	6550,100	196,110	26,929
	6	47700,685	6182,900	196,110	25,420
	7	47700,685	6366,100	196,110	26,173
	8	47700,685	4753,100	196,110	19,541

Efforts tranchant dans les poteaux du portique longitudinal (C-C)(suite):

Niv	poteau	Rjx(kN/m))	rjx(kN/m)	Tjx(kN)	tjx(kN)
7	1	62637,920	5832,100	245,164	22,827
	2	62637,920	8495,000	245,164	33,249
	3	62637,920	8166,100	245,164	31,962
	4	62637,920	8831,600	245,164	34,567
	5	62637,920	8831,600	245,164	34,567
	6	62637,920	8166,100	245,164	31,962
	7	62637,920	8495,000	245,164	33,249
	8	62637,920	5832,100	245,164	22,827
6	1	62637,920	5832,100	287,551	26,773
	2	62637,920	8495,000	287,551	38,998
	3	62637,920	8166,100	287,551	37,488
	4	62637,920	8831,600	287,551	40,543
	5	62637,920	8831,600	287,551	40,543
	6	62637,920	8166,100	287,551	37,488
	7	62637,920	8495,000	287,551	38,998
	8	62637,920	5832,100	287,551	26,773
5	1	62637,920	5832,100	326,093	30,362
	2	62637,920	8495,000	326,093	44,225
	3	62637,920	8166,100	326,093	42,513
	4	62637,920	8831,600	326,093	45,977
	5	62637,920	8831,600	326,093	45,977
	6	62637,920	8166,100	326,093	42,513
	7	62637,920	8495,000	326,093	44,225
	8	62637,920	5832,100	326,093	30,362
4	1	62934,658	5866,800	360,178	33,576
	2	62934,658	8532,300	360,178	48,831
	3	62934,658	8200,100	360,178	46,930
	4	62934,658	8871,600	360,178	50,773
	5	62934,658	8871,600	360,178	50,773
	6	62934,658	8200,100	360,178	46,930
	7	62934,658	8532,300	360,178	48,831
	8	62934,658	5866,800	360,178	33,576

Efforts tranchant dans les poteaux du portique longitudinal (C-C)(suite):

Niv	poteau	Rjx(kN/m))	rjx(kN/m)	Tjx(kN)	tjx(kN)
3	1	74374,820	6591,300	395,089	35,014
	2	74374,820	10200,100	395,089	54,184
	3	74374,820	9720,700	395,089	51,638
	4	74374,820	10697,200	395,089	56,825
	5	74374,820	10697,200	395,089	56,825
	6	74374,820	9720,700	395,089	51,638
	7	74374,820	10200,100	395,089	54,184
	8	74374,820	6591,300	395,089	35,014
2	1	74374,820	6591,300	419,502	37,177
	2	74374,820	10200,100	419,502	57,532
	3	74374,820	9720,700	419,502	54,828
	4	74374,820	10697,200	419,502	60,336
	5	74374,820	10697,200	419,502	60,336
	6	74374,820	9720,700	419,502	54,828
	7	74374,820	10200,100	419,502	57,532
	8	74374,820	6591,300	419,502	37,177
1	1	44017,631	4746,200	427,270	46,070
	2	44017,631	5753,400	427,270	55,847
	3	44017,631	5624,800	427,270	54,599
	4	44017,631	5885,300	427,270	57,127
	5	44017,631	5885,300	427,270	57,127
	6	44017,631	5624,800	427,270	54,599
	7	44017,631	5753,400	427,270	55,847
	8	44017,631	4746,200	427,270	46,070

Moments à la tête et à la base des poteaux du portique (C-C):

Niv	poteau	tjx(kN)	K	Y0	Y1	Y2	Y3	Y	h	Z=Y h (m)	Minf (kN,m)	hj-Z(m)	Msup(kN,m)
11	1	5,297	1,477	0,398	0	0	0	0,398	3,06	1,217	6,446	1,843	9,762
	2	7,105	2,649	0,450	0	0	0	0,450	3,06	1,377	9,784	1,683	11,958
	3	6,901	2,479	0,450	0	0	0	0,450	3,06	1,377	9,503	1,683	11,615
	4	7,310	2,833	0,450	0	0	0	0,450	3,06	1,377	10,066	1,683	12,302
	5	7,310	2,833	0,450	0	0	0	0,450	3,06	1,377	10,066	1,683	12,302
	6	6,901	2,479	0,450	0	0	0	0,450	3,06	1,377	9,503	1,683	11,615
	7	7,105	2,649	0,450	0	0	0	0,450	3,06	1,377	9,784	1,683	11,958
	8	5,297	1,477	0,398	0	0	0	0,398	3,06	1,217	6,446	1,843	9,762
10	1	10,183	1,477	0,450	0	0	0	0,450	3,06	1,377	14,021	1,683	17,137
	2	13,659	2,649	0,482	0	0	0	0,482	3,06	1,476	20,165	1,584	21,632
	3	13,267	2,479	0,474	0	0	0	0,474	3,06	1,450	19,241	1,610	21,357
	4	14,053	2,833	0,492	0	0	0	0,492	3,06	1,504	21,141	1,556	21,859
	5	14,053	2,833	0,492	0	0	0	0,492	3,06	1,504	21,141	1,556	21,859
	6	13,267	2,479	0,474	0	0	0	0,474	3,06	1,450	19,241	1,610	21,357
	7	13,659	2,649	0,482	0	0	0	0,482	3,06	1,476	20,165	1,584	21,632
	8	10,183	1,477	0,450	0	0	0	0,450	3,06	1,377	14,021	1,683	17,137

Moments à la tête et à la base des poteaux du portique (C-C) (suite):

Niv	poteau	tjx(kN)	K	Y0	Y1	Y2	Y3	Y	h	Z=Y h (m)	Minf (kN,m)	hj-Z(m)	Msup(kN,m)
9	1	14,914	1,477	0,474	0	0	0	0,474	3,06	1,450	21,625	1,610	24,011
	2	20,005	2,649	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	30,608	1,530	30,608
	3	19,432	2,479	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	29,730	1,530	29,730
	4	20,582	2,833	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	31,490	1,530	31,490
	5	20,582	2,833	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	31,490	1,530	31,490
	6	19,432	2,479	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	29,730	1,530	29,730
	7	20,005	2,649	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	30,608	1,530	30,608
	8	14,914	1,477	0,474	0	0	0	0,474	3,06	1,450	21,625	1,610	24,011
8	1	19,541	1,489	0,474	0	0	0	0,474	3,06	1,452	28,370	1,608	31,426
	2	26,173	2,668	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	40,044	1,530	40,044
	3	25,420	2,496	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	38,892	1,530	38,892
	4	26,929	2,856	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	41,202	1,530	41,202
	5	26,929	2,856	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	41,202	1,530	41,202
	6	25,420	2,496	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	38,892	1,530	38,892
	7	26,173	2,668	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	40,044	1,530	40,044
	8	19,541	1,489	0,474	0	0	0	0,474	3,06	1,452	28,370	1,608	31,426

Moments à la tête et à la base des poteaux du portique (C-C) (suite):

Niv	poteau	tjx(kN)	K	Y0	Y1	Y2	Y3	Y	h	Z=Y h (m)	Minf (kN,m)	hj-Z(m)	Msup(kN,m)
7	1	22,827	0,817	0,450	0	0	0	0,450	3,06	1,377	31,432	1,683	38,417
	2	33,249	1,464	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	50,872	1,530	50,872
	3	31,962	1,36	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	48,902	1,530	48,902
	4	34,567	1,567	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	52,887	1,530	52,887
	5	34,567	1,567	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	52,887	1,530	52,887
	6	31,962	1,368	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	48,902	1,530	48,902
	7	33,249	1,464	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	50,872	1,530	50,872
	8	22,827	0,817	0,450	0	0	0	0,450	3,06	1,377	31,432	1,683	38,417
6	1	26,773	0,817	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	40,963	1,530	40,963
	2	38,998	1,464	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	59,667	1,530	59,667
	3	37,488	1,36	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	57,357	1,530	57,357
	4	40,543	1,567	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	62,031	1,530	62,031
	5	40,543	1,567	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	62,031	1,530	62,031
	6	37,488	1,368	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	57,357	1,530	57,357
	7	38,998	1,464	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	59,667	1,530	59,667
	8	26,773	0,817	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	40,963	1,530	40,963

Moments à la tête et à la base des poteaux du portique (C-C) (suite):

Niv	poteau	tjx(kN)	K	Y0	Y1	Y2	Y3	Y	h	Z=Y h (m)	Minf (kN,m)	hj-Z(m)	Msup(kN,m)
5	1	30,362	0,817	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	46,454	1,530	46,454
	2	44,225	1,464	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	67,664	1,530	67,664
	3	42,513	1,36	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	65,045	1,530	65,045
	4	45,977	1,567	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	70,345	1,530	70,345
	5	45,977	1,567	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	70,345	1,530	70,345
	6	42,513	1,368	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	65,045	1,530	65,045
	7	44,225	1,464	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	67,664	1,530	67,664
	8	30,362	0,817	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	46,454	1,530	46,454
4	1	33,576	0,824	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	51,371	1,530	51,371
	2	48,831	1,475	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	74,711	1,530	74,711
	3	46,930	1,378	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	71,802	1,530	71,802
	4	50,773	1,58	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	77,682	1,530	77,682
	5	50,773	1,58	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	77,682	1,530	77,682
	6	46,930	1,378	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	71,802	1,530	71,802
	7	48,831	1,475	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	74,711	1,530	74,711
	8	33,576	0,824	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	51,371	1,530	51,371

Moments à la tête et à la base des poteaux du portique (C-C) (suite):

Niv	poteau	tjx(kN)	K	Y0	Y1	Y2	Y3	Y	h	Z=Y h (m)	Minf (kN,m)	hj-Z(m)	Msup(kN,m)
3	1	35,014	0,491	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	53,571	1,530	53,571
	2	54,184	0,878	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	82,902	1,530	82,902
	3	51,638	0,82	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	79,006	1,530	79,006
	4	56,825	0,941	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	86,942	1,530	86,942
	5	56,825	0,941	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	86,942	1,530	86,942
	6	51,638	0,82	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	79,006	1,530	79,006
	7	54,184	0,878	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	82,902	1,530	82,902
	8	35,014	0,491	0,500	0	0	0	0,500	3,06	1,530	53,571	1,530	53,571
2	1	37,177	0,491	0,550	0	0	-0,05	0,500	3,06	1,530	56,881	1,530	56,881
	2	57,532	0,878	0,550	0	0	-0,05	0,500	3,06	1,530	88,025	1,530	88,025
	3	54,828	0,82	0,550	0	0	-0,05	0,500	3,06	1,530	83,888	1,530	83,888
	4	60,336	0,941	0,550	0	0	-0,143	0,407	3,06	1,245	75,144	1,815	109,485
	5	60,336	0,941	0,550	0	0	-0,143	0,407	3,06	1,245	75,144	1,815	109,485
	6	54,828	0,82	0,550	0	0	-0,05	0,500	3,06	1,530	83,888	1,530	83,888
	7	57,532	0,878	0,550	0	0	-0,05	0,500	3,06	1,530	88,025	1,530	88,025
	8	37,177	0,491	0,550	0	0	-0,05	0,500	3,06	1,530	56,881	1,530	56,881

Moments à la tête et à la base des poteaux du portique (C-C) (suite):

Niv	poteau	tjx(kN)	K	Y0	Y1	Y2	Y3	Y	h	Z=Y h (m)	Minf (kN,m)	hj-Z(m)	Msup(kN,m)
1	1	46,070	0,721	0,700	0	-0,027	0	0,673	4,42	2,975	137,044	1,445	66,587
	2	55,847	1,289	0,636	0	0	0	0,636	4,42	2,809	156,882	1,611	89,962
	3	54,599	1,204	0,640	0	0	0	0,640	4,42	2,828	154,401	1,592	86,926
	4	57,127	1,382	0,631	0	0	0	0,631	4,42	2,789	159,304	1,631	93,199
	5	57,127	1,382	0,631	0	0	0	0,631	4,42	2,789	159,304	1,631	93,199
	6	54,599	1,204	0,640	0	0	0	0,640	4,42	2,828	154,401	1,592	86,926
	7	55,847	1,289	0,636	0	0	0	0,636	4,42	2,809	156,882	1,611	89,962
	8	46,070	0,721	0,700	0	-0,027	0	0,673	4,42	2,975	137,044	1,445	66,587

Moments aux appuis des poutres du portique longitudinal (C-C):

Niv	poteau	Kw (cm³)	Ke (cm³)	Mn (kN m)	Ms (kN m)	Mw (kN m)	Me (kN m)
11	1	0,000	348,577	0,000	9,762	0,000	9,762
	2	348,577	276,613	0,000	11,958	6,667	5,291
	3	276,613	308,453	0,000	11,615	5,491	6,124
	4	308,453	360,294	0,000	12,302	5,674	6,628
	5	360,294	308,453	0,000	12,302	6,628	5,674
	6	308,453	276,613	0,000	11,615	6,124	5,491
	7	276,613	348,577	0,000	11,958	5,291	6,667
	8	348,577	0,000	0,000	9,762	9,762	0,000
10	1	0,000	348,577	6,446	17,137	0,000	23,583
	2	348,577	276,613	9,784	21,632	17,516	13,900
	3	276,613	308,453	9,503	21,357	14,590	16,270
	4	308,453	360,294	10,066	21,859	14,725	17,200
	5	360,294	308,453	10,066	21,859	17,200	14,725
	6	308,453	276,613	9,503	21,357	16,270	14,590
	7	276,613	348,577	9,784	21,632	13,900	17,516
	8	348,577	0,000	6,446	17,137	23,583	0,000
9	1	0,000	348,577	14,021	24,011	0,000	38,033
	2	348,577	276,613	20,165	30,608	28,308	22,464
	3	276,613	308,453	19,241	29,730	23,153	25,818
	4	308,453	360,294	21,141	31,490	24,276	28,356
	5	360,294	308,453	21,141	31,490	28,356	24,276
	6	308,453	276,613	19,241	29,730	25,818	23,153
	7	276,613	348,577	20,165	30,608	22,464	28,308
	8	348,577	0,000	14,021	24,011	38,033	0,000
8	1	0,000	348,577	21,625	31,426	0,000	53,051
	2	348,577	276,613	30,608	40,044	39,392	31,260
	3	276,613	308,453	29,730	38,892	32,444	36,178
	4	308,453	360,294	31,490	41,202	33,528	39,163
	5	360,294	308,453	31,490	41,202	39,163	33,528
	6	308,453	276,613	29,730	38,892	36,178	32,444
	7	276,613	348,577	30,608	40,044	31,260	39,392
	8	348,577	0,000	21,625	31,426	53,051	0,000

Moments aux appuis des poutres du portique longitudinal (C-C)(suite):

Niv	poteau	Kw (cm³)	Ke (cm³)	Mn (kN m)	Ms (kN m)	Mw (kN m)	Me (kN m)
7	1	0,000	354,338	28,370	38,417	0,000	66,788
	2	354,338	280,228	40,044	50,872	50,767	40,149
	3	280,288	312,956	38,892	48,902	41,480	46,314
	4	312,956	366,453	41,202	52,887	43,340	50,749
	5	366,453	312,956	41,202	52,887	50,749	43,340
	6	312,956	280,228	38,892	48,902	46,319	41,475
	7	280,228	354,338	40,044	50,872	40,149	50,767
	8	354,338	0,000	28,370	38,417	66,788	0,000
6	1	0,000	354,338	31,432	40,963	0,000	72,396
	2	354,338	280,228	50,872	59,667	61,724	48,814
	3	280,288	312,956	48,902	57,357	50,204	56,055
	4	312,956	366,453	52,887	62,031	52,935	61,983
	5	366,453	312,956	52,887	62,031	61,983	52,935
	6	312,956	280,228	48,902	57,357	56,061	50,198
	7	280,228	354,338	50,872	59,667	48,814	61,724
	8	354,338	0,000	31,432	40,963	72,396	0,000
5	1	0,000	354,338	40,963	46,454	0,000	87,417
	2	354,338	280,228	59,667	67,664	71,101	56,230
	3	280,288	312,956	57,357	65,045	57,830	64,571
	4	312,956	366,453	62,031	70,345	60,976	71,400
	5	366,453	312,956	62,031	70,345	71,400	60,976
	6	312,956	280,228	57,357	65,045	64,577	57,824
	7	280,228	354,338	59,667	67,664	56,230	71,101
	8	354,338	0,000	40,963	46,454	87,417	0,000
4	1	0,000	354,338	46,454	51,371	0,000	97,825
	2	354,338	280,228	67,664	74,711	79,502	62,874
	3	280,288	312,956	65,045	71,802	64,656	72,191
	4	312,956	366,453	70,345	77,682	68,186	79,842
	5	366,453	312,956	70,345	77,682	79,842	68,186
	6	312,956	280,228	65,045	71,802	72,199	64,648
	7	280,228	354,338	67,664	74,711	62,874	79,502
	8	354,338	0,000	46,454	51,371	97,825	0,000

Moments aux appuis des poutres du portique longitudinal (C-C)(suite):

Niv	poteau	Kw (cm³)	Ke (cm³)	Mn (kN m)	Ms (kN m)	Mw (kN m)	Me (kN m)
3	1	0,000	360,294	51,371	53,571	0,000	104,942
	2	360,294	283,940	74,711	82,902	88,147	69,466
	3	283,940	317,592	71,802	79,006	71,186	79,622
	4	317,592	372,826	77,682	86,942	75,727	88,897
	5	372,826	317,592	77,682	86,942	88,897	75,727
	6	317,592	283,940	71,802	79,006	79,622	71,186
	7	283,940	360,294	74,711	82,902	69,466	88,147
	8	360,294	0,000	51,371	53,571	104,942	0,000
2	1	0,000	360,294	53,571	56,881	0,000	110,453
	2	360,294	283,940	82,902	88,025	95,592	75,334
	3	283,940	317,592	79,006	83,888	76,890	86,003
	4	317,592	372,826	86,942	109,485	90,356	106,071
	5	372,826	317,592	86,942	109,485	106,071	90,356
	6	317,592	283,940	79,006	83,888	86,003	76,890
	7	283,940	360,294	82,902	88,025	75,334	95,592
	8	360,294	0,000	53,571	56,881	110,453	0,000
1	1	0,000	360,294	56,881	66,587	0,000	123,469
	2	360,294	283,940	88,025	89,962	99,541	78,446
	3	283,940	317,592	83,888	86,926	80,629	90,185
	4	317,592	372,826	75,144	93,199	77,438	90,905
	5	372,826	317,592	75,144	93,199	90,905	77,438
	6	317,592	283,940	83,888	86,926	90,185	80,629
	7	283,940	360,294	88,025	89,962	78,446	99,541
	8	360,294	0,000	56,881	66,587	123,469	0,000

Moments en travées et efforts tranchants dans les poutres du portique longitudinal (C-C):

Niv	travée	L (m)	Mw (kN m)	Me(kN m)	x	Mt(kN m)	T (kN)	T (kN) (-)
11	(1-2)	2,90	9,762	6,667	1,636	0,494	5,665	-5,665
	(2-3)	3,70	5,291	5,491	1,865	-0,144	2,914	-2,914
	(3-4)	3,30	6,124	5,674	1,602	0,396	3,575	-3,575
	(4-5)	2,80	6,628	6,628	1,4	0,000	4,734	-4,734
	(5-6)	3,30	5,674	6,124	1,698	-0,396	3,575	-3,575
	(6-7)	3,70	5,491	5,291	1,835	0,144	2,914	-2,914
	(7-8)	2,90	6,667	9,762	1,264	-0,494	5,665	-5,665
10	(1-2)	2,90	23,583	17,516	1,591	1,036	14,172	-14,172
	(2-3)	3,70	13,900	14,590	1,862	-0,438	7,700	-7,700
	(3-4)	3,30	16,270	14,725	1,612	1,129	9,392	-9,392
	(4-5)	2,80	17,200	17,200	1,4	0,000	12,286	-12,286
	(5-6)	3,30	14,725	16,270	1,688	-1,129	9,392	-9,392
	(6-7)	3,70	14,590	13,900	1,838	0,438	7,700	-7,700
	(7-8)	2,90	17,516	23,583	1,309	-1,036	14,172	-14,172
9	(1-2)	2,90	38,033	28,308	1,591	1,637	22,876	-22,876
	(2-3)	3,70	22,464	23,153	1,862	-0,493	12,329	-12,329
	(3-4)	3,30	25,818	24,276	1,612	1,348	15,180	-15,180
	(4-5)	2,80	28,356	28,356	1,400	0,000	20,254	-20,254
	(5-6)	3,30	24,276	25,818	1,688	-1,348	15,180	-15,180
	(6-7)	3,70	23,153	22,464	1,838	0,493	12,329	-12,329
	(7-8)	2,90	28,308	38,033	1,309	-1,637	22,876	-22,876
8	(1-2)	2,90	53,051	39,392	1,591	2,334	31,877	-31,877
	(2-3)	3,70	31,260	32,444	1,862	-0,799	17,217	-17,217
	(3-4)	3,30	36,178	33,528	1,612	2,128	21,123	-21,123
	(4-5)	2,80	39,163	39,163	1,400	0,000	27,974	-27,974
	(5-6)	3,30	33,528	36,178	1,688	-2,128	21,123	-21,123
	(6-7)	3,70	32,444	31,260	1,838	0,799	17,217	-17,217
	(7-8)	2,90	39,392	53,051	1,309	-2,334	31,877	-31,877

Moments en travées et efforts tranchants dans les poutres du portique longitudinal (C-C)(suite):

Niv	travée	L (m)	Mw (kN m)	Me (kN m)	x	Mt(kN m)	T (kN)	T (kN) (-)
7	(1-2)	2,85	66,788	50,767	1,537	3,391	41,247	-41,247
	(2-3)	3,65	40,149	41,480	1,835	-0,889	22,364	-22,364
	(3-4)	3,25	46,314	43,340	1,593	2,370	27,586	-27,586
	(4-5)	2,75	50,749	50,749	1,375	0,000	36,908	-36,908
	(5-6)	3,25	43,340	46,319	1,657	-2,372	27,587	-27,587
	(6-7)	3,65	41,475	40,149	1,815	0,887	22,363	-22,363
	(7-8)	2,85	50,767	66,788	1,313	-3,391	41,247	-41,247
6	(1-2)	2,85	72,396	61,724	1,52	0,865	47,060	-47,060
	(2-3)	3,65	48,814	50,204	1,834	-0,939	27,128	-27,128
	(3-4)	3,25	56,055	52,935	1,597	2,499	33,535	-33,535
	(4-5)	2,75	61,983	61,983	1,375	0,000	45,079	-45,079
	(5-6)	3,25	52,935	56,061	1,653	-2,502	33,537	-33,537
	(6-7)	3,65	50,198	48,814	1,816	0,936	27,127	-27,127
	(7-8)	2,85	61,724	72,396	1,33	-0,865	47,060	-47,060
5	(1-2)	2,85	87,417	71,101	1,52	2,874	55,620	-55,620
	(2-3)	3,65	56,230	57,830	1,834	-1,081	31,249	-31,249
	(3-4)	3,25	64,571	60,976	1,597	2,879	38,630	-38,630
	(4-5)	2,75	71,400	71,400	1,375	0,000	51,927	-51,927
	(5-6)	3,25	60,976	64,577	1,653	-2,882	38,632	-38,632
	(6-7)	3,65	57,824	56,230	1,816	1,078	31,248	-31,248
	(7-8)	2,85	71,101	87,417	1,33	-2,874	55,620	-55,620
4	(1-2)	2,85	97,825	79,502	1,52	3,251	62,220	-62,220
	(2-3)	3,65	62,874	64,656	1,834	-1,205	34,940	-34,940
	(3-4)	3,25	72,191	68,186	1,597	3,212	43,193	-43,193
	(4-5)	2,75	79,842	79,842	1,375	0,000	58,067	-58,067
	(5-6)	3,25	68,186	72,199	1,653	-3,216	43,195	-43,195
	(6-7)	3,65	64,648	62,874	1,816	1,202	34,938	-34,938
	(7-8)	2,85	79,502	97,825	1,33	-3,251	62,220	-62,220

Moments en travées et efforts tranchants dans les poutres du portique longitudinal (C-C)(suite):

Niv	travée	L (m)	Mw (kN m)	Me (kN m)	x	Mt(kN m)	T (kN)	T (kN) (-)
3	(1-2)	2,80	104,942	88,147	1,477	3,088	68,960	-68,960
	(2-3)	3,60	69,466	71,186	1,808	-1,172	39,070	-39,070
	(3-4)	3,20	79,622	75,727	1,577	3,064	48,547	-48,547
	(4-5)	2,70	88,897	88,897	1,35	0,000	65,850	-65,850
	(5-6)	3,20	75,727	79,622	1,623	-3,064	48,547	-48,547
	(6-7)	3,60	71,186	69,466	1,792	1,172	39,070	-39,070
	(7-8)	2,80	88,147	104,942	1,323	-3,088	68,960	-68,960
2	(1-2)	2,80	110,453	95,592	1,465	2,647	73,587	-73,587
	(2-3)	3,60	75,334	76,890	1,806	-1,032	42,285	-42,285
	(3-4)	3,20	86,003	90,356	1,58	-1,074	55,112	-55,112
	(4-5)	2,70	106,071	106,071	1,35	0,000	78,571	-78,571
	(5-6)	3,20	90,356	86,003	1,62	1,074	55,112	-55,112
	(6-7)	3,60	76,890	75,334	1,794	1,032	42,285	-42,285
	(7-8)	2,80	95,592	110,453	1,335	-2,647	73,587	-73,587
1	(1-2)	2,80	123,469	99,541	1,474	6,070	79,646	-79,646
	(2-3)	3,60	78,446	80,629	1,807	-1,401	44,187	-44,187
	(3-4)	3,20	90,185	77,438	1,578	7,526	52,382	-52,382
	(4-5)	2,70	90,905	90,905	1,35	0,000	67,337	-67,337
	(5-6)	3,20	77,438	90,185	1,622	-7,526	52,382	-52,382
	(6-7)	3,60	80,629	78,446	1,793	1,401	44,187	-44,187
	(7-8)	2,80	99,541	123,469	1,326	-6,070	79,646	-79,646

Les efforts normaux dans les poteaux du portique longitudinal (C-C):

Niv	poteau	Tw (kN)	Te (kN)	N (kN)	Nc (kN)
11	1	0,000	5,665	-5,665	-5,665
	2	5,665	2,914	2,751	2,751
	3	2,914	3,575	-0,661	-0,661
	4	3,575	4,734	-1,159	-1,159
	5	4,734	3,575	1,159	1,159
	6	3,575	2,914	0,661	0,661
	7	2,914	5,665	-2,751	-2,751
	8	5,665	0,000	5,665	5,665
10	1	0,000	14,172	-14,172	-19,837
	2	14,172	7,700	6,472	9,223
	3	7,700	9,392	-1,692	-2,353
	4	9,392	12,286	-2,893	-4,053
	5	12,286	9,392	2,893	4,053
	6	9,392	7,700	1,692	2,353
	7	7,700	14,172	-6,472	-9,223
	8	14,172	0,000	14,172	19,837
9	1	0,000	22,876	-22,876	-37,048
	2	22,876	12,329	10,547	17,019
	3	12,329	15,180	-2,851	-4,543
	4	15,180	20,254	-5,074	-7,967
	5	20,254	15,180	5,074	7,967
	6	15,180	12,329	2,851	4,543
	7	12,329	22,876	-10,547	-17,019
	8	22,876	0,000	22,876	37,048
8	1	0,000	31,877	-31,877	-54,753
	2	31,877	17,217	14,660	25,207
	3	17,217	21,123	-3,906	-6,757
	4	21,123	27,974	-6,851	-11,925
	5	27,974	21,123	6,851	11,925
	6	21,123	17,217	3,906	6,757
	7	17,217	31,877	-14,660	-25,207
	8	31,877	0,000	31,877	54,753

Les efforts normaux dans les poteaux du portique longitudinal (C-C)(suite):

Niv	poteau	Tw (kN)	Te (kN)	N (kN)	Nc (kN)
7	1	0,000	41,247	-41,247	-96,000
	2	41,247	22,364	18,883	44,090
	3	22,364	27,586	-5,222	-11,979
	4	27,586	36,908	-9,322	-21,247
	5	36,908	27,587	9,321	21,245
	6	27,587	22,363	5,225	11,982
	7	22,363	41,247	-18,885	-44,091
	8	41,247	0,000	41,247	96,000
6	1	0,000	47,060	-47,060	-143,060
	2	47,060	27,128	19,931	64,021
	3	27,128	33,535	-6,407	-18,386
	4	33,535	45,079	-11,544	-32,790
	5	45,079	33,537	11,542	32,787
	6	33,537	27,127	6,410	18,392
	7	27,127	47,060	-19,933	-64,024
	8	47,060	0,000	47,060	143,060
5	1	0,000	55,620	-55,620	-198,680
	2	55,620	31,249	24,371	88,392
	3	31,249	38,630	-7,380	-25,767
	4	38,630	51,927	-13,297	-46,088
	5	51,927	38,632	13,295	46,082
	6	38,632	31,248	7,384	25,776
	7	31,248	55,620	-24,373	-88,397
	8	55,620	0,000	55,620	198,680
4	1	0,000	62,220	-62,220	-260,900
	2	62,220	34,940	27,280	115,673
	3	34,940	43,193	-8,253	-34,020
	4	43,193	58,067	-14,874	-60,961
	5	58,067	43,195	14,871	60,954
	6	43,195	34,938	8,258	34,034
	7	34,938	62,220	-27,282	-115,679
	8	62,220	0,000	62,220	260,900

Les efforts normaux dans les poteaux du portique longitudinal (C-C)(suite):

Niv	poteau	Tw (kN)	Te (kN)	N (kN)	Nc (kN)
3	1	0,000	68,960	-68,960	-329,860
	2	68,960	39,070	29,890	145,563
	3	39,070	48,547	-9,477	-43,497
	4	48,547	65,850	-17,303	-78,264
	5	65,850	48,547	17,303	78,257
	6	48,547	39,070	9,477	43,511
	7	39,070	68,960	-29,890	-145,570
	8	68,960	0,000	68,960	329,860
2	1	0,000	73,587	-73,587	-403,448
	2	73,587	42,285	31,303	176,866
	3	42,285	55,112	-12,828	-56,324
	4	55,112	78,571	-23,459	-101,723
	5	78,571	55,112	23,459	101,716
	6	55,112	42,285	12,828	56,338
	7	42,285	73,587	-31,303	-176,873
	8	73,587	0,000	73,587	403,448
1	1	0,000	79,646	-79,646	-483,094
	2	79,646	44,187	35,459	212,325
	3	44,187	52,382	-8,195	-64,519
	4	52,382	67,337	-14,955	-116,678
	5	67,337	52,382	14,955	116,671
	6	52,382	44,187	8,195	64,533
	7	44,187	79,646	-35,459	-212,331
	8	79,646	0,000	79,646	483,094

Répartition des efforts horizontaux par portique dans le sens transversal:

Niveau	Portique	tjy (kN)	Rjy (kN/m)	ΣRjy (kN/m)	Rj θ	Xi	ex	Tjy
11	(1-1)	144,216	10455,34	274219,864	20176036	-12,36	0,74	4,815
	(2-2)	144,216	43187,59	274219,864	20176036	-9,16	0,74	20,620
	(3-3)	144,216	40279,41	274219,864	20176036	-5,16	0,74	20,084
	(4-4)	144,216	43187,59	274219,864	20176036	-1,56	0,74	22,357
	(5-5)	144,216	43187,59	274219,864	20176036	1,54	0,74	23,065
	(6-6)	144,216	40279,41	274219,864	20176036	5,14	0,74	22,279
	(7-7)	144,216	43187,59	274219,864	20176036	9,14	0,74	24,801
	(8-8)	144,216	10455,34	274219,864	20176036	12,34	0,74	6,181
10	(1-1)	277,193	10455,34	274219,864	20176036	-12,36	0,74	9,255
	(2-2)	277,193	43187,59	274219,864	20176036	-9,16	0,74	39,634
	(3-3)	277,193	40279,41	274219,864	20176036	-5,16	0,74	38,603
	(4-4)	277,193	43187,59	274219,864	20176036	-1,56	0,74	42,971
	(5-5)	277,193	43187,59	274219,864	20176036	1,54	0,74	44,332
	(6-6)	277,193	40279,41	274219,864	20176036	5,14	0,74	42,821
	(7-7)	277,193	43187,59	274219,864	20176036	9,14	0,74	47,669
	(8-8)	277,193	10455,34	274219,864	20176036	12,34	0,74	11,880
9	(1-1)	405,908	10455,34	274219,864	20176036	-12,36	0,74	13,552
	(2-2)	405,908	43187,59	274219,864	20176036	-9,16	0,74	58,038
	(3-3)	405,908	40279,41	274219,864	20176036	-5,16	0,74	56,528
	(4-4)	405,908	43187,59	274219,864	20176036	-1,56	0,74	62,924
	(5-5)	405,908	43187,59	274219,864	20176036	1,54	0,74	64,918
	(6-6)	405,908	40279,41	274219,864	20176036	5,14	0,74	62,705
	(7-7)	405,908	43187,59	274219,864	20176036	9,14	0,74	69,804
	(8-8)	405,908	10455,34	274219,864	20176036	12,34	0,74	17,397
8	(1-1)	530,994	10490,61	275070,988	20243144	-12,36	0,74	17,734
	(2-2)	530,994	43313,55	275070,988	20243144	-9,16	0,74	75,911
	(3-3)	530,994	40417,77	275070,988	20243144	-5,16	0,74	73,974
	(4-4)	530,994	43313,55	275070,988	20243144	-1,56	0,74	82,300
	(5-5)	530,994	43313,55	275070,988	20243144	1,54	0,74	84,907
	(6-6)	530,994	40417,77	275070,988	20243144	5,14	0,74	82,055
	(7-7)	530,994	43313,55	275070,988	20243144	9,14	0,74	91,296
	(8-8)	530,994	10490,61	275070,988	20243144	12,34	0,74	22,764

Répartition des efforts horizontaux par portique dans le sens transversal (suite):

Niveau	Portique	tjy (kN)	Rjy (kN/m)	$\sum Rjy$ (kN/m)	Rj0	Xi	ex	Tjy
7	(1-1)	651,875	12993,10	375578,2031	26724387	-12,365	0,74	19,652
	(2-2)	651,87486	60097,65	375578,2031	26724387	-9,165	0,74	94,367
	(3-3)	651,87486	54600,71	375578,2031	26724387	-5,165	0,74	89,678
	(4-4)	651,87486	60097,65	375578,2031	26724387	-1,565	0,74	102,611
	(5-5)	651,87486	60097,65	375578,2031	26724387	1,535	0,74	105,974
	(6-6)	651,87486	54600,71	375578,2031	26724387	5,135	0,74	99,829
	(7-7)	651,87486	60097,65	375578,2031	26724387	9,135	0,74	114,218
	(8-8)	651,87486	12993,10	375578,2031	26724387	12,335	0,74	25,444
6	(1-1)	763,756	12993,10	375578,2031	26724387	-12,365	0,74	23,024
	(2-2)	763,75606	60097,65	375578,2031	26724387	-9,165	0,74	110,563
	(3-3)	763,75606	54600,71	375578,2031	26724387	-5,165	0,74	105,069
	(4-4)	763,75606	60097,65	375578,2031	26724387	-1,565	0,74	120,222
	(5-5)	763,75606	60097,65	375578,2031	26724387	1,535	0,74	124,162
	(6-6)	763,75606	54600,71	375578,2031	26724387	5,135	0,74	116,963
	(7-7)	763,75606	60097,65	375578,2031	26724387	9,135	0,74	133,822
	(8-8)	763,75606	12993,10	375578,2031	26724387	12,335	0,74	29,812
5	(1-1)	864,907	12993,10	375578,2031	26724387	-12,365	0,74	26,074
	(2-2)	864,90715	60097,65	375578,2031	26724387	-9,165	0,74	125,206
	(3-3)	864,90715	54600,71	375578,2031	26724387	-5,165	0,74	118,984
	(4-4)	864,90715	60097,65	375578,2031	26724387	-1,565	0,74	136,144
	(5-5)	864,90715	60097,65	375578,2031	26724387	1,535	0,74	140,606
	(6-6)	864,90715	54600,71	375578,2031	26724387	5,135	0,74	132,453
	(7-7)	864,90715	60097,65	375578,2031	26724387	9,135	0,74	151,545
	(8-8)	864,90715	12993,10	375578,2031	26724387	12,335	0,74	33,760
4	(1-1)	953,739	13048,60	377184,6741	26842895	-12,385	0,74	28,745
	(2-2)	953,73888	60343,56	377184,6741	26842895	-9,185	0,74	138,010
	(3-3)	953,73888	54856,62	377184,6741	26842895	-5,185	0,74	131,231
	(4-4)	953,73888	60343,56	377184,6741	26842895	-1,585	0,74	150,068
	(5-5)	953,73888	60343,56	377184,6741	26842895	1,515	0,74	154,987
	(6-6)	953,73888	54856,62	377184,6741	26842895	5,115	0,74	146,086
	(7-7)	953,73888	60343,56	377184,6741	26842895	9,115	0,74	167,045
	(8-8)	953,73888	13048,60	377184,6741	26842895	12,315	0,74	37,219

Répartition des efforts horizontaux par portique dans le sens transversal (suite):

Niveau	Portique	tjy (kN)	Rjy (kN/m)	$\sum Rjy$ (kN/m)	Rj0	Xi	ex	Tjy
3	(1-1)	1031,334	14738,73	461936,9771	32022334	-12,37	0,74	28,561
	(2-2)	1031,3341	74843,19	461936,9771	32022334	-9,17	0,74	150,740
	(3-3)	1031,3341	66543,39	461936,9771	32022334	-5,17	0,74	140,367
	(4-4)	1031,3341	74843,19	461936,9771	32022334	-1,57	0,74	164,297
	(5-5)	1031,3341	74843,19	461936,9771	32022334	1,53	0,74	169,826
	(6-6)	1031,3341	66543,39	461936,9771	32022334	5,13	0,74	156,703
	(7-7)	1031,3341	74843,19	461936,9771	32022334	9,13	0,74	183,383
	(8-8)	1031,3341	14738,73	461936,9771	32022334	12,33	0,74	37,237
2	(1-1)	1093,169	14738,73	461936,9771	32022334	-12,37	0,74	30,273
	(2-2)	1093,1689	74843,19	461936,9771	32022334	-9,17	0,74	159,778
	(3-3)	1093,1689	66543,39	461936,9771	32022334	-5,17	0,74	148,783
	(4-4)	1093,1689	74843,19	461936,9771	32022334	-1,57	0,74	174,147
	(5-5)	1093,1689	74843,19	461936,9771	32022334	1,53	0,74	180,008
	(6-6)	1093,1689	66543,39	461936,9771	32022334	5,13	0,74	166,098
	(7-7)	1093,1689	74843,19	461936,9771	32022334	9,13	0,74	194,378
	(8-8)	1093,1689	14738,73	461936,9771	32022334	12,33	0,74	39,470
1	(1-1)	1150,964	10095,82	245984,9003	18745366	-12,24	0,74	41,624
	(2-2)	1150,9643	38332,53	245984,9003	18745366	-9,04	0,74	163,613
	(3-3)	1150,9643	36231,57	245984,9003	18745366	-5,04	0,74	161,231
	(4-4)	1150,9643	38332,53	245984,9003	18745366	-1,44	0,74	176,850
	(5-5)	1150,9643	38332,53	245984,9003	18745366	1,66	0,74	182,249
	(6-6)	1150,9643	36231,57	245984,9003	18745366	5,26	0,74	178,187
	(7-7)	1150,9643	38332,53	245984,9003	18745366	9,26	0,74	195,486
	(8-8)	1150,9643	10095,82	245984,9003	18745366	12,46	0,74	52,954

Efforts tranchants dans les poteaux du portique (6-6):

Niveau	Poteau	R _{jy} (kN/m)	r _{jy} (kN/m)	T _{jy} (kN)	t _{jy} (kN)
11	A	40279,407	5227,67	22,279	2,891
	B	40279,407	7874,31	22,279	4,355
	C	40279,407	6484,66	22,279	3,587
	D	40279,407	6484,66	22,279	3,587
	E	40279,407	8173,73	22,279	4,521
	F	40279,407	6034,36	22,279	3,338
10	A	40279,407	5227,67	42,821	5,558
	B	40279,407	7874,31	42,821	8,371
	C	40279,407	6484,66	42,821	6,894
	D	40279,407	6484,66	42,821	6,894
	E	40279,407	8173,73	42,821	8,689
	F	40279,407	6034,36	42,821	6,415
9	A	40279,407	5227,67	62,705	8,138
	B	40279,407	7874,31	62,705	12,258
	C	40279,407	6484,66	62,705	10,095
	D	40279,407	6484,66	62,705	10,095
	E	40279,407	8173,73	62,705	12,724
	F	40279,407	6034,36	62,705	9,394
8	A	40417,771	5245,31	82,055	10,649
	B	40417,771	7895,26	82,055	16,029
	C	40417,771	6511,91	82,055	13,220
	D	40417,771	6511,91	82,055	13,220
	E	40417,771	8195,46	82,055	16,638
	F	40417,771	6057,92	82,055	12,299
7	A	54600,706	6496,55	99,829	11,878
	B	54600,706	11222,67	99,829	20,519
	C	54600,706	8606,93	99,829	15,736
	D	54600,706	8606,93	99,829	15,736
	E	54600,706	11848,93	99,829	21,664
	F	54600,706	7818,69	99,829	14,295

Efforts tranchants dans les poteaux du portique (6-6)(suite):

Niveau	Poteau	R _{jy} (kN/m)	r _{jy} (kN/cm)	T _{jy} (kN)	t _{jy} (kN)
6	A	54600,706	6496,55	116,963	13,917
	B	54600,706	11222,67	116,963	24,041
	C	54600,706	8606,93	116,963	18,437
	D	54600,706	8606,93	116,963	18,437
	E	54600,706	11848,93	116,963	25,382
	F	54600,706	7818,69	116,963	16,749
5	A	54600,706	6496,55	132,453	15,760
	B	54600,706	11222,67	132,453	27,224
	C	54600,706	8606,93	132,453	20,879
	D	54600,706	8606,93	132,453	20,879
	E	54600,706	11848,93	132,453	28,744
	F	54600,706	7818,69	132,453	18,967
4	A	54856,624	6524,30	146,086	17,375
	B	54856,624	11266,09	146,086	30,002
	C	54856,624	8655,87	146,086	23,051
	D	54856,624	8655,87	146,086	23,051
	E	54856,624	11895,49	146,086	31,678
	F	54856,624	7859,00	146,086	20,929
3	A	66543,388	7369,36	156,703	17,354
	B	66543,388	14213,16	156,703	33,470
	C	66543,388	10278,98	156,703	24,206
	D	66543,388	10278,98	156,703	24,206
	E	66543,388	15245,94	156,703	35,903
	F	66543,388	9156,96	156,703	21,564
2	A	66543,388	7369,36	166,098	18,395
	B	66543,388	14213,16	166,098	35,477
	C	66543,388	10278,98	166,098	25,657
	D	66543,388	10278,98	166,098	25,657
	E	66543,388	15245,94	166,098	38,055
	F	66543,388	9156,96	166,098	22,857
1	A	36231,572	5047,91	178,187	24,826
	B	36231,572	6846,62	178,187	33,672
	C	36231,572	5848,32	178,187	28,762
	D	36231,572	5848,32	178,187	28,762
	E	36231,572	7094,11	178,187	34,889
	F	36231,572	5546,29	178,187	27,277

Moments à la tete et à la base des poteaux du portique (6-6):

Niveau	Poteau	tjy (kN)	K	Y ₀	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y	h _j	Z=Y*h _j	Minf (kN m)	h _j -Z	Msup (kN m)
11	A	2,891	1,60	0,410	0,000	0,000	0,000	0,410	3,06	1,255	3,628	1,805	5,220
	B	4,355	4,07	0,450	0,000	0,000	0,000	0,450	3,06	1,377	5,997	1,683	7,330
	C	3,587	2,47	0,450	0,000	0,000	0,000	0,450	3,06	1,377	4,939	1,683	6,036
	D	3,587	2,47	0,450	0,000	0,000	0,000	0,450	3,06	1,377	4,939	1,683	6,036
	E	4,521	4,58	0,450	0,000	0,000	0,000	0,450	3,06	1,377	6,225	1,683	7,609
	F	3,338	2,11	0,450	0,000	0,000	0,000	0,450	3,06	1,377	4,596	1,683	5,617
10	A	5,558	1,60	0,450	0,000	0,000	0,000	0,450	3,06	1,377	7,653	1,683	9,353
	B	8,371	4,07	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	12,808	1,530	12,808
	C	6,894	2,47	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	10,548	1,530	10,548
	D	6,894	2,47	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	10,548	1,530	10,548
	E	8,689	4,58	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	13,295	1,530	13,295
	F	6,415	2,11	0,455	0,000	0,000	0,000	0,455	3,06	1,392	8,932	1,668	10,698
9	A	8,138	1,60	0,480	0,000	0,000	0,000	0,480	3,06	1,469	11,953	1,591	12,949
	B	12,258	4,07	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	18,755	1,530	18,755
	C	10,095	2,47	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	15,445	1,530	15,445
	D	10,095	2,47	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	15,445	1,530	15,445
	E	12,724	4,58	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	19,468	1,530	19,468
	F	9,394	2,11	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	14,373	1,530	14,373
8	A	10,649	1,61	0,480	0,000	0,000	0,000	0,480	3,06	1,469	15,641	1,591	16,944
	B	16,029	4,10	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	24,524	1,530	24,524
	C	13,220	2,49	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	20,227	1,530	20,227
	D	13,220	2,49	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	20,227	1,530	20,227
	E	16,638	4,62	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	25,456	1,530	25,456
	F	12,299	2,13	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	18,817	1,530	18,817

Moments à la tête et à la base des poteaux du portique (6-6)(suite):

Niveau	Poteau	t _{jy} (kN)	K	Y ₀	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y	h _j	Z=Y*h _j	Minf (kN m)	h _j -Z	Msup (kN m)
7	A	11,878	0,88	0,450	0,000	0,000	0,000	0,450	3,06	1,377	16,356	1,683	19,991
	B	20,519	2,25	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	31,394	1,530	31,394
	C	15,736	1,37	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	24,077	1,530	24,077
	D	15,736	1,37	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	24,077	1,530	24,077
	E	21,664	3,95	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	33,146	1,530	33,146
	F	14,295	1,82	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	21,872	1,530	21,872
6	A	13,917	0,88	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	21,292	1,530	21,292
	B	24,041	2,25	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	36,782	1,530	36,782
	C	18,437	1,37	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	28,209	1,530	28,209
	D	18,437	1,37	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	28,209	1,530	28,209
	E	25,382	3,95	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	38,835	1,530	38,835
	F	16,749	1,82	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	25,626	1,530	25,626
5	A	15,760	0,88	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	24,112	1,530	24,112
	B	27,224	2,25	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	41,653	1,530	41,653
	C	20,879	1,37	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	31,945	1,530	31,945
	D	20,879	1,37	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	31,945	1,530	31,945
	E	28,744	3,95	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	43,978	1,530	43,978
	F	18,967	1,82	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	29,019	1,530	29,019
4	A	17,375	0,89	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	26,583	1,530	26,583
	B	30,002	2,27	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	45,903	1,530	45,903
	C	23,051	1,38	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	35,268	1,530	35,268
	D	23,051	1,38	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	35,268	1,530	35,268
	E	31,678	2,56	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	48,468	1,530	48,468
	F	20,929	1,18	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	32,021	1,530	32,021

Moments à la tete et à la base des poteaux du portique (6-6)(suite):

Niveau	Poteau	tjy (kN)	K	Y ₀	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y	h _j	Z=Y*h _j	Minf (kN m)	h _j -Z	Msup (kN m)
3	A	17,354	0,53	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	26,552	1,530	26,552
	B	33,470	1,35	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	51,210	1,530	51,210
	C	24,206	0,83	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	37,035	1,530	37,035
	D	24,206	0,83	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	37,035	1,530	37,035
	E	35,903	1,53	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	54,931	1,530	54,931
	F	21,564	0,70	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	3,06	1,530	32,992	1,530	32,992
2	A	18,395	0,53	0,550	0,000	0,000	-0,050	0,500	3,06	1,530	28,144	1,530	28,144
	B	35,477	1,35	0,550	0,000	0,000	-0,007	0,543	3,06	1,662	58,948	1,398	49,612
	C	25,657	0,83	0,550	0,000	0,000	-0,007	0,543	3,06	1,662	42,631	1,398	35,880
	D	25,657	0,83	0,550	0,000	0,000	-0,007	0,543	3,06	1,662	42,631	1,398	35,880
	E	38,055	1,53	0,550	0,000	0,000	-0,005	0,545	3,06	1,668	63,465	1,392	52,984
	F	22,857	0,70	0,550	0,000	0,000	-0,050	0,500	3,06	1,530	34,970	1,530	34,970
1	A	24,826	0,78	0,700	0,000	-0,027	0,000	0,673	4,42	2,975	73,848	1,445	35,881
	B	33,672	1,99	0,601	0,000	0,000	0,000	0,601	4,42	2,654	89,372	1,766	59,457
	C	28,762	1,22	0,598	0,000	0,000	0,000	0,598	4,42	2,641	75,959	1,779	51,169
	D	28,762	1,22	0,639	0,000	0,000	0,000	0,639	4,42	2,824	81,235	1,596	45,893
	E	34,889	2,25	0,588	0,000	0,000	0,000	0,588	4,42	2,597	90,598	1,823	63,611
	F	27,277	1,04	0,648	0,000	0,000	0,000	0,648	4,42	2,864	78,125	1,556	42,438

Moments aux appuis des poutres du portique (6-6):

Niveau	Poteau	Kw	Ke	Mn (kN m)	Ms (kN m)	Mw (kN m)	Me (kN m)
11	A	0,000	385,54	0,000	5,220	0,000	5,220
	B	385,542	592,59	0,000	7,330	2,889	4,441
	C	592,592	410,26	0,000	6,036	3,567	2,469
	D	410,256	592,59	0,000	6,036	2,469	3,567
	E	592,592	507,94	0,000	7,609	4,097	3,512
	F	507,936	0,00	0,000	5,617	5,617	0,000
10	A	0,000	385,54	3,628	9,353	0,000	12,981
	B	385,542	592,59	5,997	12,808	7,412	11,393
	C	592,592	410,26	4,939	10,548	9,151	6,335
	D	410,256	592,59	4,939	10,548	6,335	9,151
	E	592,592	507,94	6,225	13,295	10,511	9,009
	F	507,936	0,00	4,596	10,698	15,294	0,000
9	A	0,000	385,54	7,653	12,949	0,000	20,602
	B	385,542	592,59	12,808	18,755	12,441	19,122
	C	592,592	410,26	10,548	15,445	15,359	10,633
	D	410,256	592,59	10,548	15,445	10,633	15,359
	E	592,592	507,94	13,295	19,468	17,642	15,122
	F	507,936	0,00	8,932	14,373	23,305	0,000
8	A	0,000	385,54	11,953	16,944	0,000	28,898
	B	385,542	592,59	18,755	24,524	17,059	26,220
	C	592,592	410,26	15,445	20,227	21,079	14,593
	D	410,256	592,59	15,445	20,227	14,593	21,079
	E	592,592	507,94	19,468	25,456	24,190	20,734
	F	507,936	0,00	14,373	18,817	33,190	0,000
7	A	0,000	390,24	15,641	19,991	0,000	35,632
	B	390,243	603,77	24,524	31,394	21,953	33,965
	C	603,773	415,58	20,227	24,077	26,241	18,062
	D	415,584	603,77	20,227	24,077	18,062	26,241
	E	603,773	516,13	25,456	33,146	31,594	27,008
	F	516,129	0,00	18,817	21,872	40,689	0,000

Moments aux appuis des poutres du portique (6-6)(suite):

Niveau	Poteau	Kw	Ke	Mn (kN m)	Ms (kN m)	Mw (kN m)	Me (kN m)
6	A	0,000	390,24	16,356	21,292	0,000	37,648
	B	390,243	603,77	31,394	36,782	26,765	41,411
	C	603,773	415,58	24,077	28,209	30,969	21,317
	D	415,584	603,77	24,077	28,209	21,317	30,969
	E	603,773	516,13	33,146	38,835	38,807	33,174
	F	516,129	0,00	21,872	25,626	47,497	0,000
5	A	0,000	390,24	21,292	24,112	0,000	45,405
	B	390,243	603,77	36,782	41,653	30,793	47,642
	C	603,773	415,58	28,209	31,945	35,630	24,524
	D	415,584	603,77	28,209	31,945	24,524	35,630
	E	603,773	516,13	38,835	43,978	44,647	38,166
	F	516,129	0,00	25,626	29,019	54,645	0,000
4	A	0,000	390,24	24,112	26,583	0,000	50,695
	B	390,243	603,77	41,653	45,903	34,374	53,183
	C	603,773	415,58	31,945	35,268	39,811	27,402
	D	415,584	603,77	31,945	35,268	27,402	39,811
	E	603,773	516,13	43,978	48,468	49,840	42,605
	F	516,129	0,00	29,019	32,021	61,041	0,000
3	A	0,000	395,06	26,583	26,552	0,000	53,135
	B	395,061	615,38	45,903	51,210	37,969	59,144
	C	615,384	421,05	35,268	37,035	42,930	29,373
	D	421,052	615,38	35,268	37,035	29,373	42,930
	E	615,384	524,59	48,468	54,931	55,817	47,582
	F	524,590	0,00	32,021	32,992	65,014	0,000
2	A	0,000	395,06	26,552	28,144	0,000	54,695
	B	395,061	615,38	51,210	49,612	39,419	61,403
	C	615,384	421,05	37,035	35,880	43,293	29,622
	D	421,052	615,38	37,035	35,880	29,622	43,293
	E	615,384	524,59	54,931	52,984	58,255	49,660
	F	524,590	0,00	32,992	34,970	67,963	0,000
1	A	0,000	395,06	28,144	35,881	0,000	64,025
	B	395,061	615,38	58,948	59,457	46,294	72,112
	C	615,384	421,05	42,631	51,169	55,694	38,106
	D	421,052	615,38	42,631	45,893	35,963	52,562
	E	615,384	524,59	63,465	63,611	68,598	58,477
	F	524,590	0,00	34,970	42,438	77,409	0,000

Moments en travées et efforts tranchants dans les poutres du portique (6-6):

Niveau	Travée	L (m)	Mw	Me	X (m)	Mt (kN m)	T (kN)	T (kN) (-)
11	(A-B)	3,95	5,22	2,889	1,999	1,116	2,053	-2,053
	(B-C)	2,50	4,44	3,567	1,242	0,462	3,203	-3,203
	(C-D)	3,70	2,47	2,469	1,850	0,000	1,335	-1,335
	(D-E)	2,50	3,57	4,097	1,262	-0,301	3,066	-3,066
	(E-F)	2,95	3,51	5,617	1,401	-0,824	3,095	-3,095
10	(A-B)	3,95	12,98	7,412	1,983	2,742	5,163	-5,163
	(B-C)	2,50	11,39	9,151	1,239	1,207	8,218	-8,218
	(C-D)	3,70	6,34	6,335	1,850	0,000	3,425	-3,425
	(D-E)	2,50	9,15	10,511	1,190	-0,210	7,865	-7,865
	(E-F)	2,95	9,01	15,294	1,424	-2,725	8,239	-8,239
9	(A-B)	3,95	20,60	12,441	1,982	4,020	8,365	-8,365
	(B-C)	2,50	19,12	15,359	1,239	2,028	13,793	-13,793
	(C-D)	3,70	10,63	10,633	1,850	0,000	5,748	-5,748
	(D-E)	2,50	15,36	17,642	1,192	-0,373	13,200	-13,200
	(E-F)	2,95	15,12	23,305	1,426	-3,456	13,026	-13,026
8	(A-B)	3,95	28,90	17,059	1,982	5,835	11,635	-11,635
	(B-C)	2,50	26,22	21,079	1,239	2,772	18,920	-18,920
	(C-D)	3,70	14,59	14,593	1,850	0,000	7,888	-7,888
	(D-E)	2,50	21,08	24,190	1,192	-0,502	18,108	-18,108
	(E-F)	2,95	20,73	33,190	1,426	-5,336	18,279	-18,279
7	(A-B)	3,90	35,63	21,953	1,951	6,822	14,765	-14,765
	(B-C)	2,45	33,96	26,241	1,214	4,132	24,574	-24,574
	(C-D)	3,65	18,06	18,062	1,825	0,000	9,897	-9,897
	(D-E)	2,45	26,24	31,594	1,175	-1,504	23,606	-23,606
	(E-F)	2,90	27,01	40,689	1,413	-5,984	23,344	-23,344
6	(A-B)	3,90	37,65	26,765	1,949	5,458	16,516	-16,516
	(B-C)	2,45	41,41	30,969	1,214	5,536	29,543	-29,543
	(C-D)	3,65	21,32	21,317	1,825	0,000	11,680	-11,680
	(D-E)	2,45	30,97	38,807	1,182	-2,700	28,480	-28,480
	(E-F)	2,90	33,17	47,497	1,420	-6,332	27,818	-27,818

Moments en travées et efforts tranchants dans les poutres du portique (6-6)(suite):

Niveau	Travée	L (m)	Mw	Me	X (m)	Mt (kN m)	T (kN)	T (kN) (-)
5	(A-B)	3,90	45,40	30,793	1,949	7,325	19,538	-19,538
	(B-C)	2,45	47,64	35,630	1,214	6,369	33,989	-33,989
	(C-D)	3,65	24,52	24,524	1,825	0,000	13,438	-13,438
	(D-E)	2,45	35,63	44,647	1,182	-3,107	32,766	-32,766
	(E-F)	2,90	38,17	54,645	1,420	-7,285	32,004	-32,004
4	(A-B)	3,90	50,70	34,374	1,949	8,182	21,813	-21,813
	(B-C)	2,45	53,18	39,811	1,214	7,091	37,957	-37,957
	(C-D)	3,65	27,40	27,402	1,825	0,000	15,015	-15,015
	(D-E)	2,45	39,81	49,840	1,182	-3,449	36,592	-36,592
	(E-F)	2,90	42,61	61,041	1,420	-8,151	35,740	-35,740
3	(A-B)	3,85	53,13	37,969	1,922	7,664	23,663	-23,663
	(B-C)	2,40	59,14	42,930	1,190	8,529	42,531	-42,531
	(C-D)	3,60	29,37	29,373	1,800	0,000	16,318	-16,318
	(D-E)	2,40	42,93	55,817	1,164	-4,961	41,145	-41,145
	(E-F)	2,85	47,58	65,014	1,403	-7,835	39,507	-39,507
2	(A-B)	3,85	54,70	39,419	1,679	13,660	24,445	-24,445
	(B-C)	2,40	61,40	43,293	1,395	0,563	43,623	-43,623
	(C-D)	3,60	29,62	29,622	1,698	1,683	16,456	-16,456
	(D-E)	2,40	43,29	58,255	1,353	-13,970	42,312	-42,312
	(E-F)	2,85	49,66	67,963	1,384	-7,460	41,271	-41,271
1	(A-B)	3,85	64,03	46,294	1,686	15,717	28,654	-28,654
	(B-C)	2,40	72,11	55,694	1,383	-1,541	53,252	-53,252
	(C-D)	3,60	38,11	35,963	1,704	3,048	20,575	-20,575
	(D-E)	2,40	52,56	68,598	1,344	-15,293	50,483	-50,483
	(E-F)	2,85	58,48	77,409	1,387	-7,637	47,679	-47,679

Efforts normaux dans les poteaux du portique (6-6):

Niveau	Nœuds	Tw (kN)	Te (kN)	N (kN)	Nc (kN)
11	A	0,000	2,05	-2,053	-2,053
	B	2,053	3,20	-1,150	-1,150
	C	3,203	1,33	1,868	1,868
	D	1,335	3,07	-1,731	-1,731
	E	3,066	3,09	-0,029	-0,029
	F	3,095	0,00	3,095	3,095
10	A	0,000	5,16	-5,163	-7,216
	B	5,163	8,22	-3,055	-4,205
	C	8,218	3,42	4,793	6,661
	D	3,425	7,86	-4,440	-6,171
	E	7,865	8,24	-0,374	-0,403
	F	8,239	0,00	8,239	11,333
9	A	0,000	8,37	-8,365	-15,581
	B	8,365	13,79	-5,427	-9,632
	C	13,793	5,75	8,045	14,706
	D	5,748	13,20	-7,453	-13,624
	E	13,200	13,03	0,175	-0,228
	F	13,026	0,00	13,026	24,359
8	A	0,000	11,63	-11,635	-27,216
	B	11,635	18,92	-7,285	-16,917
	C	18,920	7,89	11,031	25,738
	D	7,888	18,11	-10,220	-23,843
	E	18,108	18,28	-0,172	-0,400
	F	18,279	0,00	18,279	42,638
7	A	0,000	14,77	-14,765	-41,981
	B	14,765	24,57	-9,809	-26,726
	C	24,574	9,90	14,677	40,415
	D	9,897	23,61	-13,709	-37,552
	E	23,606	23,34	0,263	-0,137
	F	23,344	0,00	23,344	65,982

Efforts normaux dans les poteaux du portique (6-6)(suite):

Niveau	Nœuds	Tw (kN)	Te (kN)	N (kN)	Nc (kN)
6	A	0,000	16,52	-16,516	-58,497
	B	16,516	29,54	-13,027	-39,753
	C	29,543	11,68	17,863	58,277
	D	11,680	28,48	-16,800	-54,352
	E	28,480	27,82	0,662	0,526
	F	27,818	0,00	27,818	93,799
5	A	0,000	19,54	-19,538	-78,035
	B	19,538	33,99	-14,451	-54,203
	C	33,989	13,44	20,551	78,828
	D	13,438	32,77	-19,328	-73,680
	E	32,766	32,00	0,762	1,288
	F	32,004	0,00	32,004	125,803
4	A	0,000	21,81	-21,813	-99,848
	B	21,813	37,96	-16,144	-70,347
	C	37,957	15,01	22,942	101,769
	D	15,015	36,59	-21,577	-95,257
	E	36,592	35,74	0,852	2,140
	F	35,740	0,00	35,740	161,543
3	A	0,000	23,66	-23,663	-123,511
	B	23,663	42,53	-18,868	-89,215
	C	42,531	16,32	26,212	127,982
	D	16,318	41,14	-24,826	-120,084
	E	41,145	39,51	1,637	3,777
	F	39,507	0,00	39,507	201,051
2	A	0,000	24,45	-24,445	-147,957
	B	24,445	43,62	-19,178	-108,393
	C	43,623	16,46	27,167	155,149
	D	16,456	42,31	-25,855	-145,939
	E	42,312	41,27	1,040	4,818
	F	41,271	0,00	41,271	242,322
1	A	0,000	28,65	-28,654	-176,611
	B	28,654	53,25	-24,598	-132,991
	C	53,252	20,57	32,677	187,826
	D	20,575	50,48	-29,908	-175,847
	E	50,483	47,68	2,804	7,622
	F	47,679	0,00	47,679	290,001

6-4 Distribution des sollicitations horizontales sur les éléments de refends :

L'effort repris par chaque voile (refend) sera la somme des deux c.-à-d., effort dû à la translation et l'effort dû à la rotation.

Ceux-ci se calculent par la méthode du centre élastique proposé par « MARIUS DIVERS ».

▪ Principe de la méthode :

Le centre de torsion ou centre élastique d'un groupe de refend, est le point caractérisé par les propriétés suivantes :

- Une force dont la ligne (élastique) d'action passée par le centre de torsion engendre uniquement une translation des refends.
- La direction de translation est parallèle à la direction de la force.
- Un moment dont l'axe vertical passe le centre de torsion engendre uniquement une rotation est le même que le sens du moment.

Remarque : les efforts négatifs engendrés par la rotation sont négligés (selon le RPA99 Art 4-27).

6-4-1 Effort de la translation :

Pour un effort (E_k) dirigé dans le sens (x-x) ; un refend quelconque (j) parallèle à la direction de la force (E_k) reprendra un effort :

$$H'_{jx} = \frac{E_{kx} \times R_{jx}}{\sum_{i=1}^n R_{jx}}$$

De même pour le sens (y-y) :

$$H'_{jy} = \frac{E_{ky} \times R_{jy}}{\sum_{i=1}^n R_{jy}}$$

Avec : R_{jx} et R_{jy} : rigidités des voiles longitudinal et transversal.

6-4-2 Effort de la rotation :

L'effort repris par chaque voile (refend) dans le cas de la rotation, est proportionnel à la rigidité et à la distance du centre de gravité du refend au centre de torsion, le tout étant normalisé par la rigidité de torsion pour un effort (E_k) dirigé suivant « X » ; un refend « j » quelconque reprendra un effort égale à :

$$H''_{jx} = \frac{E_{kx} \cdot e_y \cdot d_{yj} \cdot R_{jy}}{R_{j0}} \dots \dots \dots \text{dans le sens (X - X)}$$

$$H''_{jy} = \frac{E_{ky} \cdot e_x \cdot d_{xj} \cdot R_{jx}}{R_{j0}} \dots \dots \dots \text{dans le sens (Y - Y)}$$

Avec :

$R_{j\theta}$: Rigidité à la torsion.

d_{yj}, d_{xj} : Coordonnées du centre de gravité du voile (j) par rapport au centre de torsion.

e_x, e_y : excentricités entre centre de gravité des masses et le centre de torsion.

Remarque :

Les excentricités et les coordonnées sont prises en valeurs algébriques.

6-4-3 Effort total repris par chaque refend :

$$H_{t_{jx}} = H'_{jx} + H''_{jx} \quad \text{Sens X-X}$$

$$H_{t_{jy}} = H'_{jy} + H''_{jy} \quad \text{Sens Y-Y}$$

6-4-4 Distribution des moments et efforts tranchants sur chaque voile:

a) Voiles pleins :

La détermination des sollicitations internes consiste à calculer les efforts tranchant et les moments fléchissant dans les différents éléments du refend.

$$T_j = T_{j+1} + H_{t_j}$$

$$M_j = M_{j+1} + T_{k+1} \cdot h$$

Avec :

H_{t_j} : Effort tranchant total repris par le voile V_1 .

h : Hauteur de l'étage.

Les valeurs de M et T de chaque voile seront données par les tableaux suivants :

Distribution des efforts sismiques dans les refonds transversaux:														
Niveau	voile	Fky (kN)	Iix (m ⁴)	Σ Iix	d1 (m)	H'y (kN)	ex (m)	Mx (kN m)	jθ (m ⁶)	H''y (kN)	Hy (kN)	Tk (kN)	h	M (kN m)
11	VT1	276,361	6,2208	12,80147	-12,44	134,296	0,74	204,507	2104,067	-7,522	126,774	126,774	3,060	0,000
	VT2	276,361	6,2208	12,80147	12,86	134,296	0,74	204,507	2104,067	7,776	142,072	142,072	3,060	0,000
	VT3	276,361	0,2163	12,80147	-4,99	4,669	0,74	204,507	2104,067	-0,105	4,564	4,564	3,060	0,000
	VT4	276,361	0,1436	12,80147	5,11	3,100	0,74	204,507	2104,067	0,071	3,171	3,171	3,060	0,000
10	VT1	254,823	6,2208	12,80147	-12,44	123,830	0,74	188,569	2104,067	-6,936	116,894	243,669	3,060	387,930
	VT2	254,823	6,2208	12,80147	12,86	123,830	0,74	188,569	2104,067	7,170	131,000	273,071	3,060	434,740
	VT3	254,823	0,2163	12,80147	-4,99	4,305	0,74	188,569	2104,067	-0,097	4,209	8,773	3,060	13,967
	VT4	254,823	0,1436	12,80147	5,11	2,858	0,74	188,569	2104,067	0,066	2,924	6,095	3,060	9,703
9	VT1	246,658	6,2208	12,80147	-12,44	119,862	0,74	182,527	2104,067	-6,713	113,149	356,817	3,060	1133,557
	VT2	246,658	6,2208	12,80147	12,86	119,862	0,74	182,527	2104,067	6,940	126,802	399,873	3,060	1270,338
	VT3	246,658	0,2163	12,80147	-4,99	4,167	0,74	182,527	2104,067	-0,094	4,074	12,847	3,060	40,813
	VT4	246,658	0,1436	12,80147	5,11	2,766	0,74	182,527	2104,067	0,064	2,830	8,925	3,060	28,353
8	VT1	239,703	6,2208	12,80147	-12,44	116,482	0,74	177,380	2104,067	-6,524	109,958	466,776	3,060	2225,418
	VT2	239,703	6,2208	12,80147	12,86	116,482	0,74	177,380	2104,067	6,744	123,226	523,100	3,060	2493,950
	VT3	239,703	0,2163	12,80147	-4,99	4,050	0,74	177,380	2104,067	-0,091	3,959	16,806	3,060	80,125
	VT4	239,703	0,1436	12,80147	5,11	2,688	0,74	177,380	2104,067	0,062	2,750	11,675	3,060	55,663
7	VT1	231,644	6,2208	12,80147	-12,44	112,566	0,74	171,417	2104,067	-6,305	106,261	573,037	3,060	3653,752
	VT2	231,644	6,2208	12,80147	12,86	112,566	0,74	171,417	2104,067	6,517	119,084	642,183	3,060	4094,635
	VT3	231,644	0,2163	12,80147	-4,99	3,914	0,74	171,417	2104,067	-0,088	3,826	20,632	3,060	131,551
	VT4	231,644	0,1436	12,80147	5,11	2,598	0,74	171,417	2104,067	0,060	2,658	14,333	3,060	91,390
6	VT1	214,398	6,2208	12,80147	-12,44	104,186	0,74	158,655	2104,067	-5,835	98,350	671,387	3,060	5407,245
	VT2	214,398	6,2208	12,80147	12,86	104,186	0,74	158,655	2104,067	6,032	110,218	752,401	3,060	6059,715
	VT3	214,398	0,2163	12,80147	-4,99	3,622	0,74	158,655	2104,067	-0,081	3,541	24,173	3,060	194,684
	VT4	214,398	0,1436	12,80147	5,11	2,405	0,74	158,655	2104,067	0,055	2,460	16,793	3,060	135,249

Distribution des efforts sismiques dans les refonds transversaux (suite):

Niveau	voile	Fky (kN)	Iix (m ⁴)	∑ Iix	d1 (m)	H'y (kN)	ex (m)	Mx (kN m)	jθ (m ⁶)	H''y (kN)	Hy (kN)	Tk (kN)	h	M (kN m)
5	VT1	193,836	6,2208	12,80147	-12,44	94,194	0,74	143,439	2104,067	-5,276	88,918	760,305	3,060	7461,691
	VT2	193,836	6,2208	12,80147	12,86	94,194	0,74	143,439	2104,067	5,454	99,647	852,048	3,060	8362,062
	VT3	193,836	0,2163	12,80147	-4,99	3,275	0,74	143,439	2104,067	-0,074	3,201	27,374	3,060	268,653
	VT4	193,836	0,1436	12,80147	5,11	2,174	0,74	143,439	2104,067	0,050	2,224	19,017	3,060	186,636
4	VT1	170,228	6,2208	12,80147	-12,44	82,722	0,74	125,969	2104,067	-4,633	78,088	838,394	3,060	9788,225
	VT2	170,228	6,2208	12,80147	12,86	82,722	0,74	125,969	2104,067	4,790	87,511	939,559	3,060	10969,330
	VT3	170,228	0,2163	12,80147	-4,99	2,876	0,74	125,969	2104,067	-0,065	2,812	30,186	3,060	352,418
	VT4	170,228	0,1436	12,80147	5,11	1,909	0,74	125,969	2104,067	0,044	1,953	20,970	3,060	244,828
3	VT1	148,696	6,2208	12,80147	-12,44	72,258	0,74	110,035	2109,447	-4,037	68,221	906,615	3,060	12353,710
	VT2	148,696	6,2208	12,80147	12,86	72,258	0,74	110,035	2109,447	4,173	76,431	1015,990	3,060	13844,381
	VT3	148,696	0,2163	12,80147	-4,99	2,512	0,74	110,035	2109,447	-0,056	2,456	32,642	3,060	444,786
	VT4	148,696	0,1436	12,80147	5,11	1,668	0,74	110,035	2109,447	0,038	1,706	22,676	3,060	308,998
2	VT1	118,494	6,2208	12,80147	-12,44	57,582	0,74	87,686	2109,447	-3,217	54,365	960,980	3,060	15127,952
	VT2	118,494	6,2208	12,80147	12,86	57,582	0,74	87,686	2109,447	3,325	60,907	1076,897	3,060	16953,311
	VT3	118,494	0,2163	12,80147	-4,99	2,002	0,74	87,686	2109,447	-0,045	1,957	34,599	3,060	544,670
	VT4	118,494	0,1436	12,80147	5,11	1,329	0,74	87,686	2109,447	0,030	1,360	24,036	3,060	378,388
1	VT1	110,753	6,2208	12,80147	-12,44	53,820	0,74	81,958	2109,610	-3,006	50,814	1011,793	4,420	18068,550
	VT2	110,753	6,2208	12,80147	12,86	53,820	0,74	81,958	2109,610	3,108	56,928	1133,825	4,420	20248,616
	VT3	110,753	0,2163	12,80147	-4,99	1,871	0,74	81,958	2109,610	-0,042	1,829	36,428	4,420	650,543
	VT4	110,753	0,1436	12,80147	5,11	1,242	0,74	81,958	2109,610	0,029	1,271	25,307	4,420	451,937

Distribution des efforts sismiques dans les refonds longitudinaux:

Niveau	voile	Fkx (kN)	Iy (m ⁴)	Σ Iy	d2 (m)	H'x (kN)	ey (m)	My (kN m)	jθ (m ⁶)	H"x (kN)	Hx (kN)	Tk (kN)	h	M (kN m)
11	VL1	180,963	0,778	3,934	2,190	35,767	0,740	133,912	2104,067	0,108	35,875	35,875	3,060	0,000
	VL2	180,963	0,778	3,934	2,190	35,767	0,740	133,912	2104,067	0,108	35,875	35,875	3,060	0,000
	VL3	180,963	0,504	3,934	2,290	23,159	0,740	133,912	2104,067	0,073	23,233	23,233	3,060	0,000
	VL4	180,963	0,619	3,934	8,340	28,454	0,740	133,912	2104,067	0,328	28,782	28,782	3,060	0,000
	VL5	180,963	0,230	3,934	-0,370	10,598	0,740	133,912	2104,067	-0,005	10,592	10,592	3,060	0,000
	VL6	180,963	0,203	3,934	-0,290	9,327	0,740	133,912	2104,067	-0,004	9,323	9,323	3,060	0,000
	VL7	180,963	0,203	3,934	2,190	9,327	0,740	133,912	2104,067	0,028	9,355	9,355	3,060	0,000
	VL8	180,963	0,621	3,934	-8,910	28,564	0,740	133,912	2104,067	-0,352	28,212	28,212	3,060	0,000
10	VL1	166,926	0,778	3,934	2,190	32,993	0,740	123,525	2104,067	0,100	33,093	68,968	3,060	109,779
	VL2	166,926	0,778	3,934	2,190	32,993	0,740	123,525	2104,067	0,100	33,093	68,968	3,060	109,779
	VL3	166,926	0,504	3,934	2,290	21,363	0,740	123,525	2104,067	0,068	21,431	44,663	3,060	71,092
	VL4	166,926	0,619	3,934	8,340	26,246	0,740	123,525	2104,067	0,303	26,549	55,331	3,060	88,073
	VL5	166,926	0,230	3,934	-0,370	9,776	0,740	123,525	2104,067	-0,005	9,771	20,363	3,060	32,412
	VL6	166,926	0,203	3,934	-0,290	8,604	0,740	123,525	2104,067	-0,003	8,600	17,924	3,060	28,530
	VL7	166,926	0,203	3,934	2,190	8,604	0,740	123,525	2104,067	0,026	8,630	17,985	3,060	28,628
	VL8	166,926	0,621	3,934	-8,910	26,348	0,740	123,525	2104,067	-0,325	26,023	54,235	3,060	86,328
9	VL1	161,637	0,778	3,934	2,190	31,947	0,740	119,612	2104,067	0,097	32,044	101,012	3,060	320,821
	VL2	161,637	0,778	3,934	2,190	31,947	0,740	119,612	2104,067	0,097	32,044	101,012	3,060	320,821
	VL3	161,637	0,504	3,934	2,290	20,686	0,740	119,612	2104,067	0,066	20,752	65,415	3,060	207,762
	VL4	161,637	0,619	3,934	8,340	25,415	0,740	119,612	2104,067	0,293	25,708	81,039	3,060	257,386
	VL5	161,637	0,230	3,934	-0,370	9,466	0,740	119,612	2104,067	-0,005	9,461	29,824	3,060	94,722
	VL6	161,637	0,203	3,934	-0,290	8,331	0,740	119,612	2104,067	-0,003	8,328	26,251	3,060	83,376
	VL7	161,637	0,203	3,934	2,190	8,331	0,740	119,612	2104,067	0,025	8,356	26,342	3,060	83,663
	VL8	161,637	0,621	3,934	-8,910	25,514	0,740	119,612	2104,067	-0,315	25,199	79,434	3,060	252,288

Distribution des efforts sismiques dans les refonds longitudinaux(suite):

Niveau	voile	Fkx (kN)	Iy (m ⁴)	∑ Iy	d2 (m)	H'x (kN)	ey (m)	My (kN m)	jθ (m ⁶)	H''x (kN)	Hx (kN)	Tk (kN)	h	M (kN m)
8	VL1	157,308	0,778	3,934	2,19	31,091725	0,74	116,4081363	2104,067	0,0942159	31,1859404	132,19805	3,06	629,917647
	VL2	157,308	0,778	3,934	2,19	31,091725	0,74	116,4081363	2104,067	0,0942159	31,1859404	132,19805	3,06	629,917647
	VL3	157,308	0,504	3,934	2,29	20,132052	0,74	116,4081363	2104,067	0,0637909	20,1958425	85,610726	3,06	407,931183
	VL4	157,308	0,619	3,934	8,34	24,734235	0,74	116,4081363	2104,067	0,2854301	25,0196646	106,05904	3,06	505,366459
	VL5	157,308	0,230	3,934	-0,37	9,2123628	0,74	116,4081363	2104,067	-0,004716	9,20764645	39,031464	3,06	185,983136
	VL6	157,308	0,203	3,934	-0,29	8,1079988	0,74	116,4081363	2104,067	-0,003253	8,10474537	34,356236	3,06	163,70589
	VL7	157,308	0,203	3,934	2,19	8,1079988	0,74	116,4081363	2104,067	0,0245693	8,13256815	34,474178	3,06	164,267876
	VL8	157,308	0,621	3,934	-8,91	24,830197	0,74	116,4081363	2104,067	-0,306121	24,5240757	103,95822	3,06	495,356172
7	VL1	152,330	0,778	3,934	2,19	30,107788	0,74	112,7242552	2104,067	0,0912343	30,1990223	162,39707	3,06	1034,44368
	VL2	152,330	0,778	3,934	2,19	30,107788	0,74	112,7242552	2104,067	0,0912343	30,1990223	162,39707	3,06	1034,44368
	VL3	152,330	0,504	3,934	2,29	19,494948	0,74	112,7242552	2104,067	0,0617722	19,5567198	105,16745	3,06	669,900004
	VL4	152,330	0,619	3,934	8,34	23,951489	0,74	112,7242552	2104,067	0,2763973	24,227886	130,28693	3,06	829,907119
	VL5	152,330	0,230	3,934	-0,37	8,9208261	0,74	112,7242552	2104,067	-0,004567	8,91625896	47,947723	3,06	305,419415
	VL6	152,330	0,203	3,934	-0,29	7,8514111	0,74	112,7242552	2104,067	-0,003151	7,84826056	42,204497	3,06	268,835973
	VL7	152,330	0,203	3,934	2,19	7,8514111	0,74	112,7242552	2104,067	0,0237918	7,87520286	42,349381	3,06	269,75886
	VL8	152,330	0,621	3,934	-8,91	24,044414	0,74	112,7242552	2104,067	-0,296433	23,7479806	127,7062	3,06	813,468338
6	VL1	141,627	0,778	3,934	2,19	27,992311	0,74	104,8038587	2104,067	0,0848239	28,0771344	190,47421	3,06	1531,37872
	VL2	141,627	0,778	3,934	2,19	27,992311	0,74	104,8038587	2104,067	0,0848239	28,0771344	190,47421	3,06	1531,37872
	VL3	141,627	0,504	3,934	2,29	18,125165	0,74	104,8038587	2104,067	0,0574318	18,1825969	123,35004	3,06	991,712386
	VL4	141,627	0,619	3,934	8,34	22,268574	0,74	104,8038587	2104,067	0,2569767	22,5255509	152,81248	3,06	1228,58511
	VL5	141,627	0,230	3,934	-0,37	8,2940179	0,74	104,8038587	2104,067	-0,004246	8,28977173	56,237494	3,06	452,139447
	VL6	141,627	0,203	3,934	-0,29	7,2997437	0,74	104,8038587	2104,067	-0,002929	7,2968146	49,501311	3,06	397,981732
	VL7	141,627	0,203	3,934	2,19	7,2997437	0,74	104,8038587	2104,067	0,0221201	7,32186384	49,671244	3,06	399,347964
	VL8	141,627	0,621	3,934	-8,91	22,35497	0,74	104,8038587	2104,067	-0,275605	22,0793653	149,78557	3,06	1204,24932

Distribution des efforts sismiques dans les refonds longitudinaux(suite):

Niveau	voile	F _{kx} (kN)	I _y (m ⁴)	Σ I _y	d ₂ (m)	H' _x (kN)	e _y (m)	M _y (kN m)	j _θ (m ⁶)	H'' _x (kN)	H _x (kN)	T _k (kN)	h	M (kN m)
5	VL1	128,781	0,778	3,934	2,19	25,453257	0,74	95,29758312	2104,067	0,0771299	25,5303868	216,00459	3,06	2114,22979
	VL2	128,781	0,778	3,934	2,19	25,453257	0,74	95,29758312	2104,067	0,0771299	25,5303868	216,00459	3,06	2114,22979
	VL3	128,781	0,504	3,934	2,29	16,481115	0,74	95,29758312	2104,067	0,0522225	16,5333372	139,88338	3,06	1369,16352
	VL4	128,781	0,619	3,934	8,34	20,248694	0,74	95,29758312	2104,067	0,2336675	20,4823618	173,29484	3,06	1696,19129
	VL5	128,781	0,230	3,934	-0,37	7,5417058	0,74	95,29758312	2104,067	-0,003861	7,5378447	63,775339	3,06	624,22618
	VL6	128,781	0,203	3,934	-0,29	6,6376176	0,74	95,29758312	2104,067	-0,002663	6,63495414	56,136265	3,06	549,455745
	VL7	128,781	0,203	3,934	2,19	6,6376176	0,74	95,29758312	2104,067	0,0201137	6,65773127	56,328976	3,06	551,341972
	VL8	128,781	0,621	3,934	-8,91	20,327254	0,74	95,29758312	2104,067	-0,250606	20,0766477	169,86222	3,06	1662,59317
4	VL1	113,958	0,778	3,934	2,19	22,52366	0,74	84,32910596	2104,067	0,0682525	22,5919129	238,59651	3,06	2775,20385
	VL2	113,958	0,778	3,934	2,19	22,52366	0,74	84,32910596	2104,067	0,0682525	22,5919129	238,59651	3,06	2775,20385
	VL3	113,958	0,504	3,934	2,29	14,584186	0,74	84,32910596	2104,067	0,0462118	14,6303978	154,51378	3,06	1797,20666
	VL4	113,958	0,619	3,934	8,34	17,918128	0,74	84,32910596	2104,067	0,206773	18,124901	191,41974	3,06	2226,47349
	VL5	113,958	0,230	3,934	-0,37	6,6736772	0,74	84,32910596	2104,067	-0,003417	6,6702605	70,4456	3,06	819,378718
	VL6	113,958	0,203	3,934	-0,29	5,8736469	0,74	84,32910596	2104,067	-0,002357	5,87129004	62,007555	3,06	721,232717
	VL7	113,958	0,203	3,934	2,19	5,8736469	0,74	84,32910596	2104,067	0,0177987	5,89144559	62,220421	3,06	723,708637
	VL8	113,958	0,621	3,934	-8,91	17,987645	0,74	84,32910596	2104,067	-0,221762	17,7658834	187,6281	3,06	2182,37155
3	VL1	100,620	0,778	4,156	2,12	18,824597	0,74	74,45868316	2109,447	0,0581887	18,8827855	257,47929	3,06	3505,30916
	VL2	100,620	0,778	4,156	2,12	18,824597	0,74	74,45868316	2109,447	0,0581887	18,8827855	257,47929	3,06	3505,30916
	VL3	100,620	0,655	4,156	2,22	15,858319	0,74	74,45868316	2109,447	0,0513319	15,9096506	170,42343	3,06	2270,01882
	VL4	100,620	0,655	4,156	8,27	15,858319	0,74	74,45868316	2109,447	0,1912229	16,0495416	207,46928	3,06	2812,21789
	VL5	100,620	0,230	4,156	-0,44	5,5776583	0,74	74,45868316	2109,447	-0,003578	5,57407996	76,01968	3,06	1034,94225
	VL6	100,620	0,203	4,156	-0,36	4,9090171	0,74	74,45868316	2109,447	-0,002577	4,90644038	66,913996	3,06	910,975837
	VL7	100,620	0,203	4,156	2,12	4,9090171	0,74	74,45868316	2109,447	0,0151743	4,92419141	67,144613	3,06	914,103126
	VL8	100,620	0,655	4,156	-8,98	15,858319	0,74	74,45868316	2109,447	-0,20764	15,6506788	203,27878	3,06	2756,51354

Distribution des efforts sismiques dans les refonds longitudinaux(suite):

Niveau	voile	Fkx (kN)	Iy (m ⁴)	Σ Iy	d2 (m)	H'x (kN)	ey (m)	My (kN m)	jθ (m ⁶)	H''x (kN)	Hx (kN)	Tk (kN)	h	M (kN m)
2	VL1	80,587	0,778	4,156	2,12	15,076689	0,74	59,63423438	2109,447	0,0466036	15,1232926	272,60258	3,06	4293,19579
	VL2	80,587	0,778	4,156	2,12	15,076689	0,74	59,63423438	2109,447	0,0466036	15,1232926	272,60258	3,06	4293,19579
	VL3	80,587	0,655	4,156	2,22	12,700986	0,74	59,63423438	2109,447	0,0411119	12,7420979	183,16553	3,06	2791,51451
	VL4	80,587	0,655	4,156	8,27	12,700986	0,74	59,63423438	2109,447	0,1531511	12,8541371	220,32342	3,06	3447,07389
	VL5	80,587	0,230	4,156	-0,44	4,4671671	0,74	59,63423438	2109,447	-0,002866	4,46430123	80,483981	3,06	1267,56247
	VL6	80,587	0,203	4,156	-0,36	3,93165	0,74	59,63423438	2109,447	-0,002064	3,92958622	70,843582	3,06	1115,73266
	VL7	80,587	0,203	4,156	2,12	3,93165	0,74	59,63423438	2109,447	0,0121531	3,94380309	71,088416	3,06	1119,56564
	VL8	80,587	0,655	4,156	-8,98	12,700986	0,74	59,63423438	2109,447	-0,1663	12,5346864	215,81347	3,06	3378,54661
1	VL1	75,607	0,778	4,156	2,06	14,144987	0,74	55,94898721	2109,61	0,0424828	14,1874701	286,79005	4,42	5127,3597
	VL2	75,607	0,778	4,156	2,06	14,144987	0,74	55,94898721	2109,61	0,0424828	14,1874701	286,79005	4,42	5127,3597
	VL3	75,607	0,655	4,156	2,26	11,916097	0,74	55,94898721	2109,61	0,0392632	11,9553599	195,12089	4,42	3352,00101
	VL4	75,607	0,655	4,156	8,31	11,916097	0,74	55,94898721	2109,61	0,1443706	12,0604673	232,38388	4,42	4121,26355
	VL5	75,607	0,230	4,156	-0,06	4,1911073	0,74	55,94898721	2109,61	-0,000367	4,1907407	84,674722	4,42	1513,84345
	VL6	75,607	0,203	4,156	-0,16	3,6886838	0,74	55,94898721	2109,61	-0,00086	3,68782332	74,531405	4,42	1332,51403
	VL7	75,607	0,203	4,156	2,06	3,6886838	0,74	55,94898721	2109,61	0,0110785	3,69976232	74,788178	4,42	1337,09619
	VL8	75,607	0,655	4,156	-8,99	11,916097	0,74	55,94898721	2109,61	-0,156184	11,7599124	227,57338	4,42	4038,93582

b) Refends avec ouvertures :

Les voiles avec ouvertures subissent une répartition quelque peu différente de celle des voiles pleins à cause de leurs hétérogénéités.

Pour cela, on applique la méthode proposée par MM. ALBIGES et GOULET exposée dans l'ouvrage intitulé « calcul des tours en béton armé » de MARIUS DIVER.

▪ Hypothèses :

- 1- Les efforts localisés transmis par les linteaux peuvent être considérés comme repartis le long de la fibre moyenne de chaque élément de refend (un élément de refend étant une partie de refend de part et d'autre de la file d'ouverture).
- 2- Les éléments de refend subissent le même déplacement horizontal au niveau de chaque étage.
- 3- La hauteur d'étage est constante.
- 4- Les linteaux ont une inertie transversale faible vis-à-vis de celle de chacun des éléments de refend.
- 5- Les linteaux qui lient deux éléments de refend ont tous les mêmes caractéristiques géométriques.
- 6- Les refends ont une section constante sur toute la hauteur du bâtiment.
- 7- Le bâtiment est élevé (nombre d'étage ≥ 7).
- 8- Les deux éléments de refends sont supposés être uniformément répartis, ou suivant un triangle sur toute la hauteur du bâtiment.

b-1 Refends à une seule file d'ouverture :

▪ Etape de calcul :

- Evaluation de la valeur de α :

$$\alpha = \omega \cdot H$$

- Calcul de ω :

$$\omega^2 = \frac{3H_i'}{E(I_1 + I_2)} \frac{I}{m} \frac{c}{a^3 h} \quad \text{avec} \quad m = \frac{2c}{\frac{1}{\Omega_1} + \frac{1}{\Omega_2}}$$

$$I = I_1 + I_2 + 2mc$$

I : inertie totale de refend.

E : le module d'élasticité du refend

E' : le module d'élasticité du linteau

m : le moment statique des éléments de refend

i : l'inertie des linteaux.

h : la hauteur de l'étage

I₁, I₂ : les inerties des deux éléments de refend

Ω₁ , Ω₂ : aires des deux éléments de refend

2a : la portée des linteaux

2c : distance entre les centres de gravité des éléments 1 et 2.

▪ **Etude des linteaux :**

- Les efforts tranchants dans le linteau situé à la côte (x) sont donnés par la formule suivante :

$$\pi_t = \frac{T_{0t} \cdot m \cdot h}{I} \times \phi(\alpha, \xi)$$

Avec :

T_{0t} : Effort tranchant à la base dû à la charge triangulaire.

φ (α, ξ) : Donné par le tableau 4-P80 et P81 (formulaire de béton armé tome 2 VICTOR DAVIDOVICI).

- Moment d'encastrement M :

$$M = \pi \cdot a$$

- Dimensionnement des linteaux, en le considérant comme une poutre encastree aux extrémités.

▪ **Etude de deux éléments de refend :**

- Calcul des moments dans les éléments de refend :

$$M_2 = \frac{I_2}{I_1 + I_2} T_{0t} H \left[\frac{(1 - \xi)^2}{2} - \frac{2mc}{I} \psi(\alpha, \xi) \right]$$

$$M_2 = \frac{I_2}{I_1 + I_2} T_{0t} H \left[\frac{(1 - \xi)^2}{2} - \frac{2mc}{I} \psi(\alpha, \xi) \right]$$

Le coefficient ψ est donné par le 4-P80 et P81 (formulaire de béton armé tome 2 VICTOR DAVIDOVICI).

- Calcul des efforts axiaux dans les trumeaux :

A chaque étage on obtient : $N = \sum \pi$.

$\sum \pi$: somme des effort π à partir du sommet jusqu'à l'étage considéré.

- Effort tranchant dans les trumeaux :

$$T_1 = \frac{I_1}{I_1 + I_2} T_k \quad ; \quad T_2 = \frac{I_2}{I_1 + I_2} T_k$$

▪ **vérification :**

Il est conseillé d'effectuer à la base du refend une vérification de l'équilibre extérieur, définie par la relation suivante :

$$M_{ext} = M_{int}$$

Avec :

M_{ext} : moment sismique à la base du refend considéré.

M_1, M_2 : ce sont les moments à la base des éléments du refend.

N : effort normal cumulé à la base du refend.

distribution des efforts horizontaux dans les linteaux et trumeaux du voile VL3

Niv	linteau					trumeau					
	ξ	α	Φ	Π (kN)	N (kN)	ψ	M1 (kN)	M2 (kN)	Tk (kN)	T1 (kN)	T2 (kN)
11	1,000	56,382	0,020	4,400	4,400	0,00	0,000	0,000	23,233	1,215818	22,01689
10	0,913	56,382	0,097	21,339	25,739	0,005	1,351	4,473	44,663	2,337326	42,32593
9	0,825	56,382	0,216	47,519	73,258	0,02	5,406	8,045	65,415	3,423304	61,99158
8	0,738	56,382	0,319	70,178	143,436	0,05	12,163	13,992	85,611	4,480197	81,13053
7	0,650	56,382	0,503	110,657	254,093	0,07	21,623	75,026	105,167	5,503643	99,6638
6	0,563	56,382	0,638	140,356	394,449	0,11	33,786	96,001	123,350	6,455179	116,8949
5	0,476	56,382	0,733	161,256	555,705	0,15	48,652	112,867	139,883	7,320404	132,563
4	0,388	56,382	0,883	259,593	815,298	0,20	66,220	142,530	154,514	8,086045	146,4277

distribution des efforts horizontaux dans les linteaux et trumeaux du voile VL4

Niv	linteau					trumeau					
	ξ	α	Φ	Π (kN)	N (kN)	ψ	M1 (kN)	M2 (kN)	Tk (kN)	T1 (kN)	T2 (kN)
11	1,000	63,036	0,020	5,748	5,748	0,00	0,000	0,000	28,782	14,39094	14,39094
10	0,913	63,036	0,097	27,877	33,625	0,005	-3,378	-3,378	55,331	27,66559	27,66559
9	0,825	63,036	0,216	62,077	95,701	0,02	-13,513	-13,513	81,039	40,51969	40,51969
8	0,738	63,036	0,419	120,417	216,118	0,04	-11,493	-11,493	106,059	53,02952	53,02952
7	0,650	63,036	0,503	144,558	360,676	0,07	-16,229	-16,229	130,287	65,14346	65,14346
6	0,563	63,036	0,638	183,356	544,032	0,11	-27,722	-27,722	152,812	76,40624	76,40624
5	0,476	63,036	0,733	210,658	754,690	0,15	-8,148	-8,148	173,295	86,64742	86,64742
4	0,388	63,036	0,883	253,767	1008,456	0,20	4,670	4,670	191,420	95,70987	95,70987

distribution des efforts horizontaux dans les linteaux et trumeaux du voile VL8

Niv	linteau					trumeau					
	ξ	α	Φ	Π (kN)	N (kN)	ψ	M1 (kN)	M2 (kN)	Tk (kN)	T1 (kN)	T2 (kN)
11	1,000	84,390	0,020	5,629	5,629	0,00	0,000	0,000	28,212	14,10589	14,10589
10	0,913	84,390	0,097	27,300	32,929	0,005	-7,692	-7,692	54,235	27,11759	27,11759
9	0,825	84,390	0,216	60,791	93,720	0,02	-30,766	-30,766	79,434	39,71707	39,71707
8	0,738	84,390	0,319	89,780	183,500	0,04	-46,320	-46,320	103,958	51,97911	51,97911
7	0,650	84,390	0,503	141,565	325,066	0,07	-77,257	-77,257	127,706	63,8531	63,8531
6	0,563	84,390	0,638	179,560	504,626	0,11	-123,578	-123,578	149,786	74,89279	74,89279
5	0,476	84,390	0,733	206,297	710,923	0,15	-139,474	-139,474	169,862	84,93111	84,93111
4	0,388	84,390	0,883	248,513	959,436	0,20	-170,753	-170,753	187,628	93,81405	93,81405

Vérification : Pour $\xi=0.388$ au niveau 4 :

- Pour le refend VL3 :

$$M_{\text{ext}} = H_0 * Z \left(\frac{2 - 3 * \xi + \xi^3}{3} \right) = 195,121 * 35,02 * \left(\frac{2 - 3 * 0,388 + 0,388^3}{3} \right)$$

$$M_{\text{ext}} = 2037,211 \text{ KN.m}$$

$$M_{\text{int}} = M_1 + M_2 + (2c * N) = 66.20 + 142.53 + (2,22 * 815,298)$$

$$M_{\text{int}} = 2018.69 \text{ KN.m}$$

$$\text{Erreur} = \frac{2037,211 - 2018.69}{2037,211} = 1 \%$$

- Pour le refend VL4 :

$$M_{\text{ext}} = H_0 * Z \left(\frac{2 - 3 * \xi + \xi^3}{3} \right) = 232,384 * 35,02 * \left(\frac{2 - 3 * 0,388 + 0,388^3}{3} \right)$$

$$M_{\text{ext}} = 2426,265 \text{ KN.m}$$

$$M_{\text{int}} = M_1 + M_2 + (2c * N) = 4,67 + 4,67 + (2,3 * 1008,456)$$

$$M_{\text{int}} = 2328,789 \text{ KN.m}$$

$$\text{Erreur} = \frac{2426,265 - 2328,789}{2426,265} = 4 \%$$

- Pour le refend VL8 :

$$M_{\text{ext}} = H_0 * Z \left(\frac{2 - 3 * \xi + \xi^3}{3} \right) = 227,573 * 35,02 * \left(\frac{2 - 3 * 0,388 + 0,388^3}{3} \right)$$

$$M_{\text{ext}} = 2376,035 \text{ KN.m}$$

$$M_{\text{int}} = M_1 + M_2 + (2c * N) = 170,753 + 170,753 + (2,3 * 959,463)$$

$$M_{\text{int}} = 2548,271 \text{ KN.m}$$

$$\text{Erreur} = \frac{2548,271 - 2376,035}{2548,271} = 6 \%$$

CHAPITRE 7

SUPERPOSITION DES SOLLICITATIONS ET FERRAILLAGE DE LA STRUCTURE

7-1 Superposition des sollicitations :

Les sollicitations à prendre en considération pour calcul des armatures et effectuer des vérifications imposées par le BAEL 91 et le RPA 99 sont combinées de façon à prévoir les efforts les plus défavorables contre les quels la structure sera amenée à résister.

- Combinaisons du BAEL :

E.L.U : $1.35G + 1.5Q$

E.L.S : $G + Q$

- Combinaison du RPA 99 :

$G + Q + E$ pour les poutres

$0.8G + E$ pour les poteaux et les poutres

$G + Q + 1.2E$ pour les poteaux (ossature auto-stable)

Où :

G : charges permanentes

Q : charges d'exploitations

E : effet de séisme

7-1-1 Combinaison d'actions dans les portiques :

Les résultats du calcul sont donnés dans les tableaux ci-après :

Superposition des moments fléchissant aux appuis du portique transversal (6-6) :

Niveau	Travée	G+Q		1,35G+1,5Q		G+Q+E		G+Q-E		0,8G+E		0,8G-E	
		Mw	Me	Mw	Me	Mw	Me	Mw	Me	Mw	Me	Mw	Me
11	(A-B)	27,261	23,828	37,480	32,602	32,482	26,717	22,041	20,938	23,416	19,632	12,976	13,853
	(B-C)	19,979	20,400	27,346	27,950	24,420	23,967	15,539	16,834	18,431	17,702	9,550	10,568
	(C-D)	24,493	24,493	33,558	33,558	26,963	26,963	22,024	22,024	19,440	19,440	14,501	14,501
	(D-E)	20,400	21,539	27,950	29,568	23,967	25,636	16,834	17,443	17,702	18,717	10,568	10,523
	(E-F)	15,740	10,917	21,553	14,996	19,251	16,534	12,228	5,300	14,480	12,976	7,457	1,741
10	(A-B)	30,648	26,540	42,388	36,558	43,629	33,952	17,667	19,127	32,098	24,756	6,137	9,931
	(B-C)	19,885	19,754	27,403	27,244	31,278	28,905	8,493	10,603	24,325	21,888	1,539	3,585
	(C-D)	26,265	26,265	36,222	36,222	32,600	32,600	19,930	19,930	23,269	23,269	10,599	10,599
	(D-E)	19,754	15,228	27,244	20,995	28,905	25,739	10,603	4,717	21,888	20,361	3,585	-0,661
	(E-F)	16,771	13,581	23,117	18,767	25,781	28,876	7,762	-1,713	19,889	23,851	1,871	-6,738
9	(A-B)	30,648	26,540	42,388	36,558	51,250	38,981	10,046	14,099	39,832	29,909	-9,668	0,409
	(B-C)	19,885	19,754	27,403	27,244	39,008	35,114	0,763	4,395	31,991	28,009	-13,351	-8,430
	(C-D)	26,265	26,265	36,222	36,222	36,898	36,898	15,632	15,632	27,626	27,626	2,400	2,400
	(D-E)	19,754	15,228	27,244	20,995	35,114	32,870	4,395	-2,414	28,009	27,479	-8,430	-14,353
	(E-F)	16,771	13,581	23,117	18,767	31,893	36,886	1,650	-9,723	26,035	31,985	-9,821	-24,509
8	(A-B)	30,648	26,540	42,388	36,558	59,546	43,599	1,751	9,481	48,128	34,527	-9,668	0,409
	(B-C)	19,885	19,754	27,403	27,244	46,106	40,833	-6,335	-1,325	39,089	33,729	-13,351	-8,430
	(C-D)	26,265	26,265	36,222	36,222	40,858	40,858	11,672	11,672	31,586	31,586	2,400	2,400
	(D-E)	19,754	15,228	27,244	20,995	40,833	39,418	-1,325	-8,962	33,729	34,028	-8,430	-14,353
	(E-F)	16,771	13,581	23,117	18,767	37,506	46,771	-3,963	-19,608	31,648	41,870	-9,821	-24,509

Superposition des moments fléchissant aux appuis du portique transversal (6-6) : (suite)

Niveau	Travée	G+Q		1,35G+1,5Q		G+Q+E		G+Q-E		0,8G+E		0,8G-E	
		Mw	Me	Mw	Me	Mw	Me	Mw	Me	Mw	Me	Mw	Me
7	(A-B)	31,155	27,081	43,061	37,311	66,786	49,034	-4,477	5,128	55,212	39,605	-16,051	-4,301
	(B-C)	18,536	18,187	25,550	25,082	52,501	44,428	-15,428	-8,055	45,989	37,967	-21,940	-14,516
	(C-D)	26,163	26,163	36,082	36,082	44,226	44,226	8,101	8,101	34,931	34,931	-1,194	-1,194
	(D-E)	18,187	14,506	25,082	20,001	44,428	46,100	-8,055	-17,088	37,967	40,969	-14,516	-22,219
	(E-F)	16,506	14,465	22,753	19,980	43,514	55,154	-10,502	-26,223	37,708	49,851	-16,308	-31,526
6	(A-B)	31,594	27,989	43,650	38,569	69,243	54,754	-6,054	1,223	57,602	44,974	-17,695	-8,557
	(B-C)	18,008	17,556	24,825	24,212	59,418	48,526	-23,403	-13,413	53,073	42,289	-29,748	-19,650
	(C-D)	26,587	26,587	36,666	36,666	47,903	47,903	5,270	5,270	38,458	38,458	-4,175	-4,175
	(D-E)	17,556	14,398	24,212	19,854	48,526	53,205	-13,413	-24,408	42,289	48,106	-19,650	-29,507
	(E-F)	16,770	15,144	23,118	20,911	49,943	62,641	-16,404	-32,353	44,036	57,125	-22,311	-37,870
5	(A-B)	31,594	27,989	43,650	38,569	76,999	58,782	-13,810	-2,805	65,358	49,002	-25,451	-12,585
	(B-C)	18,008	17,556	24,825	24,212	65,650	53,186	-29,635	-18,073	59,305	46,949	-35,980	-24,310
	(C-D)	26,587	26,587	36,666	36,666	51,111	51,111	2,062	2,062	41,666	41,666	-7,383	-7,383
	(D-E)	17,556	14,398	24,212	19,854	53,186	59,045	-18,073	-30,248	46,949	53,946	-24,310	-35,347
	(E-F)	16,770	15,144	23,118	20,911	54,935	69,789	-21,396	-39,501	49,028	64,272	-27,303	-45,018
4	(A-B)	31,594	27,989	43,650	38,569	82,290	62,363	-19,101	-6,386	70,649	52,583	-30,742	-16,166
	(B-C)	18,008	17,556	24,825	24,212	71,190	57,367	-35,175	-22,254	64,845	51,130	-41,520	-28,492
	(C-D)	26,587	26,587	36,666	36,666	53,989	53,989	-0,816	-0,816	44,544	44,544	-10,261	-10,261
	(D-E)	17,556	14,398	24,212	19,854	57,367	64,239	-22,254	-35,442	51,130	59,140	-28,492	-40,541
	(E-F)	16,770	15,144	23,118	20,911	59,375	76,185	-25,836	-45,897	53,468	70,668	-31,743	-51,414

Superposition des moments fléchissant aux appuis du portique transversal (6-6) : (suite)

Niveau	Travée	G+Q		1,35G+1,5Q		G+Q+E		G+Q-E		0,8G+E		0,8G-E	
		Mw	Me	Mw	Me	Mw	Me	Mw	Me	Mw	Me	Mw	Me
3	(A-B)	31,458	28,069	43,448	38,684	84,593	66,038	-21,677	-9,900	73,076	56,204	-33,194	-19,734
	(B-C)	16,777	16,306	23,131	22,488	75,921	59,236	-42,367	-26,624	69,997	53,443	-48,291	-32,417
	(C-D)	26,281	26,281	36,244	36,244	55,654	55,654	-3,092	-3,092	46,317	46,317	-12,429	-12,429
	(D-E)	16,306	13,704	22,488	18,898	59,236	69,521	-26,624	-42,113	53,443	64,665	-32,417	-46,970
	(E-F)	16,407	15,379	22,618	21,231	63,988	80,393	-31,175	-49,635	58,204	74,814	-36,959	-55,214
2	(A-B)	31,457	0,000	43,818	0,000	86,152	39,419	-23,239	-39,419	72,653	39,419	-36,738	-39,419
	(B-C)	18,782	34,279	26,162	47,749	80,185	77,572	-42,621	-9,014	72,125	62,862	-50,681	-23,724
	(C-D)	30,059	17,849	41,870	24,863	59,680	47,471	0,437	-11,772	46,781	39,811	-12,462	-19,432
	(D-E)	17,849	30,059	24,863	41,870	61,142	88,314	-25,444	-28,196	53,483	75,415	-33,103	-41,095
	(E-F)	19,360	15,485	26,968	21,570	69,020	83,448	-30,300	-52,478	60,712	76,803	-38,608	-59,123
1	(A-B)	35,783	0,000	50,407	0,000	99,809	46,294	-28,242	-46,294	81,457	46,294	-46,593	-46,294
	(B-C)	22,675	39,755	31,941	56,000	94,786	95,449	-49,437	-15,940	83,158	75,061	-61,065	-36,327
	(C-D)	34,878	21,436	49,131	30,196	72,984	57,399	-3,229	-14,527	55,098	46,406	-21,115	-25,520
	(D-E)	21,436	34,878	30,196	49,131	73,997	103,476	-31,126	-33,721	63,004	85,589	-42,119	-51,607
	(E-F)	22,553	18,305	31,770	25,785	81,031	95,713	-35,924	-59,104	69,464	86,326	-47,490	-68,491

Superposition des moments fléchissant en travées du portique transversal (6-6):

Niveau	Travée	G+Q	1,35G+1,5Q	G+Q+E	G+Q-E	0,8G+E	0,8G-E
		Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt
11	(A-B)	80,921	110,914	82,036	79,805	56,939	54,708
	(B-C)	42,363	58,027	42,825	41,901	29,888	28,963
	(C-D)	73,058	100,096	73,058	73,058	50,621	50,621
	(D-E)	43,149	59,147	42,848	43,451	29,439	30,042
	(E-F)	44,249	60,638	43,425	45,074	29,768	31,417
10	(A-B)	85,901	118,508	88,644	83,159	57,909	52,425
	(B-C)	42,766	58,968	43,973	41,558	28,835	26,421
	(C-D)	76,524	105,536	76,524	76,524	49,338	49,338
	(D-E)	40,492	55,84	40,282	40,703	25,912	26,333
	(E-F)	47,147	65,032	44,421	49,872	27,608	33,059
9	(A-B)	86,071	118,741	90,091	82,051	59,305	51,265
	(B-C)	42,655	58,816	44,683	40,626	29,581	25,525
	(C-D)	76,616	105,661	76,616	76,616	49,397	49,397
	(D-E)	40,414	55,732	40,041	40,787	25,698	26,444
	(E-F)	47,263	65,193	43,807	50,72	26,955	33,867
8	(A-B)	86,071	118,741	91,907	80,236	61,121	49,45
	(B-C)	42,655	58,816	45,427	39,883	30,325	24,781
	(C-D)	76,616	105,661	76,616	76,616	49,397	49,397
	(D-E)	40,414	55,732	39,912	40,916	25,569	26,573
	(E-F)	47,263	65,193	41,928	52,599	25,075	35,747
7	(A-B)	84,981	117,23	91,804	78,159	61,447	47,803
	(B-C)	40,399	55,708	44,531	36,267	30,215	21,952
	(C-D)	75,074	103,535	75,074	75,074	48,403	48,403
	(D-E)	38,421	52,986	36,917	39,926	23,278	26,287
	(E-F)	46,37	63,96	40,387	52,354	23,862	35,829
6	(A-B)	85,649	118,145	91,107	80,192	60,546	49,63
	(B-C)	39,819	54,91	45,355	34,284	31,235	20,164
	(C-D)	75,497	104,119	75,497	75,497	48,676	48,676
	(D-E)	38,042	52,463	35,342	40,743	21,835	27,236
	(E-F)	46,838	64,603	40,506	53,17	23,824	36,488

Superposition des moments fléchissant en travées du portique transversal (6-6):(suite)

		G+Q	1,35G+1,5Q	G+Q+E	G+Q-E	0,8G+E	0,8G-E
Niveau	Travée	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt	Mt
5	(A-B)	85,649	118,145	92,975	78,324	62,414	47,763
	(B-C)	39,819	54,91	46,188	33,451	32,068	19,331
	(C-D)	75,497	104,119	75,497	75,497	48,676	48,676
	(D-E)	38,042	52,463	34,936	41,149	21,429	27,642
	(E-F)	46,838	64,603	39,553	54,123	22,871	37,441
4	(A-B)	85,649	118,145	93,832	77,467	63,271	46,906
	(B-C)	39,819	54,91	46,91	32,729	32,79	18,609
	(C-D)	75,497	104,119	75,497	75,497	48,676	48,676
	(D-E)	38,042	52,463	34,593	41,492	21,086	27,984
	(E-F)	46,838	64,603	38,687	54,989	22,005	38,307
3	(A-B)	84,196	116,136	91,86	76,532	61,842	46,514
	(B-C)	37,689	51,973	46,217	29,16	32,846	15,789
	(C-D)	73,86	101,861	73,86	73,86	47,621	47,621
	(D-E)	36,172	49,884	31,211	41,132	18,366	28,288
	(E-F)	45,715	63,053	37,88	53,55	21,604	37,274
2	(A-B)	78,192	108,919	91,852	64,533	58,298	44,638
	(B-C)	51,041	71,098	51,604	50,478	29,701	29,138
	(C-D)	77,863	108,46	79,545	76,18	46,133	42,499
	(D-E)	48,226	67,178	34,256	62,197	13,561	26,285
	(E-F)	51,128	71,22	43,669	58,588	21,728	27,338
1	(A-B)	91,022	128,218	106,739	75,304	60,06	28,625
	(B-C)	59,853	84,312	58,312	61,394	27,617	30,699
	(C-D)	91,306	128,618	94,354	88,257	47,529	41,433
	(D-E)	56,547	79,655	41,254	71,839	12,255	42,84
	(E-F)	59,923	84,411	52,286	67,56	21,555	36,829

Superposition des efforts tranchants dans les poutres du portique transversal (6-6) :

Niv	Travée	G+Q		1,35G+1,5Q		G+Q+E		G+Q-E		0,8G+E		0,8G-E	
		Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te
11	(A-B)	55,181	-56,92	75,559	-78,029	57,234	-58,973	53,128	-54,867	40,521	-41,257	36,415	-37,151
	(B-C)	35,643	-35,307	48,846	-48,362	38,847	-38,51	32,44	-32,103	27,841	-27,725	21,435	-21,319
	(C-D)	52,503	-52,503	71,934	-71,934	53,838	-53,838	51,168	-51,168	37,713	-37,713	35,044	-35,044
	(D-E)	35,931	-35,019	49,251	-47,957	38,996	-38,085	32,865	-31,954	27,839	-27,452	21,708	-21,321
	(E-F)	40,226	-43,495	55,13	-59,575	43,32	-46,59	37,131	-40,401	30,875	-33,323	24,686	-27,134
10	(A-B)	56,966	-59,046	78,52	-81,472	62,128	-64,209	51,803	-53,883	42,112	-43,011	31,787	-32,685
	(B-C)	36,66	-36,765	50,567	-50,695	44,878	-44,982	28,443	-28,547	31,809	-31,966	15,374	-15,531
	(C-D)	54,335	-54,335	74,933	-74,933	57,759	-57,759	50,91	-50,91	38,456	-38,456	31,607	-31,607
	(D-E)	34,902	-38,523	48,131	-53,13	42,767	-46,388	27,037	-30,658	30,38	-32,689	14,651	-16,96
	(E-F)	42,239	-44,402	58,27	-61,219	50,478	-52,641	34,001	-36,164	35,382	-36,957	18,905	-20,48
9	(A-B)	56,982	-59,03	78,544	-81,448	65,347	-67,395	48,617	-50,664	45,318	-46,21	28,587	-29,479
	(B-C)	36,641	-36,784	50,54	-50,722	50,434	-50,577	22,848	-22,991	37,375	-37,551	9,789	-9,965
	(C-D)	54,335	-54,335	74,933	-74,933	60,082	-60,082	48,587	-48,587	40,779	-40,779	29,284	-29,284
	(D-E)	34,949	-38,476	48,197	-53,065	48,15	-51,676	21,749	-25,275	35,746	-37,995	9,345	-11,594
	(E-F)	42,282	-44,359	58,328	-61,16	55,308	-57,385	29,257	-31,333	40,199	-41,714	14,148	-15,662
8	(A-B)	56,982	-59,03	78,544	-81,448	68,617	-70,664	45,347	-47,395	48,587	-49,479	25,318	-26,21
	(B-C)	36,641	-36,784	50,54	-50,722	55,561	-55,704	17,721	-17,864	42,502	-42,678	4,662	-4,838
	(C-D)	54,335	-54,335	74,933	-74,933	62,223	-62,223	46,446	-46,446	42,92	-42,92	27,143	-27,143
	(D-E)	34,949	-38,476	48,197	-53,065	53,057	-56,583	16,842	-20,368	40,653	-42,902	4,438	-6,687
	(E-F)	42,282	-44,359	58,328	-61,16	60,562	-62,639	24,003	-26,08	45,453	-46,967	8,894	-10,408

Superposition des efforts tranchants dans les poutres du portique transversal (6-6) :(suite)

Niv	Travée	G+Q		1,35G+1,5Q		G+Q+E		G+Q-E		0,8G+E		0,8G-E	
		Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te
7	(A-B)	56,227	-58,316	77,51	-80,458	70,992	-73,081	41,462	-43,551	51,196	-52,185	21,666	-22,654
	(B-C)	35,836	-36,121	49,427	-49,809	60,41	-60,695	11,262	-11,547	47,649	-47,893	-1,499	1,256
	(C-D)	53,6	-53,6	73,921	-73,921	63,497	-63,497	43,703	-43,703	44,455	-44,455	24,661	-24,661
	(D-E)	34,476	-37,481	47,544	-51,692	58,082	-61,087	10,869	-13,874	45,843	-47,763	-1,369	-0,55
	(E-F)	41,883	-43,29	57,775	-59,688	65,226	-66,634	18,539	-19,947	50,271	-51,331	3,583	-4,644
6	(A-B)	56,347	-58,196	77,681	-80,287	72,863	-74,712	39,831	-41,68	52,994	-53,889	19,961	-20,856
	(B-C)	35,794	-36,162	49,368	-49,868	65,337	-65,705	6,251	-6,62	52,599	-52,88	-6,486	6,206
	(C-D)	53,6	-53,6	73,921	-73,921	65,281	-65,281	41,92	-41,92	46,238	-46,238	22,878	-22,878
	(D-E)	34,689	-37,267	47,839	-51,397	63,169	-65,747	6,209	-8,787	50,852	-52,501	-6,108	4,459
	(E-F)	42,026	-43,147	57,971	-59,492	69,844	-70,965	14,208	-15,329	54,849	-55,701	-0,786	-0,066
5	(A-B)	56,347	-58,196	77,681	-80,287	75,885	-77,734	36,809	-38,658	56,016	-56,911	16,94	-17,835
	(B-C)	35,794	-36,162	49,368	-49,868	69,783	-70,151	1,806	-2,174	57,045	-57,325	-10,932	10,652
	(C-D)	53,6	-53,6	73,921	-73,921	67,038	-67,038	40,162	-40,162	47,996	-47,996	21,12	-21,12
	(D-E)	34,689	-37,267	47,839	-51,397	67,455	-70,033	1,923	-4,501	55,138	-56,787	-10,394	8,745
	(E-F)	42,026	-43,147	57,971	-59,492	74,03	-75,151	10,022	-11,143	59,035	-59,887	-4,973	4,121
4	(A-B)	56,347	-58,196	77,681	-80,287	78,16	-80,009	34,534	-36,383	58,29	-59,185	14,665	-15,56
	(B-C)	35,794	-36,162	49,368	-49,868	73,751	-74,119	-2,162	1,794	61,013	-61,293	-14,9	14,62
	(C-D)	53,6	-53,6	73,921	-73,921	68,615	-68,615	38,585	-38,585	49,573	-49,573	19,543	-19,543
	(D-E)	34,689	-37,267	47,839	-51,397	71,282	-73,86	-1,903	-0,675	58,965	-60,613	-14,22	12,571
	(E-F)	42,026	-43,147	57,971	-59,492	77,766	-78,887	6,286	-7,407	62,771	-63,623	-8,709	7,857

Superposition des efforts tranchants dans les poutres du portique transversal (6-6) :(suite)

Niveau	Travée	G+Q		1,35G+1,5Q		G+Q+E		G+Q-E		0,8G+E		0,8G-E	
		Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te
3	(A-B)	55,657	-57,417	76,734	-79,208	79,32	-81,081	31,994	-33,754	59,672	-60,558	12,345	-13,231
	(B-C)	35,048	-35,44	48,337	-48,873	77,579	-77,971	-7,483	7,091	65,112	-65,396	-19,949	19,666
	(C-D)	52,866	-52,866	72,908	-72,908	69,184	-69,184	36,548	-36,548	50,403	-50,403	17,766	-17,766
	(D-E)	34,16	-36,328	47,109	-50,101	75,305	-77,473	-6,985	4,817	63,174	-64,562	-19,115	17,727
	(E-F)	41,492	-42,213	57,232	-58,206	80,999	-81,72	1,984	-2,706	66,202	-66,78	-12,812	12,235
2	(A-B)	55,682	-72,023	77,562	-100,325	80,127	-96,468	31,236	-47,577	56,233	-65,561	7,342	-16,671
	(B-C)	46,261	-33,347	64,44	-46,451	89,884	-76,97	2,638	10,276	70,033	-62,66	-17,214	24,586
	(C-D)	56,314	-63,098	78,444	-87,892	72,771	-79,554	39,858	-46,641	48,605	-52,477	15,692	-19,565
	(D-E)	44,891	-34,717	62,532	-48,359	87,203	-77,028	2,58	7,595	67,939	-62,131	-16,684	22,493
	(E-F)	45,908	-48,627	63,947	-67,735	87,179	-89,898	4,636	-7,356	67,479	-69,031	-15,064	13,511
1	(A-B)	65,53	-84,119	92,31	-118,495	94,185	-112,773	36,876	-55,465	60,578	-69,634	3,27	-12,325
	(B-C)	53,761	-39,527	75,73	-55,681	107,013	-92,78	0,508	13,725	79,442	-72,509	-27,062	33,996
	(C-D)	66,232	-73,7	93,298	-103,818	86,807	-94,275	45,657	-53,125	52,841	-56,479	11,691	-15,329
	(D-E)	52,245	-41,043	73,595	-57,816	102,728	-91,526	1,762	9,44	75,935	-70,478	-25,032	30,489
	(E-F)	53,899	-56,881	75,925	-80,125	101,578	-104,56	6,22	-9,201	73,937	-75,389	-21,422	19,969

Superposition des moments dans les poteaux du portique transversal (6-6) :

Niveau	Travée	G+Q		1,35G+1,5Q		G+Q+E		G+Q-E		0,8G+E		0,8G-E	
		Minf	Msup	Minf	Msup	Minf	Msup	Minf	Msup	Minf	Msup	Minf	Msup
11	A	0	13,047	0	17,938	0	18,267	0	7,827	0	13,929	0	3,488
	B	0	-3,848	0	-5,256	0	3,482	0	-11,178	0	4,578	0	-10,082
	C	0	4,093	0	5,607	0	10,129	0	-1,944	0	8,872	0	-3,201
	D	0	-4,093	0	-5,607	0	1,944	0	-10,129	0	3,201	0	-8,872
	E	0	-0,876	0	-1,196	0	6,733	0	-8,485	0	6,979	0	-8,239
	F	0	4,440	0	6,099	0	10,057	0	-1,177	0	8,610	0	-2,624
10	A	9,147	10,290	12,651	14,232	12,774	19,644	5,519	0,937	9,333	15,772	2,078	-2,935
	B	-3,131	-3,523	-4,308	-4,846	2,866	9,285	-9,129	-16,331	3,921	10,472	-8,073	-15,144
	C	3,064	3,447	4,225	4,753	8,003	13,994	-1,875	-7,101	6,914	12,770	-2,964	-8,325
	D	-3,064	-3,447	-4,225	-4,753	1,875	7,101	-8,003	-13,994	2,964	8,325	-6,914	-12,770
	E	-0,726	-0,817	-0,999	-1,123	5,499	12,478	-6,952	-14,112	5,741	12,750	-6,710	-13,840
	F	3,606	4,057	4,983	5,606	8,202	14,755	-0,990	-6,642	6,868	13,255	-2,324	-8,142
9	A	9,965	9,965	13,781	13,781	17,618	22,915	17,618	22,915	13,877	19,174	-1,428	-6,725
	B	-3,472	-3,472	-4,777	-4,777	9,336	15,283	9,336	15,283	10,509	16,456	-15,107	-21,055
	C	3,368	3,368	4,645	4,645	13,916	18,814	13,916	18,814	12,719	17,617	-8,376	-13,274
	D	-3,368	-3,368	-4,645	-4,645	7,179	12,077	7,179	12,077	8,376	13,274	-12,719	-17,617
	E	-0,808	-0,808	-1,110	-1,110	12,487	18,661	12,487	18,661	12,757	18,930	-13,833	-20,007
	F	3,979	3,979	5,498	5,498	12,911	18,352	12,911	18,352	11,441	16,883	-6,422	-11,863

Superposition des moments dans les poteaux du portique transversal (6-6) :(suite)

Niveau	Travée	G+Q		1,35G+1,5Q		G+Q+E		G+Q-E		0,8G+E		0,8G-E	
		Minf	Msup	Minf	Msup	Minf	Msup	Minf	Msup	Minf	Msup	Minf	Msup
8	A	9,965	9,965	13,781	13,781	21,918	26,909	21,918	26,909	18,178	23,169	-5,729	-10,720
	B	-3,472	-3,472	-4,777	-4,777	15,283	21,051	15,283	21,051	16,456	22,225	-21,055	-26,823
	C	3,368	3,368	4,645	4,645	18,814	23,595	18,814	23,595	17,617	22,399	-13,274	-18,055
	D	-3,368	-3,368	-4,645	-4,645	12,077	16,859	12,077	16,859	13,274	18,055	-17,617	-22,399
	E	-0,808	-0,808	-1,110	-1,110	18,661	24,649	18,661	24,649	18,930	24,918	-20,007	-25,995
	F	3,979	3,979	5,498	5,498	18,352	22,796	18,352	22,796	16,883	21,327	-11,863	-16,307
7	A	2,248	4,163	3,014	5,582	17,889	24,153	-13,393	-15,828	17,549	23,524	-13,733	-16,457
	B	-2,996	-5,548	-4,124	-7,637	21,528	25,846	-27,520	-36,942	22,551	27,740	-26,497	-35,048
	C	2,797	5,180	3,857	7,143	23,024	29,256	-17,430	-18,897	22,030	27,416	-18,424	-20,737
	D	-2,797	-5,180	-3,857	-7,143	17,430	18,897	-23,024	-29,256	18,424	20,737	-22,030	-27,416
	E	-0,701	-1,299	-0,965	-1,787	24,755	31,847	-26,158	-34,445	24,991	32,285	-25,921	-34,007
	F	3,336	6,178	4,608	8,534	22,153	28,050	-15,481	-15,693	20,930	25,785	-16,704	-17,958
6	A	3,425	3,425	4,593	4,593	19,781	24,717	-12,931	-17,867	19,263	24,200	-13,449	-18,385
	B	-4,991	-4,991	-6,872	-6,872	26,403	31,792	-36,385	-41,773	28,121	33,509	-34,667	-40,055
	C	4,515	4,515	6,227	6,227	28,592	32,724	-19,562	-23,694	26,988	31,120	-21,166	-25,298
	D	-4,515	-4,515	-6,227	-6,227	19,562	23,694	-28,592	-32,724	21,166	25,298	-26,988	-31,120
	E	-1,186	-1,186	-1,632	-1,632	31,960	37,649	-34,331	-40,020	32,364	38,053	-33,927	-39,616
	F	5,406	5,406	7,465	7,465	27,278	31,032	-16,466	-20,220	25,308	29,062	-18,435	-22,189

Superposition des moments dans les poteaux du portique transversal (6-6) :(suite)

Niveau	Travée	G+Q		1,35G+1,5Q		G+Q+E		G+Q-E		0,8G+E		0,8G-E	
		Minf	Msup	Minf	Msup	Minf	Msup	Minf	Msup	Minf	Msup	Minf	Msup
5	A	3,425	3,425	4,593	4,593	24,717	27,537	-17,867	-20,687	24,200	27,020	-19,179	-20,199
	B	-4,991	-4,991	-6,872	-6,872	31,792	36,663	-41,773	-46,644	33,509	38,381	-33,875	-38,746
	C	4,515	4,515	6,227	6,227	32,724	36,460	-23,694	-27,430	31,120	34,856	-31,482	-35,218
	D	-4,515	-4,515	-6,227	-6,227	23,694	27,430	-32,724	-36,460	25,298	29,034	-25,298	-29,034
	E	-1,186	-1,186	-1,632	-1,632	37,649	42,792	-40,020	-45,163	38,053	43,196	-41,746	-46,889
	F	5,406	5,406	7,465	7,465	31,032	34,425	-20,220	-23,613	29,062	32,456	-26,407	-29,801
4	A	3,425	3,425	4,593	4,593	27,537	30,008	-20,687	-23,158	27,020	29,490	-21,999	-22,670
	B	-4,991	-4,991	-6,872	-6,872	36,663	40,913	-46,644	-50,894	38,381	42,631	-38,746	-42,996
	C	4,515	4,515	6,227	6,227	36,460	39,783	-27,430	-30,753	34,856	38,179	-35,218	-38,541
	D	-4,515	-4,515	-6,227	-6,227	27,430	30,753	-36,460	-39,783	29,034	32,357	-29,034	-32,357
	E	-1,186	-1,186	-1,632	-1,632	42,792	47,282	-45,163	-49,654	43,196	47,686	-46,889	-51,379
	F	5,406	5,406	7,465	7,465	34,425	37,427	-23,613	-26,615	32,456	35,458	-29,801	-32,803
3	A	2,188	3,734	2,911	4,968	28,771	30,286	-24,395	-22,818	28,559	29,924	-24,607	-23,179
	B	-4,172	-7,120	-5,746	-9,807	41,732	44,090	-50,075	-58,330	43,176	46,555	-48,631	-55,864
	C	3,685	6,289	5,082	8,674	38,953	43,324	-31,583	-30,746	37,644	41,090	-32,892	-32,980
	D	-3,685	-6,289	-5,082	-8,674	31,583	30,746	-38,953	-43,324	32,892	32,980	-37,644	-41,090
	E	-0,998	-1,704	-1,375	-2,346	47,470	53,227	-49,466	-56,635	47,812	53,812	-49,124	-56,050
	F	4,366	7,452	6,028	10,288	36,388	40,444	-27,655	-25,540	34,804	37,741	-29,239	-28,244

Superposition des moments dans les poteaux du portique transversal (6-6) :(suite)

Niveau	Travée	G+Q		1,35G+1,5Q		G+Q+E		G+Q-E		0,8G+E		0,8G-E	
		Minf	Msup	Minf	Msup	Minf	Msup	Minf	Msup	Minf	Msup	Minf	Msup
2	A	15,728	15,728	21,909	21,909	42,280	43,872	-10,823	-12,415	35,531	37,123	-17,573	-19,165
	B	-7,748	-7,748	-10,793	-10,793	43,461	41,864	-58,958	-57,361	46,786	45,189	-55,633	-54,036
	C	6,105	6,105	8,504	8,504	43,140	41,984	-30,930	-29,775	40,520	39,365	-33,550	-32,395
	D	-6,105	-6,105	-8,504	-8,504	30,930	29,775	-43,140	-41,984	33,550	32,395	-40,520	-39,365
	E	-1,938	-1,938	-2,699	-2,699	52,993	51,047	-56,869	-54,922	53,825	51,878	-56,037	-54,090
	F	6,608	6,608	9,205	9,205	39,601	41,579	-26,384	-28,362	36,765	38,743	-29,220	-31,198
1	A	21,481	14,303	30,259	20,148	49,624	50,184	-6,663	-21,579	38,608	42,849	-17,679	-28,914
	B	-10,253	-6,827	-14,443	-9,617	48,695	52,630	-69,201	-66,284	53,953	56,131	-63,943	-62,783
	C	8,069	5,373	11,367	7,568	50,701	56,542	-34,562	-45,796	46,562	53,787	-38,701	-48,552
	D	-8,069	-5,373	-11,367	-7,568	34,562	40,520	-50,701	-51,266	38,701	43,276	-46,562	-48,511
	E	-2,550	-1,698	-3,593	-2,392	60,914	61,913	-66,015	-65,309	62,222	62,784	-64,707	-64,438
	F	8,618	5,738	12,140	8,083	43,588	48,176	-26,353	-36,700	39,169	45,234	-30,772	-39,643

Superposition des efforts normaux dans les poteaux du portique transversal (6-6):

		G+Q	1,35G+1,5Q	G+Q+E	G+Q-E	0,8G+E	0,8G-E
Niveau	Travée	Nc	Nc	Nc	Nc	Nc	Nc
11	A	84,897	116,681	82,844	86,95	54,822	58,928
	B	90,488	123,921	89,338	91,638	61,841	64,141
	C	88,146	120,779	90,015	86,278	62,884	59,148
	D	87,522	119,89	85,792	89,253	59,034	62,495
	E	79,426	108,826	79,397	79,455	54,973	55,031
	F	50,058	68,713	53,152	46,963	37,085	30,896
10	A	188,635	260,847	181,42	195,851	110,685	125,116
	B	197,988	272,758	193,783	202,193	124,991	133,401
	C	192,911	265,901	199,572	186,25	131,809	118,486
	D	194,15	267,576	187,979	200,321	119,958	132,3
	E	172,5	237,798	172,097	172,903	111,341	112,146
	F	116,934	161,741	128,267	105,601	84,184	61,518
9	A	292,357	404,988	276,776	307,939	163,342	194,504
	B	305,524	421,646	295,892	315,156	185,782	205,047
	C	297,656	410,997	312,363	282,95	203,976	174,563
	D	300,73	415,196	287,107	314,354	177,84	205,087
	E	265,578	366,777	265,35	265,806	168,256	168,712
	F	183,853	254,828	208,212	159,494	136,101	87,383
8	A	396,08	549,129	368,864	423,295	212,73	267,162
	B	413,06	570,534	396,143	429,978	244,716	278,55
	C	402,402	556,092	428,139	376,664	279,129	227,653
	D	407,311	562,816	383,467	431,154	232,954	280,641
	E	358,657	495,755	358,257	359,056	224,826	225,625
	F	250,772	347,914	293,41	208,134	193,272	107,995
7	A	499,587	692,975	457,606	541,568	258,847	342,809
	B	519,178	717,475	492,452	545,904	300,164	353,616
	C	505,608	699,062	546,022	465,193	356,947	276,118
	D	512,161	708,051	474,609	549,714	283,468	358,572
	E	450,193	622,61	450,056	450,33	280,821	281,095
	F	317,529	440,778	383,511	251,547	255,396	123,432

Superposition des efforts normaux dans les poteaux du portique transversal (6-6):(suite)

		G+Q	1,35G+1,5Q	G+Q+E	G+Q-E	0,8G+E	0,8G-E
Niveau	Travée	Nc	Nc	Nc	Nc	Nc	Nc
6	A	607,946	843,734	549,449	666,443	305,155	422,15
	B	630,43	871,732	590,677	670,182	354,449	433,954
	C	613,744	849,058	672,021	555,467	439,921	323,366
	D	621,771	860,076	567,419	676,123	332,744	441,448
	E	546,771	756,648	547,297	546,245	339,236	338,184
	F	389,401	540,923	483,201	295,602	324,086	136,487
5	A	716,305	994,493	638,27	794,34	348,442	504,512
	B	741,681	1025,988	687,478	795,884	407,309	515,716
	C	721,88	999,054	800,708	643,053	525,583	367,927
	D	731,381	1012,101	657,7	805,061	379,492	526,852
	E	643,349	890,687	644,637	642,062	397,75	395,174
	F	461,273	641,068	587,077	335,47	396,963	145,357
4	A	824,664	1145,252	724,816	924,512	389,453	589,149
	B	852,932	1180,244	782,585	923,279	458,477	599,171
	C	830,017	1149,05	931,786	728,248	613,636	410,097
	D	840,99	1164,126	745,733	936,248	423,991	614,506
	E	739,928	1024,726	742,067	737,788	456,354	452,074
	F	533,146	741,212	694,689	371,602	473,577	150,49
3	A	932,744	1295,628	809,232	1056,255	428,422	675,444
	B	962,772	1332,558	873,557	1051,986	505,98	684,409
	C	936,673	1297,003	1064,654	808,691	704,011	448,048
	D	948,926	1313,843	828,842	1069,01	464,163	704,331
	E	835,042	1156,749	838,82	831,265	514,79	507,235
	F	604,719	840,947	805,77	403,669	553,756	151,655
2	A	1012,905	1408,074	864,949	1160,862	445,556	741,469
	B	1105,535	1532,207	997,143	1213,928	564,119	780,905
	C	1050,814	1456,782	1205,963	895,665	792,156	481,859
	D	1081,395	1499,151	935,456	1227,334	509,748	801,626
	E	940,147	1303,939	944,965	935,329	571,649	562,014
	F	677,826	943,566	920,148	435,504	632,579	147,936
1	A	1102,916	1535,268	926,305	1279,526	458,617	811,839
	B	1268,066	1761,547	1135,075	1401,056	616,619	882,601
	C	1180,779	1640,275	1368,606	992,953	885,928	510,276
	D	1231,966	1711,645	1056,119	1407,813	551,105	902,799
	E	1059,349	1472,268	1066,971	1051,727	630,322	615,078
	F	759,249	1058,66	1049,25	469,248	717,81	137,808

superposition des moments fléchissant (en travées et aux appuis) dans les poutres du portique longitudinal (C-C)

niveau	travée	G+Q			1,35G+1,5Q			G+Q+E			G+Q-E			0,8G+E			0,8G-E		
		Mw	Me	Mt	Mw	Me	Mt	Mw	Me	Mt	Mw	Me	Mt	Mw	Me	Mt	Mw	Me	Mt
11	(1-2)	1,777	5,541	11,107	2,424	7,558	15,150	11,539	12,208	11,601	-7,985	-1,126	10,613	11,051	10,687	7,563	-8,473	-2,648	7,563
	(2-3)	6,301	6,692	18,424	8,594	9,127	25,131	11,591	12,183	18,280	1,010	1,200	18,569	9,861	10,345	13,509	-0,720	-0,637	13,509
	(3-4)	6,268	5,172	15,216	8,549	7,054	20,754	12,391	10,846	15,612	0,144	-0,503	14,819	10,670	9,426	10,641	-1,577	-1,923	10,641
	(4-5)	4,755	4,755	11,586	6,486	6,486	15,803	11,383	11,383	11,586	-1,873	-1,873	11,586	10,077	10,077	8,404	-3,179	-3,179	8,404
	(5-6)	5,172	6,268	15,216	7,054	8,549	20,754	10,846	12,391	14,819	-0,503	0,144	15,612	9,426	10,670	11,433	-1,923	-1,577	11,433
	(6-7)	6,692	6,301	18,424	9,127	8,594	25,131	12,183	11,591	18,569	1,200	1,010	18,280	10,345	9,861	13,221	-0,637	-0,720	13,221
	(7-8)	5,541	1,777	11,107	7,558	2,424	15,150	12,208	11,539	10,613	-1,126	-7,985	11,601	10,687	11,051	8,551	-2,648	-8,473	8,551
10	(1-2)	2,544	5,477	11,624	3,487	7,505	15,930	26,128	22,992	12,660	-21,039	-12,039	10,589	25,342	21,302	7,000	-21,824	-13,730	7,000
	(2-3)	6,664	6,992	19,107	9,133	9,582	26,184	20,564	21,582	18,669	-7,235	-7,598	19,545	18,507	19,424	13,646	-9,292	-9,757	13,646
	(3-4)	6,336	5,429	15,655	8,683	7,440	21,453	22,606	20,154	16,784	-9,934	-9,296	14,526	20,650	18,478	9,693	-11,890	-10,972	9,693
	(4-5)	4,771	4,771	11,802	6,538	6,538	16,174	21,971	21,971	11,802	-12,429	-12,429	11,802	20,498	20,498	8,159	-13,902	-13,902	8,159
	(5-6)	5,429	6,336	15,655	7,440	8,683	21,453	20,154	22,606	14,526	-9,296	-9,934	16,784	18,478	20,650	11,951	-10,972	-11,890	11,951
	(6-7)	6,992	6,664	19,107	9,582	9,133	26,184	21,582	20,564	19,545	-7,598	-7,235	18,669	19,424	18,507	12,771	-9,757	-9,292	12,771
	(7-8)	5,477	2,544	11,624	7,505	3,487	15,930	22,992	26,128	10,589	-12,039	-21,039	12,660	21,302	25,342	9,071	-13,730	-21,824	9,071
9	(1-2)	2,544	5,477	11,624	3,487	7,505	15,930	40,577	33,785	13,261	-35,488	-22,832	9,988	40,016	31,871	9,673	-36,049	-24,746	6,399
	(2-3)	6,664	6,992	19,107	9,133	9,582	26,184	29,128	30,145	18,614	-15,800	-16,161	19,600	27,026	27,902	12,716	-17,902	-18,405	13,701
	(3-4)	6,336	5,429	15,655	8,683	7,440	21,453	32,154	29,705	17,003	-19,482	-18,847	14,306	30,018	27,962	12,170	-21,619	-20,589	9,474
	(4-5)	4,771	4,771	11,802	6,538	6,538	16,174	33,126	33,126	11,802	-23,585	-23,585	11,802	31,485	31,485	8,159	-25,226	-25,226	8,159
	(5-6)	5,429	6,336	15,655	7,440	8,683	21,453	29,705	32,154	14,306	-18,847	-19,482	17,003	27,962	30,018	9,474	-20,589	-21,619	12,170
	(6-7)	6,992	6,664	19,107	9,582	9,133	26,184	30,145	29,128	19,600	-16,161	-15,800	18,614	27,902	27,026	13,701	-18,405	-17,902	12,716
	(7-8)	5,477	2,544	11,624	7,505	3,487	15,930	33,785	40,577	9,988	-22,832	-35,488	13,261	31,871	40,016	6,399	-24,746	-36,049	9,673

superposition des moments fléchissant (en travées et aux appuis) dans les poutres du portique longitudinal (C-C)

niveau	travée	G+Q			1,35G+1,5Q			G+Q+E			G+Q-E			0,8G+E			0,8G-E		
		Mw	Me	Mt	Mw	Me	Mt	Mw	Me	Mt	Mw	Me	Mt	Mw	Me	Mt	Mw	Me	Mt
8	(1-2)	2,544	5,477	11,624	3,4868	7,505	15,93	55,595	44,869	13,959	-50,506	-33,916	9,29	55,206	42,884	10,37	-50,895	-35,9	5,701
	(2-3)	6,664	6,992	19,107	9,1328	9,5816	26,184	37,924	39,436	18,308	-24,595	-25,452	19,906	35,877	37,224	12,41	-26,642	-27,664	14,007
	(3-4)	6,336	5,429	15,655	8,6828	7,4396	21,453	42,514	38,957	17,782	-29,842	-28,099	13,527	40,343	37,248	12,95	-32,014	-29,809	8,694
	(4-5)	4,771	4,771	11,802	6,5379	6,5379	16,174	43,934	43,934	11,802	-34,392	-34,392	11,802	42,254	42,254	8,159	-36,073	-36,073	8,159
	(5-6)	5,429	6,336	15,655	7,4396	8,6828	21,453	38,957	42,514	13,527	-28,099	-29,842	17,782	37,248	40,343	8,694	-29,809	-32,014	12,95
	(6-7)	6,992	6,664	19,107	9,5816	9,1328	26,184	39,436	37,924	19,906	-25,452	-24,595	18,308	37,224	35,877	14,007	-27,664	-26,642	12,41
	(7-8)	5,477	2,544	11,624	7,505	3,4868	15,93	44,869	55,595	9,29	-33,916	-50,506	13,959	42,884	55,206	5,701	-35,9	-50,895	10,37
7	(1-2)	2,869	5,154	11,341	3,932	7,062	15,542	69,657	55,92	14,732	-63,919	-45,613	7,95	68,771	54,329	11,231	-64,308	-46,314	4,449
	(2-3)	6,6	6,869	18,683	9,044	9,413	25,603	46,749	48,349	17,794	-33,549	-34,611	19,572	44,711	46,228	12,027	-34,446	-35,544	13,805
	(3-4)	6,075	5,332	15,181	8,3249	7,308	20,803	52,389	48,673	17,55	-40,239	-38,008	12,811	50,514	47,026	12,864	-41,065	-38,732	8,124
	(4-5)	4,527	4,527	11,31	6,2041	6,204	15,499	55,276	55,276	11,31	-46,222	-46,222	11,31	53,878	53,878	7,818	-46,837	-46,837	7,818
	(5-6)	5,332	6,075	15,181	7,3075	8,325	20,803	48,673	52,394	12,808	-38,008	-40,244	17,553	47,026	50,518	8,122	-38,732	-41,07	12,866
	(6-7)	6,869	6,6	18,683	9,4132	9,044	25,603	48,344	46,749	19,57	-34,606	-33,549	17,797	46,223	44,711	13,802	-35,539	-34,446	12,029
	(7-8)	5,154	2,869	11,341	7,0623	3,932	15,542	55,92	69,657	7,95	-45,613	-63,919	14,732	54,329	68,771	4,449	-46,314	-64,308	11,231
6	(1-2)	3,118	5,051	11,401	4,2722	6,922	15,624	75,513	66,775	12,267	-69,278	-56,672	10,536	74,551	65,216	8,747	-69,702	-57,359	7,016
	(2-3)	6,679	6,914	18,746	9,1532	9,475	25,689	55,494	57,118	17,807	-42,135	-43,29	19,684	53,432	54,983	12,02	-43,043	-44,229	13,897
	(3-4)	6,024	5,381	15,178	8,2555	7,374	20,8	62,079	58,316	17,678	-50,031	-47,554	12,679	60,219	56,654	12,992	-50,849	-48,285	7,994
	(4-5)	4,47	4,47	11,253	6,1258	6,126	15,421	66,454	66,454	11,253	-57,513	-57,513	11,253	65,074	65,074	7,779	-58,121	-58,121	7,779
	(5-6)	5,381	6,024	15,178	7,3738	8,256	20,8	58,316	62,085	12,677	-47,554	-50,036	17,68	56,654	60,225	7,991	-48,285	-50,855	12,995
	(6-7)	6,914	6,679	18,746	9,475	9,153	25,689	57,112	55,494	19,682	-43,284	-42,135	17,81	54,978	53,432	13,895	-44,223	-43,043	12,023
	(7-8)	5,051	3,118	11,401	6,9224	4,272	15,624	66,775	75,513	10,536	-56,672	-69,278	12,267	65,216	74,551	7,016	-57,359	-69,702	8,747

superposition des moments fléchissant (en travées et aux appuis) dans les poutres du portique longitudinal (C-C)

		G+Q			1,35G+1,5Q			G+Q+E			G+Q-E			0,8G+E			0,8G-E		
niveau	travée	Mw	Me	Mt	Mw	Me	Mt	Mw	Me	Mt	Mw	Me	Mt	Mw	Me	Mt	Mw	Me	Mt
5	(1-2)	3,118	5,051	11,401	4,2722	6,9224	15,624	90,535	76,152	14,276	-84,299	-66,049	8,527	89,658	74,408	10,756	-85,262	-67,609	5,008
	(2-3)	6,679	6,914	18,746	9,1532	9,475	25,689	62,909	64,745	17,664	-49,551	-50,916	19,827	60,775	62,51	11,877	-51,613	-53,051	14,04
	(3-4)	6,024	5,381	15,178	8,2555	7,3738	20,8	70,595	66,357	18,057	-58,546	-55,596	12,3	68,576	64,614	13,371	-60,406	-57,257	7,614
	(4-5)	4,47	4,47	11,253	6,1258	6,1258	15,421	75,87	75,87	11,253	-66,93	-66,93	11,253	74,343	74,343	7,779	-68,31	-68,31	7,779
	(5-6)	5,381	6,024	15,178	7,3738	8,2555	20,8	66,357	70,602	12,296	-55,596	-58,553	18,061	64,614	68,582	7,611	-57,257	-60,413	13,375
	(6-7)	6,914	6,679	18,746	9,475	9,1532	25,689	64,738	62,909	19,824	-50,91	-49,551	17,667	62,503	60,775	14,037	-53,044	-51,613	11,88
	(7-8)	5,051	3,118	11,401	6,9224	4,2722	15,624	76,152	90,535	8,527	-66,049	-84,299	14,276	74,408	89,658	5,008	-67,609	-85,262	10,756
4	(1-2)	3,118	5,051	11,401	4,2722	6,9224	15,624	100,94	84,553	14,652	-94,707	-74,45	8,151	99,98	82,994	11,133	-95,67	-76,01	4,631
	(2-3)	6,679	6,914	18,746	9,1532	9,475	25,689	69,553	71,57	17,54	-56,194	-57,741	19,951	67,491	69,435	11,753	-58,256	-59,876	14,164
	(3-4)	6,024	5,381	15,178	8,2555	7,3738	20,8	78,215	73,567	18,391	-66,167	-62,805	11,966	76,356	71,906	13,705	-68,027	-64,466	7,281
	(4-5)	4,47	4,47	11,253	6,1258	6,1258	15,421	84,312	84,312	11,253	-75,371	-75,371	11,253	82,932	82,932	7,779	-76,751	-76,751	7,779
	(5-6)	5,381	6,024	15,178	7,3738	8,2555	20,8	73,567	78,223	11,963	-62,805	-66,174	18,394	71,906	76,363	7,277	-64,466	-68,034	13,709
	(6-7)	6,914	6,679	18,746	9,475	9,1532	25,689	71,562	69,553	19,947	-57,734	-56,194	17,544	69,428	67,491	14,16	-59,869	-58,256	11,757
	(7-8)	5,051	3,118	11,401	6,9224	4,2722	15,624	84,553	100,94	8,151	-74,45	-94,707	14,652	82,994	99,98	4,631	-76,01	-95,67	11,133
3	(1-2)	3,242	4,784	11,066	4,4422	6,5564	15,164	108,18	92,931	14,154	-101,701	-83,362	7,978	107,18	91,454	10,738	-102,141	-84,012	4,562
	(2-3)	6,575	6,769	18,295	9,0097	9,276	25,072	76,041	77,954	17,123	-62,892	-64,417	19,468	74,011	75,865	11,475	-63,785	-65,336	13,82
	(3-4)	5,794	5,262	14,714	7,9395	7,2116	20,164	85,416	80,99	17,778	-73,829	-70,465	11,65	83,627	79,365	13,236	-74,616	-71,18	7,107
	(4-5)	4,258	4,258	10,796	5,8348	5,8348	14,795	93,155	93,155	10,796	-84,639	-84,639	10,796	91,84	91,84	7,463	-85,218	-85,218	7,463
	(5-6)	5,262	5,794	14,714	7,2116	7,9395	20,164	80,99	85,416	11,65	-70,465	-73,829	17,778	79,365	83,627	7,107	-71,18	-74,616	13,236
	(6-7)	6,769	6,575	18,295	9,276	9,0097	25,072	77,954	76,041	19,468	-64,417	-62,892	17,123	75,865	74,011	13,82	-65,336	-63,785	11,475
	(7-8)	4,784	3,242	11,066	6,5564	4,4422	15,164	92,931	108,18	7,978	-83,362	-101,701	14,154	91,454	107,18	4,562	-84,012	-102,141	10,738

superposition des moments fléchissant (en travées et aux appuis) dans les poutres du portique longitudinal (C-C)

		G+Q			1,35G+1,5Q			G+Q+E			G+Q-E			0,8G+E			0,8G-E		
niveau	travée	Mw	Me	Mt	Mw	Me	Mt	Mw	Me	Mt	Mw	Me	Mt	Mw	Me	Mt	Mw	Me	Mt
2	(1-2)	3,716	5,131	12,108	5,1319	7,0871	16,723	114,17	100,72	14,755	-106,737	-90,461	9,461	112,81	98,845	10,322	-107,509	-91,527	5,028
	(2-3)	7,237	7,42	20,005	9,996	10,248	27,63	82,572	84,31	18,973	-68,097	-69,471	21,037	79,922	81,593	11,649	-69,6	-71,011	13,712
	(3-4)	6,276	5,781	16,046	8,6686	7,9841	22,162	92,279	96,137	14,972	-79,727	-84,576	17,121	89,981	94,021	9,097	-81,03	-85,776	11,246
	(4-5)	4,594	4,594	11,725	6,3454	6,3454	16,194	110,67	110,67	11,725	-101,476	-101,476	11,725	108,98	108,98	7,432	-102,431	-102,431	7,432
	(5-6)	5,781	6,276	16,046	7,9841	8,6686	22,162	96,137	92,279	17,121	-84,576	-79,727	14,972	94,021	89,981	11,246	-85,776	-81,03	9,097
	(6-7)	7,42	7,237	20,005	10,248	9,996	27,63	84,31	82,572	21,037	-69,471	-68,097	18,973	81,593	79,922	13,712	-71,011	-69,6	11,649
	(7-8)	5,131	3,716	12,108	7,0871	5,1319	16,723	100,72	114,17	9,461	-90,461	-106,737	14,755	98,845	112,81	5,028	-91,527	-107,509	10,322
1	(1-2)	4,021	5,847	13,582	5,6064	8,1521	18,938	127,49	105,39	19,652	-119,448	-93,694	7,512	125,74	102,84	13,725	-120,636	-95,422	1,585
	(2-3)	8,08	8,311	22,452	11,266	11,588	31,305	86,526	88,94	21,051	-70,366	-72,318	23,852	83	85,313	11,254	-72,753	-74,773	14,055
	(3-4)	7,095	6,464	18,046	9,8933	9,0135	25,162	97,28	83,902	25,572	-83,089	-70,973	10,52	94,184	81,081	17,697	-85,186	-72,883	2,646
	(4-5)	5,21	5,21	13,229	7,2645	7,2645	18,445	96,115	96,115	13,229	-85,695	-85,695	13,229	93,842	93,842	7,456	-87,234	-87,234	7,456
	(5-6)	6,464	7,095	18,046	9,0135	9,8933	25,162	83,902	97,28	10,52	-70,973	-83,089	25,572	81,081	94,184	2,646	-72,883	-85,186	17,697
	(6-7)	8,311	8,08	22,452	11,588	11,266	31,305	88,94	86,526	23,852	-72,318	-70,366	21,051	85,313	83	14,055	-74,773	-72,753	11,254
	(7-8)	5,847	4,021	13,582	8,1521	5,6064	18,938	105,39	127,49	7,512	-93,694	-119,448	19,652	102,84	125,74	1,585	-95,422	-120,636	13,725

SUPERPOSITION DES EFFORTS TRANCHANTS DANS LES POUTRES DU PORTIQUE LONGITUDINAL (C-C)													
Niveau	Travée	G+Q		1,35G+1,5Q		G+Q+E		G+Q-E		0,8G+E		0,8G-E	
		Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te
11	(1-2)	11,405	-8,808	15,556	-12,015	17,070	-14,474	5,739	-3,143	13,938	-12,055	2,608	-0,724
	(2-3)	13,000	-12,789	17,732	-17,444	15,914	-15,703	10,086	-9,875	12,344	-12,191	6,516	-6,363
	(3-4)	11,168	-11,833	15,233	-16,140	14,743	-15,408	7,593	-8,258	11,677	-12,158	4,526	-5,008
	(4-5)	9,758	-9,758	13,310	-13,310	14,492	-14,492	5,024	-5,024	11,813	-11,813	2,344	-2,344
	(5-6)	11,833	-11,168	16,140	-15,233	15,408	-14,743	8,258	-7,593	12,158	-11,677	5,008	-4,526
	(6-7)	12,789	-13,000	17,444	-17,732	15,703	-15,914	9,875	-10,086	12,191	-12,344	6,363	-6,516
	(7-8)	8,808	-11,405	12,015	-15,556	14,474	-17,070	3,143	-5,739	12,055	-13,938	0,724	-2,608
10	(1-2)	11,415	-9,393	15,643	-12,872	25,587	-23,565	-2,757	4,779	22,063	-20,665	-6,281	7,679
	(2-3)	13,362	-13,185	18,311	-18,069	21,062	-20,885	5,662	-5,485	16,937	-16,815	1,537	-1,415
	(3-4)	11,564	-12,114	15,847	-16,600	20,956	-21,506	2,172	-2,721	17,386	-17,766	-1,398	1,018
	(4-5)	10,045	-10,045	13,766	-13,766	22,331	-22,331	-2,241	2,241	19,230	-19,230	-5,342	5,342
	(5-6)	12,114	-11,564	16,600	-15,847	21,506	-20,956	2,721	-2,172	17,766	-17,386	-1,018	1,398
	(6-7)	13,185	-13,362	18,069	-18,311	20,885	-21,062	5,485	-5,662	16,815	-16,937	1,415	-1,537
	(7-8)	9,393	-11,415	12,872	-15,643	23,565	-25,587	-4,779	2,757	20,665	-22,063	-7,679	6,281
9	(1-2)	11,415	-9,393	15,643	-12,872	34,291	-32,269	-11,461	13,484	30,767	-29,369	-14,985	16,383
	(2-3)	13,362	-13,185	18,311	-18,069	25,691	-25,514	1,033	-0,856	21,566	-21,444	-3,092	3,214
	(3-4)	11,564	-12,114	15,847	-16,600	26,744	-27,294	-3,616	3,066	23,174	-23,554	-7,186	6,806
	(4-5)	10,045	-10,045	13,766	-13,766	30,299	-30,299	-10,209	10,209	27,198	-27,198	-13,310	13,310
	(5-6)	12,114	-11,564	16,600	-15,847	27,294	-26,744	-3,066	3,616	23,554	-23,174	-6,806	7,186
	(6-7)	13,185	-13,362	18,069	-18,311	25,514	-25,691	0,856	-1,033	21,444	-21,566	-3,214	3,092
	(7-8)	9,393	-11,415	12,872	-15,643	32,269	-34,291	-13,484	11,461	29,369	-30,767	-25,384	23,986

SUPERPOSITION DES EFFORTS TRANCHANTS DANS LES POUTRES DU PORTIQUE LONGITUDINAL (C-C)													
		G+Q		1,35G+1,5Q		G+Q+E		G+Q-E		0,8G+E		0,8G-E	
Niveau	Travée	Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te
8	(1-2)	11,415	-9,393	15,643	-12,872	43,292	-41,270	-20,462	22,484	39,768	-38,370	-9,595	10,703
	(2-3)	13,362	-13,185	18,311	-18,069	30,579	-30,402	-3,855	4,032	26,454	-26,332	-12,020	12,122
	(3-4)	11,564	-12,114	15,847	-16,600	32,687	-33,237	-9,559	9,010	29,117	-29,497	-20,072	19,756
	(4-5)	10,045	-10,045	13,766	-13,766	38,019	-38,019	-17,929	17,929	34,918	-34,918	-14,303	14,303
	(5-6)	12,114	-11,564	16,600	-15,847	33,237	-32,687	-9,010	9,559	29,497	-29,117	-8,999	9,315
	(6-7)	13,185	-13,362	18,069	-18,311	30,402	-30,579	-4,032	3,855	26,332	-26,454	-22,876	22,774
	(7-8)	9,393	-11,415	12,872	-15,643	41,270	-43,292	-22,484	20,462	38,370	-39,768	6,514	-7,622
7	(1-2)	11,026	-9,423	15,110	-12,913	52,273	-50,670	-30,221	31,824	48,869	-47,761	-33,625	34,733
	(2-3)	13,168	-13,021	18,045	-17,843	35,532	-35,385	-9,196	9,343	31,467	-31,365	-13,261	13,363
	(3-4)	11,431	-11,888	15,665	-16,291	39,017	-39,474	-16,155	15,698	35,488	-35,804	-19,684	19,368
	(4-5)	9,866	-9,866	13,520	-13,520	46,774	-46,774	-27,043	27,043	43,728	-43,728	-30,088	30,088
	(5-6)	11,888	-11,431	16,291	-15,665	39,475	-39,018	-15,700	16,156	35,805	-35,489	-19,369	19,685
	(6-7)	13,021	-13,168	17,843	-18,045	35,383	-35,531	-9,342	9,195	31,364	-31,466	-13,362	13,260
	(7-8)	9,423	-11,026	12,913	-15,110	50,670	-52,273	-31,824	30,221	47,761	-48,869	-34,733	33,625
6	(1-2)	10,903	-9,546	14,941	-13,081	57,962	-56,605	-36,157	37,514	54,597	-53,658	-39,522	40,461
	(2-3)	13,159	-13,030	18,032	-17,856	40,287	-40,158	-13,970	14,098	36,225	-36,136	-18,032	18,121
	(3-4)	11,461	-11,857	15,706	-16,249	44,997	-45,393	-22,074	21,678	41,458	-41,732	-25,612	25,338
	(4-5)	9,866	-9,866	13,520	-13,520	54,945	-54,945	-35,213	35,213	51,899	-51,899	-38,259	38,259
	(5-6)	11,857	-11,461	16,249	-15,706	45,394	-44,998	-21,680	22,076	41,734	-41,460	-25,340	25,614
	(6-7)	13,030	-13,159	17,856	-18,032	40,157	-40,285	-14,097	13,968	36,134	-36,223	-18,119	18,030
	(7-8)	9,546	-10,903	13,081	-14,941	56,605	-57,962	-37,514	36,157	53,658	-54,597	-40,461	39,522

SUPERPOSITION DES EFFORTS TRANCHANTS DANS LES POUTRES DU PORTIQUE LONGITUDINAL (C-C)													
Niveau	Travée	G+Q		1,35G+1,5Q		G+Q+E		G+Q-E		0,8G+E		0,8G-E	
		Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te
5	(1-2)	10,903	-9,546	14,941	-13,081	66,523	-65,166	-44,717	46,075	63,157	-62,219	-48,083	49,021
	(2-3)	13,159	-13,030	18,032	-17,856	44,408	-44,280	-18,091	18,219	40,346	-40,257	-22,153	22,242
	(3-4)	11,461	-11,857	15,706	-16,249	50,091	-50,487	-27,169	26,773	46,553	-46,827	-30,707	30,433
	(4-5)	9,866	-9,866	13,520	-13,520	61,793	-61,793	-42,062	42,062	58,747	-58,747	-45,107	45,107
	(5-6)	11,857	-11,461	16,249	-15,706	50,489	-50,093	-26,775	27,171	46,829	-46,555	-30,435	30,709
	(6-7)	13,030	-13,159	17,856	-18,032	44,278	-44,406	-18,218	18,089	40,255	-40,344	-22,240	22,151
	(7-8)	9,546	-10,903	13,081	-14,941	65,166	-66,523	-46,075	44,717	62,219	-63,157	-55,621	54,683
4	(1-2)	10,903	-9,546	14,941	-13,081	73,123	-71,766	-51,317	52,674	69,757	-68,819	-27,615	28,376
	(2-3)	13,159	-13,030	18,032	-17,856	48,098	-47,970	-21,781	21,909	44,036	-43,947	-34,228	34,302
	(3-4)	11,461	-11,857	15,706	-16,249	54,654	-55,050	-31,732	31,336	51,116	-51,390	-50,245	50,016
	(4-5)	9,866	-9,866	13,520	-13,520	67,932	-67,932	-48,201	48,201	64,887	-64,887	-36,499	36,499
	(5-6)	11,857	-11,461	16,249	-15,706	55,053	-54,657	-31,338	31,734	51,392	-51,118	-26,887	27,116
	(6-7)	13,030	-13,159	17,856	-18,032	47,968	-48,096	-21,907	21,779	43,945	-44,034	-53,329	53,255
	(7-8)	9,546	-10,903	13,081	-14,941	71,766	-73,123	-52,674	51,317	68,819	-69,757	-62,397	61,635
3	(1-2)	10,596	-9,494	14,521	-13,010	79,556	-78,454	-58,364	59,466	76,285	-75,523	-61,635	62,397
	(2-3)	12,969	-12,861	17,772	-17,625	52,039	-51,931	-26,101	26,209	48,035	-47,961	-30,105	30,179
	(3-4)	11,314	-11,646	15,505	-15,959	59,861	-60,193	-37,233	36,901	56,368	-56,597	-40,725	40,496
	(4-5)	9,686	-9,686	13,274	-13,274	75,536	-75,536	-56,163	56,163	72,546	-72,546	-59,154	59,154
	(5-6)	11,646	-11,314	15,959	-15,505	60,193	-59,861	-36,901	37,233	56,597	-56,368	-40,496	40,725
	(6-7)	12,861	-12,969	17,625	-17,772	51,931	-52,039	-26,209	26,101	47,961	-48,035	-30,179	30,105
	(7-8)	9,494	-10,596	13,010	-14,521	78,454	-79,556	-59,466	58,364	75,523	-76,285	-62,397	61,635

SUPERPOSITION DES EFFORTS TRANCHANTS DANS LES POUTRES DU PORTIQUE LONGITUDINAL (C-C)													
		G+Q		1,35G+1,5Q		G+Q+E		G+Q-E		0,8G+E		0,8G-E	
Niveau	Travée	Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te	Tw	Te
2	(1-2)	11,461	-10,449	15,829	-14,432	85,048	-84,037	-62,127	63,138	80,852	-80,211	-66,323	66,964
	(2-3)	14,136	-14,034	19,523	-19,384	56,420	-56,319	-28,149	28,250	51,245	-51,180	-33,324	33,389
	(3-4)	12,365	-12,675	17,078	-17,506	67,477	-67,787	-42,747	42,437	62,950	-63,146	-47,274	47,078
	(4-5)	10,564	-10,564	14,590	-14,590	89,135	-89,135	-68,007	68,007	85,267	-85,267	-71,875	71,875
	(5-6)	12,675	-12,365	17,506	-17,078	67,787	-67,477	-42,437	42,747	63,146	-62,950	-47,078	47,274
	(6-7)	14,034	-14,136	19,384	-19,523	56,319	-56,420	-28,250	28,149	51,180	-51,245	-33,389	33,324
	(7-8)	10,449	-11,461	14,432	-15,829	84,037	-85,048	-63,138	62,127	80,211	-80,852	-66,964	66,323
1	(1-2)	12,972	-11,668	18,087	-16,269	92,618	-91,314	-66,674	67,978	86,958	-86,223	-72,335	73,070
	(2-3)	15,904	-15,776	22,175	-21,997	60,092	-59,963	-28,283	28,412	53,152	-53,079	-35,223	35,296
	(3-4)	13,883	-14,277	19,357	-19,907	66,265	-66,659	-38,499	38,105	60,207	-60,429	-44,557	44,335
	(4-5)	11,880	-11,880	16,565	-16,565	79,217	-79,217	-55,457	55,457	74,033	-74,033	-60,641	60,641
	(5-6)	14,277	-13,883	19,907	-19,357	66,659	-66,265	-38,105	38,499	60,429	-60,207	-44,335	44,557
	(6-7)	15,776	-15,904	21,997	-22,175	59,963	-60,092	-28,412	28,283	53,079	-53,152	-35,296	35,223
	(7-8)	11,668	-12,972	16,269	-18,087	91,314	-92,618	-67,978	66,674	86,223	-86,958	-73,070	72,335

Superposition des moments dans les poteaux du portique longitudinal (C-C) :

Niveau	Travée	G+Q		1,35G+1,5Q		G+Q+E		G+Q-E		0,8G+E		0,8G-E	
		Mn	Ms	Mn	Ms	Mn	Ms	Mn	Ms	Mn	Ms	Mn	Ms
11	1	0,000	1,777	0,000	2,424	0,000	11,539	0,000	-7,985	0,000	11,051	0,000	-8,473
	2	0,000	0,760	0,000	1,036	0,000	12,717	0,000	-11,198	0,000	12,509	0,000	-11,407
	3	0,000	-0,424	0,000	-0,578	0,000	11,191	0,000	-12,039	0,000	11,307	0,000	-11,922
	4	0,000	-0,417	0,000	-0,568	0,000	11,886	0,000	-12,719	0,000	12,000	0,000	-12,605
	5	0,000	0,417	0,000	0,568	0,000	12,719	0,000	-11,886	0,000	12,605	0,000	-12,000
	6	0,000	0,424	0,000	0,578	0,000	12,039	0,000	-11,191	0,000	11,922	0,000	-11,307
	7	0,000	-0,760	0,000	-1,036	0,000	11,198	0,000	-12,717	0,000	11,407	0,000	-12,509
	8	0,000	-1,777	0,000	-2,424	0,000	7,985	0,000	-11,539	0,000	8,473	0,000	-11,051
10	1	1,197	1,347	1,641	1,846	7,643	18,484	-5,249	-15,790	7,274	18,069	-5,618	-16,206
	2	0,559	0,629	0,766	0,862	10,343	22,260	-9,225	-21,003	10,170	22,066	-9,397	-21,197
	3	-0,309	-0,347	-0,423	-0,476	9,194	21,009	-9,812	-21,704	9,290	21,117	-9,717	-21,597
	4	-0,310	-0,348	-0,424	-0,477	9,756	21,511	-10,375	-22,208	9,852	21,619	-10,280	-22,100
	5	0,310	0,348	0,424	0,477	10,375	22,208	-9,756	-21,511	10,280	22,100	-9,852	-21,619
	6	0,309	0,347	0,423	0,476	9,812	21,704	-9,194	-21,009	9,717	21,597	-9,290	-21,117
	7	-0,559	-0,629	-0,766	-0,862	9,225	21,003	-10,343	-22,260	9,397	21,197	-10,170	-22,066
	8	-1,197	-1,347	-1,641	-1,846	5,249	15,790	-7,643	-18,484	5,618	16,206	-7,274	-18,069
9	1	1,197	1,347	1,641	1,846	15,219	25,358	-12,824	-22,664	14,849	24,943	-13,194	-23,080
	2	0,559	0,629	0,766	0,862	20,723	31,237	-19,606	-29,979	20,551	31,042	-19,778	-30,173
	3	-0,309	-0,347	-0,423	-0,476	18,933	29,383	-19,550	-30,078	19,028	29,490	-19,455	-29,970
	4	-0,310	-0,348	-0,424	-0,477	20,832	31,142	-21,451	-31,838	20,927	31,249	-21,355	-31,731
	5	0,310	0,348	0,424	0,477	21,451	31,838	-20,832	-31,142	21,355	31,731	-20,927	-31,249
	6	0,309	0,347	0,423	0,476	19,550	30,078	-18,933	-29,383	19,455	29,970	-19,028	-29,490
	7	-0,559	-0,629	-0,766	-0,862	19,606	29,979	-20,723	-31,237	19,778	30,173	-20,551	-31,042
	8	-1,197	-1,347	-1,641	-1,846	12,824	22,664	-15,219	-25,358	13,194	23,080	-14,849	-24,943

Superposition des moments dans les poteaux du portique longitudinal (C-C) :

Niveau	Travée	G+Q		1,35G+1,5Q		G+Q+E		G+Q-E		0,8G+E		0,8G-E	
		Mn	Ms	Mn	Ms	Mn	Ms	Mn	Ms	Mn	Ms	Mn	Ms
8	1	1,197	1,347	1,641	1,846	22,822	32,773	-20,427	-30,079	22,452	32,357	-20,797	-30,495
	2	0,559	0,629	0,766	0,862	31,167	40,673	-30,049	-39,415	30,994	40,479	-30,221	-39,610
	3	-0,309	-0,347	-0,423	-0,476	29,422	38,545	-30,039	-39,239	29,517	38,652	-29,944	-39,132
	4	-0,310	-0,348	-0,424	-0,477	31,180	40,853	-31,800	-41,550	31,276	40,961	-31,704	-41,443
	5	0,310	0,348	0,424	0,477	31,800	41,550	-31,180	-40,853	31,704	41,443	-31,276	-40,961
	6	0,309	0,347	0,423	0,476	30,039	39,239	-29,422	-38,545	29,944	39,132	-29,517	-38,652
	7	-0,559	-0,629	-0,766	-0,862	30,049	39,415	-31,167	-40,673	30,221	39,610	-30,994	-40,479
	8	-1,197	-1,347	-1,641	-1,846	20,427	30,079	-22,822	-32,773	20,797	30,495	-22,452	-32,357
7	1	1,006	1,863	1,378	2,554	29,376	40,281	-27,365	-36,554	29,066	39,706	-27,675	-37,129
	2	0,507	0,939	0,695	1,287	40,551	51,811	-39,537	-49,932	40,395	51,521	-39,694	-50,222
	3	-0,278	-0,516	-0,382	-0,707	38,614	48,386	-39,170	-49,418	38,699	48,545	-39,084	-49,258
	4	-0,282	-0,523	-0,387	-0,717	40,919	52,364	-41,484	-53,410	41,007	52,526	-41,397	-53,249
	5	0,282	0,523	0,387	0,717	41,484	53,410	-40,919	-52,364	41,397	53,249	-41,007	-52,526
	6	0,278	0,516	0,382	0,707	39,170	49,418	-38,614	-48,386	39,084	49,258	-38,699	-48,545
	7	-0,507	-0,939	-0,695	-1,287	39,537	49,932	-40,551	-51,811	39,694	50,222	-40,395	-51,521
	8	-1,006	-1,863	-1,378	-2,554	27,365	36,554	-29,376	-40,281	27,675	37,129	-29,066	-39,706
6	1	1,559	1,559	2,136	2,136	32,991	42,522	-29,874	-39,404	32,510	42,041	-30,355	-39,886
	2	0,814	0,814	1,115	1,115	51,685	60,481	-50,058	-58,853	51,434	60,229	-50,309	-59,104
	3	-0,445	-0,445	-0,610	-0,610	48,457	56,912	-49,347	-57,802	48,594	57,049	-49,210	-57,664
	4	-0,455	-0,455	-0,624	-0,624	52,432	61,576	-53,343	-62,486	52,572	61,716	-53,202	-62,346
	5	0,455	0,455	0,624	0,624	53,343	62,486	-52,432	-61,576	53,202	62,346	-52,572	-61,716
	6	0,445	0,445	0,610	0,610	49,347	57,802	-48,457	-56,912	49,210	57,664	-48,594	-57,049
	7	-0,814	-0,814	-1,115	-1,115	50,058	58,853	-51,685	-60,481	50,309	59,104	-51,434	-60,229
	8	-1,559	-1,559	-2,136	-2,136	29,874	39,404	-32,991	-42,522	30,355	39,886	-32,510	-42,041

Superposition des moments dans les poteaux du portique longitudinal (C-C) :

Niveau	Travée	G+Q		1,35G+1,5Q		G+Q+E		G+Q-E		0,8G+E		0,8G-E	
		Mn	Ms	Mn	Ms	Mn	Ms	Mn	Ms	Mn	Ms	Mn	Ms
5	1	1,559	1,559	2,136	2,136	42,522	48,013	-39,404	-44,895	42,041	47,531	-39,886	-45,376
	2	0,814	0,814	1,115	1,115	60,481	68,478	-58,853	-66,850	60,229	68,227	-59,104	-67,102
	3	-0,445	-0,445	-0,610	-0,610	56,912	64,600	-57,802	-65,489	57,049	64,737	-57,664	-65,352
	4	-0,455	-0,455	-0,624	-0,624	61,576	69,890	-62,486	-70,801	61,716	70,031	-62,346	-70,660
	5	0,455	0,455	0,624	0,624	62,486	70,801	-61,576	-69,890	62,346	70,660	-61,716	-70,031
	6	0,445	0,445	0,610	0,610	57,802	65,489	-56,912	-64,600	57,664	65,352	-57,049	-64,737
	7	-0,814	-0,814	-1,115	-1,115	58,853	66,850	-60,481	-68,478	59,104	67,102	-60,229	-68,227
	8	-1,559	-1,559	-2,136	-2,136	39,404	44,895	-42,522	-48,013	39,886	45,376	-42,041	-47,531
4	1	1,559	1,559	2,136	2,136	48,013	52,930	-44,895	-49,812	47,531	52,449	-45,376	-50,294
	2	0,814	0,814	1,115	1,115	68,478	75,525	-66,850	-73,897	68,227	75,274	-67,102	-74,148
	3	-0,445	-0,445	-0,610	-0,610	64,600	71,357	-65,489	-72,247	64,737	71,495	-65,352	-72,110
	4	-0,455	-0,455	-0,624	-0,624	69,890	77,227	-70,801	-78,137	70,031	77,367	-70,660	-77,997
	5	0,455	0,455	0,624	0,624	70,801	78,137	-69,890	-77,227	70,660	77,997	-70,031	-77,367
	6	0,445	0,445	0,610	0,610	65,489	72,247	-64,600	-71,357	65,352	72,110	-64,737	-71,495
	7	-0,814	-0,814	-1,115	-1,115	66,850	73,897	-68,478	-75,525	67,102	74,148	-68,227	-75,274
	8	-1,559	-1,559	-2,136	-2,136	44,895	49,812	-48,013	-52,930	45,376	50,294	-47,531	-52,449
3	1	1,198	2,044	1,642	2,801	52,569	55,615	-50,173	-51,528	52,199	54,984	-50,543	-52,158
	2	0,662	1,129	0,907	1,547	75,373	84,031	-74,049	-81,773	75,168	83,682	-74,254	-82,122
	3	-0,360	-0,615	-0,494	-0,843	71,442	78,391	-72,163	-79,620	71,553	78,581	-72,051	-79,431
	4	-0,371	-0,633	-0,509	-0,868	77,311	86,309	-78,053	-87,576	77,425	86,504	-77,939	-87,380
	5	0,371	0,633	0,509	0,868	78,053	87,576	-77,311	-86,309	77,939	87,380	-77,425	-86,504
	6	0,360	0,615	0,494	0,843	72,163	79,620	-71,442	-78,391	72,051	79,431	-71,553	-78,581
	7	-0,662	-1,129	-0,907	-1,547	74,049	81,773	-75,373	-84,031	74,254	82,122	-75,168	-83,682
	8	-1,198	-2,044	-1,642	-2,801	50,173	51,528	-52,569	-55,615	50,543	52,158	-52,199	-54,984

Superposition des moments dans les poteaux du portique longitudinal (C-C) :

Niveau	Travée	G+Q		1,35G+1,5Q		G+Q+E		G+Q-E		0,8G+E		0,8G-E	
		Mn	Ms	Mn	Ms	Mn	Ms	Mn	Ms	Mn	Ms	Mn	Ms
2	1	1,858	1,858	2,566	2,566	55,429	58,739	-51,713	-55,024	54,749	58,059	-52,394	-55,704
	2	1,053	1,053	1,454	1,454	83,955	89,078	-81,849	-86,972	83,569	88,692	-82,234	-87,357
	3	-0,572	-0,572	-0,789	-0,789	78,434	83,316	-79,577	-84,459	78,643	83,525	-79,368	-84,250
	4	-0,593	-0,593	-0,819	-0,819	86,349	108,892	-87,535	-110,078	86,566	109,109	-87,318	-109,861
	5	0,593	0,593	0,819	0,819	87,535	110,078	-86,349	-108,892	87,318	109,861	-86,566	-109,109
	6	0,572	0,572	0,789	0,789	79,577	84,459	-78,434	-83,316	79,368	84,250	-78,643	-83,525
	7	-1,053	-1,053	-1,454	-1,454	81,849	86,972	-83,955	-89,078	82,234	87,357	-83,569	-88,692
	8	-1,858	-1,858	-2,566	-2,566	51,713	55,024	-55,429	-58,739	52,394	55,704	-54,749	-58,059
1	1	2,414	1,607	3,365	2,241	59,295	68,194	-54,468	-64,980	58,242	67,493	-55,521	-65,681
	2	1,341	0,893	1,869	1,245	89,365	90,855	-86,684	-89,070	88,780	90,465	-87,269	-89,459
	3	-0,730	-0,486	-1,018	-0,678	83,158	86,440	-84,617	-87,412	83,476	86,652	-84,299	-87,200
	4	-0,753	-0,501	-1,050	-0,699	74,391	92,697	-75,897	-93,700	74,720	92,916	-75,568	-93,481
	5	0,753	0,501	1,050	0,699	75,897	93,700	-74,391	-92,697	75,568	93,481	-74,720	-92,916
	6	0,730	0,486	1,018	0,678	84,617	87,412	-83,158	-86,440	84,299	87,200	-83,476	-86,652
	7	-1,341	-0,893	-1,869	-1,245	86,684	89,070	-89,365	-90,855	87,269	89,459	-88,780	-90,465
	8	-2,414	-1,607	-3,365	-2,241	54,468	64,980	-59,295	-68,194	55,521	65,681	-58,242	-67,493

Superposition des efforts normaux dans les poteaux du portique longitudinal (C-C)(suite):

		G+Q	1,35G+1,5Q	G+Q+E	G+Q-E	0,8G+E	0,8G-E
Niveau	Travée	Nc	Nc	Nc	Nc	Nc	Nc
11	1	11,405	15,556	5,739	17,070	2,608	13,938
	2	21,809	29,747	24,560	19,057	18,571	13,069
	3	23,957	32,677	23,296	24,618	16,717	18,039
	4	21,591	29,449	20,431	22,750	14,503	16,821
	5	21,591	29,449	22,750	20,431	16,821	14,503
	6	23,957	32,677	24,618	23,296	18,039	16,717
	7	21,809	29,747	19,057	24,560	13,069	18,571
	8	11,405	15,556	17,070	5,739	13,938	2,608
10	1	36,589	50,821	16,752	56,427	1,834	41,509
	2	58,334	80,552	67,557	49,110	46,281	27,835
	3	62,476	86,215	60,123	64,830	37,642	42,349
	4	57,519	79,437	53,467	61,572	32,435	40,540
	5	57,519	79,437	61,572	53,467	40,540	32,435
	6	62,476	86,215	64,830	60,123	42,349	37,642
	7	58,334	80,552	49,110	67,557	27,835	46,281
	8	36,589	50,821	56,427	16,752	41,509	1,834
9	1	63,528	88,488	26,479	100,576	-0,766	73,331
	2	96,555	133,682	113,574	79,536	76,489	42,450
	3	98,000	135,648	93,456	102,543	55,998	65,085
	4	93,043	128,870	85,075	101,010	49,066	65,001
	5	95,741	132,568	103,708	87,773	66,866	50,932
	6	98,837	136,796	103,381	94,294	65,664	56,577
	7	94,032	130,225	77,013	111,052	40,706	74,745
	8	59,905	83,524	96,953	22,857	70,827	-3,270
8	1	88,759	123,817	34,006	143,512	-5,039	104,467
	2	132,048	183,073	157,255	106,841	105,201	54,787
	3	133,493	185,039	126,736	140,250	74,309	87,823
	4	131,304	182,055	119,380	143,229	67,548	91,397
	5	132,215	183,304	144,140	120,291	92,027	68,178
	6	134,106	185,880	140,863	127,349	88,247	74,733
	7	130,265	180,630	105,058	155,472	53,555	103,969
	8	86,536	120,771	141,289	31,783	102,930	-6,576

Superposition des efforts normaux dans les poteaux du portique longitudinal (C-C)(suite):							
		G+Q	1,35G+1,5Q	G+Q+E	G+Q-E	0,8G+E	0,8G-E
Niveau	Travée	Nc	Nc	Nc	Nc	Nc	Nc
7	1	113,555	158,549	17,554	209,555	-33,156	158,844
	2	168,409	233,654	212,499	124,319	145,209	57,029
	3	171,714	238,169	159,735	183,693	91,498	115,456
	4	166,828	231,488	145,581	188,074	78,771	121,265
	5	167,739	232,737	188,984	146,493	121,893	79,403
	6	172,328	239,010	184,310	160,346	115,883	91,919
	7	166,626	231,211	122,535	210,718	55,795	143,978
	8	111,332	155,503	207,332	15,332	157,308	-34,693
6	1	143,200	200,198	0,140	286,260	-65,182	220,938
	2	209,856	291,476	273,878	145,835	188,333	60,290
	3	214,948	298,440	196,562	233,334	109,519	146,291
	4	207,293	287,965	174,503	240,083	89,742	155,323
	5	208,204	289,213	240,991	175,417	155,949	90,375
	6	215,562	299,281	233,954	197,170	146,721	109,937
	7	208,073	289,033	144,049	272,098	59,055	187,103
	8	140,977	197,152	284,037	-2,082	219,401	-66,718
5	1	174,912	244,679	-23,769	373,592	-104,340	293,021
	2	252,774	351,313	341,166	164,381	236,913	60,128
	3	255,023	354,382	229,256	280,789	124,382	175,915
	4	247,368	343,906	201,280	293,455	98,688	190,864
	5	251,122	349,051	297,204	205,039	193,453	101,288
	6	256,767	356,772	282,544	230,991	177,131	125,578
	7	248,873	346,090	160,476	337,269	56,768	233,562
	8	170,169	238,292	368,850	-28,511	289,142	-108,218
4	1	206,019	288,465	-54,881	466,919	-151,225	370,575
	2	294,755	410,117	410,427	179,082	286,420	55,075
	3	297,004	413,186	262,984	331,024	138,356	206,396
	4	292,510	407,076	231,549	353,471	108,045	229,968
	5	294,449	409,714	355,403	233,495	231,405	109,498
	6	299,942	417,396	333,976	265,908	207,461	139,393
	7	295,187	411,243	179,508	410,866	52,524	283,882
	8	204,688	286,997	465,588	-56,212	367,751	-154,049

Superposition des efforts normaux dans les poteaux du portique longitudinal (C-C)(suite):

		G+Q	1,35G+1,5Q	G+Q+E	G+Q-E	0,8G+E	0,8G-E
Niveau	Travée	Nc	Nc	Nc	Nc	Nc	Nc
3	1	235,358	329,694	-94,503	565,218	-205,363	454,358
	2	335,960	467,608	481,523	190,397	339,336	48,210
	3	339,922	473,023	296,425	383,418	153,088	240,081
	4	332,585	463,017	254,320	410,849	112,986	269,515
	5	334,524	465,656	412,781	256,267	270,952	114,438
	6	342,860	477,233	386,371	299,349	241,147	154,126
	7	336,393	468,734	190,823	481,962	45,659	336,798
	8	234,026	328,226	563,887	-95,834	451,533	-208,188
2	1	271,298	380,406	-132,150	674,746	-261,894	545,001
	2	385,025	536,448	561,891	208,159	396,014	42,283
	3	390,801	544,368	334,477	447,125	166,786	279,435
	4	380,303	529,997	278,580	482,026	114,050	317,496
	5	382,243	532,636	483,958	280,527	318,933	115,502
	6	393,739	548,579	450,078	337,401	280,500	167,824
	7	385,458	537,573	208,585	562,330	39,731	393,477
	8	269,967	378,938	673,415	-133,481	542,177	-264,719
1	1	308,750	433,377	-174,344	791,845	-324,437	641,751
	2	437,077	609,776	649,402	224,753	456,806	32,156
	3	444,940	620,606	380,421	509,459	185,100	314,138
	4	430,940	601,353	314,262	547,619	123,630	356,986
	5	432,880	603,991	549,551	316,209	358,423	125,082
	6	447,878	624,816	512,411	383,345	315,204	186,138
	7	437,510	610,902	225,178	649,841	29,605	454,268
	8	307,419	431,910	790,513	-175,675	638,927	-327,262

7-1-2 Combinaisons d'actions dans les voiles :

superposition des sollicitations des voiles transversaux:								
Niveau	Voile	G+Q	1,35G+1,5Q	G+Q+E	G+Q-E	0,8G+E	0,8G-E	0,8G
11	VT1	206,008	280,0008	332,782	79,234	281,501	27,952	154,7264
	VT2	206,008	280,0008	348,080	63,936	296,798	12,655	154,7264
	VT3	93,3524	127,36524	97,917	88,788	72,102	62,974	67,53792
	VT4	58,788	79,9788	61,959	55,617	46,921	40,579	43,7504
10	VT1	403,652	549,6552	647,321	159,983	541,390	54,053	297,7216
	VT2	403,652	549,6552	676,723	130,581	570,793	24,650	297,7216
	VT3	189,0266	258,53466	197,800	180,253	142,134	124,588	133,36128
	VT4	118,642	161,7042	124,737	112,547	92,808	80,619	86,7136
9	VT1	601,296	819,3096	958,113	244,479	797,534	83,899	440,7168
	VT2	601,296	819,3096	1001,169	201,423	840,590	40,844	440,7168
	VT3	284,7008	389,70408	297,548	271,854	212,032	186,338	199,18464
	VT4	178,496	243,4296	187,421	169,571	138,602	120,752	129,6768
8	VT1	798,94	1088,964	1265,716	332,164	1050,488	116,936	583,712
	VT2	798,94	1088,964	1322,040	275,840	1106,812	60,612	583,712
	VT3	380,375	520,8735	397,181	363,569	281,814	248,202	265,008
	VT4	238,35	325,155	250,025	226,675	184,315	160,965	172,64
7	VT1	996,584	1358,6184	1569,621	423,547	1299,744	153,670	726,7072
	VT2	996,584	1358,6184	1638,767	354,401	1368,890	84,524	726,7072
	VT3	476,0492	652,04292	496,681	455,417	124,017	82,753	103,3848
	VT4	298,204	406,8804	312,537	283,871	229,936	201,270	215,6032
6	VT1	1194,228	1628,2728	1865,615	522,841	1541,090	198,315	869,7024
	VT2	1194,228	1628,2728	1946,629	441,827	1622,103	117,301	869,7024
	VT3	571,7234	783,21234	595,896	547,551	420,828	372,482	396,65472
	VT4	358,058	488,6058	374,851	341,265	275,360	241,773	258,5664

superposition des sollicitations des voiles transversaux:								
Niveau	Voile	G+Q	1,35G+1,5Q	G+Q+E	G+Q-E	0,8G+E	0,8G-E	0,8G
5	VT1	1391,872	1897,9272	2152,177	631,567	1773,003	252,392	1012,6976
	VT2	1391,872	1897,9272	2243,920	539,824	1864,746	160,649	1012,6976
	VT3	667,3976	914,38176	694,772	640,023	489,852	435,104	462,47808
	VT4	417,912	570,3312	436,929	398,895	320,547	282,512	301,5296
4	VT1	1589,516	2167,5816	2427,910	751,122	1994,087	317,299	1155,6928
	VT2	1589,516	2167,5816	2529,075	649,957	2095,252	216,134	1155,6928
	VT3	763,0718	1045,55118	793,258	732,886	558,487	498,116	528,30144
	VT4	477,766	652,0566	498,736	456,796	365,463	323,522	344,4928
3	VT1	1787,16	2437,236	2693,775	880,545	2205,303	392,073	1298,688
	VT2	1787,16	2437,236	2803,150	771,170	2314,678	282,698	1298,688
	VT3	858,746	1176,7206	891,388	826,104	626,767	561,483	594,1248
	VT4	537,62	733,782	560,296	514,944	410,132	364,780	387,456
2	VT1	1997,404	2725,7904	2958,384	1036,424	2402,663	480,703	1441,6832
	VT2	1997,404	2725,7904	3074,301	920,507	2518,580	364,786	1441,6832
	VT3	963,3502	1321,28502	997,949	928,751	694,547	625,349	659,94816
	VT4	601,574	821,6574	625,610	577,538	454,455	406,383	430,4192
1	VT1	2275,448	3108,7098	3287,241	1263,655	2635,592	612,005	1623,7984
	VT2	2275,448	3108,7098	3409,273	1141,623	2757,623	489,973	1623,7984
	VT3	1096,2494	1506,05694	1132,678	1059,821	774,120	701,263	737,69152
	VT4	685,578	937,5228	710,885	660,271	509,809	459,196	484,5024

superposition des sollicitations des voiles longitudinaux :								
Niveau	Voile	G+Q	1,35G+1,5Q	G+Q+E	G+Q-E	0,8G	0,8G-E	0,8G+E
11	VL1	69,529	94,188	105,404	33,653	53,895	18,020	89,770
	VL2	69,529	94,188	105,404	33,653	53,895	18,020	89,770
	VL5	43,914	59,446	54,507	33,322	34,268	23,675	44,860
	VL6	39,809	53,846	49,133	30,486	31,295	21,972	40,619
	VL7	42,481	57,513	51,837	33,126	33,113	23,757	42,468
10	VL1	139,619	189,296	208,587	70,651	107,375	38,407	176,343
	VL2	139,619	189,296	208,587	70,651	107,375	38,407	176,343
	VL5	88,110	119,353	108,472	67,747	68,328	47,965	88,690
	VL6	79,798	107,986	97,722	61,874	62,458	44,535	80,382
	VL7	85,246	115,491	103,231	67,261	66,017	48,031	84,002
9	VL1	209,710	284,404	310,722	108,697	160,856	59,844	261,868
	VL2	209,710	284,404	310,722	108,697	160,856	59,844	261,868
	VL5	132,305	179,259	162,129	102,481	102,388	72,564	132,212
	VL6	119,786	162,126	146,038	93,535	93,621	67,370	119,873
	VL7	128,010	172,814	154,352	101,669	98,920	72,579	125,262
8	VL1	279,800	379,512	411,998	147,602	214,336	82,138	346,534
	VL2	279,800	379,512	411,998	147,602	214,336	82,138	346,534
	VL5	176,500	239,166	215,531	137,469	136,448	97,417	175,479
	VL6	159,775	216,266	194,131	125,419	124,784	90,428	159,140
	VL7	170,775	231,446	205,249	136,301	131,824	97,350	166,298
7	VL1	349,890	474,620	512,287	187,493	267,816	105,419	430,213
	VL2	349,890	474,620	512,287	187,493	267,816	105,419	430,213
	VL5	220,695	299,073	268,643	172,747	170,508	122,560	218,456
	VL6	199,764	270,405	241,968	157,559	155,947	113,742	198,151
	VL7	213,540	289,423	255,889	171,190	164,728	122,378	207,077
6	VL1	419,981	569,728	610,455	229,507	321,297	130,822	511,771
	VL2	419,981	569,728	610,455	229,507	321,297	130,822	511,771
	VL5	264,890	358,979	321,128	208,653	204,568	148,331	260,806
	VL6	239,752	324,545	289,254	190,251	187,110	137,608	236,611
	VL7	256,304	347,400	305,975	206,633	197,631	147,960	247,303

superposition des sollicitations des voiles longitudinaux :								
Niveau	Voile	G+Q	1,35G+1,5Q	G+Q+E	G+Q-E	0,8G	0,8G-E	0,8G+E
5	VL1	490,071	664,836	706,076	274,067	374,777	158,772	590,782
	VL2	490,071	664,836	706,076	274,067	374,777	158,772	590,782
	VL5	309,086	418,886	372,861	245,310	238,628	174,853	302,404
	VL6	279,741	378,685	335,877	223,605	218,273	162,136	274,409
	VL7	299,069	405,378	355,398	242,740	230,535	174,206	286,864
4	VL1	560,162	759,944	798,758	321,565	428,257	189,661	666,854
	VL2	560,162	759,944	798,758	321,565	428,257	189,661	666,854
	VL5	353,281	478,792	423,726	282,835	272,689	202,243	343,134
	VL6	319,729	432,825	381,737	257,722	249,436	187,428	311,443
	VL7	341,833	463,355	404,054	279,613	263,439	201,218	325,659
3	VL1	630,252	855,052	887,731	372,773	481,738	224,258	739,217
	VL2	630,252	855,052	887,731	372,773	481,738	224,258	739,217
	VL5	397,476	538,699	473,496	321,456	306,749	230,729	382,768
	VL6	359,718	486,965	426,632	292,804	280,598	213,684	347,512
	VL7	384,598	521,333	451,743	317,453	296,342	229,198	363,487
2	VL1	702,502	953,400	975,105	429,900	535,218	262,615	807,821
	VL2	702,502	953,400	975,105	429,900	535,218	262,615	807,821
	VL5	442,751	600,225	523,235	362,267	340,809	260,325	421,293
	VL6	400,397	542,140	471,240	329,553	311,761	240,918	382,605
	VL7	428,453	580,945	499,541	357,364	329,246	258,158	400,334
1	VL1	802,493	1089,683	1089,283	515,703	608,298	321,508	895,088
	VL2	802,493	1089,683	1089,283	515,703	608,298	321,508	895,088
	VL5	505,946	686,187	590,621	421,272	387,909	303,234	472,584
	VL6	457,710	619,927	532,242	383,179	355,404	280,873	429,936
	VL7	489,542	664,070	564,330	414,754	374,630	299,842	449,418

superposition des sollicitations des voiles avec une file d'ouverture (VL4) :

Trumeaux	Niveau	G+Q	1,35G+1,5Q	G+Q+E	G+Q-E	0,8G+E	0,8G-E
1 et 2	11	18,139	24,575	32,530	3,748	28,4392	-0,3427
	10	34,711	47,078	62,377	7,046	54,2765	-1,0547
	9	51,283	69,580	91,803	10,764	79,6932	-1,3461
	8	67,855	92,083	120,885	14,826	104,766	-1,2933
	7	84,427	114,585	149,571	19,284	129,442	-0,8446
	6	104,601	141,809	181,007	28,194	153,268	0,45534
	5	117,571	159,590	204,219	30,924	176,072	2,77684
	4	134,144	182,093	229,853	38,434	197,697	6,27706

superposition des sollicitations des voiles avec une file d'ouverture (VL3) :

Trumeaux	Niveau	G+Q	1,35G+1,5Q	G+Q+E	G+Q-E	0,8G+E	0,8G-E
2	11	28,279	38,331	29,495	27,063	23,0182	20,5866
	10	56,825	77,098	59,162	54,487	45,7451	41,0704
	9	85,370	115,866	88,794	81,947	68,4365	61,5898
	8	113,916	154,633	118,396	109,436	91,0987	82,1383
	7	142,462	193,401	147,966	136,958	113,728	102,72
	6	171,008	232,168	177,463	164,552	136,284	123,374
	5	199,553	270,936	206,874	192,233	158,755	144,114
	4	228,099	309,704	236,185	220,013	181,126	164,954
1	11	10,749	14,570	32,766	-11,268	30,3043	-13,729
	10	21,600	29,306	63,926	-20,726	58,826	-25,826
	9	32,451	44,043	94,442	-29,541	86,7042	-37,279
	8	43,301	58,779	124,432	-37,829	114,056	-48,205
	7	54,152	73,515	153,816	-45,512	140,802	-58,526
	6	65,003	88,251	181,898	-51,892	166,245	-67,545
	5	75,854	102,987	208,417	-56,709	190,126	-75
	4	86,704	117,724	233,132	-59,723	212,203	-80,652

superposition des sollicitations des voiles avec une file d'ouverture (VL8) :

Trumeaux	Niveau	G+Q	1,35G+1,5Q	G+Q+E	G+Q-E	0,8G+E	0,8G-E
1 et 2	11	18,763	25,401	32,869	4,658	28,7413	0,52955
	10	35,931	48,683	63,048	8,813	54,924	0,68886
	9	53,098	71,964	92,815	13,381	80,6945	1,26038
	8	70,266	95,246	122,245	18,287	106,128	2,16936
	7	87,433	118,527	151,286	23,580	131,173	3,46638
	6	104,601	141,809	179,493	29,708	155,383	5,59771
	5	121,768	165,091	206,699	36,837	178,593	8,7304
	4	138,936	188,372	232,750	45,121	200,647	13,0185

superposition des sollicitations des voiles pleins (suite):

VL3							
Niveau	G+Q	1,35G+1,5Q	G+Q+E	G+Q-E	0,8G+E	0,8G-E	0,8G
3	519,688	705,557	690,111	349,265	564,958	224,111	394,534
2	583,201	791,843	766,367	400,035	625,61	259,279	442,445
1	671,989	912,577	867,110	476,868	703,956	313,714	508,835
VL4							
Niveau	G+Q	1,35G+1,5Q	G+Q+E	G+Q-E	0,8G+E	0,8G-E	0,8G
3	479,048	650,205	686,517	271,579	572,092	157,153	364,622
2	539,147	731,721	759,470	318,823	630,985	190,338	410,661
1	623,876	846,717	856,259	391,492	707,564	242,797	475,18
VL8							
Niveau	G+Q	1,35G+1,5Q	G+Q+E	G+Q-E	0,8G+E	0,8G-E	0,8G
3	491,500	666,353	694,779	288,221	581,399	174,841	378,12
2	555,648	753,526	771,462	339,835	642,192	210,565	426,379
1	645,191	875,328	872,765	417,618	720,69	265,544	493,117

7-2 Ferrailage de la structure :

7-2-1 Ferrailage des portiques :

A- Ferrailage des poutres :

Les poutres sont ferrillées en flexion simple sous les sollicitations les plus défavorables en tenant compte des combinaisons suivantes :

a-	$1.35 G + 1.5 Q$	ELU
	$G + Q$	ELS
b-	$G + Q + E$	RPA 99 Version 2003
	$0.8 G + E$	RPA 99 Version 2003

1- Recommandation du RPA version 2003 :

▪ Armatures longitudinales :

Le pourcentage minimum des aciers longitudinaux sur toute la longueur de la poutre est de : 0.5 % de la section du béton :

$$\text{Poutres principales : } A_{\min} = 0.005 \times 30 \times 40 = 6 \text{ cm}^2$$

$$\text{Poutres secondaires : } A_{\min} = 0.005 \times 30 \times 35 = 5.25 \text{ cm}^2$$

Le pourcentage maximum des aciers longitudinaux est de :

En zone courante : 4 %

En zone de recouvrement : 6 %

⇒ En zone courante :

$$\text{Poutres principales : } A_{\max} = 48 \text{ cm}^2$$

$$\text{Poutre secondaire : } A_{\max} = 28 \text{ cm}^2$$

⇒ En zone de recouvrement :

$$\text{Poutre principale : } A_{\max} = 72 \text{ cm}^2$$

$$\text{Poutre secondaire : } A_{\max} = 42 \text{ cm}^2$$

La longueur de recouvrement est de : 40Φ (zone Ia)

L'ancrage des armatures longitudinales supérieures et inférieures dans les poteaux de rive et l'angle doit être effectué avec des crochets à 90°.

Les cadres du nœud disposés comme armatures transversales des poteaux, sont constitués de deux U superposés formant un carré ou un rectangle, Les directions de recouvrement de ces U doivent être alternées

Néanmoins, il faudra veiller à ce qu'au moins un côté fermé des U d'un cadre soit disposé de sorte à s'opposer à la poussée au vide des crochets droits des armatures longitudinales des poutres.

▪ Armatures transversales :

La quantité d'armatures transversales minimales est donnée par :

$$A_t = 0.003 \cdot S_t \cdot b$$

L'espacement maximal entre les armatures transversales est donné comme suit :

$$S_t = \min \left(\frac{h}{4}, 12 \Phi_1 \right) \rightarrow \text{en zone nodale}$$

$$S_t \leq \frac{h}{2} \rightarrow \text{En dehors de la zone nodale.}$$

Φ_1 : Le plus petit diamètre utilisé des armatures longitudinales, et dans le cas d'une section en travée avec des armatures comprimées, c'est le diamètre le plus petit des aciers comprimés.

Les premières armatures transversales doivent être disposées à 5 cm de nu de l'appui ou l'encastrement

2- Etapes de calcul des armatures longitudinales :

$$\text{Soit : } \mu_b = \frac{M_u}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}}$$

Pour les FeE400

Si $\mu_b \leq \mu \Rightarrow$ Section simplement armée

Si $\mu_b > \mu \Rightarrow$ section doublement armée

- Section sans armatures comprimées ($A'_s = 0$) :

$$\text{Si } \mu_b < \mu = 0.392 \Rightarrow A_s = \frac{M_u}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s}$$

- Section avec armatures comprimées ($A'_s \neq 0$) :

$$\mu_b > \mu_1 = 0.392$$

La section réelle est considérée comme équivalente à la somme de deux sections fictives.

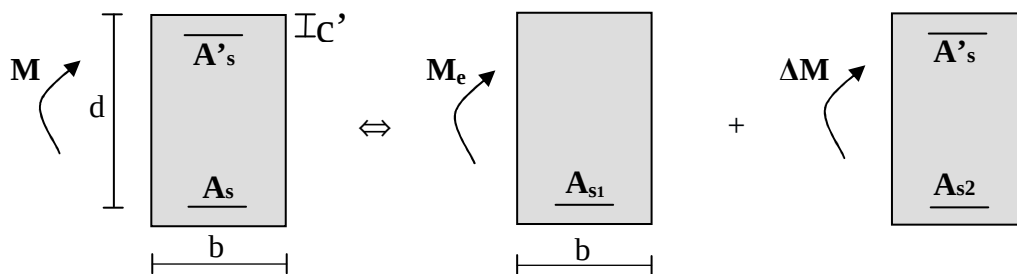


Fig 7-1 : Ferrailage de la poutre doublement armée

A_s : La section inférieure tendue ou la moins comprimée selon le cas.

A'_s : La section supérieure la plus comprimée.

$$M = M_e + \Delta M$$

$$M_e = \mu_e \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{bu} \quad \text{et} \quad \Delta M = M - M_e$$

Finalement :

$$\begin{cases} A_s = A_{s1} + A_{s2} = \frac{M_e}{\beta_e \cdot d \cdot \sigma_s} + \frac{\Delta M}{(d - c') \cdot \sigma_s} \\ A'_s = \frac{\Delta M}{(d - c') \cdot \sigma_s} \end{cases}$$

Le calcul des sections et le choix des armatures est résumé dans les tableaux qui suivent :

Ferrailage en travée des poutres longitudinales a l'ELU									
Niveau	Mu [kN.m]	μ	μ_l	Obs	β	A _s [cm ²]	A _{min} [cm ²]	Ferrailage	A _s adoptée [cm ²]
11	25,131	0,0576	0,392	SSA	0,9702	1,760	5,25	2HA16+1HA14	5,56
10	26,184	0,0600	0,392	SSA	0,969	1,836	5,25	2HA16+1HA14	5,56
9	26,184	0,0600	0,392	SSA	0,969	1,836	5,25	2HA16+1HA14	5,56
8	26,184	0,0600	0,392	SSA	0,969	1,836	5,25	2HA16+1HA14	5,56
7	25,603	0,0587	0,392	SSA	0,9694	1,794	5,25	2HA16+1HA14	5,56
6	25,689	0,0589	0,392	SSA	0,9695	1,800	5,25	2HA16+1HA14	5,56
5	25,689	0,0589	0,392	SSA	0,9695	1,800	5,25	2HA16+1HA14	5,56
4	25,689	0,0589	0,392	SSA	0,9695	1,800	5,25	2HA16+1HA14	5,56
3	25,072	0,0575	0,392	SSA	0,9702	1,756	5,25	2HA16+1HA14	5,56
2	27,63	0,0633	0,392	SSA	0,9674	1,940	5,25	2HA16+1HA14	5,56
1	31,305	0,0718	0,392	SSA	0,963	2,208	5,25	2HA16+1HA14	5,56

Ferrailage en travée des poutres transversales a l'ELU									
Niveau	Mu [kN.m]	μ	μ_l	Obs	β	A _s [cm ²]	A _{min} [cm ²]	Ferrailage	A _s adoptée [cm ²]
11	110,914	0,1902	0,392	SSA	0,894	7,289	6	3HA16+2HA14	9,11
10	118,508	0,2032	0,392	SSA	0,8855	7,863	6	3HA16+2HA14	9,11
9	118,508	0,2032	0,392	SSA	0,8855	7,863	6	3HA16+2HA14	9,11
8	118,508	0,2032	0,392	SSA	0,8855	7,863	6	3HA16+2HA14	9,11
7	117,230	0,2010	0,392	SSA	0,8865	7,770	6	3HA16+2HA14	9,11
6	118,145	0,2026	0,392	SSA	0,8858	7,836	6	3HA16+2HA14	9,11
5	118,145	0,2026	0,392	SSA	0,8858	7,836	6	3HA16+2HA14	9,11
4	118,145	0,2026	0,392	SSA	0,8858	7,836	6	3HA16+2HA14	9,11
3	116,136	0,1991	0,392	SSA	0,888	7,684	6	3HA16+2HA14	9,11
2	108,919	0,1868	0,392	SSA	0,8955	7,146	6	3HA16+2HA14	9,11
1	128,218	0,2199	0,392	SSA	0,874	8,619	6	3HA16+3HA14	10,66

	Ferrailage aux appuis des poutres longitudinales a l'ELU								
Niveau	Mu [kN.m]	μ	μ_1	Obs	β	As [cm ²]	Amin [cm ²]	Ferrailage	As adoptée [cm ²]
11	9,127	0,0157	0,392	SSA	0,9922	0,540	5,25	3HA14	4,62
10	9,582	0,0164	0,392	SSA	0,9917	0,568	5,25	3HA14	4,62
9	9,582	0,0164	0,392	SSA	0,9917	0,568	5,25	3HA14	4,62
8	9,582	0,0164	0,392	SSA	0,9917	0,568	5,25	3HA14	4,62
7	9,413	0,0161	0,392	SSA	0,992	0,558	5,25	3HA14	4,62
6	9,475	0,0162	0,392	SSA	0,992	0,561	5,25	3HA14	4,62
5	9,475	0,0162	0,392	SSA	0,992	0,561	5,25	3HA14	4,62
4	9,475	0,0162	0,392	SSA	0,992	0,561	5,25	3HA14	4,62
3	9,276	0,0159	0,392	SSA	0,992	0,549	5,25	3HA14	4,62
2	10,247	0,0176	0,392	SSA	0,991	0,608	5,25	3HA14	4,62
1	11,588	0,0199	0,392	SSA	0,99	0,688	5,25	3HA14	4,62

	Ferrailage aux appuis des poutres transversales a l'ELU								
Niveau	Mu [kN.m]	μ	μ_1	Obs	β	As [cm ²]	Amin [cm ²]	Ferrailage	As adoptée [cm ²]
11	37,480	0,064	0,392	SSA	0,967	2,277	6	3HA14	4,62
10	42,388	0,073	0,392	SSA	0,9625	2,588	6	3HA14	4,62
9	42,388	0,073	0,392	SSA	0,9625	2,588	6	3HA14	4,62
8	42,388	0,073	0,392	SSA	0,9625	2,588	6	3HA14	4,62
7	43,061	0,074	0,392	SSA	0,962	2,630	6	3HA14	4,62
6	43,650	0,0748	0,392	SSA	0,9607	2,670	6	3HA14	4,62
5	43,650	0,0748	0,392	SSA	0,9607	2,670	6	3HA14	4,62
4	43,650	0,0748	0,392	SSA	0,9607	2,670	6	3HA14	4,62
3	43,448	0,075	0,392	SSA	0,961	2,656	6	3HA14	4,62
2	43,818	0,075	0,392	SSA	0,8955	2,875	6	3HA14	4,62
1	50,407	0,086	0,392	SSA	0,955	3,101	6	3HA14	4,62

3- Vérification a l'ELU :

- **Condition de non fragilité :** [Art A.4.1 ,1/BAEL91 modifiées 99]

$$A_s \geq A_{\min} = 0.23 b d f_{t28} / f_e$$

- Poutres principales de (30×40):

$$A_s \geq A_{\min} = 0.23 b d f_{t28} / f_e = 0.23 \cdot 30 \cdot 37.2 \cdot 1/400 = 1.34 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{condition vérifiée}$$

- Poutres secondaires de (30×35):

$$A_s \geq A_{\min} = 0.23 b d f_{t28} / f_e = 0.23 \cdot 30 \cdot 32.2 \cdot 1/400 = 1.16 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{condition vérifiée}$$

La condition de non fragilité est vérifiée, ainsi que les sections recommandées par le RPA

- **Justification de l'âme sous l'effort tranchant :** [Art A.5.1 .1/BAEL91 modifiées 99]

Les justifications de l'âme d'une poutre sont conduites à partir de la condition tangente τ_u prise conventionnellement égale :

$$\tau_u = \frac{T_u^{\max}}{b d}$$

$$\text{Poutres principales : } \tau_u = 118,495 \cdot 10^{-3} / 0.3 \cdot 0.37 = 1.07 \text{ MPa}$$

$$\text{Poutres secondaires : } \tau_u = 21,99 \cdot 10^{-3} / 0.3 \cdot 0.32 = 0.23 \text{ MPa}$$

- **Etat limite ultime du béton de l'âme :** [Art A.5.1 .21/BAEL91 modifiées 99]

- Contrainte tangente conventionnelle :

$$\tau_u = \frac{T_u^{\max}}{b \cdot d} \leq \bar{\tau}_u = \min \left(\frac{0.2 \cdot f_{c28}}{\gamma_b}; 5 \text{ MPa} \right) = 3.33 \text{ MPa}$$

Pour des fissurations peu préjudiciables

$$\text{Poutres principales : } \tau_u = 1.07 \text{ MPa} \leq 3.33 \text{ MPa} \Rightarrow \text{condition vérifiée.}$$

$$\text{Poutres secondaires : } \tau_u = 0.23 \text{ MPa} \leq 3.33 \text{ MPa} \Rightarrow \text{condition vérifiée.}$$

- **Vérification de l'adhérence :**

$$\tau_{se} = \frac{T_u^{\max}}{0.9 \cdot d \cdot \sum U_i} < \tau_{se} = \psi_s \cdot f_{t28} = 3.15 \text{ MPa}$$

$\sum U_i$: Sommes des périmètres utiles des barres

- Poutres principales : $T_u^{\max} = 118.495 \text{ kN}$

$$\sum U_i = 4 \times 3.14 \times 1.6 = 20.1 \text{ cm}$$

$$\tau_{se} = \frac{T_u^{\max}}{0.9 \cdot d \cdot \sum U_i} = \frac{118.495 \times 10}{0.9 \cdot 37 \cdot 20.1} = 1.77 \text{ MPa}$$

$\Rightarrow$ Condition vérifiée, donc il n y a pas de risque d'entraînement des barres.

- Poutres secondaires : $T_u^{\max} = 21,99 \text{ kN}$

$$\sum U_i = 2 \times 3.14 \times 1.6 = 10.05 \text{ cm}$$

$$\tau_{se} = \frac{T_u^{\max}}{0.9 \cdot d \cdot \sum U_i} = \frac{21.99 \times 10}{0.9 \cdot 32 \cdot 10.05} = 0.759 \text{ MPa}$$

$\Rightarrow$ Condition vérifiée, donc il n'y a pas de risque d'entraînement des barres.

- **Influence de l'effort tranchant sur béton au niveau des appuis :**

[Art A.5.1 .32/BAEL91 modifiées 99]

$$T_u \leq \bar{T}_u = 0.4 \cdot a \cdot b \cdot \frac{f_{c28}}{\gamma_b}, \quad a = 0.9 d$$

Poutres principales :

$$T_u = 118.495 \text{ kN} \leq 0.4 \times 0.9 \times 370 \times 300 \times 25 \times 10^{-2} / 1.5 = 666 \text{ kN} \Rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

Poutres secondaires :

$$T_u = 21.99 \text{ kN} \leq 0.4 \times 0.9 \times 320 \times 300 \times 25 \times 10^{-2} / 1.5 = 570 \text{ kN} \Rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

- **Influence de l'effort tranchant sur les armatures longitudinales :**

Lorsqu'on doit d'un appui : $T_u - \frac{M_u}{0.9d} > 0$. On doit prolonger au delà de l'appareil de l'appui,

une section d'armatures pour équilibrer un moment égale à $T_u - \frac{M_u}{0.9d}$

$$\text{D'où } A_a \geq \frac{1.15}{f_c} \left(V_u - \frac{M_u}{0.9d} \right).$$

$$\text{-Poutres principales : } T_u - \frac{M_u}{0.9d} = 118.495 - \frac{128.218}{0.9 \times 0.37} = -266.544 < 0$$

$$\text{-Poutres secondaires : } T_u - \frac{M_u}{0.9d} = 21.99 - \frac{31.305}{0.9 \times 0.32} = -86.71 < 0$$

Les armatures supplémentaires ne sont pas nécessaires.

- **Calcul de longueur de scellement droit des barres :**

$$l_s = \frac{\phi f_c}{4 \times \tau_{su}} \quad \text{avec : } \tau_{su} = 0.6 \times \psi_s \times f_{t28} = 2.835 \text{ MPa}$$

Pour les $\Phi 12$: $l_s = 42.33 \text{ cm}$.

Pour les $\Phi 14$: $l_s = 49.38 \text{ cm}$.

Pour les $\Phi 16$: $l_s = 56.44 \text{ cm}$.

Pour l'encrage des barres rectilignes terminées par un crochet normal, la longueur de la partie ancrée mesurée hors crochet est au moins égale à « $0.4 l_s$ » pour barre à haute adhérence.

Pour les $\Phi 12$: $l_s = 16.93 \text{ cm}$.

Pour les $\Phi 14$: $l_s = 19.75 \text{ cm}$.

Pour les $\Phi 16$: $l_s = 22.58 \text{ cm}$.

4- Vérification a l'ELS :

- **L'état limite de compression du béton :**

La contrainte de compression du béton ne doit pas dépasser la contrainte admissible

$$\sigma_{bc} \leq \bar{\sigma}_{bc} = 0,6 f_{c28} = 15 [\text{MPa}]$$

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I_x} \times y_1$$

I_x : Moment quadratique par rapport à l'axe neutre.

$$I_x = \frac{b \times y_1^3}{3} + n A'_s (y_1 - d')^2 + n A_s (d - y_1)^2$$

y_1 : position de l'axe neutre, donnée par l'équation :

$$\frac{b}{2} y_1^3 - n A'_s (y_1 - d') - n A_s (d - y_1) = 0$$

Remarque :

On peut aussi utiliser la méthode par tableau qui permet d'effectuer avec rapidité et précision le calcul des contraintes σ_{bc} et σ_s

-On détermine $\rho_1 = \frac{100 A_s}{b d}$

-déduire les valeurs de β_1 et K.

-les contraintes valent alors :

$$\sigma_{bc} = K \sigma_s \quad \text{et} \quad \sigma_s = \frac{M_{ser}}{\beta d A_s}$$

Les résultats sont donnés dans les tableaux suivants :

- **Vérification de l'état limite de compression du béton des poutres longitudinales :**

En travée									
NIV	$M_s^{\max}$	$A_{\text{adopté}}$	ρ_1	β_1	K	σ_s [Mpa]	σ_{bc} [Mpa]	$\overline{\sigma}_{bc}$ [Mpa]	observation
11	18,424	5,56	0,579	0,887	0,034	100,968	3,453	15	vérifiée
10	19,107	5,56	0,579	0,887	0,034	104,711	3,581		vérifiée
9	19,107	5,56	0,579	0,887	0,034	104,711	3,581		vérifiée
8	19,107	5,56	0,579	0,887	0,034	104,711	3,581		vérifiée
7	18,683	5,56	0,579	0,887	0,034	102,387	3,502		vérifiée
6	18,746	5,56	0,579	0,887	0,034	102,733	3,513		vérifiée
5	18,746	5,56	0,579	0,887	0,034	102,733	3,513		vérifiée
4	18,746	5,56	0,579	0,887	0,034	102,733	3,513		vérifiée
3	18,295	5,56	0,579	0,887	0,034	100,261	3,429		vérifiée
2	20,005	5,56	0,579	0,887	0,034	109,632	3,749		vérifiée
1	22,452	5,56	0,579	0,887	0,034	123,042	4,208		vérifiée

Aux appuis									
NIV	$M_s^{\max}$	$A_{\text{adopté}}$	ρ_1	β_1	K	σ_s [Mpa]	σ_{bc} [Mpa]	$\overline{\sigma}_{bc}$ [Mpa]	observation
11	6,692	4,62	0,481	0,8865	0,0344	44,160	1,519	15	vérifiée
10	6,992	4,62	0,481	0,8865	0,0344	46,140	1,587		vérifiée
9	6,992	4,62	0,481	0,8865	0,0344	46,140	1,587		vérifiée
8	6,992	4,62	0,481	0,8865	0,0344	46,140	1,587		vérifiée
7	6,869	4,62	0,481	0,8865	0,0344	45,328	1,559		vérifiée
6	6,914	4,62	0,481	0,8865	0,0344	45,625	1,570		vérifiée
5	6,914	4,62	0,481	0,8865	0,0344	45,625	1,570		vérifiée
4	6,914	4,62	0,481	0,8865	0,0344	45,625	1,570		vérifiée
3	6,769	4,62	0,481	0,8865	0,0344	44,669	1,537		vérifiée
2	7,420	4,62	0,481	0,8865	0,0344	48,965	1,684		vérifiée
1	8,311	4,62	0,481	0,8865	0,0344	54,844	1,887		vérifiée

- Vérification de l'état limite de compression du béton des poutres transversales :

en travée									
NIV	$M_s^{\max}$	$A_{\text{adopté}}$	ρ_1	β_1	K	σ_s [Mpa]	σ_{bc} [Mpa]	$\overline{\sigma}_{bc}$ [Mpa]	observation
11	80,921	9,11	0,8207	0,901	0,042	266,450	11,191	15	vérifiée
10	85,901	9,11	0,8207	0,901	0,042	282,848	11,880		vérifiée
9	85,901	9,11	0,8207	0,901	0,042	282,848	11,880		vérifiée
8	85,901	9,11	0,8207	0,901	0,042	282,848	11,880		vérifiée
7	84,981	9,11	0,8207	0,901	0,042	279,819	11,752		vérifiée
6	85,649	9,11	0,8207	0,901	0,042	282,018	11,845		vérifiée
5	85,649	9,11	0,8207	0,901	0,042	282,018	11,845		vérifiée
4	85,649	9,11	0,8207	0,901	0,042	282,018	11,845		vérifiée
3	84,192	9,11	0,8207	0,901	0,042	277,221	11,643		vérifiée
2	78,192	9,11	0,8207	0,901	0,042	257,465	10,814		vérifiée
1	91,022	10,66	0,9604	0,901	0,042	256,131	10,758		vérifiée

aux appuis									
NIV	$M_s^{\max}$	$A_{\text{adopté}}$	ρ_1	β_1	K	σ_s [Mpa]	σ_{bc} [Mpa]	$\overline{\sigma}_{bc}$ [Mpa]	observation
11	27,261	4,62	0,4162	0,901	0,028	177,000	4,956	15	vérifiée
10	30,648	4,62	0,4162	0,901	0,028	198,991	5,572		vérifiée
9	30,648	4,62	0,4162	0,901	0,028	198,991	5,572		vérifiée
8	30,648	4,62	0,4162	0,901	0,028	198,991	5,572		vérifiée
7	31,155	4,62	0,4162	0,901	0,028	202,283	5,664		vérifiée
6	31,594	4,62	0,4162	0,901	0,028	205,133	5,744		vérifiée
5	31,594	4,62	0,4162	0,901	0,028	205,133	5,744		vérifiée
4	31,594	4,62	0,4162	0,901	0,028	205,133	5,744		vérifiée
3	31,458	4,62	0,4162	0,901	0,028	204,250	5,719		vérifiée
2	31,457	4,62	0,4162	0,901	0,028	204,244	5,719		vérifiée
1	35,783	4,62	0,4162	0,901	0,028	232,332	6,505		vérifiée

- **Etat limite d'ouvertures des fissures :**

La fissuration étant peu nuisible, alors aucune vérification n'est nécessaire.

- **Etat limite de déformation du béton :**

La flèche développée au niveau de la poutre doit rester suffisamment petit par rapport à la flèche admissible pour ne pas nuire à l'aspect et utilisation de la construction

Valeurs limites de la flèche :

$$\text{Pour } L \leq 5 \text{ m} \Rightarrow \bar{f} = \frac{L}{500}$$

- **Evaluation de la flèche : [BAEL91/B.6.5,3] :**

$$f = \frac{M_s L^2}{10 E_v I_{fv}} \leq \bar{f} \quad \text{avec : } I_{fv} = \frac{1,1 I_0}{1 + \lambda_v \mu}$$

$$\mu = \max \left\{ 1 - \frac{1,75 f_{t28}}{4 \rho \sigma_s + f_{t28}}, 0 \right\} \quad \text{et } \lambda_v = \frac{0,02 f_{t28}}{5 \rho}$$

L : Portée libre de la poutre mesurée entre nus d'appuis .

M_s : moments de service maximal.

I_{fv} : Moment d'inertie fictif.

E_v : Module de déformation longitudinale différée du béton.

$$E_v = 3700 \sqrt[3]{f_{c28}} = 3700 \sqrt[3]{25} = 10818,866 \text{ MPa.}$$

I_0 : Moment d'inertie de la section homogénéisée calculé par rapport au centre de gravité de la section

$$I_0 = \frac{b h^3}{12} + 15 \left[A_s \left(\frac{h}{2} - c \right)^2 + A'_s \left(\frac{h}{2} - c' \right)^2 \right] = \frac{b h^3}{12} + 15 \left[A_s \left(\frac{h}{2} - c \right)^2 \right]$$

$$\lambda_v = 0.02 f_{t28} / 5 \rho$$

$$\mu = \max \left\{ 1 - \left(\frac{1.75 f_{t28}}{4 \rho \sigma_s + f_{t28}}; 0 \right) \right\}$$

ρ : Rapport des aciers tendus à celui de la section utile de la nervure (% d'armatures)

$$\rho = \frac{A_s}{b d}$$

σ_s : Contrainte dans les aciers tendus.

$$\sigma_s = \frac{M_s}{\beta_1 d A_s} \quad (\text{Calculée dans l'état limite de compression du béton}).$$

Les résultats sont donnés dans les tableaux suivants :

vérification de la fleche dans le sens longitudinal														
NIV	Ms (kN m)	L (mm)	Ev (Mpa)	h (cm)	A (cm ²)	ρ	λv	σ _s (Mpa)	μ	I ₀ (cm ⁴)	I _{fv} (cm ⁴)	f (mm)	f̄ [mm]	Obs
11	18,424	3700	10818,87	35	5,56	0,006	1,450	100,968	0,1721	108356,49	95380,604	2,444	7,4	vérifiée
10	19,107	3700	10818,87	35	5,56	0,006	1,450	104,711	0,1880	108356,49	93656,445	2,582	7,4	vérifiée
9	19,107	3700	10818,87	35	5,56	0,006	1,450	104,711	0,1880	108356,49	93656,445	2,582	7,4	vérifiée
8	19,107	3700	10818,87	35	5,56	0,006	1,450	104,711	0,1880	108356,49	93656,445	2,582	7,4	vérifiée
7	18,683	3700	10818,87	35	5,56	0,006	1,450	102,387	0,1782	108356,49	94711,463	2,496	7,4	vérifiée
6	18,746	3700	10818,87	35	5,56	0,006	1,450	102,733	0,1797	108356,49	94551,586	2,509	7,4	vérifiée
5	18,746	3700	10818,87	35	5,56	0,006	1,450	102,733	0,1797	108356,49	94551,586	2,509	7,4	vérifiée
4	18,746	3700	10818,87	35	5,56	0,006	1,450	102,733	0,1797	108356,49	94551,586	2,509	7,4	vérifiée
3	18,295	3700	10818,87	35	5,56	0,006	1,450	100,261	0,1691	108356,49	95721,188	2,418	7,4	vérifiée
2	20,005	3700	10818,87	35	5,56	0,006	1,450	109,632	0,2079	108356,49	91574,164	2,764	7,4	vérifiée
1	22,452	3700	10818,87	35	5,56	0,006	1,450	123,042	0,2576	108356,49	86768,329	3,274	7,4	vérifiée
vérification de la fleche dans le sens transversal														
NIV	Ms (kN m)	L (mm)	Ev (Mpa)	h (cm)	A (cm ²)	ρ	λv	σ _s (Mpa)	μ	I ₀ (cm ⁴)	I _{fv} (cm ⁴)	f (mm)	f̄ [mm]	Obs
11	80,921	3950	10818,87	40	9,11	0,0082	1,023	266,450	0,6612	162632,79	106693	7,1097	7,9	vérifiée
10	85,901	3950	10818,87	40	9,11	0,0082	1,023	282,848	0,6772	162632,79	105659,88	7,6210	7,9	vérifiée
9	85,901	3950	10818,87	40	9,11	0,0082	1,023	282,848	0,6772	162632,79	105659,88	7,6210	7,9	vérifiée
8	85,901	3950	10818,87	40	9,11	0,0082	1,023	282,848	0,6772	162632,79	105659,88	7,6210	7,9	vérifiée
7	84,981	3950	10818,87	40	9,11	0,0082	1,023	279,819	0,6744	162632,79	105841,85	7,5265	7,9	vérifiée
6	85,649	3950	10818,87	40	9,11	0,0082	1,023	282,018	0,6764	162632,79	105709,34	7,5951	7,9	vérifiée
5	85,649	3950	10818,87	40	9,11	0,0082	1,023	282,018	0,6764	162632,79	105709,34	7,5951	7,9	vérifiée
4	85,649	3950	10818,87	40	9,11	0,0082	1,023	282,018	0,6764	162632,79	105709,34	7,5951	7,9	vérifiée
3	84,192	3950	10818,87	40	9,11	0,0082	1,023	277,221	0,6719	162632,79	106001	7,4454	7,9	vérifiée
2	78,192	3950	10818,87	40	9,11	0,0082	1,023	257,465	0,6517	162632,79	107313,41	6,8302	7,9	vérifiée
1	91,022	3950	10818,87	40	10,66	0,0096	0,875	256,131	0,6922	163080,74	111738,25	7,6361	7,9	vérifiée

5- Calcul des armatures transversales :

- **Diamètre des aciers transversaux :**

$$\phi_t \leq \min (h/35 ; \phi_L ; b/10) = (11.43 ; 14 ; 30)$$

On prend $\phi_t = 8\text{mm}$

On choisira 1 cadre et 1 étrier donc $A_t = 4\phi 8 = 2.01\text{cm}^2$

- **Espacement maximal :**

Vérification des exigences du RPA :

- Zone nodale $\longrightarrow St \leq \min (h/4 ; 12 \phi_L) \Rightarrow St \leq 10\text{ cm}$
 - poutres principales de (30 X 40) : $St = 10\text{cm}$
 - poutres secondaires de (30 X 35) : $St=8.75\text{cm}$
- Zone courante $\rightarrow St \leq h/2 = 20\text{cm}$
 - poutres principales de (30 X40) : $St = 20\text{cm}$
 - Poutres secondaires de (30 X 35) : $St = 17.5\text{cm}$
 - Soit $St = 15\text{cm}$

Remarque : Les premières armatures transversales doivent être disposées à 5cm au plus du nu de l'appui ou de l'encastrement.

- **Délimitation de la zone nodale :**

$$L' = 2 \times h$$

$$h' = \max \left\{ \frac{h_e}{6} ; b_1 ; h_1 ; 60\text{cm} \right\}$$

h : hauteur de la poutre.

b_1 et h_1 : dimensions du poteau.

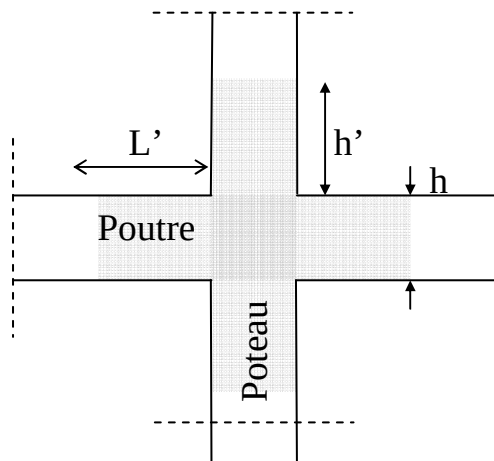
h_e : hauteur entre nus des poutres.

On aura :

- $h' = 60\text{ cm}$

- $L' = 2 \times 40 = 80\text{ cm}$: poutre principales de (30x40):

- $L' = 2 \times 35 = 70\text{ cm}$: poutre secondaire de (30x35):



Remarque :

Le cadre d'armature transversale doit être disposé à 5cm au plus du nu d'appui ou de l'encastrement.

- **Armatures transversales minimales :**

La quantité d'armatures minimales est :

$$A_t^{\min} = 0,003 S_t b = 0.003 \times 15 \times 30 = 1.35\text{cm}^2$$

$$A_t = 4\phi 8 = 2.01\text{ cm}^2 > A_t^{\min} = 1.125\text{cm}^2 ; \text{condition vérifiée}$$

- **Disposition constructive :**

Conformément au CBA 93 annexe E₃, concernant la détermination de la longueur des chapeaux et des barres inférieures de second lit, il y'a lieu d'observer les recommandations suivantes qui stipulent que :

- La longueur des chapeaux à partir des murs d'appuis est au moins égale :

$\frac{L}{5}$ de la plus grande portée des deux travées encadrant l'appui considéré s'il s'agit d'un appui n'appartenant pas à une travée de rive.

$\frac{L}{4}$ de la plus grande portée des deux travées encadrant l'appui considéré s'il s'agit d'un appui intermédiaire voisin d'un appui de rive.

-La moitié au moins de la section des armatures inférieures nécessaire en travée est prolongées jusqu' aux appuis et les armatures de second lit sont arrêtées à une distance des appuis au plus égale à $\frac{L}{10}$ de la portée.

B- Ferrailage des poteaux :

Le calcul se fera en flexion composée sous les combinaisons les plus défavorables en tenant compte des combinaisons suivantes :

- Effort normal maximal de compression et moment correspondant.
- Effort normal minimal de compression et moment correspondant.
- Moment maximal et effort normal correspondant.

1- Recommandation du RPA 2003 :

▪ Armature longitudinales :

Les armatures longitudinales doivent être à haute adhérence, droites et sans crochets,

- Le diamètre minimal est de 12 mm,
- La longueur minimale de recouvrement est de 40ϕ (zone IIa),
- La distance entre les barres verticales dans une face du poteau ne doit pas dépasser 25 cm.
- Pour tenir compte de la réversibilité du séisme, les poteaux doivent être ferrailés symétriquement.
- Leur pourcentage minimal est de 0,8% zone IIa.

Pour les niveaux (1,2 et 3) $A_{\min} = 0,008 \times 40 \times 40 = 12,8 \text{ cm}^2$.

Pour les niveaux (4,5,6 et 7) $A_{\min} = 0,008 \times 35 \times 35 = 9,8 \text{ cm}^2$.

Pour les niveaux (8,9,10 et 11) $A_{\min} = 0,008 \times 30 \times 30 = 7,2 \text{ cm}^2$.

- Leur pourcentage maximal est de :
 - 4% en zone courante.

Pour les niveaux (1,2 et 3) $A_{\max} = 0,04 \times 40 \times 40 = 64 \text{ cm}^2$.

Pour les niveaux (4,5,6 et 7) $A_{\max} = 0,04 \times 35 \times 35 = 49 \text{ cm}^2$.

Pour les niveaux (8,9,10 et 11) $A_{\max} = 0,04 \times 30 \times 30 = 36 \text{ cm}^2$.

- 6% en zone de recouvrement.

Pour les niveaux (1,2 et 3) $A_{\max} = 0,06 \times 40 \times 40 = 96 \text{ cm}^2$.

Pour les niveaux (4,5,6 et 7) $A_{\max} = 0,06 \times 35 \times 35 = 73,5 \text{ cm}^2$.

Pour les niveaux (8,9,10 et 11) $A_{\max} = 0,06 \times 30 \times 30 = 54 \text{ cm}^2$.

▪ Armature transversale :

Les armatures transversales des poteaux sont calculées à l'aide de la formule suivante :

$$\frac{A_t}{S_t} = \frac{\rho_a \cdot V_u}{h_l \cdot f_e}$$

Avec :

V_u : Effort tranchant de calcul.

h_l : Hauteur de la section brute.

f_e : Contrainte limite élastique des armatures transversales.

ρ_a : Coefficient correcteur.

$$\rho_a = \begin{cases} 2.5 & \text{Si } \lambda_g \geq 5 \\ 3.75 & \text{Si } \lambda_g < 5 \end{cases}$$

- L'espace (S_t) des armatures est donné par :

$$S_t \leq \min (15 \text{ cm} ; 10 \varnothing_1) \text{ en zone nodale.}$$

$$S_t \leq 15 \varnothing_1 \text{ en zone courante.}$$

Où : $\varnothing_1$ est le diamètre minimal des armatures longitudinales du poteau.

- La quantité d'armatures transversales est donnée comme suite :

- Si $\lambda_g \geq 5 \Rightarrow A_{min} = 0,3 \times b_0 \times S_t$
- Si $\lambda_g \leq 3 \Rightarrow A_{min} = 0,8 \times b_0 \times S_t$
- Si $3 \leq \lambda_g \Rightarrow A_{min} = L'$ interpolation entre les valeurs limites précédentes.

Avec :

λ_g : élancement géométrique du poteau.

$$\lambda_g = \frac{Lf}{a} \text{ ou } \frac{Lf}{b}$$

a ; b : dimensions de la section droite du poteau dans la direction de déformation considérée.

lf: Longueur de flambement du poteau ; qui égal dans ce cas $0,7l_0$

- Les cadres et les étriers doivent être fermés par un crochet à 135° ayant une longueur $10\phi_t$ minimale.

2- Calcul des armatures à L'ELU :

2-1 Rappel :

▪ Section partiellement comprimée (S.P.C) :

La section est partiellement comprimée si l'une des deux conditions suivantes est satisfaite :

- Le centre de pression se trouve à l'extérieur de segment limité par les armatures

($\forall$ L'effort normal appliqué, effort de traction ou de compression).

$$e_u = \frac{M_u}{N_u} > \left(\frac{h}{2} - c' \right)$$

Le centre de pression se trouve à l'intérieur de segment limité par les armatures et l'effort normal appliqué est de compression, et la condition suivante est vérifiée :

$$N_u(d - c') - M_f \leq (0.337h - 0.81c').b.h^2.f_{bc}$$

Avec :

$$g = e + \left(\frac{h}{2} - c'\right) \dots \dots \dots \text{Si (N) étant un effort de compression}$$

$$g = e - \left(\frac{h}{2} - c'\right) \dots \dots \dots \text{Si (N) étant un effort de traction.}$$

• **Détermination des armatures :**

Calcul du moment fictif :

$$M_f = M + N_u \left(\frac{h}{2} - c'\right) = N \times g$$

Calcul du moment réduit :

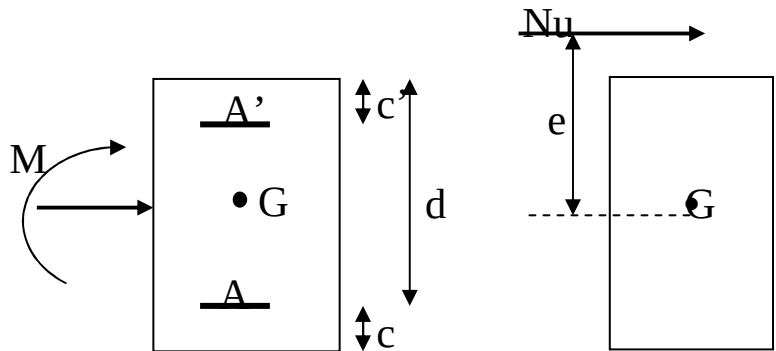
$$\mu_f = \frac{M_f}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}}$$

Si $\mu_f \leq \mu_l = 0.392 \Rightarrow \text{SSA (A'=0)}$

Armatures fictives :

$$A_f = \frac{M_f}{\beta_f \cdot d \cdot \sigma_{st}}$$

Armatures réelles



$$A = A_f \pm \frac{N}{\sigma_{st}} \begin{cases} (-) \text{ si N : effort de compression.} \\ (+) \text{ si N : effort de traction.} \end{cases}$$

Si $\mu_f > \mu_l = 0.392 \Rightarrow \text{la section est doublement armée (A' \neq 0)}$

- **Armatures en flexion simple :**

$$M_l = \mu_l \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{bc}$$

$$\Delta M = M_f - M_l$$

$$A_f = \frac{M_f}{\beta_f \cdot d \cdot \sigma_{st}} + \frac{\Delta M}{(d - c') \sigma_{st}}$$

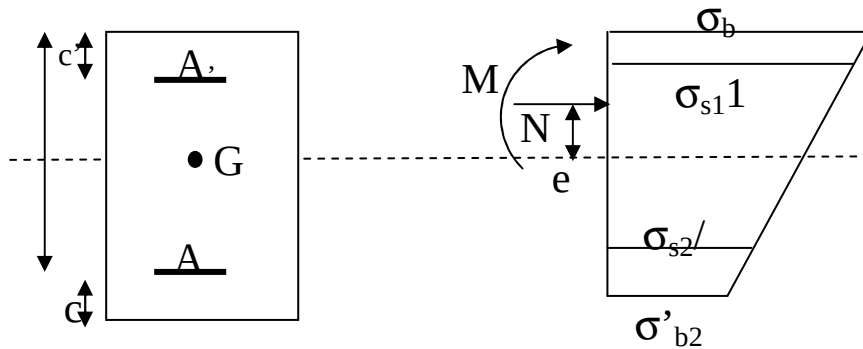
$$A'_f = \frac{\Delta M}{(d - c') \sigma_{st}}$$

- **Armatures en flexion composée :**

$$A = A'_f$$

$$A = A_f \pm \frac{N_u}{\sigma_{st}}$$

▪ **Section entièrement comprimé (S.E.C) :**



La section est entièrement comprimée suivantes sont satisfaites :

$$e_u = \frac{M_u}{N_u} < \left(\frac{h}{2} - c' \right)$$

- Le centre de pression est situé dans la zone délimitée par les armatures.
- N : effort de compression.
- et la condition suivante est vérifiée :

$$N_u(d - c') - M_f > (0.337h - 0.81c').b.h.f_{bc}$$

• **Détermination des armatures :**

1^{er} cas: $N_u(d - c') - M_f \geq (0.5h - c').b.h.f_{bc} \rightarrow S.D.A$

$$A = \frac{N_u - b.h.f_{bc}}{\sigma_{bc}} - A'$$

$$A' = \frac{M_f - b.h.f_{bc}(d - 0.5h)}{\sigma_{st}(d - c')}$$

A' : Armatures comprimées.

A : Armatures tendues.

2^{ème} cas: $N_u(d - c') - M_f \leq (0.5h - c').b.h.f_{bc} \rightarrow S.S.A$

$$A = 0 \quad A' = \frac{N_u - \psi.b.h.f_{bc}}{\sigma'_{st}}$$

$$\psi = \frac{0.3571 + \frac{N_u(d - c') - M_f}{b.h^2.f_{bc}}}{0.8571 - \frac{c'}{h}}$$

2-2 Application numérique:

▪ Sens longitudinal :

Détermination de la nature des sections :

Section	Sollicitations	Nc (kN)	M (kN.M)	e (m)	(h/2 -c')	Mf (kN.m)	Nature
30x30	Nmax-Mcorr	185,88	0,476	0,003	0,12	22,782	SEC
	Nmin-Mcorr	15,556	2,424	0,156	0,12	4,291	SPC
	Mmax-Ncorr	2,424	15,556	6,417	0,12	15,847	SPC
35x35	Nmax-Mcorr	417,396	0,610	0,001	0,145	61,132	SEC
	Nmin-Mcorr	155,503	-2,554	-0,016	0,145	19,994	SEC
	Mmax-Ncorr	158,549	2,554	0,016	0,145	25,544	SEC
40x40	Nmax-Mcorr	624,816	1,017	0,002	0,17	107,236	SEC
	Nmin-Mcorr	328,226	-2,800	-0,009	0,17	52,998	SEC
	Mmax-Ncorr	433,377	3,365	0,008	0,17	77,039	SEC

Ferrailage des poteaux :

Niveau	Section	Sollicitations	Nc (KN)	M (KN.m)	Mf (KN.m)	Obs	A' (cm²)	A (cm²)	Amin (cm²)	Aadp (cm²)
11à8	30x30	Nmax-Mcorr	185,88	0,476	22,781	SSA	0	0	7,2	8HA12 = 9,05
		Nmin-Mcorr	15,556	2,424	4,290	SSA	0	0,01	7,2	8HA12 = 9,05
		Mmax-Ncorr	2,424	15,556	15,846	SSA	0	1,66	7,2	8HA12 = 9,05
7à4	35x35	Nmax-Mcorr	417,396	0,610	61,132	SSA	0	0	9,8	4HA14+4HA12 = 10,67
		Nmin-Mcorr	155,503	-2,554	19,993	SSA	0	0	9,8	4HA14+4HA12 = 10,67
		Mmax-Ncorr	158,549	2,554	25,543	SSA	0	0	9,8	4HA14+4HA12 = 10,67
3à1	40x40	Nmax-Mcorr	624,816	1,017	107,235	SSA	0	0	12,8	4HA16+4HA14 = 14,19
		Nmin-Mcorr	328,226	-2,800	52,998	SSA	0	0	12,8	4HA16+4HA14 = 14,19
		Mmax-Ncorr	433,377	3,365	77,039	SSA	0	0	12,8	4HA16+4HA14 = 14,19

▪ **Sens transversal:**

Détermination de la nature des sections :

Section	Sollicitations	Nc (kN)	M (kN.M)	e (m)	(h/2 -c')	Mf (kN.m)	Nature
30x30	Nmax-Mcorr	570,534	-4,777	-0,008	0,12	63,687	SEC
	Nmin-Mcorr	68,713	6,098	0,089	0,12	14,344	SEC
	Mmax-Ncorr	116,681	17,937	0,154	0,12	31,939	SPC
35x35	Nmax-Mcorr	1180,244	-6,872	-0,006	0,145	164,263	SEC
	Nmin-Mcorr	440,778	8,533	0,019	0,145	72,446	SEC
	Mmax-Ncorr	440,778	8,533	0,019	0,145	72,446	SEC
40x40	Nmax-Mcorr	1761,547	-14,442	-0,008	0,17	285,021	SEC
	Nmin-Mcorr	840,947	10,287	0,012	0,17	153,248	SEC
	Mmax-Ncorr	1535,268	30,258	0,020	0,17	291,254	SEC

Ferrailage des poteaux :

Niveau	Section	Sollicitations	Nc (kN)	M (kN.m)	Mf (kN.m)	Obs	A' (cm ²)	A (cm ²)	Amin (cm ²)	Aadp (cm ²)
11à8	30x30	Nmax-Mcorr	570,534	-4,777	63,687	SSA	0	0	7,2	8HA12 = 9,05
		Nmin-Mcorr	68,713	6,098	14,343	SSA	0	0	7,2	8HA12 = 9,05
		Mmax-Ncorr	116,681	17,937	31,938	SSA	0	0,25	7,2	8HA12 = 9,05
7à4	35x35	Nmax-Mcorr	1180,244	-6,872	164,263	SSA	0	0	9,8	4HA14+4HA12 = 10,67
		Nmin-Mcorr	440,778	8,533	72,445	SSA	0	0	9,8	4HA14+4HA12 = 10,67
		Mmax-Ncorr	440,778	8,533	72,445	SSA	0	0	9,8	4HA14+4HA12 = 10,67
3à1	40x40	Nmax-Mcorr	1761,547	-14,442	285,02	SSA	0	0	12,8	4HA16+4HA14 = 14,19
		Nmin-Mcorr	840,947	10,287	153,247	SSA	0	0	12,8	4HA16+4HA14 = 14,19
		Mmax-Ncorr	1535,268	30,258	291,253	SSA	0	0	12,8	4HA16+4HA14 = 14,19

3- Vérification à l'ELS :

▪ **Etat limite de compression du béton :**

Les sections adoptées seront vérifiées à l'ELS, pour cela on détermine les contraintes max du béton et de l'acier afin de les comparer aux contraintes admissibles.

Contrainte admissible de l'acier : $\bar{\sigma}_s = 348 \text{ Mpa}$

Contrainte admissible du béton : $\bar{\sigma}_{bc} = 15 \text{ Mpa}$

Le calcul des contraintes du béton et de l'acier se fera dans les deux directions

- Si $\frac{M_{ser}}{N_{ser}} \leq h/6 \Rightarrow$ La section est entièrement comprimée.
- Si $\frac{M_{ser}}{N_{ser}} \geq h/6 \Rightarrow$ La section est partiellement comprimée.

Avec : M_{ser} : est le moment de flexion à l'ELS.

N_{ser} : est l'effort normal à l'ELS.

$B_0 = b.h + 15(A + A') \Rightarrow$ Section total homogène.

V_2 : Distance de l'axe neutre à la fibre la plus tendue.

$$\begin{cases} V_1 = \frac{1}{B_0} \left[\frac{b.h^2}{2} + 15(A.c' + A'.d) \right] \\ V_2 = h - V_1 \end{cases}$$

I_0 = moment d'inertie de la section homogène.

$$I_0 = \frac{b}{3} (V_1^3 + V_2^3) + 15[A.(V_1 - c)^2 + A'.(V_2 - c')^2]$$

On doit vérifier que :

- **Pour une section entièrement comprimée (S.E.C) :**

$$\sigma_b^1 = \frac{N}{B_0} + M_{ser} \cdot \frac{V_1}{I_0} \leq \overline{\sigma_{bc}} = 0.6.f_{c28} = 15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b^2 = \frac{N}{B_0} + M_{ser} \cdot \frac{V_2}{I_0} \leq \overline{\sigma_{bc}} = 0.6.f_{c28} = 15 \text{ MPa}$$

- **Pour une section partiellement comprimée (S.P.C) :**

$$\sigma_{bc} = K.y_{ser} \leq \overline{\sigma_{bc}} = 15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 15.K.(d - y_{ser}) \leq \overline{\sigma_{st}} = 348 \text{ MPa}$$

$$\text{Avec } K = \frac{N_{ser}}{S} ; S = \frac{b}{2}.y_{ser} + 15[A'.(y_{ser} - c') - A.(d - y_{ser})]$$

$$y_{ser} = y_c + c ; c = d - e_a ; e_a = \frac{M_{ser}}{N_{ser}} + \left(d - \frac{d}{2} \right)$$

y_c = Sera obtenu par résolution de l'équation :

$$y_c^3 + p.y_c + q = 0$$

$$p = -3.c^3 - \frac{90.A'}{b}(c - c') + \frac{90.A}{B}.(d - c)^2$$

$$q = -2.c^3 - \frac{90.A'}{b}(c - c') + \frac{90.A}{B}.(d - c)^2.$$

La solution de l'équation du 3^{ème} degré :

$$\Delta = q^2 + \frac{4 \cdot p^3}{27}$$

$$\text{Si } \Delta \geq 0 : t = 0.5 \cdot (\sqrt{\Delta} - q); u = \sqrt[3]{t} ; y = u - \frac{p}{3 \cdot u}$$

$$\text{Si } \Delta < 0 \Rightarrow \begin{cases} \cos \rho = \frac{3 \cdot q}{2 \cdot p} \cdot \sqrt{\frac{-3}{p}} \\ \rho = 2 \sqrt{\frac{-p}{3}} \end{cases}$$

Choisir une solution parmi les trois solutions

$$y_1 = a \cdot \cos\left(\frac{\rho}{3}\right); y_2 = a \cdot \cos\left(\frac{\rho}{3} + 120^\circ\right) \text{ et } y_3 = a \cdot \cos\left(\frac{\rho}{3} + 240^\circ\right)$$

a) Sens longitudinal :

Calcul des paramètres :

Niveau	Sollicitations	Ns (kN)	Ms (kN.m)	es (m)	(h/2 - c') (m)	Obs	As = A's(cm²)
11à8	Nmax-Mcorr	134,106	0,347	0,0026	0,12	SEC	9,05
	Nmin-Mcorr	11,405	1,777	0,1558	0,12	SPC	9,05
	Mmax-Ncorr	11,405	1,777	0,1558	0,12	SPC	9,05
7à4	Nmax-Mcorr	299,942	0,445	0,0015	0,145	SEC	10,67
	Nmin-Mcorr	111,332	-1,863	-0,0167	0,145	SEC	10,67
	Mmax-Ncorr	111,332	-1,863	-0,0167	0,145	SEC	10,67
3à1	Nmax-Mcorr	447,878	0,730	0,0016	0,17	SEC	14,19
	Nmin-Mcorr	232,585	-0,633	-0,0027	0,17	SEC	14,19
	Mmax-Ncorr	308,750	2,414	0,0078	0,17	SEC	14,19

Vérifications à l'ELS :

Niveau	Sollicitations	Obs	σ_{bc} (MPa)	$\sigma_{bc1} = \sigma_{bc2}$ (MPa)	$\overline{\sigma_{bc}}$ (MPa)	σ_s (MPa)	$\overline{\sigma_s}$ (MPa)	Obs
11à8	Nmax-Mcorr	SEC		1,193	15			Vérifiée
	Nmin-Mcorr	SPC	1,63		15	32,24	348	Vérifiée
	Mmax-Ncorr	SPC	1,63		15	32,24	348	Vérifiée
7à4	Nmax-Mcorr	SEC		1,982	15			Vérifiée
	Nmin-Mcorr	SEC		0,549	15			Vérifiée
	Mmax-Ncorr	SEC		0,549	15			Vérifiée
3à1	Nmax-Mcorr	SEC		2,254	15			Vérifiée
	Nmin-Mcorr	SEC		1,110	15			Vérifiée
	Mmax-Ncorr	SEC		1,668	15			Vérifiée

b) Sens transversal :

Calcul des paramètres :

Niveau	Sollicitations	Ns (kN)	Ms (kN.m)	es (m)	(h/2 -c') (m)	Obs	As = A's (cm²)
11à8	Nmax-Mcorr	413,060	-3,472	-0,0084	0,12	SEC	9,05
	Nmin-Mcorr	50,058	4,440	0,0887	0,12	SEC	9,05
	Mmax-Ncorr	84,897	13,047	0,1537	0,12	SPC	9,05
7à4	Nmax-Mcorr	852,932	-4,991	-0,0059	0,145	SEC	10,67
	Nmin-Mcorr	317, 529	6,178	0,0194	0,145	SEC	10,67
	Mmax-Ncorr	519,178	-5,548	-0,0107	0,145	SEC	10,67
3à1	Nmax-Mcorr	1268,068	-10,253	-0,0081	0,17	SEC	14,19
	Nmin-Mcorr	604,719	7,452	0,0123	0,17	SEC	14,19
	Mmax-Ncorr	1102,916	21,481	0,0195	0,17	SEC	14,19

Vérifications à l'ELS :

Niveau	Sollicitations	Obs	σ_{bc} (MPa)	$\sigma_{bc1} = \sigma_{bc2}$ (MPa)	$\overline{\sigma_{bc}}$ (MPa)	σ_s (MPa)	$\overline{\sigma_s}$ (MPa)	Obs
11à8	Nmax-Mcorr	SEC		3,034	15			Vérifiée
	Nmin-Mcorr	SEC		1,056	15			Vérifiée
	Mmax-Ncorr	SPC	4,2		15	52,5	348	Vérifiée
7à4	Nmax-Mcorr	SEC		5,062	15			Vérifiée
	Nmin-Mcorr	SEC		2,621	15			Vérifiée
	Mmax-Ncorr	SEC		2,851	15			Vérifiée
3à1	Nmax-Mcorr	SEC		5,645	15			Vérifiée
	Nmin-Mcorr	SEC		3,431	15			Vérifiée
	Mmax-Ncorr	SEC		6,730	15			Vérifiée

▪ **Vérification contraintes tangentielles :** (Art 7.4.2.2 RPA 2003)

La contrainte de cisaillement conventionnelle de calcul dans le béton sous combinaison_sismique doit être inférieure ou égale à la valeur limite suivante:

$$\tau_b = \frac{V_u}{b \cdot d} \leq \tau_{bu} = \rho_b \cdot f_{c28}$$

$$\rho_b = \begin{cases} 0.075 & \text{Si } \lambda_g \geq 5 \\ 0.04 & \text{Si } \lambda_g < 5 \end{cases}$$

Avec : $\begin{cases} f_{c28} = 25 \text{ MPa} \\ \lambda_g = 6,87 > 5 \end{cases} \Rightarrow \rho_b = 0,075$

$$\tau_{bu} = 0,075 \times 25 = 1,875 \text{ MPa}$$

• Poteaux (30 x 30) :

$$\text{Sens X : } \tau_b = \frac{31,877 \times 10^3}{300 \times 270} = 0,393 \text{ MPa} \leq \tau_{bu} = 1,875$$

$$\text{Sens Y : } \tau_b = \frac{18,920 \times 10^3}{300 \times 270} = 0,233 \text{ MPa} \leq \tau_{bu} = 1,875$$

• Poteaux (35 x 35) :

$$\text{Sens X : } \tau_b = \frac{62,22 \times 10^3}{350 \times 320} = 0,555 \text{ MPa} \leq \tau_{bu} = 1,875$$

$$\text{Sens Y : } \tau_b = \frac{37,96 \times 10^3}{350 \times 320} = 0,338 \text{ MPa} \leq \tau_{bu} = 1,875$$

• Poteaux (40 x 40) :

$$\text{Sens X : } \tau_b = \frac{79,646 \times 10^3}{400 \times 370} = 0,538 \text{ MPa} \leq \tau_{bu} = 1,875$$

$$\text{Sens Y : } \tau_b = \frac{53,25 \times 10^3}{400 \times 370} = 0,359 \text{ MPa} \leq \tau_{bu} = 1,875$$

Les contraintes tangentielles sont admissibles

Conclusion :

Section (cm ²)	Amin (cm ²)	A adopté
30x30	7,2	8HA12 = 9,05 cm ²
35x35	9,8	4HA14+4HA12 = 10,67 cm ²
40x40	12,8	4HA16+4HA14 = 14,19 cm ²

4- Calcul des armatures transversales :

Les armatures transversales sont disposées de manière à empêcher tout mouvement des aciers longitudinaux vers les parois du poteau, leur but essentiel :

- Reprendre les efforts tranchant sollicitant les poteaux aux cisaillements.
- Empêcher le déplacement transversal du béton.

▪ Diamètre des armatures transversales :

D'après le [BAEL 91] Le diamètre des armatures transversales est au moins égal à la valeur normalisée la plus proche du tiers du diamètre des armatures longitudinales qu'elles maintiennent.

$$\phi_t = \frac{\phi_l}{3} = \frac{16}{3} = 5,33 \text{ mm} \quad \text{soit } \phi_t = 8 \text{ mm}$$

ϕ_l : Diamètre max des armatures longitudinales.

On adoptera pour 2 cadres $\Phi 8 = 2.01 \text{ cm}^2$

▪ Espacement des armatures transversales:

L'espacement des armatures transversales des poteaux sont calculées à l'aide de la formule :

$$\frac{A_t}{t} = \frac{\rho V_u}{h_1 f_e}$$

V_u : Effort tranchant de calcul

h_1 : Hauteur totale de la section brute

f_e : Limite élastique de l'acier d'armature transversale

t : Espacement des armatures transversales

ρ_a : Coefficient correcteur qui tient compte du mode fragile de la rupture par l'effort tranchant ; il est pris égal à **2,50** si l'élancement géométrique λ_g dans la direction considérée est supérieur ou égal à 5 et à **3,75** dans le cas contraire.

Le calcul se fera pour les poteaux du RDC en raison de leur élancement géométrique, et de l'effort tranchant qui est maximal à leur niveau.

• Elancement géométrique du poteau :

$$\lambda_g = \frac{l_f}{a} \quad \text{Avec : } l_f = 0,707 l_0 = 0,707 (4,42 - 0,20) = 2,98 \text{ m}$$

L'élancement géométrique λ est égal à $3,67/0,45 = 7,45$

λ est supérieur à 5 donc le coefficient **ρ_a** sera pris égal à 2,50.

La section d'armatures transversale est égal à $A_t = 2.01 \text{ cm}^2$

L'effort tranchant max est égale à $V_u = 79,64 \text{ kN}$.

Application numérique :

$$t = \frac{A_t h_1 f_e}{\rho V_u} = \frac{201 \times 40 \times 400}{2,5 \times 79,64 \times 10} = 18,17 \text{ cm}$$

- **Espacement maximal des armatures transversales** (Art 7.4.2.2 RPA 2003):

Selon le RPA la valeur maximale de l'espacement « S_t » des armatures transversales est fixée comme suite :

- En zone nodale :

$$S_t \leq \min(10 \varnothing_l^{\min}, 15 \text{ cm}) = \min(12\text{cm}, 15\text{cm})$$

On adopte $S_t = 10 \text{ cm}$.

- En zone courante :

$$S_t' \leq 15 \varnothing_l^{\min} = 15 \times 1,2 = 18\text{cm}$$

On adopte $S_t = 15 \text{ cm}$.

- **Longueur de recouvrement :**

$$L_r = 40 \Phi_{\max} = 40 \times 1,6 = 64 \text{ cm}$$

- **Quantité d'armatures transversales minimales du RPA:**

Pour $\lambda_g \geq 5$, la quantité d'armatures transversales est donnée comme suit :

$$A_t^{\min} = 3\text{‰} S_t \times b$$

- Poteaux 30x30 :

$$A_{\min} = 0.003 \times 15 \times 30 = 1,35 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{adopté}} = 2.01 \text{ cm}^2 > 1,35 \text{ cm}^2 \dots\dots\dots \text{vérifiée.}$$

- Poteaux 35x35 :

$$A_{\min} = 0.003 \times 15 \times 35 = 1,575 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{adopté}} = 2.01 \text{ cm}^2 > 1,575 \text{ cm}^2 \dots\dots\dots \text{vérifiée.}$$

- Poteaux 40x40 :

$$A_{\min} = 0.003 \times 15 \times 40 = 1,8 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{adopté}} = 2.01 \text{ cm}^2 > 1,8 \text{ cm}^2 \dots\dots\dots \text{vérifiée.}$$

- **Délimitation de la zone nodale :**

$$h' = \max \left\{ \frac{h_e}{6}; b_1; h_1; 60\text{cm} \right\}$$

h_e : hauteur libre du poteau.

- **RDC :** $h' = \max \left\{ \frac{422}{6}; 40; 40; 60\text{cm} \right\} = 67\text{cm}$.on prend $h' = 70\text{cm}$

- **Etage courant :** $h' = \max \left\{ \frac{286}{6}; 30; 30; 60\text{cm} \right\} = 60\text{cm}$

7-2-2 Ferrailage des voiles :

1 – Introduction :

Les voiles sont des éléments structuraux de contreventement dont la raideur en plane est négligeable. Ils assurent le transfert des charges verticales (fonction porteuse) et d'autre part la stabilité sous l'action sismique (fonction de contreventement). Le ferrailage des voiles consiste à déterminer les armatures en flexion composée sous l'action des sollicitations verticales dues aux charges permanentes (G) et aux charges d'exploitation (Q), ainsi sous l'action des sollicitations horizontales dues aux séismes.

2 – Combinaison d'action :

Les combinaisons d'actions sismiques et d'actions dues aux charges verticales à prendre sont données ci-dessous :

$$\text{Selon le BAEL 91} \quad \begin{cases} 1.35 G + 1.5 Q \\ G + Q \end{cases}$$

$$\text{Selon le RPA révisé 2003} \quad \begin{cases} G + Q \pm E \\ 0.8 G \pm E \end{cases}$$

3 – Ferrailage des voiles pleins :

Le calcul se fera en procédant par méthode des tronçons de la RDM qui se fait pour une bande de largeur (d).

Pour faire face à ces sollicitations, on prévoit trois types d'armatures :

- Armatures verticales
- Armatures horizontales
- Armatures transversales

Pour faciliter la réalisation et d'alléger le calcul, on a devisé la structure en trois zones de calcul.

Zone I : RDC, 1^{ème} et 2^{ème}.

Zone II: 3^{ème}, 4^{ème}, 5^{ème} et 6^{ème}.

Zone III: 7^{ème}, 8^{ème}, 9^{ème} et 10^{ème}.

On classe nos voiles par groupes en fonction de leurs caractéristiques géométrique, et on adoptera le ferrailage du voile le plus défavorable pour chaque groupe.

Groupe 1 : VL3, VL4, VL8 (du 1^{er} niveau au 3^{ème} niveau), VL1, VL2.

Groupe 2 : VL5, VL6, VL7.

Groupe 3 : VT1, VT2.

Groupe 4 : VT3, VT4.

Groupe 5 : voile avec une file d'ouverture (VL3, VL4, VL8)

4 – Exposé de la méthode :

La méthode consiste à déterminer le diagramme des contraintes à partir des sollicitations les plus défavorables (N, M) en utilisant les formules suivantes :

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{B} + \frac{M \cdot V}{I}$$

$$\sigma_{\min} = \frac{N}{B} - \frac{M \cdot V}{I}$$

Avec :

B : section du béton

I : moment d'inertie du trumeau

V et V' : bras de levier ; $V = V' = \frac{L_{\text{voile}}}{2}$

Le découpage de diagramme des contraintes en bandes de largeur (d) donnée par :

$$d \leq \min\left(\frac{h_e}{2}; \frac{2}{3} L_c\right)$$

Avec :

h_e : hauteur entre nus des planchers du voile considéré

L_c : la longueur de la zone comprimée

$$L_c = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}} \cdot L$$

L_t : longueur tendue = $L - L_c$

Remarque : Il est nécessaire d'adopter un ferrailage symétrique afin d'assurer la sécurité en cas d'inversion de l'action sismique.

Les efforts normaux dans les différentes sections sont donnés en fonction des Diagrammes des contraintes obtenues.

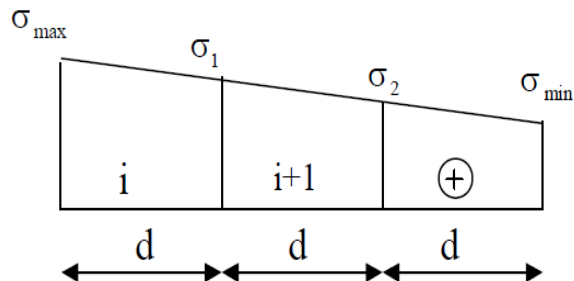
-Section entièrement comprimée :

$$N_i = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_1}{2} \cdot d \cdot e$$

$$N_{i+1} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \cdot d \cdot e$$

Avec :

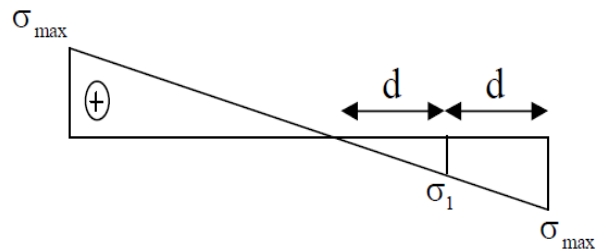
e : épaisseur du voile.



-Section partiellement comprimée :

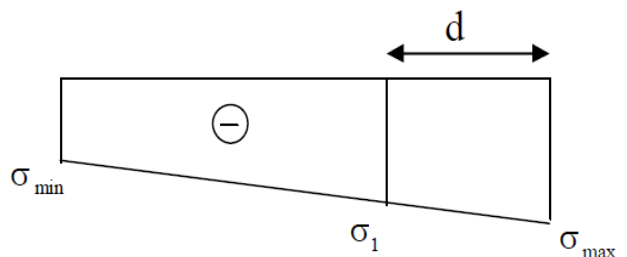
$$N_i = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_1}{2} \cdot d \cdot e$$

$$N_{i+1} = \frac{\sigma_1}{2} \cdot d \cdot e$$



-Section entièrement tendue :

$$N_i = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_1}{2} \cdot d \cdot e$$



▪ **Armatures verticales :**

- Section entièrement comprimée :

$$A_v = \frac{N_i + B \cdot f_{c28}}{\sigma_s}$$

B : section du voile.

σ_s : Contrainte de l'acier = 348 MPa.

- Section partiellement comprimée :

$$A_v = \frac{N_i}{\sigma_s}$$

σ_s : Contrainte de l'acier = 348 MPa.

- Section entièrement tendue :

$$A_v = \frac{N_i}{\sigma_s}$$

σ_s : Contrainte de l'acier = 348 MPa.

▪ Armatures minimales :

- Pour une Section entièrement comprimée :

$$A_{min} \geq 4 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

(Art A.8.1, 21 BAEL 91 modifié 99)

$$0.2\% \leq \frac{A_{min}}{B} \leq 0.5\%$$

- Pour une Section entièrement tendue :

$$A_{min} \geq \max \left\{ \frac{B f_{t28}}{f_e} ; 0.15\% B \right\}$$

- Section partiellement comprimée :

$$A_{min} \geq \max \left\{ \frac{0.23 B f_{t28}}{f_e} ; 0.005 B \right\}$$

Avec : B = d. e

B : section du béton tendue

Le pourcentage minimum des armatures verticales de la zone tendue doit rester au moins égal à 0.2 % de la section horizontale du béton tendu.

▪ Armatures horizontales :

Les armatures horizontales doivent être munies de crochets à 135° ayant une longueur de 10 Φ et disposées de manière à servir de cadre aux armatures verticales.

D'après le RPA 99 :

$A_h \geq 0.15\% B$ Globalement dans la section du voile

$A_h \geq 0.10\% B$ En zone courante

D'après le BAEL :

$$A_H = \frac{A_v}{4}$$

B : Section du béton

A_v : Section d'armature verticale.

Les barres horizontales doivent être disposées vers l'extérieur.

✓ Exigences du RPA 99 révisé 2003 :

Le pourcentage minimum d'armatures verticales et horizontales des trumeaux est donné comme suit :

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

▪ **Armatures transversales :**

Les armatures transversales sont perpendiculaires aux faces des refends.

Elles retiennent les deux nappes d'armatures verticales, ce sont généralement des épingles dont le rôle est d'empêcher le flambement des aciers verticaux sous l'action de la compression d'après l'article 7.7.4.3 du RPA 2003.

Les deux nappes d'armatures verticales doivent être reliées au moins par (04) épingles au mètre carré.

▪ **Armatures de coutures :**

Le long des joints de reprise de coulage, l'effort tranchant doit être repris par les aciers de coutures dont la section est donnée par la formule :

$$A_{vj} = 1.1 \frac{T}{f_e} \quad \text{Avec : } T = 1.4V_u$$

V_u : Effort tranchant calculé au niveau considéré.

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

a) Espacement : Art 7.7.4.3 RPA99 (version 2003).

D'après l'art 7.7.4.3 du RPA révisé 2003, l'espacement des barres horizontales et verticales doit être inférieur à la plus petite des deux valeurs suivantes :

$$s_t \leq \min\{1.5e, 30\text{cm}\}$$

Avec : e = épaisseur du voile

Aux extrémités des voiles l'espacement des barres doit être réduit de moitié sur 1/10 de la longueur du voile.

Cet espacement d'extrémité doit être au plus égal à 15 cm.

b) Longueur de recouvrement :

Elles doivent être égales à :

-40 Φ pour les barres situées dans les zones où le recouvrement du signe des efforts est possible.

-20 Φ pour les barres situées dans les zones comprimées sous action de toutes les combinaisons possibles de charges.

c) Diamètre minimal :

Le diamètre des barres verticales et horizontales des voiles ne devrait pas dépasser

$\frac{1}{10}$ de l'épaisseur du voile.

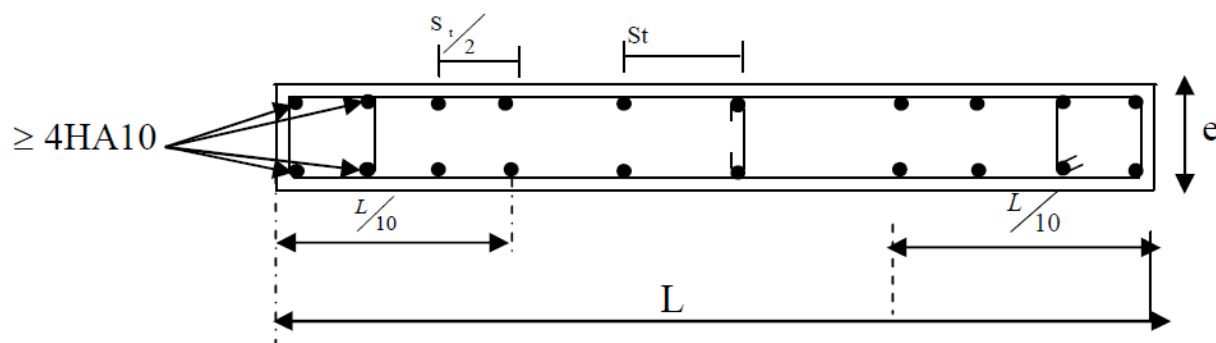


Fig 7-2 : Disposition des armatures verticales.

d) Les potelets :

Il est possible de concentrer des armatures de traction à l'extrémité du voile pour former un potelet. La section totale d'armatures verticale de la zone tendue doit être au moins égale à 0.2 % de la section horizontale du béton tendu qui est l'équivalent à au moins 4 HA10 (RPA99).

Les barres verticales doivent être ligaturées avec des cadres horizontaux, dont l'espacement ne doit pas dépasser l'épaisseur du voile.

▪ Vérification :

a) Vérification à L'ELS

On a : $N_{ser} = G + Q$

$$\sigma_b = \frac{N}{B + 15A} \leq \bar{\sigma}_b$$

$$\bar{\sigma}_b = 0.6f_{c28} = 15\text{MPa}$$

Avec :

N_{ser} : Effort normal appliqué.

B: Section du béton.

A: Section d'armatures adoptée.

b) Vérification de la contrainte de cisaillement :

✓ D'après le RPA99 révisé 2003 :

$$\tau_b \leq \bar{\tau}_b = 0.2f_{c28}$$

$$\tau_b = \frac{V}{b_0 \cdot d}$$

$$V = 1.4 V_{u, \text{calcul}}$$

Avec :

b_0 : Epaisseur du linteau ou du voile

d : Hauteur utile ($d = 0.9 h$)

h : Hauteur totale de la section brute

✓ D'après le BAEL 91(modifié 99) :

Il faut vérifier que :

$$\tau_u \leq \bar{\tau}_u$$

$$\tau_u = \frac{V_u}{b \cdot d}$$

Avec :

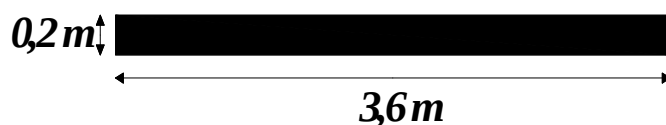
τ_u : Contrainte de cisaillement

$$\tau_u = \min \left(0.15 \frac{f_{cj}}{\gamma_b} ; 4\text{MPa} \right) ; \text{ pour la fissuration préjudiciable.7}$$

5- Exemple de calcul du voile VL1 :

a) - Caractéristiques géométriques :

$$L = 3,6 \text{ m} \quad e = 0,20 \text{ m} \quad V = V' = L/2 = 1,8 \text{ m} \quad I = 0.7776 \text{ m}^4 \quad B = 0,72 \text{ m}^2$$



b) – Sollicitations de calcul :

On calcul les efforts agissant sur le voile considéré pour tous les étages de la zone et on tire l'effort le plus défavorable pour calculer le ferraillage que l'on adoptera pour tous les étages de la zone.

Les contraintes les plus défavorables sont données par $N_{\min}$.

$$N_{\max}=1089,683 \text{ kN}$$

$$N_{\min}=481,738 \text{ kN}$$

$$N_{\text{ser}}=802,493 \text{ kN}$$

$$T_k=286,790 \text{ kN} \quad ; \quad M_{\text{corr}}= 5127,360 \text{ kN.m}$$

- Pour $N = N_{\min} = 481,738 \text{ kN}$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{\max} = \frac{481,738}{0,72} + \frac{5127,360 \times 1,8}{0,7776} = 12537,969 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\ \sigma_{\min} = \frac{481,738}{0,72} - \frac{5127,360 \times 1,8}{0,7776} = -11199,808 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \end{array} \right.$$

- Pour $N = N_{\max} = 1089,683 \text{ kN}$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{\max} = \frac{1089,683}{0,72} + \frac{5127,360 \times 1,8}{0,7776} = 13382,338 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\ \sigma_{\min} = \frac{1089,683}{0,72} - \frac{5127,360 \times 1,8}{0,7776} = -10355,440 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \end{array} \right.$$

Dans les deux cas, la section est partiellement comprimée ; le cas le plus défavorable favorisant la traction est celui pour lequel on a considéré l'effort normal minimal.

c) – Largeur de la zone comprimée :

$$L_c = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}} L = 1,90 \text{ m}$$

Largeur de la zone tendue :

$$L_t = L - L_c = 3,6 - 1,9 = 1,7 \text{ m}$$

d) – Calcul de la longueur (d) :

$$\text{Avec } d \leq \min \left(\frac{h_e}{2}, \frac{2}{3} L_c \right) = 1,27 \text{ m}$$

On prend

$$d = \frac{L_t}{2} = 0,85 \text{ m}$$

e) – Détermination de N :

.Zone tendue :

$$\sigma_1 = \frac{(L_t - d)\sigma_{\min}}{L_t} = 5599,904 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$N_1 = \frac{\sigma_{\min} + \sigma_1}{2} \cdot d \cdot e = \frac{11199,808 + 5634,626}{2} \times 0,85 \times 0,2 = 1426,740 \text{ kN}$$

$$N_2 = \frac{\sigma_1}{2} \cdot d \cdot e = \frac{5599,904 \times 0,85 \times 0,2}{2} = 475,580 \text{ kN}$$

f) – Calcul des armatures verticales :

- 1^{ère} bande d = 0,85 m :

$$A_{v1} = \frac{N_1}{\sigma_s} = \frac{1426,74 \times 10}{348} = 41,00 \text{ cm}^2$$

- 2^{ème} bande d = 0,85 m :

$$A_{v2} = \frac{N_2}{\sigma_{s2}} = \frac{475,58 \times 10}{348} = 13,67 \text{ cm}^2$$

g) – Les armatures de couture :

$$A_{vj} = \frac{1,1T}{f_e} = \frac{1,1 \times 1,4 \times 286,79 \times 10}{400} = 11,04 \text{ cm}^2$$

h) – Armature minimales :(BAEL 91)

$$A_{\min} = \max \left\{ \frac{B f_{t28}}{f_e}; 0,005B \right\} = \max \left\{ \frac{0,85 * 0,20 * 2,1}{400}; 0,005 * 0,850,20 \right\}$$
$$\Rightarrow A_{\min} = 8,92 \text{ cm}^2$$

i) – Ferrailage adopté :

$$A_1 = A_{v1} + \frac{A_{vj}}{4} = 41,00 + (11,04 / 4) = 43,76 \text{ cm}^2 / \text{bande}$$

$$A_2 = A_{v2} + \frac{A_{vj}}{4} = 13,67 + (11,04 / 4) = 16,43 \text{ cm}^2 / \text{bande}$$

On adopte :

$A_1/2 = 11\text{HA}16$ / bande / nappe = 22,12 cm² avec St = 8 cm

$A_2/2 = 6\text{HA}14$ / bande / nappe = 9,23 cm² avec St = 14 cm

j) – Armatures horizontales :

$$\text{D'après le BAEL 91 : } A_H = \frac{A_V}{4} = 5,47 \text{ cm}^2 / \text{nappe/ml de hauteur}$$

$$\text{D'après le RPA révisé 2003 : } A_H \geq 0,15\% \cdot B = 5,4 \text{ cm}^2$$

k) – Armatures transversal :(art-7-7-4-3, RPA 99)

Les deux nappes d'armatures verticales doivent être reliées au minimum par (04) épingles au mètre carré soit HA8.

l) – Les potelets :

Vu que la section d'armature dans le poteau est supérieure à celle du voile, alors on adopte le même ferrailage que celui du poteau.

m) – Vérification des espacements :

L'espacement des barres horizontales et verticales doit satisfaire :

$$s_t \leq \min\{1.5e, 30\text{cm}\} = 30 \text{ cm condition vérifiée.}$$

n) – Vérifications :

▪ **Vérification à l'ELS :**

Il faut vérifier que : $\sigma_b \leq 0,6 \times f_{c28}$

$$\sigma_b = \frac{N_s}{B + 15 \times A_v} = \frac{802,493 \times 10^1}{20 \times 360 + 15 \times (9,23 + 22,12) \times 2} = 0,986 \text{ MPa} \leq 0,6 \times f_{c28} = 15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b = 0,986 \text{ MPa} \leq 15 \text{ MPa} \rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

▪ **Vérification de la contrainte au cisaillement :**

• **Selon le RPA 99 révisé 2003 (art : 7-7-2 RPA 99/2003)**

$$\tau_b = \frac{1,4T}{e.d} = \frac{1,4 \times 286,790 \times 10}{20 \times 0,9 \times 442} = 0,505 \text{ MPa} \leq \bar{\tau}_b = 0,2f_{c28} = 5 \text{ MPa}$$

$$\tau_b \leq \bar{\tau}_b = 5 \text{ MPa Condition vérifiée.}$$

• **Selon le BAEL 91 :**

$$\tau_u = \frac{T}{e.d} = \frac{286,790 \times 10}{20 \times 0,9 \times 360} = 0,360 \text{ MPa}$$

$$\tau_u \leq \bar{\tau}_u = \min\left(0,15 \frac{f_{c28}}{\gamma_b}; 4 \text{ MPa}\right) = 2,5 \text{ MPa}$$

$$\Rightarrow \tau_u \leq \bar{\tau}_u = 2,5 \text{ MPa}$$

La condition est vérifiée .

☞ Les résultats de calcul se résument dans les tableaux suivants :

Ferrailage des voiles longitudinaux VL1, VL2, VL3, VL4, VL8.					
Zone			I	II	II
Caractéristiques géométriques	L(m)		3,6	3,6	3,6
	e(m)		0,2	0,2	0,2
	B(m²)		0,72	0,72	0,72
	I(m^4)		0,7776	0,7776	0,7776
	V=V'=L/2 (m)		1,8	1,8	1,8
Sollicitations de calcul	M (kN.m)		5127,360	2775,204	629,918
	T (kN)		286,790	238,597	132,198
	Nmax (kN)		1089,683	759,944	379,512
	Nmin (kN)		481,738	267,816	53,895
	Nser (kN)		802,493	560,162	279,800
	σmax (kN/m²)		12537,96819	6796,05009	1532,996924
	σmin (kN/m²)		-11199,808	-6052,116	-1383,288
	Nature de la section		SPC	SPC	SPC
	Lc (m)		1,90	1,90	1,89
	Lt (m)		1,70	1,70	1,71
	d (m)		0,85	0,85	0,85
	σ ₁ (KN/m²)		5599,904	3026,058	691,644
	N1 (kN)		1426,740	769,728	177,157
	N2 (kN)		475,580	256,576	59,052
	Ferrailage	Amin (cm²)/bande		8,92	8,90
Av1 (cm²)/bande		41,00	22,12	5,09	
Av2 (cm²)/bande		13,67	7,37	1,70	
Avj (cm²)/bande		11,04	9,19	5,09	
A1=Av1+Avj/4 (cm²)		43,76	24,42	6,36	
A2=Av2+Avj/4 (cm²)		16,43	9,67	2,97	
Choix par nappe		A1/2 (cm²)/bande	8HA20	8HA14	5HA12
			25,13	12,31	5,65
		A2/2 (cm²)/bande	5HA16	5HA12	5HA12
10,05			5,65	5,65	
Espacement		e1 (cm)	11	11	17
		e2 (cm)	17	17	17
AH (cm²)/(ml de hauteur)		5,47	3,05	0,8	
Choix par nappe par ml de hauteur		5HA12	5HA12	5HA12	
		5,65	5,65	5,65	
Espacement		St (Hor) (cm)	20	20	20
A.transversales			4 épingle HA8 par m²		
Vérification des contraintes	Cisaillement	ζb (Mpa)	0,505	0,606	0,336
		ζu (Mpa)	0,360	0,433	0,240
	ELS	σbc (Mpa)	0,972	0,724	0,371

Ferrailage des voiles longitudinaux Groupe II; VL5, VL6, VL7.					
Zone			I	II	II
Caractéristiques géométriques	L(m)		2,4	2,4	2,4
	e(m)		0,2	0,2	0,2
	B(m²)		0,48	0,48	0,48
	I(m^4)		0,2304	0,7776	0,7776
	V=V'=L/2 (m)		1,2	1,8	1,8
Sollicitations de calcul	M (kN.m)		1513,844	819,379	185,983
	T (kN)		84,675	70,446	39,031
	Nmax (kN)		686,187	478,792	239,166
	Nmin (kN)		306,749	170,508	34,268
	Nser (kN)		505,946	353,281	176,500
	σmax (kN/m²)		8523,664583	2251,93565	501,9078704
	σmin (kN/m²)		-7245,544	-1541,486	-359,125
	Nature de la section		SPC	SPC	SPC
	Lc (m)		1,30	1,42	1,40
	Lt (m)		1,10	0,98	1,00
	d (m)		0,55	0,49	0,50
	σ ₁ (kN/m²)		3622,772	770,743	179,562
	N1 (kN)		599,245	112,751	26,961
	N2 (kN)		199,748	37,584	8,987
	Ferrailage	Amin (cm²)/bande		5,78	5,12
Av1 (cm²)/bande		17,22	3,24	0,77	
Av2 (cm²)/bande		5,74	1,08	0,26	
Avj (cm²)/bande		3,26	2,71	1,50	
A1=Av1+Avj/4 (cm²)		18,03	3,92	1,15	
A2=Av2+Avj/4 (cm²)		6,55	1,76	0,63	
Choix par nappe		A1/2 (cm²)/bande	5HA16	3HA12	3HA12
			10,05	3,39	3,39
		A2/2 (cm²)/bande	3HA12	3HA12	3HA12
			3,39	3,39	3,39
Espacement		e1 (cm)	11	16,5	16,5
		e2 (cm)	18	16,5	16,5
AH (cm²)/(ml de hauteur)		2,25	0,73	0,75	
Choix par nappe par ml de hauteur		5HA12	5HA12	5HA12	
		5,65	5,65	5,65	
Espacement		St (Hor) (cm)	20	20	20
A.transversales		4 épingle HA8 par m²			
Vérification des contraintes		Cisaillement	ζb (Mpa)	0,149	0,179
	ζu (Mpa)		0,106	0,128	0,071
	ELS	σbc (Mpa)	0,972	0,706	0,353

Ferrailage des trumeaux (trumeau 1 = trumeaux 2) des voiles VL8 et VL4.				
Zone			II	III
Caractéristiques géométriques	L(m)		1,1	1,1
	e(m)		0,2	0,2
	B(m²)		0,22	0,22
	I(m ⁴)		0,022	0,022
	V=V'=L/2 (m)		0,55	0,55
Sollicitations de calcul	M (kN.m)		170,753	46,320
	T (kN)		93,814	51,979
	Nmax (kN)		232,750	122,245
	Nmin (kN)		118,527	25,401
	Nser (kN)		138,936	70,266
	σmax (kN/m²)		4807,584091	1273,45909
	σmin (kN/m²)		-3730,066	-1042,541
	Nature de la section		SPC	SPC
	Lc (m)		0,62	0,60
	Lt (m)		0,48	0,50
	d (m)		0,24	0,25
	σ ₁ (kN/m²)		1865,033	521,270
	N1 (kN)		134,446	38,717
	N2 (kN)		44,815	12,906
Ferrailage	Amin (cm²)/bande		2,52	2,59
	Av1 (cm²)/bande		3,86	1,11
	Av2 (cm²)/bande		1,29	0,37
	Avj (cm²)/bande		3,61	2,00
	A1=Av1+Avj/4 (cm²)		4,77	1,61
	A2=Av2+Avj/4 (cm²)		2,19	0,87
	Choix par nappe	A1/2 (cm²)/bande	3HA12	2HA12
			3,39	2,26
		A2/2 (cm²)/bande	2HA12	2HA12
	Espacement	e1 (cm)	8	12,5
		e2 (cm)	12	12,5
	AH (cm²)/(ml de hauteur)		0,6	0,37
	Choix par nappe par ml de hauteur		5HA12	5HA12
			5,65	5,65
	Espacement	St (Hor) (cm)	20	20
	A.transversales		4 épingle HA8 par m²	
Vérification des contraintes	Cisaillement	ζb (Mpa)	0,238	0,132
		ζu (Mpa)	0,170	0,094
	ELS	σbc (Mpa)	0,586	0,301

Ferrailage du trumeau 1 du voile VL3.

Zone			II	III
Caractéristiques géométriques	L(m)		0,65	0,65
	e(m)		0,2	0,2
	B(m²)		0,13	0,13
	I(m^4)		0,0046	0,0046
	V=V'=L/2 (m)		0,325	0,325
Sollicitations de calcul	M (kN.m)		66,220	12,163
	T (kN)		8,086	4,480
	Nmax (kN)		233,132	124,432
	Nmin (kN)		73,515	14,570
	Nser (kN)		86,704	43,301
	σmax (kN/m²)		5244,122075	971,415672
	σmin (kN/m²)		-4113,122	-747,262
	Nature de la section		SPC	SPC
	Lc (m)		0,36	0,37
	Lt (m)		0,29	0,28
	d (m)		0,14	0,14
	σ ₁ (kN/m²)		2056,561	373,631
	N1 (kN)		88,139	15,839
	N2 (kN)		29,380	5,280
	Ferrailage	Amin (cm²)/bande		1,50
Av1 (cm²)/bande		2,53	0,46	
Av2 (cm²)/bande		0,84	0,15	
Avj (cm²)/bande		0,31	0,17	
A1=Av1+Avj/4 (cm²)		2,61	0,50	
A2=Av2+Avj/4 (cm²)		0,92	0,19	
Choix par nappe		A1/2 (cm²)/bande	2HA12	2HA12
			2,26	2,26
		A2/2 (cm²)/bande	2HA12	2HA12
2,26			2,26	
Espacement		e1 (cm)	7	7
		e2 (cm)	7	7
AH (cm²)/(ml de hauteur)		0,33	0,21	
Choix par nappe par ml de hauteur		5HA12	5HA12	
		5,65	5,65	
Espacement		St (Hor) (cm)	20	20
A.transversales		4 épingle HA8 par m²		
Vérification des contraintes	Cisaillement	ζb (Mpa)	0,021	0,011
		ζu (Mpa)	0,015	0,008
	ELS	σbc (Mpa)	0,604	0,302

Ferrailage du trumeau 2 du voile VL3.				
Zone			II	III
Caractéristiques géométriques	L(m)		1,71	1,71
	e(m)		0,2	0,2
	B(m²)		0,342	0,342
	I(m ⁴)		0,08334	0,0046
	V=V'=L/2 (m)		0,855	0,855
Sollicitations de calcul	M (kN.m)		442,530	13,992
	T (kN)		146,428	81,130
	Nmax (kN)		309,704	154,633
	Nmin (kN)		147,966	29,495
	Nser (kN)		228,099	113,916
	σ_{max} (kN/m²)		4972,643723	2686,92965
	σ_{min} (kN/m²)		-4107,345	-2514,444
	Nature de la section		SPC	SPC
	Lc (m)		0,94	0,88
	Lt (m)		0,77	0,83
	d (m)		0,39	0,41
	σ_1 (kN/m²)		2053,673	1257,222
	N1 (kN)		238,284	155,892
	N2 (kN)		79,428	51,964
Ferrailage	Amin (cm²)/bande		4,06	4,33
	Av1 (cm²)/bande		6,85	4,48
	Av2 (cm²)/bande		2,28	1,49
	Avj (cm²)/bande		5,64	3,12
	A1=Av1+Avj/4 (cm²)		8,26	5,26
	A2=Av2+Avj/4 (cm²)		3,69	2,27
	Choix par nappe	A1/2 (cm²)/bande	4HA12	3HA12
			4,52	3,39
		A2/2 (cm²)/bande	3HA12	3HA12
	Espacement		3,39	3,39
		e1 (cm)	10	13,5
	Espacement	e2 (cm)	13	13,5
		AH (cm²)/(ml de hauteur)	1,03	0,66
	Choix par nappe par ml de hauteur		5HA12	5HA12
			5,65	5,65
	Espacement	St (Hor) (cm)	20	20
	A.transversales		4 épingle HA8 par m²	
Vérification des contraintes	Cisaillement	ζ_b (Mpa)	0,372	0,206
		ζ_u (Mpa)	0,266	0,147
	ELS	σ_{bc} (Mpa)	0,624	0,314

Ferrailage des voiles longitudinaux VT1. Et VT2					
Zone			I	II	II
Caractéristiques géométriques	L(m)		7,2	7,2	7,2
	e(m)		0,2	0,2	0,2
	B(m²)		1,44	1,44	1,44
	I(m^4)		6,221	6,221	6,221
	V=V'=L/2 (m)		3,6	3,6	3,6
Sollicitations de calcul	M (kN.m)		20248,616	10969,330	2493,950
	T (kN)		1133,825	939,559	523,100
	Nmax (kN)		3409,273	2529,075	1322,040
	Nmin (kN)		1298,688	726,707	154,726
	Nser (kN)		2275,448	1589,516	798,940
	σmax (kN/m²)		12619,43902	6852,44545	1550,660313
	σmin (kN/m²)		-10815,706	-5843,130	-1335,763
	Nature de la section		SPC	SPC	SPC
	Lc (m)		3,88	3,89	3,87
	Lt (m)		3,32	3,31	3,33
	d (m)		1,66	1,66	1,67
	σ ₁ (kN/m²)		5407,853	2921,565	667,882
	N1 (kN)		2695,478	1452,220	333,805
	N2 (kN)		898,493	484,073	111,268
Ferrailage	Amin (cm²)/bande		18,75	17,40	17,5
	Av1 (cm²)/bande		77,46	41,73	9,59
	Av2 (cm²)/bande		25,82	13,91	3,20
	Avj (cm²)/bande		43,65	36,17	20,14
	A1=Av1+Avj/4 (cm²)		88,37	50,77	14,63
	A2=Av2+Avj/4 (cm²)		36,73	22,95	8,23
	Choix par nappe	A1/2 (cm²)/bande	15HA20	13HA16	10HA12
			47,12	26,14	11,31
		A2/2 (cm²)/bande	10HA16	7HA16	7HA12
	20,11		14,06	7,92	
	Espacement	e1 (cm)	11	13	17
		e2 (cm)	17	24	24
	AH (cm²)/(ml de hauteur)		11,05	6,35	1,83
	Choix par nappe par ml de hauteur		5HA14	5HA12	5HA12
			7,7	5,65	5,65
	Espacement	St (Hor) (cm)	20	20	20
	A.transversales			4 épingle HA8 par m²	
Vérification des contraintes	Cisaillement	ζb (Mpa)	1,995	2,388	1,330
		ζu (Mpa)	1,425	1,706	0,950
	ELS	σbc (Mpa)	1,373	1,014	0,531

Ferrailage des voiles longitudinaux VT3. Et VT4.						
Zone			I	II	II	
Caractéristiques géométriques	L(m)		2,35	2,35	2,35	
	e(m)		0,2	0,2	0,2	
	B(m²)		0,47	0,47	0,47	
	I(m^4)		0,216	1,216	2,216	
	V=V'=L/2 (m)		1,175	1,175	1,175	
Sollicitations de calcul	M (kN.m)		650,543	352,418	80,125	
	T (kN)		36,428	30,186	16,808	
	Nmax (kN)		1506,057	1045,551	520,874	
	Nmin (kN)		594,125	103,385	18,000	
	Nser (kN)		1096,549	763,072	380,375	
	σmax (kN/m²)		4802,929194	560,503145	80,78292424	
	σmin (kN/m²)		-2274,738	-120,568	-4,187	
	Nature de la section		SPC	SPC	SPC	
	Lc (m)		1,59	1,93	2,23	
	Lt (m)		0,76	0,42	0,12	
	d (m)		0,38	0,21	0,06	
	σ ₁ (kN/m²)		1137,369	60,284	2,094	
	N1 (kN)		128,855	3,762	0,036	
	N2 (kN)		42,952	1,254	0,012	
	Ferrailage	Amin (cm²)/bande		3,96	17,40	17,5
Av1 (cm²)/bande		3,70	0,11	0,00		
Av2 (cm²)/bande		1,23	0,04	0,00		
Avj (cm²)/bande		1,40	1,16	0,65		
A1=Av1+Avj/4 (cm²)		4,05	0,40	0,16		
A2=Av2+Avj/4 (cm²)		1,58	0,33	0,16		
Choix par nappe		A1/2 (cm²)/bande	7HA12	4HA12	2HA12	
			7,72	4,52	2,26	
		A2/2 (cm²)/bande	5HA12	3HA12	2HA12	
			5,65	3,39	2,26	
Espacement		e1 (cm)	11	11	11	
		e2 (cm)	15	15	15	
AH (cm²)/(ml de hauteur)		0,56	0,31	0,09		
Choix par nappe par ml de hauteur		5HA12	5HA12	5HA12		
		5,65	5,65	5,65		
Espacement		St (Hor) (cm)	20	20	20	
A.transversales			4 épingle HA8 par m²			
Vérification des contraintes		Cisaillement	ζb (Mpa)	0,064	0,077	0,043
	ζu (Mpa)		0,046	0,055	0,031	
	ELS	σbc (Mpa)	2,150	1,546	0,787	

6- Etude des linteaux :

Les linteaux sont des éléments reliant les trumeaux d'un même voile, ils sont assimilés à des poutres encastées à leur extrémités et sont calculés en flexion simple, dans ce cas les résultats sont donnés directement dans le fichier résultat.

6-1 Contraintes limites de cisaillement

$$\tau_b \leq \bar{\tau}_b = 0.2 \times f_{c28}$$

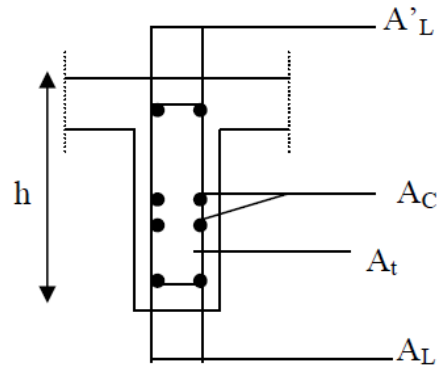
$$\tau_b = \frac{V}{b_0 \times d}$$

$$V = 1.4 \times V_{u,calcul}$$

b_0 : Epaisseur du linteau ou du voile

d : Hauteur utile ($d = 0.9 h$)

h : Hauteur totale de la section brute



- **Premier cas :** $\tau_b \leq 0.06 \times f_{c28}$

Les linteaux sont calculés en flexion simple, (avec les efforts M , V) il devra disposer :

Des aciers longitudinaux de flexion $\Rightarrow A_l$

Des aciers transversaux $\Rightarrow A_t$

Des aciers en partie courants (de peau) $\Rightarrow A_c$

• Aciers longitudinaux :

Les aciers longitudinaux supérieurs et inférieurs sont calculés par la formule suivante :

$$A_l \geq \frac{M}{z \cdot f_e}$$

Avec : $z = h - 2d$

h : est la hauteur totale du linteau.

d : est l'enrobage.

M : moment dû à l'effort tranchant ($V = 1.4 \cdot V_u$)

• Aciers transversaux

- Premier sous cas : linteaux longs ($\lambda_s = \frac{l}{h} > 1$)

$$\text{Avec : } s_t \leq \frac{A_t \times f_e \times z}{V}$$

s_t : espacement des cours d'armatures transversales

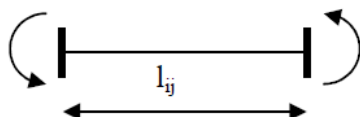
A_t : section d'un cours d'armatures transversales

- Deuxième sous cas : linteaux courts ($\lambda_s = \frac{l}{h} \leq 1$)

$$\text{Avec : } s_t \leq \frac{A_t \times f_e \times z}{V + A_t \times f_e} \quad \text{et } V = \min(V_1 ; V_2)$$

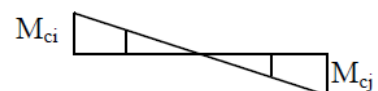
$$\text{Ou : } V_1 = 2 \times V_{u,calcul} ; V_2 \leq \frac{M_{ci} + M_{cj}}{l_{ij}}$$

M_{ci} et M_{cj} : moments résistants ultimes des sections d'about à gauche et à droite du linteau de portée l_{ij} sont calculés par : $M_c = A_t \cdot f_e \cdot z$



Effort tranchant :

$$V_1 = \frac{M_{ci} + M_{cj}}{l_{ij}}$$



Moment fléchissant

Fig 7-3

- **Deuxième cas :** $\tau_b \geq 0.06 \times f_{c28}$

Dans ce cas, il y'a lieu de disposer les ferrailages longitudinaux (supérieures et inférieures), transversaux et en zone courante (armatures de peau) suivant les minimums réglementaires. Les efforts (M ; N) sont repris suivant des bielles diagonales (de traction et de compression) suivant l'axe moyen des armatures diagonales Ad a disposer obligatoirement.

Le calcul de ces armatures se fait suivant la formule $A_D = \frac{V}{2f_e \cdot \sin \alpha}$

Avec : $\tan \alpha = \frac{h-2d}{l}$ $V = V_{calcul}$ (sans majoration).

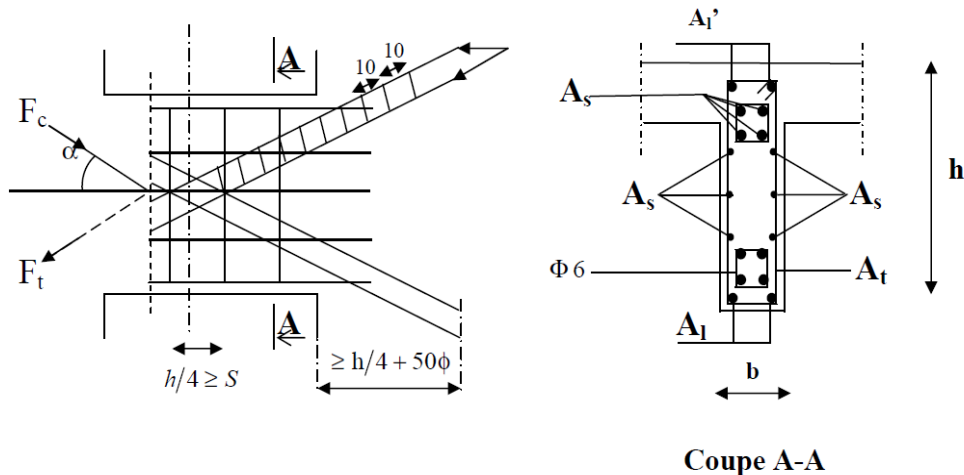


Fig 7-4

6-2 Ferrailage minimal :

-Armatures longitudinales : $A_l = A'_l \geq 0.15\% \times b \times h$

-Armatures transversales : $A_t \geq 0.15\% \times b \times s_t$ si $\tau_b \leq 0.025 \times f_{c28}$
 $A_t \geq 0.25\% \times b \times s_t$ si $\tau_b > 0.025 \times f_{c28}$

-Armatures de peau : $A_c \geq 0.20\% \times b \times h$

-Armatures de diagonales : $A_D \geq 0.15\% \times b \times h$ si $\tau_b > 0.06 \times f_{c28}$
 $A_D = 0$ si $\tau_b \leq 0.06 \times f_{c28}$

6-3 Exemple de calcul : (linteau du voile VL3)

Les caractéristiques géométriques du Linteau sont :

$h=0.86m$

$e=20cm$

$l=1.04m$

$\Pi=259.593 KN$

$S=0.676 m^2$

Poids propre du linteau

$P_0 = 4.3 KN/ml$

Poids du plancher revenant au linteau

$P_G = 3.535 KN/ml$

$G = 7.836 KN/ml$

Surcharges d'exploitation revenant au linteau

$$Q = 1.5 \times 0.676 / 1.2 = 0.845 \text{ KN/ml}$$

$$Q = 0.845 \text{ KN/ml}$$

- Détermination des sollicitations :

$$T = 1/2 (G+Q) \times l = 264,107 \text{ KN}$$

$$M = (l^2/12) \times (G+Q) \times (l/2) = 135,771 \text{ KN.m}$$

6-4- Vérification de la contrainte de cisaillement :

$$\tau_b = \frac{V}{b_0 \times d}$$

$$V = 1.4 \times V_{u,calcul}$$

$$\tau_b = \frac{1.4 \times 264.10 \times 10}{20 \times 0.9 \times 86} = 2.38 \text{ Mpa}$$

$$\tau_b = 2.38 \text{ Mpa} < \bar{\tau}_b = 5 \text{ Mpa}$$

D'autre part nous avons $\tau_b = 2.38 \text{ Mpa} > 0.06 f_{c28} = 1.5 \text{ Mpa}$

▪ Ferrailage :

- Armatures longitudinales :

On adopte le ferrailage minimal.

$$\text{RPA 2003 : } (A_{lmin}; A'_{lmin}) \geq 0.15\% \times 20 \times 86 = 2.58 \text{ cm}^2$$

Soit 4HA12=4,52 cm² avec St=15cm.

- Armatures transversales :

$$\tau_b = 2.38 \text{ Mpa} > 0.025 f_{c28} = 0.625 \text{ Mpa}$$

$$s \leq \frac{h}{4} = \frac{86}{4} = 21.5 \text{ cm}$$

$$A_t > 0.0025 \times b \times e = 0.0025 \times 20 \times 15 = 0.75 \text{ cm}^2$$

Soit : A=2HA10 $\Rightarrow A_t = 1.57 \text{ cm}^2$ (cadre HA10)

- Armatures de peau :

$$A_c \geq 0.002 \times e \times h = 0.002 \times 20 \times 86 = 3.44 \text{ cm}^2$$

Soit : A=3HA12 $\Rightarrow A_c = 3.39 \text{ cm}^2$ (disposé en deux nappes)

- Longueur d'ancrage :

$$L_c \geq h/4 + 50\Phi = 81.5 \text{ cm}$$

- Armatures diagonales :

$$\tau_b = 2.38 \text{ Mpa} > 0.06 f_{c28} = 1.5 \text{ Mpa}$$

Donc ses armatures sont nécessaires.

$$A_D = \frac{V = V_{calcul}}{2 f_e \sin \alpha}$$

$$\text{tg} \alpha = \frac{h-2d}{l} = \frac{86-2 \times 3}{104} = 0.77 \rightarrow \alpha = 37.57^\circ$$

$$A_D = \frac{264.107}{2 \times 40 \times \sin 37.57} = 5.41 \text{ cm}^2$$

Soit : A=4HA14 $\Rightarrow$ $A_D = 6.15 \text{ cm}^2$

On adopte le même ferrailage pour les autres linteaux.

ETUDE DE L'INFRASTRUCTURE

Introduction :

Les fondations sont des éléments de la structure ayant pour objet la transmission des efforts apportés par la structure au sol. Ces efforts consistent en :

- Un effort normal : charge et surcharge verticale centrée ;
- Une force horizontale : résultante de l'action sismique ;
- Un moment qui peut être de valeur variable qui s'exerce dans les plans différents.

Nous pouvons classer les fondations selon le mode d'exécution et la résistance aux sollicitations extérieure, en :

- **Fondations superficielles** : Utilisées pour des sol de bonne capacité portante. Elles sont réalisées près de la surface, (semelles isolées, semelles filantes et radier).
- **Fondations profondes** : Utilisées lorsque le bon sol est assez profond (pieux, puits).

8-1 Etude géotechnique du sol :

Le choix du type de fondation repose essentiellement sur une étude détaillée du sol qui nous renseigne sur la capacité portante de ce dernier. Les résultats de cette étude sont :

- La contrainte admissible du sol est $\sigma_{sol} = 2$ bars.
- Absence de nappe phréatique, donc pas de risque de remontée des eaux.

8-2 Choix du type de fondation :

Le choix du type de fondation, est fonction du type de la superstructure ainsi que des caractéristiques topographiques et géologiques du terrain.

Ce choix est défini par :

- La stabilité de l'ouvrage ;
- La facilité de l'exécution ;
- La capacité portante du sol ;
- L'importance de la superstructure ; L'économie ;

Dans notre cas on aura à choisir entre des semelles filantes et un radier général selon les résultats du dimensionnement.

8-3 Dimensionnement :

8-3-1 Semelles filantes sous voiles :

$$\frac{N_s}{S} \leq \sigma_{sol} \Rightarrow \frac{G + Q}{B \cdot L} \leq \sigma_{sol} \Rightarrow B \geq \frac{G + Q}{\sigma_{sol} \cdot L}$$

Avec : B : La largeur de la semelle.

L : Longueur de la semelle.

G, Q : Charge et surcharge revenant au voile considéré.

σ_{sol} : Contrainte admissible du sol.

Les résultats de calcul sont résumés dans les tableaux suivants :

Surface des semelles filantes sous voiles longitudinaux:

Voiles	G+Q (kN)	L (m)	B (m)	S=B*L (m²)
VL1 & VL2	802,49	3,6	1,11	3,996
VL3	671,989	3,4	0,98	3,332
VL4 & VL8	645,19	3,4	0,94	3,196
VL5	505,946	2,4	1,05	2,52
VL6 & VL7	489,542	2,3	1,06	2,438
ΣS				15,482

Surface des semelles filantes sous voiles transversaux:

Voiles	G+Q (kN)	L (m)	B (m)	S=B*L (m²)
VT1 & VT2	2275,448	7,2	1,58	11,376
VT3	1096,249	2,35	2,33	5,4755
VT4	685,578	2,05	1,67	3,4235
ΣS				20,275

$$S_v = \sum S_i = 35,75 \text{ m}^2 \quad \text{Avec : } S_v : \text{Surface totale des semelles filantes sous voiles.}$$

8-3-2 Semelles filantes sous poteaux :

• Etapes de calcul :

- Déterminer la résultante des charges $R = \sum N_i$
- Déterminer les coordonnées de la résultante R ; $e = \frac{\sum N_i \cdot e_i + \sum M_i}{R}$
- Déterminer la distribution par mètre linéaire de la semelle.

* Si $e > \frac{L}{6} \rightarrow$ Répartition triangulaire.

* Si $e \leq \frac{L}{6} \rightarrow$ Répartition trapézoïdale.

$$q_{\max} = \frac{N}{L} \times \left(1 + \frac{6 \times e}{L}\right)$$

$$q_{\min} = \frac{N}{L} \times \left(1 - \frac{6 \times e}{L}\right)$$

$$q_{\left(\frac{L}{4}\right)} = \frac{N}{L} \times \left(1 + \frac{3 \times e}{L}\right)$$

• Application numérique :

Portique longitudinal (C-C) : $N_s = 447,878 \text{ KN}$

Portique transversal (6-6) : $N_s = 1268,066 \text{ KN}$

Donc on fera le calcul sur le portique transversal. Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Poteaux	Ni = Gi+Qi (kN)	Minf (kN,m)	ei (m)	Ni*ei (kN,m)
A	1102,916	21,481	-8,55	-9429,93
B	1268,066	-10,253	-4,3	-5452,68
C	1180,779	8,069	-1,5	-1771,17
D	1231,966	-8,069	2,5	3079,91
E	1059,349	-2,550	5,3	5614,55
F	759,249	8,618	8,55	6491,58
	6602,325	17,295		-1467,73

Coordonnées de la résultante des forces par rapport au centre de gravité de la semelle :

$$e = \frac{\sum N_i \cdot e_i + \sum M_i}{\sum N_i} = 0,22m$$

Distribution des sollicitations par mètre linéaire des semelles :

$$e = 0,22m < \frac{L}{6} = \frac{21,5}{6} = 3,58m \Rightarrow \text{Répartition trapézoïdale.}$$

$$q_{\min} = \frac{N_s}{L} \times \left(1 - \frac{6 \cdot e}{L}\right) = \frac{6602,325}{17,5} \times \left(1 - \frac{6 \times 0,22}{17,5}\right) = 348,81kN / m$$

$$q_{\max} = \frac{N_s}{L} \times \left(1 + \frac{6 \cdot e}{L}\right) = \frac{6602,325}{17,5} \times \left(1 + \frac{6 \times 0,22}{17,5}\right) = 405,733kN / m$$

$$q_{(L/4)} = \frac{N_s}{L} \times \left(1 + \frac{3 \cdot e}{L}\right) = \frac{6602,325}{17,5} \times \left(1 + \frac{3 \times 0,22}{17,5}\right) = 391,5kN / m$$

- **Détermination de la largeur de la semelle**

$$B \geq \frac{q_{(L/4)}}{\sigma_{SOL}} = \frac{391,5}{2 \times 100} = 1,95m$$

On prend B = 2 m

La surface de la semelle est : S = 2 x 17,5 = 35 m²

La surface totale des semelles sous poteaux est de :

$$S_{s \text{ poteaux}} = 35 \times 6 + (2 \times 10,3 \times 2) = 251,8m^2$$

La surface totale des semelles sous voiles et sous poteaux est de :

$$S_{\text{total}} = 35,75 + 251,8 = 286,95 m^2$$

Le rapport de la surface totale des semelles à la surface d'assise du bâtiment est :

$$\frac{S_t}{S_{bat}} = \frac{286,95}{380,025} = 0,755 \rightarrow 75,5 \%$$

Conclusion :

Les semelles sont de largeurs importantes, impliquant le chevauchement entre elles, en occupant presque la totalité de l'assise du bâtiment (75,5%). Pour cela, on se ramène au choix du radier général nervuré.

8-4 Etude du radier général :

Un radier est défini comme étant une fondation travaillant comme un plancher renversé dont les appuis sont constitués par les poteaux de l'ossature et qui est soumis à la réaction du sol diminuée du poids propre du radier. Il est :

- Rigide dans son plan horizontal.
- Permet une répartition de la charge sur le sol.
- Semble mieux convenir face aux désordres ultérieurs qui peuvent provenir des tassements éventuels.

8-4-1 Pré dimensionnement du radier

- **Condition de vérification de la longueur élastique :**

$$L_e = \sqrt[4]{\frac{4EI}{K \cdot b}} \geq \frac{2}{\pi} L_{\max}$$

Avec :

L_e : longueur élastique.

E : Module élastique, $E=32164.20$ MPa

b : largeur du radier présentant une bande de 1 m.

I : inertie de la section du radier, $I= bh^3/12$.

K : coefficient de radier du sol. $K=40$ MPa (pour un sol moyen).

$L_{\max}$: Distance maximale entre deux voiles ou deux poteaux successifs ; $L_{\max} = 4,25$ m

$$L_e = \sqrt[4]{\frac{4EI}{K \cdot b}} \geq \frac{2}{\pi} L_{\max} \quad \text{Avec } I= bh^3/12.$$

$$\Rightarrow h \geq \sqrt[3]{\frac{3K}{E} \left[\frac{2 \cdot L_{\max}}{\pi} \right]^4} = \sqrt[3]{\frac{3 \times 40}{32164,2} \left[\frac{2 \times 4,25}{3,14} \right]^4} = 0,58 \text{ m}$$

$$\Rightarrow h \geq 58 \text{ cm}$$

- **La nervure (la poutre) :**

$$h_n \geq \frac{L_{\max}}{10} = \frac{4,25}{10} = 0,425 \text{ m} = 42,5 \text{ cm}$$

On opte pour une hauteur de nervure : $h_n = 75$ cm

- **La dalle :**

La dalle de radier doit satisfaire la condition suivante :

$$h_d \geq \frac{L_{\max}}{20}; \text{ avec } h_d > 25 \text{ cm}$$

$L_{\max}$: Portée maximale

$$h_d \geq \frac{425}{20} = 21,25 \text{ cm}, \quad \text{soit } h_d = 35 \text{ cm.}$$

▪ **Calcul des débords :**

$$L_{deb} \geq \max\left(\frac{h}{2}; 30\text{cm}\right) = \max\left(\frac{75}{2}; 30\text{cm}\right) = 37,5\text{cm}$$

On prend $L_{deb} = 40\text{cm}$

La surface totale du radier : $S_{rad} = S_{bat} + S_{deb} = 380,025 + 2 \times 0,4 \times (25+17,5) = 414,025 \text{ m}^2$

8-4-2 Calcul des charges nécessaires au radier :

• **Charges permanentes :**

Charge du bâtiment $G_{bat} = 46497,86 \text{ kN}$

Charge du radier $G_r = 414,025 \times 0,35 \times 2,5 + [(0,75-0,35) \times 0,35 \times 2,5 \times 17,5] = 4322,7 \text{ kN}$

$G_t = G_{bat} + G_r = 50820,56 \text{ kN}$

• **Charges d'exploitations :**

- Surcharge du bâtiment : $Q_{bat} = 6527,1 \text{ kN}$

- Surcharge du radier : $Q_{rad} = 5 \times 380,025 = 1900,25 \text{ kN}$

- La surcharge totale : $Q_{tot} = Q_{bat} + Q_{rad} \Rightarrow \mathbf{Q_{tot} = 8427,225 \text{ kN}}$

8-4-3 Combinaison d'actions :

ELU : $N_u = 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q = 81248,59 \text{ kN}$

ELS : $N_s = G + Q = 59247,785 \text{ kN}$

8-4-4 Détermination de la surface nécessaire du radier :

$$\text{ELU : } S_{nec}^{ELU} \geq \frac{N_s}{1,33 \cdot \sigma_{SOL}} = \frac{81248,59}{1,33 \times 200} = 305,44 \text{ m}^2$$

$$\text{ELS : } S_{nec}^{ELS} \geq \frac{N_s}{\sigma_{SOL}} = \frac{59247,785}{200} = 296,23 \text{ m}^2$$

D'où : la surface nécessaire du radier est : $S_{n rad} = \max(305,44 ; 296,23) = 305,44 \text{ m}^2$

$S_{rad} = 414,025 \text{ m}^2 > 305,44 \text{ m}^2$ condition vérifiée

8-4-5 Vérifications :

▪ **Vérification de la contrainte de cisaillement :**

Il faut vérifier que $\tau_u \leq \bar{\tau}_u$

$$\tau_u = \frac{T_u^{\max}}{b \cdot d} \leq \bar{\tau} = \min \left\{ \frac{0,15 \cdot f_{c28}}{\gamma_b}; 4\text{MPa} \right\}$$

$$b = 1\text{ m}; \quad d = 0,9 \cdot h_d = 0,9 \times 0,35 = 0,315\text{ m}$$

$$T_u^{\max} = q_u \cdot \frac{L_{\max}}{2} = \frac{N_u \cdot b}{S_{rad}} \cdot \frac{L_{\max}}{2}$$

$$T_u^{\max} = \frac{81248,59 \times 1}{414,025} \times \frac{4,25}{2} = 417\text{ kN}$$

$$\tau_u = \frac{417}{1 \times 0,315} \times 10^{-3} = 1,32\text{ MPa}$$

$$\bar{\tau} = \min \left\{ \frac{0,15 \times 25}{1,5}; 4\text{ MPa} \right\} = 2,5\text{ MPa}$$

$$\tau_u < \bar{\tau}_u \Rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

▪ **Vérification de la stabilité du radier :**

a) Calcul du centre de gravité du radier

$$X_G = \frac{\sum S_i \cdot X_i}{\sum S_i} = 12,5\text{ m}; \quad Y_G = \frac{\sum S_i \cdot Y_i}{\sum S_i} = 9,25\text{ m}$$

Avec : S_i : Aire du panneau considéré ;
 X_i, Y_i : Centre de gravité du panneau considéré.

b) Moment d'inertie du radier

$$I_{xx} = \sum [I_x + S_i (X_i - X_G)^2] = 9702,113\text{ m}^4.$$

$$I_{yy} = \sum [I_y + S_i (Y_i - Y_G)^2] = 18153,094\text{ m}^4.$$

c) Stabilité du radier :

La stabilité du radier consiste à la vérification des contraintes du sol sous le radier qui est sollicité par les efforts suivants :

- Effort normal (N) dû aux charges verticales.
- Moment de renversement (M) dû au séisme dans le sens considéré.

$$M = M_0 + \tau_0 \cdot h$$

Avec : M_0 : Moment sismique à la base du bâtiment ;

τ_0 : Effort tranchant à la base du bâtiment

h : Profondeur de l'infrastructure.

Le diagramme trapézoïdal des contraintes nous donne

$$\sigma_m = \frac{3 \cdot \sigma_1 + \sigma_2}{4}$$

Ainsi on doit vérifier que :

$$\text{A l'ELU: } \sigma_m = \frac{3 \cdot \sigma_1 + \sigma_2}{4} \leq 1,33 \sigma_{SOL}$$

$$\text{A l'ELS: } \sigma_m = \frac{3 \cdot \sigma_1 + \sigma_2}{4} \leq \sigma_{SOL}$$

$$\text{Avec: } \sigma_{1,2} = \frac{N}{S_{rad}} \pm \frac{M}{I} \cdot V$$

• **Sens longitudinal :**

$$\text{ELU: } M_x = 64424,5 + 3385,12 \times 0,75 = 66963,34\text{ kN.m}$$

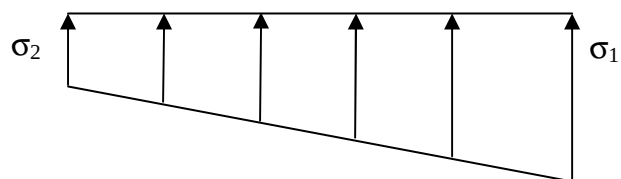


Fig 8-1 : Diagramme des contraintes

$$\sigma_1 = \frac{N_u}{S_{rad}} + \frac{M_x}{I_{yy}} \cdot V = \frac{81248,59}{414,025} + \frac{66963,34}{18153,094} \times 9,25 = 230,36 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{N_u}{S_{rad}} - \frac{M_x}{I_{yy}} \cdot V = \frac{81248,59}{414,025} - \frac{66963,34}{18153,094} \times 9,25 = 162,12 \text{ kN} / \text{m}^2$$

D'où :

$$\sigma_m = \frac{3 \times 230,36 + 162,12}{4} = 213,3 \text{ kN} / \text{m}^2 ; 1,33\sigma_{SOL} = 1,33 \times 200 = 266 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$\sigma_m < 1,33\sigma_{SOL} = 266 \text{ kN} / \text{m}^2 \Rightarrow$ Condition vérifiée.

ELS :

$$\sigma_1 = \frac{N_s}{S_{rad}} + \frac{M_x}{I_{yy}} \cdot V = \frac{59247,785}{414,025} + \frac{66963,34}{18153,094} \times 9,25 = 177,22 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{N_s}{S_{rad}} - \frac{M_x}{I_{yy}} \cdot V = \frac{59247,785}{414,025} - \frac{66963,34}{18153,094} \times 9,25 = 108,98 \text{ kN} / \text{m}^2$$

D'où

$$\sigma_m = \frac{3 \times 177,22 + 108,98}{4} = 160,16 \text{ kN} / \text{m}^2 ; \sigma_{SOL} = 200 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$\sigma_m < \sigma_{SOL} \Rightarrow$ Condition vérifiée

- **Sens transversal :**

ELU : $M_y = 64278,23 + 3356,55 \times 0,75 = 66795,64 \text{ kN.m}$

$$\sigma_1 = \frac{N_u}{S_{rad}} + \frac{M_y}{I_{xx}} \cdot V = \frac{81248,59}{414,025} + \frac{66795,64}{9702,113} \times 12,5 = 282,29 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\sigma_1 = \frac{N_u}{S_{rad}} - \frac{M_y}{I_{xx}} \cdot V = \frac{81248,59}{414,025} - \frac{66795,64}{9702,113} \times 12,5 = 196,24 \text{ kN} / \text{m}^2$$

D'où

$$\sigma_m = \frac{3 \times 31,49 + 7,49}{4} = 260,77 \text{ kN} / \text{m}^2 < 1,33\sigma_{SOL} = 266 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$\Rightarrow$ Condition vérifiée.

ELS :

$$\sigma_1 = \frac{N_u}{S_{rad}} + \frac{M_y}{I_{xx}} \cdot V = \frac{59247,785}{414,025} + \frac{66795,64}{9702,113} \times 12,5 = 216,23 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\sigma_1 = \frac{N_u}{S_{rad}} - \frac{M_y}{I_{xx}} \cdot V = \frac{59247,785}{414,025} - \frac{66795,64}{9702,113} \times 12,5 = 143,10 \text{ kN} / \text{m}^2$$

D'où

$$\sigma_m = \frac{3 \times 216,23 + 143,1}{4} = 197,94 / \text{m}^2 ; \sigma_{SOL} = 200 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$\sigma_m < \sigma_{SOL} \Rightarrow$ Condition vérifiée.

- **Vérification au poinçonnement :** (Art.A.5.2.42/BAEL91)

Aucun calcul ne sera exigé si la condition suivante est satisfaite :

$$N_u \leq \frac{0,045 \mu_c \cdot h \cdot f_{c28}}{\gamma_b}$$

Avec N_u : Charge de calcul à l'ELU pour le poteau

μ_c : Périmètre du pourtour cisailé sur le plan du feuillet moyen du radier.

a : Epaisseur du voile ou du poteau

b : Largeur du poteau ou du voile (une bonde de 1m).

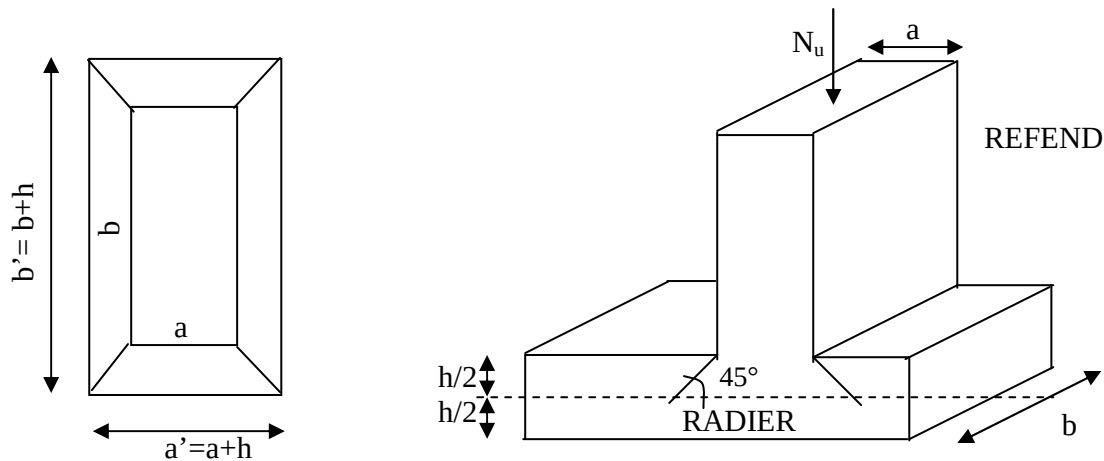


Fig 8-2 : Périmètre utile des voiles et des poteaux

Calcul du périmètre utile μ_c :

- **Poteaux :**

$$\mu_c = 2 \cdot (a' + b') = 2 \cdot (a + b + 2 \cdot h) = 2 \times (0,40 + 0,40 + 2 \times 0,75) = 4,60 \text{ m}$$

$$N_u = 1761,547 \text{ kN.}$$

$$N_u < \frac{0,045 \times 4,60 \times 0,75 \times 25000}{1,5} = 2587,5 \text{ kN}$$

⇒ Condition vérifiée.

- **Voile (VT2)**

$$\mu_c = 2 \cdot (a' + b') = 2 \cdot (a + b + 2 \cdot h) = 2 \times (0,2 + 6,45 + 2 \times 0,75) = 16,3 \text{ m}$$

$$N_u = 3108,7 \text{ kN}$$

$$N_u < \frac{0,045 \times 0,75 \times 16,3 \times 25000}{1,5} = 9168,75 \text{ kN}$$

⇒ Condition vérifiée

8-5 Ferrailage du radier :

Pour le calcul du ferrailage du radier qui est constitué des panneaux de dalles continues, on utilise les méthodes exposées dans le BEAL91. Pour les dalles continues constituées de panneaux rectangulaires considérées comme encastres sur leurs bords, le calcul s'effectue par la méthode suivante

8-5-1 Panneaux encastres sur 4 appuis :

On distingue deux cas

1^{er} Cas :

Si $\alpha < 0,4$ la flexion longitudinale est négligeable.

$$M_{ox} = q_u \cdot \frac{L_x^2}{8} \quad \text{et} \quad M_{oy} = 0$$

2^{ème} Cas :

Si $\alpha \leq 0,4 \leq 1$ les deux flexions interviennent, les moments développés au centre de la dalle dans les deux bandes de largeur d'unité valent :

$$\text{Dans le sens de la petite portée } L_x : M_{ox} = \mu_x \cdot q_u \cdot L_x^2$$

$$\text{Dans le sens de la grande portée } L_y : M_{oy} = \mu_y \cdot M_{ox}$$

Les coefficients μ_x, μ_y sont donnés par les tables de PIGEAUD.

Avec :

$$\rho = \frac{L_x}{L_y} \quad \text{avec : } (L_x < L_y)$$

Remarque :

Les panneaux étant soumis à des chargements sensiblement voisins et afin d'homogénéiser le ferrailage et de faciliter la mise en œuvre, il leur sera donc adopté la même section d'armatures, en faisant les calculs sur le panneau le plus sollicité.

- **Identification du panneau le plus sollicité**

$$\rho = \frac{L_x}{L_y} = \frac{3,6}{3,85} = 0,935 \Rightarrow \begin{cases} \mu_x = 0,04235 \\ \mu_y = 0,8525 \end{cases}$$

$0,4 \leq \rho \leq 1 \Rightarrow$ la dalle travaille dans les deux sens.

Pour le calcul du ferrailage, soustrairons de la contrainte maximale $\sigma_M^{\max}$, la contrainte due au poids propre du radier, ce dernier étant directement repris par le sol.

A l'ELU :

$$\sigma_m(ELU) - \frac{G_{rad}}{S_{rad}} = 260,77 - 1,35 \times \frac{4322,7}{414,025} = 250,32 \text{ kN} / \text{m}^2$$

A l'ELS :

$$\sigma_m(ELS) - \frac{G_{rad}}{S_{rad}} = 197,94 - \frac{4322,7}{414,025} = 187,49 \text{ kN} / \text{m}^2$$

8-5-2 Calcul à l'ELU :

- **Evaluation des moments M_x, M_y :**

On obtient : $M_x = 0,04235 \times 250,32 \times 3,6^2 = 137,39 \text{ kN.m}$

$$M_y = 0,8525 \times 137,39 = 117,12 \text{ kN.m}$$

Remarque : Afin de tenir compte des semi encastrement de cette dalle au niveau des appuis (nervures), les moments calculés seront minorés en les multipliant par des coefficients minorateurs :

0,3 pour les moments sur appui de rive ;

0,5 pour les moments sur appui intermédiaire ;

0,85 pour les moments en travées.

- **Moments aux appuis :**

Petite portée :

$$M_{ua}^x = (-0,5) \cdot M_{u \max}$$

$$M_{ua}^x = (-0,5) \times 137,39$$

$$M_{ua}^x = -68,69 \text{ kN.m}$$

Grande portée :

$$M_{ua}^y = (-0,5) \cdot M_{u \max}$$

$$M_{ua}^y = (-0,5) \times 117,12$$

$$M_{ua}^y = -58,56 \text{ kN.m}$$

- **Moments en travée :**

Petite portée :

$$M_{ut}^x = (0,85) \cdot M_{u \max}$$

$$M_{ut}^x = (0,85) \times 137,39$$

$$M_{ut}^x = 116,78 \text{ kN.m}$$

Grande portée :

$$M_{ut}^y = (0,85) \cdot M_{u \max}$$

$$M_{ut}^y = (0,85) \times 117,12$$

$$M_{ut}^y = 99,55 \text{ kN.m}$$

• **Calcul des armatures :**

a) **Sens de la petite portée (X-X) :**

- Aux appuis :

$$\mu_u = \frac{M_{ua}}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}} = \frac{68,69 \times 10^3}{100 \times 32^2 \times 14,2} = 0,047 < 0,392 \Rightarrow \text{SSA}$$

Les armatures de compression ne sont pas nécessaires.

$$\mu_u = 0,047 \rightarrow \beta_u = 0,975$$

$$A_{ua} = \frac{M_{ua}}{\beta_u \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{68,69 \times 10^3}{0,975 \times 32 \times 348} = 6,32 \text{ cm}^2 / \text{ml}$$

$$A_{ua} = 6,32 \text{ cm}^2 / \text{ml}$$

Soit **5HA14 /ml** = 7,70 cm² ; avec un espacement de **20 cm**.

- En travée :

$$\mu_u = \frac{M_{ut}}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}} = \frac{116,78 \times 10^3}{100 \times 32^2 \times 14,2} = 0,080 < 0,392 \Rightarrow \text{SSA}$$

Les armatures de compression ne sont pas nécessaires.

$$\mu_u = 0,080 \rightarrow \beta_u = 0,958$$

$$A_{ut} = \frac{M_{ut}}{\beta_u \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{116,78 \times 10^3}{0,958 \times 32 \times 348} = 10,94 \text{ cm}^2 / \text{ml}$$

$$A_{ut} = 10,94 \text{ cm}^2 / \text{ml}$$

Soit **6HA16 /ml** = 12,06 cm² ; avec un espacement de **17 cm**.

b) Sens de la grande portée (Y-Y):

- Aux appuis :

$$\mu_u = \frac{M_{ua}}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}} = \frac{58,56 \times 10^3}{100 \times 32^2 \times 14.2} = 0.040 < 0.392 \Rightarrow \text{SSA}$$

Les armatures de compression ne sont pas nécessaires.

$$\mu_u = 0.040 \rightarrow \beta_u = 0.980$$

$$A_{ua} = \frac{M_{ua}}{\beta_u \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{58,56 \times 10^3}{0.980 \times 32 \times 348} = 5.36 \text{ cm}^2 / \text{ml}$$

$$A_{ua} = 5.36 \text{ cm}^2 / \text{ml}$$

Soit **5HA12 /ml** = 5,65 cm² ; avec un espacement de **20 cm**.

- En travée :

$$\mu_u = \frac{M_{ut}}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}} = \frac{99,55 \times 10^3}{100 \times 32^2 \times 14.2} = 0.068 < 0.392 \Rightarrow \text{SSA}$$

Les armatures de compression ne sont pas nécessaires.

$$\mu_u = 0.068 \rightarrow \beta_u = 0.965$$

$$A_{ut} = \frac{M_{ut}}{\beta_u \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{99,55 \times 10^3}{0.965 \times 32 \times 348} = 9.26 \text{ cm}^2 / \text{ml}$$

$$A_{ut} = 9.26 \text{ cm}^2 / \text{ml}$$

Soit **5HA16 /ml** = 10,05 cm² ; avec un espacement de **20 cm**.

8-5-3 Vérification de la condition de non fragilité :

$$A_{\min} = \rho_0 \cdot b \cdot h \cdot \frac{3 - \rho}{2} \quad \text{Avec } \rho_0 = 0.0008 \text{ pour HA FeE400}$$

$$A_{\min} = 0.0008 \times 100 \times 35 \times \frac{3 - 0.935}{2} = 2.89 \text{ cm}^2 / \text{ml}$$

$$\text{Aux appuis : } \begin{cases} A_{ua}^x = 7.70 \text{ cm}^2 > A_{\min} = 2.89 \text{ cm}^2 / \text{ml} \rightarrow \text{condition vérifiée} \\ A_{ua}^y = 5.65 \text{ cm}^2 > A_{\min} = 2.89 \text{ cm}^2 / \text{ml} \rightarrow \text{condition vérifiée} \end{cases}$$

$$\text{En travée : } \begin{cases} A_{ut}^x = 12.06 \text{ cm}^2 > A_{\min} = 2.89 \text{ cm}^2 / \text{ml} \rightarrow \text{condition vérifiée} \\ A_{ut}^y = 10.05 \text{ cm}^2 > A_{\min} = 2.89 \text{ cm}^2 / \text{ml} \rightarrow \text{condition vérifiée} \end{cases}$$

8-5-4 Calcul à l'ELS :

- **Evaluation des moments M_x , M_y :**

$$M_x = \mu_x \cdot q_s \cdot L_x^2 \quad \text{et} \quad M_y = \mu_y \cdot M_x$$

On obtient :

$$M_x = 0,04235 \times 187,49 \times 3.6^2 = 102,9 \text{ kN.m}$$

$$M_y = 0,8525 \times 187,49 = 87,72 \text{ kN.m}$$

Moments aux appuis :

$$M_{sa}^x = (-0,5).M_{s \max} = (-0,5) \times 102,9 = -51,45 \text{ kN.m}$$

$$M_{sa}^y = (-0,5).M_{s \max} = (-0,5) \times 87,72 = -43,86 \text{ kN.m}$$

Moments en travées :

$$M_{st}^x = (0,85).M_{s \max} = (0,85) \times 102,9 = 87,46 \text{ kN.m}$$

$$M_{st}^y = (0,85).M_{s \max} = (0,85) \times 87,72 = 74,56 \text{ kN.m}$$

- **Vérification des contraintes dans le béton :**

On se dispose de cette vérification si l'inégalité suivante est satisfaite :

$$\alpha = \frac{y}{d} < \frac{\gamma-1}{2} + \frac{f_{c28}}{100} \quad \text{avec : } \gamma = \frac{M_u}{M_s}$$

Sens (X-X)

- Aux appuis

$$\gamma = \frac{68,69}{51,45} = 1,33$$

$$\text{Et } \mu = 0,047 \rightarrow \alpha = 0,0615$$

$$\alpha = 0,0615 < \frac{1,33-1}{2} + \frac{25}{100} = 0,415 \dots\dots \text{Condition vérifiée}$$

- En travée :

$$\gamma = \frac{116,78}{87,46} = 1,33$$

$$\text{Et } \mu = 0,080 \rightarrow \alpha = 0,1044$$

$$\alpha = 0,1044 < \frac{1,33-1}{2} + \frac{25}{100} = 0,415 \dots\dots \text{Condition vérifiée}$$

Sens (Y-Y) :

- Aux appuis :

$$\gamma = \frac{58,56}{43,86} = 1,33$$

$$\text{Et } \mu = 0,040 \rightarrow \alpha = 0,051$$

$$\alpha = 0,051 < \frac{1,33-1}{2} + \frac{25}{100} = 0,415 \dots\dots \text{Condition vérifiée}$$

- En travée :

$$\gamma = \frac{99,55}{74,56} = 1,33$$

$$\text{Et } \mu = 0,068 \rightarrow \alpha = 0,0881$$

$$\alpha = 0,0881 < \frac{1,33-1}{2} + \frac{25}{100} = 0,415 \dots\dots \text{Condition vérifiée}$$

Conclusion : Il n'est pas nécessaire de procéder à la vérification des contraintes dans le béton.

8-6 Ferrailage du débord :

Le débord est assimilé à une console soumise à une charge uniformément répartie, Le calcul se fera pour une bonde de 1 mètre de largeur.

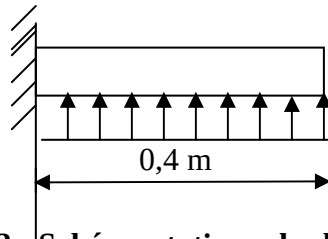


Fig 8-3 : Schéma statique du débord

8-6-1 Sollicitation de calcul :

ELU :

$$P_u = 250,32 \text{ KN/ml}$$

$$M_u = \frac{-P_u \cdot l^2}{2} = \frac{-250,32 \times 0,4^2}{2} = -20,025 \text{ kN.m}$$

ELS :

$$P_s = 187,49$$

$$M_s = \frac{-P_s \cdot l^2}{2} = \frac{-187,49 \times 0,4^2}{2} = -14,99 \text{ kN.m}$$

8-6-2 Calcul des armatures :

$$b = 100 \text{ cm} ; \quad d = 32 \text{ cm} ; \quad f_{bc} = 14,2 \text{ MPa} ; \quad \sigma_s = 348 \text{ MPa}$$

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}} = \frac{20,025 \times 10^3}{100 \times 32^2 \times 14,2} = 0,013 < \mu_e = 0,392 \Rightarrow \text{SSA}$$

$$\mu_u = 0,013 \rightarrow \beta_u = 0,9935$$

$$A_u = \frac{M_u}{\beta_u \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{20,025 \times 10^3}{0,9935 \times 32 \times 348} = 1,80 \text{ cm}^2 / \text{ml}$$

8-6-3 Vérification à l'ELU :

$$A_{\min} = \frac{0,23 \cdot b \cdot d \cdot f_{t28}}{f_e} = \frac{0,23 \times 100 \times 32 \times 2,1}{400} = 3,86 \text{ cm}^2$$

$$A_{\min} = 3,86 \text{ cm}^2 > A_u = 1,8 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{On prend } 4\text{HA}12 = 4,52 \text{ cm}^2/\text{ml}. \quad \text{Avec : } S_t = 25\text{cm}.$$

Conclusion :

Les armatures du radier sont supérieures à celles du débord.

$A_{\text{radier}} > A_{\text{débord}} \Rightarrow$ le ferrailage du débord sera la continuité de celui du radier (le prolongement des barres des poutres et de la dalle au niveau des appuis).

8-6-4 Armatures de répartition :

$$A_r = \frac{A}{4} = \frac{4,52}{4} = 1,13 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{On prend } 4\text{HA}10 = 3,14 \text{ cm}^2. \quad \text{Avec : } S_t = 10 \text{ cm}.$$

8-6-5 Vérification à l'ELS :

$$\gamma = \frac{M_u}{M_s} = \frac{20,025}{14,99} = 1,33$$

$$\alpha = 0,0415 < \frac{\gamma - 1}{2} + \frac{f_{c28}}{100} = 0,415$$

⇒ Il n'y a pas lieu de faire la vérification des contraintes à l'ELS

8-7 Ferrailage des nervures :

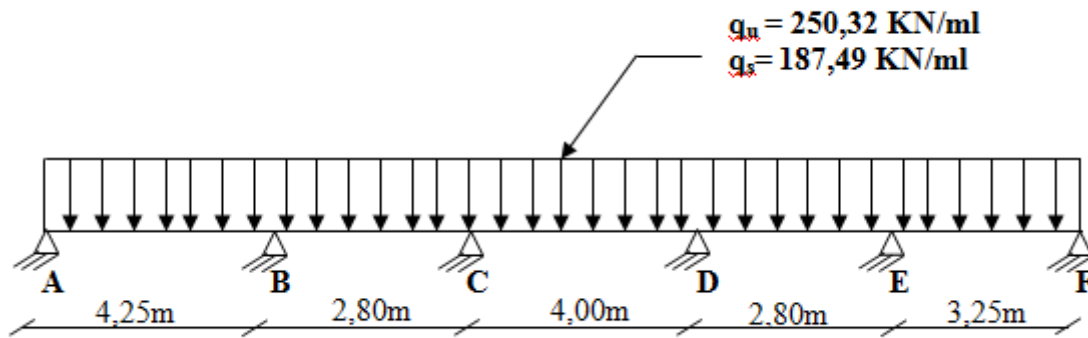


Fig 8-4 : Schéma statique de la nervure

8-7-1 Détermination des efforts :

Pour le calcul des efforts, on utilisera la méthode des trois moments exposée dans le chapitre 3 (calcul des planchers).

Les moments aux appuis sont donnés par les équations suivantes :

- Appui $i=1$; $8,5 M_1 + 4,25 M_2 = -4487,72$
- Appui $i=2$; $4,25 M_1 + 14,1 M_2 + 2,8 M_3 = -5771,03$
- Appui $i=3$; $2,8 M_2 + 13,6 M_3 + 4 M_4 = -5024,75$
- Appui $i=4$; $4 M_3 + 13,6 M_4 + 2,8 M_5 = -4487,72$
- Appui $i=5$; $2,8 M_4 + 12,1 M_5 + 3,25 M_6 = -4487,72$
- Appui $i=6$; $3,25 M_5 + 6,5 M_6 = -2006,82$

La méthode des trois moments surestime les moments aux appuis et sous estime les moments en travées, pour cela on réduit les moments sur appui de $1/3$ des valeurs trouvées, les valeurs des moments en travées seront majorées en conséquence.

Les moments fléchissants max sont :

- A l'ELU :

$$M_{ua} = 287,42 \text{ kN.m}$$

$$M_{ut} = 303,90 \text{ kN.m}$$

- A l'ELS :

$$M_{sa} = 220,74 \text{ kN.m}$$

$$M_{st} = 233,393 \text{ kN.m}$$

8-7-2 Calcul du ferrailage à l'ELU :

▪ Aux appuis :

$$\mu_u = \frac{M_{ua}}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}} = \frac{287,42 \times 10^3}{40 \times 72^2 \times 14.2} = 0.098 < 0,392 \Rightarrow \text{SSA}$$

Les armatures de compression ne sont pas nécessaires.

$$\mu_u = 0,098 \rightarrow \beta_u = 0,948$$

$$A_{ua} = \frac{M_{ua}}{\beta_u \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{287,42 \times 10^3}{0,948 \times 72 \times 348} = 12,10 \text{ cm}^2$$

$$A_{ua} = 12,10 \text{ cm}^2$$

Soit **2x4HA14** = 12,30 cm² ; avec un espacement de **10 cm**.

▪ **En travée :**

$$\mu_u = \frac{M_{ut}}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}} = \frac{303,9 \times 10^3}{40 \times 72^2 \times 14,2} = 0,103 < 0,392 \Rightarrow \text{SSA}$$

Les armatures de compression ne sont pas nécessaires.

$$\mu_u = 0,103 \rightarrow \beta_u = 0,9445$$

$$A_{ua} = \frac{M_{ut}}{\beta_u \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{303,9 \times 10^3}{0,9445 \times 72 \times 348} = 12,84 \text{ cm}^2$$

$$A_{ua} = 12,84 \text{ cm}^2$$

Soit **4HA16 + 4HA14** = 14,25 cm² ; avec un espacement de **10 cm**.

• **Armatures transversales :**

$$\phi_t \geq \frac{\phi_l}{3} = \frac{16}{3} = 5,33 \text{ mm}$$

Soit : $\Phi = 8 \text{ mm}$

On prend 2 cadres de $\Phi = 8 \text{ mm}$.

• **Espacement des armatures :**

- En zone nodale : $S_t \leq \min \left\{ \frac{h}{4} ; 12\phi_1 \right\} = \min \{18,75 ; 19,2\} = 18,75 \text{ cm}$
On opte pour $S_t = 10 \text{ cm}$.
- En zone courante : $S_t \leq h/4 = 18,75 \text{ cm}$
On opte pour $S_t = 15 \text{ cm}$.

• **Armatures de peau :**

On tenant compte du RPA, on utilise les armatures de peau suivantes :

2 barres de $\Phi 12$ avec des épingle $\Phi 8$.

8-7-3 Vérifications à l'ELU :

$$A_{\min} = \frac{0,23 \cdot b \cdot d \cdot f_{t28}}{f_e} = \frac{0,23 \times 40 \times 72 \times 2,1}{400} = 3,48 \text{ cm}^2$$

$$A_a = 12,30 \text{ cm}^2 > A_{\min} = 3,48 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{condition vérifiée}$$

$$A_t = 14,25 \text{ cm}^2 > A_{\min} = 3,48 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{condition vérifiée}$$

▪ **Vérification de la contrainte de cisaillement :**

$$\tau_u = \frac{T_{u \max}}{b \cdot d} \leq \bar{\tau}_u = \min \left\{ \frac{0,15 f_{c28}}{\gamma_b} ; 4 \text{ MPa} \right\} = 2,5 \text{ MPa}$$

Avec : $T_{u \max} = 620,022 \text{ kN}$.

$$\tau_u = \frac{620,022 \times 10^3}{400 \times 720} = 2,15 \text{ MPa}$$

2,15 MPa < 2,5 MPa.....condition vérifiée.

8-7-4 Vérification à l'ELS :

On se dispose de cette vérification si l'inégalité suivante est satisfaite :

$$\alpha = \frac{y}{d} < \frac{\gamma - 1}{2} + \frac{f_{c28}}{100} \quad \text{avec : } \gamma = \frac{M_u}{M_s}$$

- Aux appuis

$$\gamma = \frac{287,42}{220,74} = 1,30 \quad \text{Et } \mu = 0,098 \rightarrow \alpha = 0,1291$$

$$\alpha = 0,1291 < \frac{1,30 - 1}{2} + \frac{25}{100} = 0,40 \text{ Condition vérifiée}$$

- En travée :

$$\gamma = \frac{303,90}{233,393} = 1,30 \quad \text{Et } \mu = 0,103 \rightarrow \alpha = 0,1362$$

$$\alpha = 0,1362 < \frac{1,30 - 1}{2} + \frac{25}{100} = 0,40 \text{ Condition vérifiée}$$

La condition $\frac{\gamma - 1}{2} + \frac{f_{c28}}{100} > \alpha$ est vérifiée donc il n'est pas nécessaire de vérifier les contraintes dans le béton à l'ELS.

CONCLUSION

Le travail que nous avons réalisé consiste à l'étude d'une tour (R+10) à ossature de contreventement mixte (portiques + voiles). Ceci nous a permis d'étudier à la fois les portiques et les voiles et de revoir des détails de calculs de la RDM et du béton armé.

La complexité de l'ossature et l'irrégularité en plan de la structure étudiée nous ont conduit à utiliser des méthodes complexes, et donc approchées, si bien que le risque d'erreurs est inévitable. L'élaboration de ce projet nous a permis aussi de faire appel à des méthodes manuelles approchées, citons parmi elles ; la méthode dynamique spectrale, la méthode de CAQUOT et la méthode de MUTO.

Nous jugeons que dissocier ou isoler une partie de l'ossature de son système de contreventement est la solution qui reflète le moins la réalité du comportement de celle-ci et qui devrait, dans la mesure du possible être évitée, pour ainsi tenir compte de l'interaction existante entre ces éléments.

Notre but consiste à maîtriser le sens de calcul des ouvrages en béton armé, ainsi que la philosophie du BAEL et du RPA, qui visent à assurer un niveau de protection acceptable des vies humaines et des constructions vis-à-vis des charges verticales et des effets des actions sismiques, par une conception et un dimensionnement approprié.

REFERENCES

- Maitrise du BAEL91 et DTU associés (JEAN PERCHAT, JEAN ROUX)
- Béton armé. BAEL91 modifiée 99 et DTU associés (JEAN-PIERRE MOUGIN)
- DTR.BC.22.Charges permanentes et surcharges d'exploitations.
- Règles BAEL 91 modifiée 99.
- DTR.BC.2.48. Règles Parasismiques Algériennes (RPA99/version 2003).
- MARIUS DIVERS (calcul pratique des tours en béton armé) (1972).
- VICTOR DAVIDOVICI (formulaire de béton armé. Tome 2) (1997).
- M.BELAZOUGUI (calcul des ouvrages en béton armé) (1996).
- ALBERT FUENTES (calcul pratique des ossatures de bâtiment en béton armé) (1983).
- Cours et TD pris le long du cursus.
- Mémoires de fin d'études des promotions précédentes.