



Master 2 Structures (Génie Civil)

POLYCOPIE TRAVAUX DIRIGÉES

Matière : Génie parasismique

TD 1 : Étude Sismique d'une construction auto stable (R+1)

TD 2 : Étude Sismique d'une construction mixte (R+5)

TD 3 : Étude Sismique d'une construction en voiles porteurs (R+10)

TD 4 : Étude Sismique d'une construction auto stable

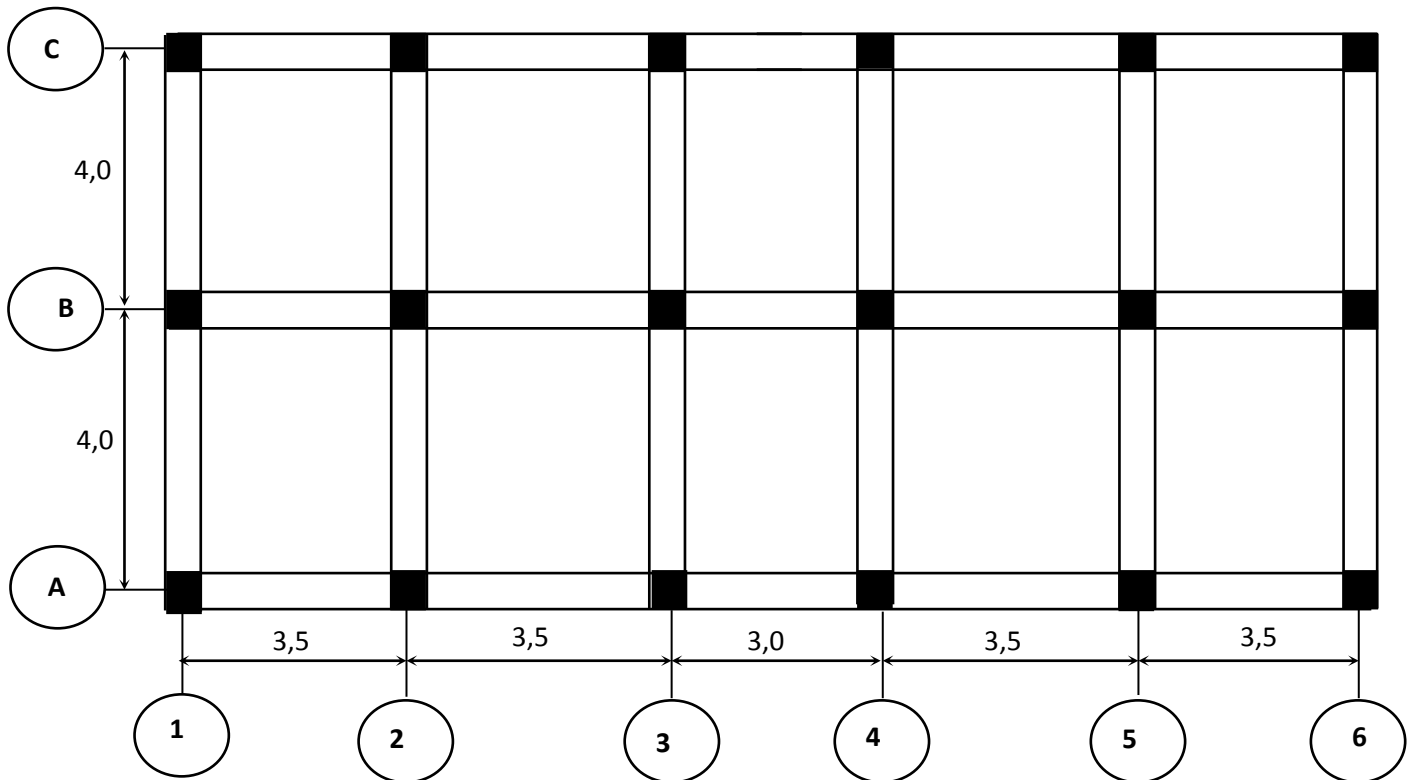
Réalisé par
Pr. Dr. Amar KASSOUL
2018/2019



Master 2 Structures (2018/2019)

TD 1 : Étude Sismique d'une construction auto stable (R+1)

Soit une construction en portiques auto stable à usage d'habitation, implanté dans une zone de moyenne sismicité Zone IIb, de 2 niveaux de 3 m de hauteur ($H = 2 \times 3\text{m} = 6\text{m}$) (Voir figures et données). Les planchers sont composés de poutrelles + corps creux (Voir donnée). La construction est fondée sur un sol ferme.



- Les dimensions des poteaux et des poutres :

	b (m)	h (m)
Poteau intermédiaire	0,4	0,4
Poteaux de rive et angle	0,3	0,3
Poutre sens porteurs	0,3	0,4
Poutre sens non porteurs	0,3	0,3

Déterminer :

- Le poids de chaque étage W_1 et W_2
- La rigidité relative de niveau et la rigidité de torsion pour chaque étage
- La force sismique à la base par la méthode statique équivalente;
- La distribution verticale de la force sismique à la base ;
- La distribution horizontale de la force sismique de chaque niveau ;

Les données supplémentaires

Plancher terrasse :	γ (Kg/m ³)	e(m)
Protection en gravillon roulés	1700	0,05
Etanchéité multicouches	12	1
Béton en forme de pente	2200	0,12
Isolation thermique au liège	400	0,04
Plancher en corps creux	1360	0,2
Enduit en plâtre	1000	0,02

Plancher courant :	γ (Kg/m ³)	e(m)
Revêtement en carrelage	2200	0,02
Mortier de pose	2000	0,02
Lit de sable	1800	0,02
Plancher en corps creux	1360	0,2
Enduit en plâtre	1000	0,02
Distribution des Cloisons	100 (kg/m ²)	

Murs extérieures	γ (Kg/m ³)	e(m)
Enduit en ciment	1800	0,02
Brique creuse	900	0,15
Vide		
Brique creuse	900	0,1
Enduit en plâtre	1000	0,02
Enduit en ciment	1800	0,02

- Les dimensions dans les fenêtres des murs extérieures sont de : **1.2m x 1.2m**
- Les dimensions en axe de l'ouverture de la cage d'escalier sont de : **3.0 m x 4.0 m**
- Le module d'élasticité de Young **E = 35000 MPa**

1 Le poids par mètre carré du plancher terrasse :

Plancher terrasse :	kg/m ³	e(m)	KN/m ²
Protection en gravillon roulés	1700	0,05	0,85
Etanchéité multicouches	12	1	0,12
Béton forme de pente	2200	0,12	2,64
Isolation thermique au liège	400	0,04	0,16
Plancher en corps creux	1400	0,2	2,8
Enduit en plâtre	1000	0,02	0,2

Plancher terrasse : $\gamma_{ter} = 6,77 \text{ KN/m}^2$

Plancher courant :			KN/m ²
Revêtement en carrelage	2200	0,02	0,44
Mortier de pose	2000	0,02	0,4
Lit de sable	1800	0,02	0,36
Plancher en corps creux	1400	0,2	2,8
Enduit en plâtre	1000	0,02	0,2
Enduit en plâtre	1	1	1

Plancher courant : $\gamma_{Cour} = 5,2 \text{ KN/m}^2$

1 le poids par mètre carré des murs

Murs extérieures			KN/m ²
Enduit en ciment	1800	0,02	0,36
Brique creuse	900	0,15	1,35
Vide			0
Brique creuse	900	0,1	0,9
Enduit en plâtre	1000	0,02	0,2
Murs extérieures : $\gamma_{mur} = 2,81 \text{ KN/m}^2$			2,81

Murs intérieures			KN/m ²
Enduit en ciment	1800	0,02	0,36
Brique creuse	900	0,15	1,35
Enduit en plâtre	1000	0,02	0,2
Murs intérieures : $\gamma_{mur} = 1,91 \text{ KN/m}^2$			1,91

Surface du plancher terrasse		
(13 - 0,3)x(11 - 0,3)	11,84	m ²
(12 - 0,3)x(11 - 0,3)	9,99	m ²
8*(13 - 0,3)x(11 - 0,3)+2*(12 - 0,3)x(11 - 0,3)	114,7	m ²

Surface du plancher courant		
(13 - 0,3)x(11 - 0,3)	11,84	m ²
(12 - 0,3)x(11 - 0,3)	9,99	m ²
8*(13 - 0,3)x(11 - 0,3)+(12 - 0,3)x(11 - 0,3)	104,71	m ²

longueur du bâtiment Lx	4*11+12	17	m
longueur du bâtiment Ly	2*13	8	m

Surface des murs

Axe A	4*((11-0,3)*(H-0,3)-1,2*1,2)	28,8	m ²
Axe C	4*((11-0,3)*(H-0,3)-1,2*1,2)+((12-0,3)*(H-0,3)-1,2*1,2)	34,65	m ²
Axe 1 et 6	2*(13-0,3)*(H-0,4)	19,24	m ²
Axe 3 et 4	2*(13-0,35)*(H-0,4)	18,98	m ²

Niveau 2

	Eléments	γ (KN/m ²)	S (m ²) où V (m ³)	Wi(KN)	Xi (m)	Wi*Xi (KN-m)	Yi (m)	Wi*Yi (KN-m)
1	Plancher terrasse	6,77	114,7	776,52	8,5	6600,41	4	3106,08
2	Poutres (Sens X)							
I'AXE A	5*(I1-0,3)*0,3*0,3	2,5	1,40	3,49	8,5	29,64	0	0,00
I'AXE B	5*(I1-0,3)*0,3*0,3	2,5	1,40	3,49	8,5	29,64	4	13,95
I'AXE C	5*(I1-0,3)*0,3*0,3	2,5	1,40	3,49	8,5	29,64	8	27,90
3	Poutres (Sens Y)							
I'AXE 1	2*(I3-0,3)*0,3*0,4	2,5	0,89	2,22	0	0,00	4	8,88
I'AXE 2	2*(I3-0,35)*0,3*0,4	2,5	0,88	2,19	3,5	7,67	4	8,76
I'AXE 3	2*(I3-0,35)*0,3*0,4	2,5	0,88	2,19	7	15,33	4	8,76
I'AXE 4	2*(I3-0,35)*0,3*0,4	2,5	0,88	2,19	10	21,90	4	8,76
I'AXE 5	2*(I3-0,35)*0,3*0,4	2,5	0,88	2,19	13,5	29,57	4	8,76
I'AXE 6	2*(I3-0,3)*0,3*0,4	2,5	0,89	2,22	17	37,74	4	8,88
4	Poteaux (Sens Y)							
I'AXE 1	3*3,0*0,3*0,3	2,5	0,81	2,03	0	0,00	4	8,10
I'AXE 2	2*3,0*0,3*0,3+3,0*0,4*0,4	2,5	1,02	2,55	3,5	8,93	4	10,20
I'AXE 3	2*3,0*0,3*0,3+3,0*0,4*0,4	2,5	1,02	2,55	7	17,85	4	10,20
I'AXE 4	2*3,0*0,3*0,3+3,0*0,4*0,4	2,5	1,02	2,55	10	25,50	4	10,20
I'AXE 5	2*3,0*0,3*0,3+3,0*0,4*0,4	2,5	1,02	2,55	13,5	34,43	4	10,20
I'AXE 6	3*3,0*0,3*0,3	2,5	0,81	2,03	17	34,43	4	8,10
5	Murs (Sens X)							
Axe A	4*((I1-0,3)*(H-0,3)-1,2*1,2)	2,81	28,8	80,93	8,5	687,89	0	0,00
Axe B							4	
Axe C	4*((I1-0,3)*(H-0,3)-1,2*1,2)+((I2-0,3)*(H-0,3)-1,2*1,2)	2,81	34,65	97,37	8,5	827,62	8	778,93
6	Murs (Sens Y)							
I'AXE 1	2*(I3-0,3)*(H-0,4)	2,81	19,24	54,06	0	0,00	4	216,26
I'AXE 2								
I'AXE 3	2*(I3-0,35)*(H-0,4)	2,81	18,98	53,33	7	373,34	4	213,34
I'AXE 4	2*(I3-0,35)*(H-0,4)	2,81	18,98	53,33	10	533,34	4	213,34
I'AXE 5								
I'AXE 6	2*(I3-0,3)*(H-0,4)	2,81	19,24	54,06	17	919,09	4	216,26
	WG2			1207,52		10263,94		4895,84
					8,5		4,05	

Niveau 1

	Eléments	γ (KN/m ²)	S (m2) où V (m3)	Wi(KN)	Xi (m)	Wi*Xi (KN-m)	Yi (m)	Wi*Yi (KN-m)
1	Plancher terrasse	5,2	104,71	544,49	8,5	4628,18	4	2177,97
2	Poutres (Sens X)							
I'AXE A	4*((I1-0,3)*0,3*0,3+(I2-0,3)*0,3*0,3)	2,5	1,40	3,49	8,5	29,64	0	0,00
I'AXE B	4*((I1-0,3)*0,3*0,3+(I2-0,3)*0,3*0,3)	2,5	1,40	3,49	8,5	29,64	4	13,95
I'AXE C	4*((I1-0,3)*0,3*0,3+(I2-0,3)*0,3*0,3)	2,5	1,40	3,49	8,5	29,64	8	27,90
3	Poutres (Sens Y)							
I'AXE 1	2*((I3-0,3)*0,3*0,4)	2,5	0,89	2,22	0	0,00	4	8,88
I'AXE 2	2*((I3-0,35)*0,3*0,4)	2,5	0,88	2,19	3,5	7,67	4	8,76
I'AXE 3	2*((I3-0,35)*0,3*0,4)	2,5	0,88	2,19	7	15,33	4	8,76
I'AXE 4	2*((I3-0,35)*0,3*0,4)	2,5	0,88	2,19	10	21,90	4	8,76
I'AXE 5	2*((I3-0,35)*0,3*0,4)	2,5	0,88	2,19	13,5	29,57	4	8,76
I'AXE 6	2*((I3-0,3)*0,3*0,4)	2,5	0,89	2,22	17	37,74	4	8,88
4	Poteaux (Sens Y)							
I'AXE 1	3*3,0*0,3*0,3	2,5	0,81	2,03	0	0,00	4	8,10
I'AXE 2	2*3,0*0,3*0,3+3,0*0,4*0,4	2,5	1,02	2,55	3,5	8,93	4	10,20
I'AXE 3	2*3,0*0,3*0,3+3,0*0,4*0,4	2,5	1,02	2,55	7	17,85	4	10,20
I'AXE 4	2*3,0*0,3*0,3+3,0*0,4*0,4	2,5	1,02	2,55	10	25,50	4	10,20
I'AXE 5	2*3,0*0,3*0,3+3,0*0,4*0,4	2,5	1,02	2,55	13,5	34,43	4	10,20
I'AXE 6	3*3,0*0,3*0,3	2,5	0,81	2,03	17	34,43	4	8,10
5	Murs (Sens X)							
Axe A	4*((I1-0,3)*(H-0,3)-1,2*1,2)	2,81	28,8	80,93	8,5	687,89	0	0,00
Axe B								
Axe C	4*((I1-0,3)*(H-0,3)-1,2*1,2)+((I2-0,3)*(H-0,3)-1,2*1,2)	2,81	34,65	97,37	8,5	827,62	8	778,93
6	Murs (Sens Y)							
I'AXE 1	2*((I3-0,3)*(H-0,4))	2,81	19,24	54,06	0	0,00	4	216,26
I'AXE 2								
I'AXE 3	2*((I3-0,35)*(H-0,4))	2,81	18,98	53,33	7	373,34	4	213,34
I'AXE 4	2*((I3-0,35)*(H-0,4))	2,81	18,98	53,33	10	533,34	4	213,34
I'AXE 5								
I'AXE 6	2*((I3-0,3)*(H-0,4))	2,81	19,24	54,06	17	919,09	4	216,26
	WG1			975,50		8291,71		3967,74
					8,5			4,07

NIVEAU	WGI (KN)°	β	Si	qi	Qi	Wi (KN)		XG(m)	YG(m)
2	1207,52	0,2	114,7	1	114,7	1230,46		8,500	4,05
1	975,50	0,2	104,71	2,5	261,775	1027,85		8,500	4,07
						2258,31	WT		

2-La rigidité relative de niveau et la rigidité de torsion pour chaque étage

La rigidité de référence R_0

E =	35000	MPa	35000	N/mm ²	
I_0 =	160000	cm ⁴	1600000000	mm ⁴	
H_0 =	3	m	3000	mm	
R_0	$12EI_0/(I_0 \cdot 3)$		24888,9	N/mm	24888,9 KN/m

La rigidité conventionnelle de chaque file et chaque niveau η :

L'axe	1	2	3	4	5	6	rigidité relative (X)
L_{xi} (m)	0	3,5	7	10	13,5	17	$\sum R_x = \eta R_0$
Niveau 2	0,667	0,877	0,877	0,877	0,877	0,667	4,842 R_0
Niveau 1	0,817	1,202	1,202	1,202	1,202	0,817	6,442 R_0

L'axe	A	B	C	rigidité relative de chaque niveau (Y)
L_{yi} (m)	0	4	8	$\sum R_y = \eta R_0$
Niveau 2	1,049	1,428	1,049	3,525 R_0
Niveau 1	1,419	2,615	1,419	5,454 R_0

Le centre de rigidité

	X	Y
Les coordonnées du centre de rigidité	$X_{CR}(m)$	$Y_{CR}(m)$
Les coordonnées du centre de gravité	$X_{CG}(m)$	$Y_{CG}(m)$
L'excentricité théorique : $e_x = 0$	$e_x(m)$	$e_y(m)$
L'excentricité accidentelle du RPA99/2003 $e_{accid} = 5\% \cdot L$	e_{xaccid}	e_{yaccid}

Niveau	$X_{CGi}(m)$	$X_{CRi}(m)$	e_{xtheo}	$e_{xaccid} = 5\% \cdot L_x$	$e_{xi}(m)$	$X_{CR}(m)$	$Y_{CGi}(m)$	$Y_{CRi}(m)$	$e_{yi}(m)$	$e_{yaccid} = 5\% \cdot L_y$	$e_{yi}(m)$	$Y_{CR}(m)$
2	8,5	8,5	0	0,85	0,85	9,35	4	4,05	0	0,4	0,4	4,5
1	8,5	8,5	0	0,85	0,85	9,35	4	4,07	0	0,4	0,4	4,5

La rigidité de torsion :

$$R_t = I_{yi} \times I_k^2 + t_{xi} \times t_i^2$$

La rigidité de torsion pour chaque étage :

Niveau		sens y						sens x			
		L1y	L2y	L3y	L4y	L5y	L6y	LAx	LBx	LCx	Rt2
		9,35	5,85	2,35	0,65	4,15	7,65	4,4	0,4	3,6	
2	$(I_k)^2$	87,42	34,22	5,52	0,42	17,22	58,52	19,36	0,16	12,96	
	RTX	58,32	30,02	4,84	0,37	15,11	39,04	20,30	0,23	13,59	181,81 R_0
		L1y	L2y	L3y	L4y	L5y	L6y	LAx	LBx	LCx	Rt1
		9,35	5,85	2,35	0,65	4,15	7,65	4,4	0,4	3,6	
1	$(t_j)^2$	87,42	34,22	5,52	0,42	17,22	58,52	19,36	0,16	12,96	
	RTX	71,40	41,14	6,64	0,51	20,70	47,80	27,48	0,42	18,40	234,47 R_0

3. Force sismique à la base par la méthode statique équivalente;

1. Calcul de la force sismique totale

La force sismique totale V , appliquée à la base de la structure, dans deux directions horizontales orthogonales selon la formule suivante :

$$V = \frac{ADQ}{R} W$$

- **A** : coefficient d'accélération de zone, donné en fonction de la zone sismique et le groupe d'usage du bâtiment.

-la zone sismique de la construction est **IIb**

-le groupe d'usage du bâtiment. La construction a usage d'habitation

donc le groupe d'usage **2**

Donc, le coefficient d'accélération de zone A est égal à **0.20**.

- **D** : facteur d'amplification dynamique moyen, fonction de la catégorie de site, du facteur de correction d'amortissement (η) et de la période fondamentale de la structure (T).

$$D = \begin{cases} 2.5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta (T_2/T)^{\frac{2}{3}} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta (T_2/3.0)^{\frac{2}{3}} (3.0/T)^{\frac{5}{3}} & T \geq 3.0 s \end{cases}$$

1. La valeur de la période fondamentale (T) de la structure est déterminée par :

$$T = C_T h_N^{3/4}$$

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

C_T : coefficient, fonction du système de contreventement, du type de remplissage.

Pour les portiques autostables en béton armé sans remplissage en maçonnerie, $C_T = 0.075$

D'où : $T = 0.29 \text{ Sec}$

La période caractéristique T_2 , associée à la catégorie du site est égale à **0.4 sec** pour un sol ferme S_2 .

Dans ce cas, $0 \leq T \leq T_2$

Donc : $D = 2.5\eta$

η : Facteur de correction d'amortissement donné par la formule :

$$\eta = \sqrt{7/(2 + \xi)} \geq 0.7$$

où ξ (%) est le pourcentage d'amortissement critique fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages.

Pour les portiques en béton armé avec un remplissage léger, $\xi = 6\%$, on a $\eta = 0.94$

Facteur d'amplification dynamique moyen D , dans le sens x :

Nous avons : $0 < T = 0.29 \text{ Sec} < T_2 = 0.4 \text{ sec}$

Dans ce cas :

D = 2,34

R : coefficient de comportement global de la structure

La structure étudiée est en portiques autostables sans remplissage en maçonnerie.

Le coefficient **R = 5**

- Q : facteur de qualité

Le facteur de qualité de la structure est fonction de :

- la redondance et de la géométrie des éléments qui la constituent
- la régularité en plan et en élévation
- la qualité du contrôle de la construction

La valeur de Q est déterminée par la formule :

$$Q = 1 + \sum_{1}^6 P_q$$

q est la pénalité à retenir selon que le critère de qualité q " est satisfait ou non".

Sa valeur est donnée au tableau 4.4

Les critères de qualité "q" à vérifier sont :

1. Conditions minimales sur les files de contreventement

Système de portiques : chaque file de portique doit comporter à tous les niveaux, au moins trois (03) travées dont le rapport des portées n'excède pas 1.5.

Sens Y : on a deux travées seulement, donc cette condition n'est pas observée, donc : **Pq = 0.05**

Sens X : $L_1/L_2 = 3.5/3 = 1.17 < 1.5$ cette critère est observée, donc : **Pq = 0.0**

2. Redondance en plan

Chaque étage devra avoir, en plan, au moins quatre (04) files de portiques et/ou de voiles dans la direction des forces latérales appliquées.

Ces files de contreventement devront être disposées symétriquement autant que possible avec un rapport entre valeurs maximale et minimale d'espacement ne dépassant pas 1,5.

Sens Y : 6 files et $3/3.5 = 0.85 < 1.5$, cette critère est observée, donc : **Pq = 0.00**

Sens X : 3 files, critère non observé donc : **Pq = 0.05**

3. Régularité en plan : La structure est classée régulière en plan.

La construction est régulière en plan, donc : **Pq = 0.00**

4. Régularité en élévation : La structure est classée régulière en élévation.

La construction est régulière en élévation, donc : **Pq = 0.00**

5. Contrôle de la qualité des matériaux

Il n'est y pas des essais systématiques sur les matériaux mis en œuvre doivent être réalisés par l'entreprise.
D'où : $P_q = 0.05$

6. Contrôle de la qualité de l'exécution

Il n'est y pas une supervision des essais effectués sur les matériaux.
D'où : $P_q = 0.1$

Tableau : valeurs des pénalités P_q

	Critère q	Sens Y	Sens X
1.	Conditions minimales sur les files de contreventement	0,05	0,00
2.	Redondance en plan	0	0,05
3.	Régularité en plan	0	0
4.	Régularité en élévation	0	0
5.	Contrôle de la qualité des matériaux	0,05	0,05
6.	Contrôle de la qualité de l'exécution	0,1	0,1
		1	1
		1.2	1.20

$$Q_x = 1.2 \text{ et } Q_y = 1.2$$

- W : poids total de la structure,

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

$$W = \sum_{i=k}^n W_i$$

Avec : $W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi}$

Où :

W_{Gi} : poids dû aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels, solidaires de la structure

W_{Qi} : charges d'exploitation

β : coefficient de pondération, fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation

$\beta = 0.2$

NIVEAU	W_{Gi} (KN)°	β	$S_i(m^2)$	$q_i(KN/m^2)^\circ$	$Q_i(KN)^\circ$	W_i (KN)
2	1207,52	0,2	114,7	1	114,7	1230,46
1	975,50	0,2	104,71	2,5	261,775	1027,85
					WT	2258,31

La force sismique totale V , appliquée à la base de la structure,

Dans la direction horizontale X est : $V_x = 253,5$ KN

Dans la direction horizontale Y est : $V_y = 253,5$ KN

4. Distribution verticale de la force sismique à la base

4.1 Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur (verticale)

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

$$V = F_t + \sum_{i=k}^n F_i$$

La force concentrée F_t au sommet de la structure permet de tenir compte de l'influence des modes supérieurs de vibration. Elle doit être déterminée par la formule :

$$F_t = 0,07 TV$$

où T est la période fondamentale de la structure (en secondes). La valeur de F_t ne dépassera en aucun cas $0,25 V$ et sera prise égale à 0 quand T est plus petite ou égale à $0,7$ secondes.

La partie restante de V soit $(V - F_t)$ doit être distribuée sur la hauteur de la structure suivant la formule :

$$F_i = \frac{(V - F_t)W_i h_i}{\sum_{j=1}^n W_j h_j}$$

Où :

F_i : Effort horizontal revenant au niveau i

h_i : niveau du plancher où s'exerce la force F_i

h_j : niveau du plancher quelconque

W_i, W_j : poids revenant aux planchers i, j

Nous avons : $T < 0.7$ sec donc : $F_t = 0$

Sens X = Sens Y

	W (KN)	Hi(m)	WiHi	Vx(KN)	Fix(KN)
2	1230,46	6	7382,76	253,49	178,81
1	1027,85	3	3083,55	253,49	74,68
	2258,31		10466,31		253,49

5. Distribution horizontale de la force sismique de chaque niveau

L'effort tranchant au niveau de l'étage k :

$$V = F_t + \sum_{i=k}^n F_i$$

Dans le cas de structures comportant des planchers rigides dans leur plan, est distribué aux éléments verticaux de contreventement proportionnellement à leurs rigidités relatives.

$$F_{ij} = F_{jx} \frac{R_{ix}^j}{\sum_{i=1}^n R_{ix}^j} \pm F_{jx} e_x \frac{R_{ix}^j t_i}{R_t^j}$$

$$F_{kj} = F_{jy} \frac{R_{ky}^j}{\sum_{k=1}^m R_{ky}^j} \pm F_{jy} e_y \frac{R_{ky}^j l_k}{R_t^j}$$

DISTRIBUTION HORIZONTALE DE LA FORCE SISMIQUE DE NIVEAU SENS Y

Niveau 2

Portique K	F2Y (KN)	RKY	RKY/S(RKY)	F2Y*RKY/S(RKY)	Mt = F2Y*ax	LK	RKY*LK	RT2	F2YR	FK = FKX(T)+FKX(R)
1	178,81	0,667	0,138	24,63	151,99	9,35	6,24	181,81	5,21	29,85
2	178,81	0,877	0,181	32,39	151,99	5,85	5,13	181,81	4,29	36,68
3	178,81	0,877	0,181	32,39	151,99	2,35	2,06	181,81	1,72	34,11
4	178,81	0,877	0,181	32,39	151,99	0,65	0,57	181,81	0,48	32,86
5	178,81	0,877	0,181	32,39	151,99	4,15	3,64	181,81	3,04	35,43
6	178,81	0,667	0,138	24,63	151,99	7,65	5,10	181,81	4,27	28,90
		4,842								

Niveau 1

Portique K	F1Y (KN)	RKY	RKY/S(RKY)	F1Y*RKY/S(RKY)	Mt = F1Y*ax	LK	RKY*LK	RT1	F1YR	FK = FKX(T)+FKX(R)
1	74,68	0,817	0,127	9,47	63,48	9,35	7,636	234,47	2,07	11,54
2	74,68	1,202	0,187	13,94	63,48	5,85	7,032	234,47	1,90	15,84
3	74,68	1,202	0,187	13,94	63,48	2,35	2,825	234,47	0,76	14,70
4	74,68	1,202	0,187	13,94	63,48	0,65	0,781	234,47	0,21	14,15
5	74,68	1,202	0,187	13,94	63,48	4,15	4,989	234,47	1,35	15,29
6	74,68	0,817	0,127	9,47	63,48	7,65	6,248	234,47	1,69	11,16
		6,442	1,000	74,68						

DISTRIBUTION HORIZONTALE DE LA FORCE SISMIQUE DE NIVEAU SENS X

Niveau 2

Portique t	F2Y	RKY	RKY/S(RKY)	F2X*RKY/S(RKY)	Mt = F2y*ay	LK	RKY*LK	RT2	F2XR	FK = FKX(T)+FKX®
A	178,81	1,049	0,298	53,20	71,52	4,4	4,615	181,81	1,82	55,01
B	178,81	1,428	0,405	72,41	71,52	0,4	0,571	181,81	0,22	72,64
C	178,81	1,049	0,298	53,20	71,52	3,6	3,776	181,81	1,49	54,68
		3,525								

Niveau 1

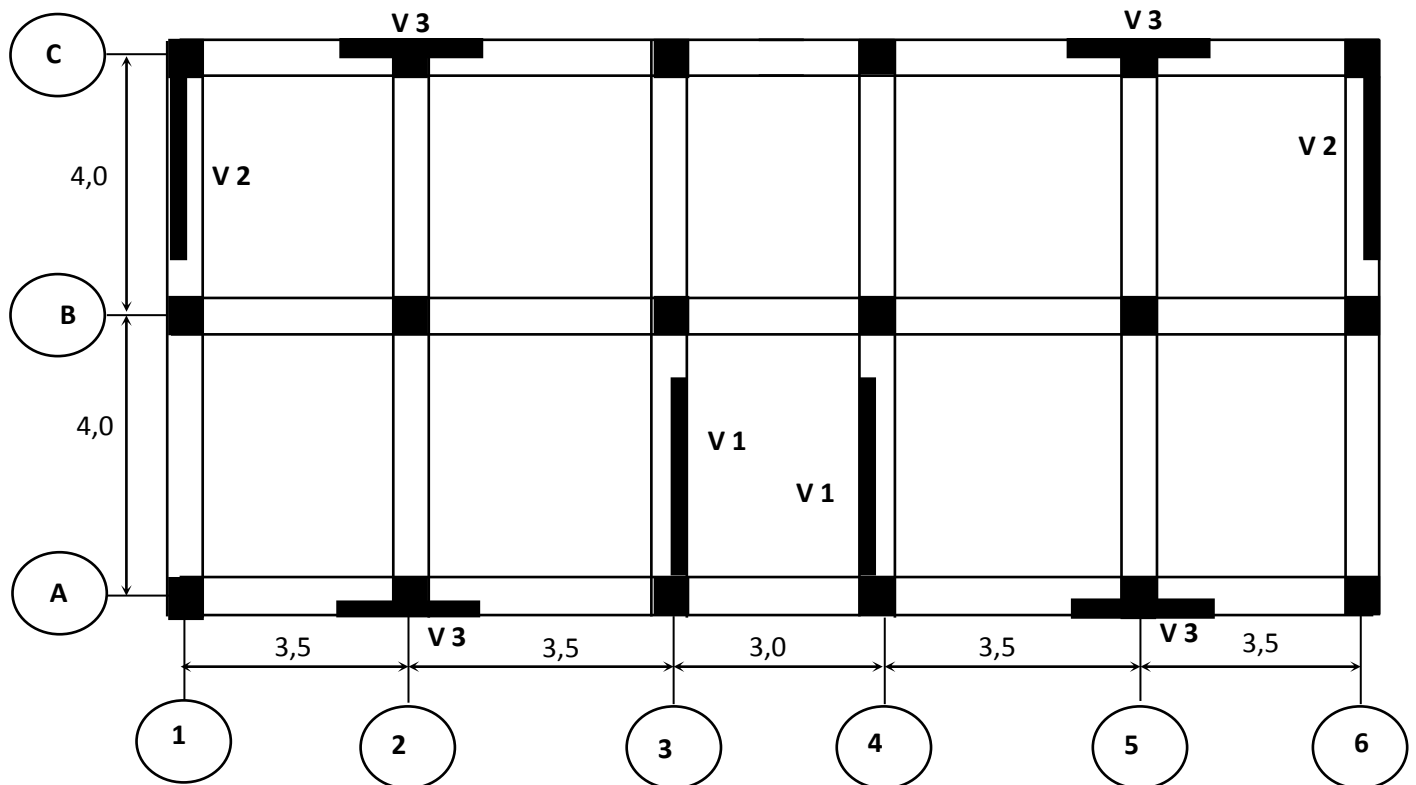
Portique t	F1Y	RKY	RKY/S(RKY)	F1X*RKY/S(RKY)	Mt = F2y*ay	LK	RKY*LK	RT1	F1XR	FK = FKX(T)+FKX®
A	74,68	1,419	0,260	19,44	29,87	4,4	6,245	234,47	0,80	20,23
B	74,68	2,615	0,479	35,81	29,87	0,4	1,046	234,47	0,13	35,94
C	74,68	1,419	0,260	19,44	29,87	3,6	5,110	234,47	0,65	20,09
		5,454								



Master 2 Structures (2018/2019)

TD 2 : Étude Sismique d'une construction mixte (R+5)

Soit une construction mixte (portiques + voiles) à usage administrative, devant rester fonctionnels en cas de séisme, implanté dans une zone de forte sismicité Zone IIb, de 6 niveaux de 3 m de hauteur ($H = 6 \times 3 \text{ m} = 18 \text{ m}$). Les portiques sont contreventés par Voiles porteurs en béton armé (Voir figures et données). Les planchers du S/sol est une dalle pleine et les autres étages sont composées de poutrelles + corps creux (Voir donnée). La construction est fondée sur un sol ferme (S2).



- Les poids pondérés de chaque étage sont donnés :
 $W_1 = W_2 = W_3 = W_4 = W_5 = W_6 = 2500 \text{ KN}$
- Les dimensions des voiles en béton armé :

Voile	L (m)	e (m)
1	2,8	0,15
2	3	0,15
3	2,4	0,20

Déterminer dans les deux directions :

- La force sismique à la base par la méthode statique équivalente;
- La distribution verticale de la force sismique à la base ;
- La distribution horizontale de la force sismique de chaque niveau ;

1. Calcul de la force sismique totale

La force sismique totale V , appliquée à la base de la structure, dans deux directions horizontales orthogonales selon la formule suivante :

$$V = \frac{ADQ}{R} W$$

- **A** : coefficient d'accélération de zone, donné en fonction de la zone sismique et le groupe d'usage du bâtiment.

- la zone sismique de la construction est **IIb**

- le groupe d'usage du bâtiment. La construction administrative devant rester fonctionnels en cas de séisme, donc le groupe d'usage **1A**

Donc, le coefficient d'accélération de zone A est égal à **0.30**.

- **D** : facteur d'amplification dynamique moyen, fonction de la catégorie de site, du facteur de correction d'amortissement (η) et de la période fondamentale de la structure (T).

$$D = \begin{cases} 2.5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta (T_2/T)^{\frac{2}{3}} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta (T_2/3.0)^{\frac{2}{3}} (3.0/T)^{\frac{5}{3}} & T \geq 3.0s \end{cases}$$

1. La valeur de la période fondamentale (T) de la structure est déterminée par :

$$T = C_T h_N^{3/4}$$

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

C_T : coefficient, fonction du système de contreventement, du type de remplissage.

Pour la construction mixte, le contreventement par voiles, $C_T = 0.05$

D'où : $T = 0.44$ Sec

Dans notre cas, on peut également utiliser aussi la formule :

$$T = 0.09 h_n / \sqrt{D}$$

où D est la dimension du bâtiment mesurée à sa base dans la direction de calcul considérée.

Dans le sens X : **$T_{1x} = 0.39$ Sec**

Dans le sens Y : **$T_{1y} = 0.57$ Sec**

La période retenir dans chaque directions considérée la plus petite des deux valeurs de :

$T_x = \min(T_{1x}, T) = 0.39$ Sec

$T_y = \min(T_{1y}, T) = 0.44$ Sec

La période caractéristique T_2 , associée à la catégorie du site est égale à **0.4 sec** pour un sol ferme S_2 .

η : Facteur de correction d'amortissement donné par la formule :

$$\eta = \sqrt{7/(2 + \xi)} \geq 0.7$$

où ξ (%) est le pourcentage d'amortissement critique fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages.

Pour les voiles en béton armé, $\xi = 10\%$, on a $\eta = 0.76$

Facteur d'amplification dynamique moyen D , dans le sens x :

Nous avons : $0 < T = 0.39 \text{ Sec} < T_2 = 0.4 \text{ sec}$

Dans ce cas :

$$D_x = 2.5 \eta = 1,91$$

Dans le sens y :

Nous avons : $T_2 < T = 0.44 \text{ Sec} < 3 \text{ sec}$

Dans ce cas :

$$D_y = 2.5 \eta (T_2/T)^{2/3} = 1,8$$

R : coefficient de comportement global de la structure

La structure étudiée est en portiques contreventés par des voiles

Le coefficient **R = 4**

- Q : facteur de qualité

Le facteur de qualité de la structure est fonction de :

- la redondance et de la géométrie des éléments qui la constituent
- la régularité en plan et en élévation
- la qualité du contrôle de la construction

La valeur de Q est déterminée par la formule :

$$Q = 1 + \sum_{1}^6 P_q$$

q est la pénalité à retenir selon que le critère de qualité q " est satisfait ou non".

Sa valeur est donnée au tableau 4.4

Les critères de qualité "q" à vérifier sont :

1. Conditions minimales sur les files de contreventement

- **système de voiles** : chaque file de voiles doit comporter à tous les niveaux, au moins un (01) trumeau ayant un rapport "hauteur d'étage sur largeur" inférieur ou égal à **0,67** ou bien deux (02) trumeaux ayant un rapport "hauteur d'étage sur largeur" inférieur ou égal à 1,0.

Sens Y : $H_{eta}/L_{tru} = 3/3 = 1 > 0.67$ cette relation n'est pas observée, donc : $P_q = 0.05$

Sens X : $H_{eta}/L_{tru} = 3/2.4 = 1.25 > 0.67$ cette relation n'est pas observée, donc : $P_q = 0.05$

2. Redondance en plan

Chaque étage devra avoir, en plan, au moins quatre (04) files de portiques et/ou de voiles dans la direction des forces latérales appliquées.

Ces files de contreventement devront être disposées symétriquement autant que possible avec un rapport entre valeurs maximale et minimale d'espacement ne dépassant pas 1,5.

Sens Y : 5 files et $3/3.5 = 0.85 < 1.5$ donc : $P_q = 0.00$

Sens X : 2 files N'est pas observé donc : $P_q = 0.05$

3. Régularité en plan : La structure est classée régulière en plan.

La construction est régulière en plan, donc : $P_q = 0.00$

4. Régularité en élévation : La structure est classée régulière en élévation.

La construction est régulière en élévation, donc : $P_q = 0.00$

5. Contrôle de la qualité des matériaux

Il n'y a pas des essais systématiques sur les matériaux mis en œuvre doivent être réalisés par l'entreprise.

D'où : $P_q = 0.05$

6. Contrôle de la qualité de l'exécution

Il n'y a pas une supervision des essais effectués sur les matériaux.

D'où : $P_q = 0.1$

Tableau 4.4.: valeurs des pénalités P_q

	Critère q	Sens Y	Sens X
1.	Conditions minimales sur les files de contreventement	0,05	0,05
2.	Redondance en plan	0	0,05
3.	Régularité en plan	0	0
4.	Régularité en élévation	0	0
5.	Contrôle de la qualité des matériaux	0,05	0,05
6.	Contrôle de la qualité de l'exécution	0,1	0,1
		1	1
		Qy = 1.2	Qx = 1.25

- **W** : poids total de la structure,

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

$$W = \sum_{i=k}^n W_i$$

Avec : $W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi}$

Où :

W_{Gi} : poids dû aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels, solidaires de la structure

W_{Qi} : charges d'exploitation

β : coefficient de pondération, fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation

$$W = 6 \times 2500 = \mathbf{15000 \text{ KN}}$$

La force sismique totale V, appliquée à la base de la structure,

Dans la direction horizontale Y est : $V_y = 2430,3 \text{ KN}$

Dans la direction horizontale X est : $V_x = 2685,103 \text{ KN}$

2. Distribution verticales et horizontale des forces sismiques

2.1 Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur

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

$$V = F_t + \sum_{i=k}^n F_i$$

La force concentrée F_t au sommet de la structure permet de tenir compte de l'influence des modes supérieurs de vibration. Elle doit être déterminée par la formule :

$$F_t = 0,07 TV$$

où T est la période fondamentale de la structure (en secondes). La valeur de F_t ne dépassera en aucun cas 0,25 V et sera prise égale à 0 quand T est plus petite ou égale à 0,7 secondes.

La partie restante de V soit $(V - F_t)$ doit être distribuée sur la hauteur de la structure suivant la formule :

$$F_i = \frac{(V - F_t)W_i h_i}{\sum_{j=1}^n W_j h_j}$$

Où :

F_i : Effort horizontal revenant au niveau i

h_i : niveau du plancher où s'exerce la force F_i

h_j : niveau du plancher quelconque

W_i, W_j : poids revenant aux planchers i, j

Nous avons : $T < 0.7 \text{ sec}$ donc : $F_t = 0$

La distribution verticales de la force sismique dans le sens Y et X

NIVEAU	W _{Gi}	h _i (m)	W _i *h _i	W _i *h _i /Σ(W _j *h _j)	F _{yj} (KN)	F _{xi} (KN)
6	2500	18	45000	0,286	694,37	767,17
5	2500	15	37500	0,238	578,64	639,31
4	2500	12	30000	0,190	462,91	511,45
3	2500	9	22500	0,143	347,18	383,59
2	2500	6	15000	0,095	231,46	255,72
1	2500	3	7500	0,048	115,73	127,86
	15000		157500	1,000	2430,28	2685,103

2.2. Distribution horizontale des forces sismiques

L'effort tranchant au niveau de l'étage k :

$$V = F_t + \sum_{i=k}^n F_i$$

Dans le cas de structures comportant des planchers rigides dans leur plan, est distribué aux éléments verticaux de contreventement proportionnellement à leurs rigidités relatives.

La rigidité de chaque élément

Sens	Voile	L (m)	e (m)	I (m ⁴)
Y	1	2,8	0,15	0,2744
Y	2	3	0,15	0,3375
X	3	2,4	0,2	0,2304

Le centre de gravité : X_{CG} = 8,5 m

Le centre de rigidité : X_{CR} = 8,5 m

L'excentricité e_x = 0 < e_{xtheo} = 5%*L_x = 0,85m

Le centre de gravité : Y_{CG} = 4 m

Le centre de rigidité : X_{CR} = 4 m

L'excentricité e_y = 0 < e_{ytheo} = 5%*L_y = 0,4 m

La rigidité de torsion

$$R_t = \sum I_{yi} \times l_k^2 + \sum t_{xi} \times t_i^2$$

L'axe	1	2	3	4	5	6		XCR
Xj (m)	0	3,5	7	10	13,5	17		
Lk (m)	9,35	5,85	2,35	0,65	4,15	7,65		
inertie I_{yi}	0,34		0,27	0,27		0,34	1,22	
inertiexxi	0,00		1,92	2,74		5,74	10,40	8,5
Inert*I_k2	29,51		1,52	0,12		19,75	50,89	rtx

L'axe	A	B	C		
Yi (m)	0	4	8	4	yCR
Ti (m)	4,4	0,4	3,6		
INERTIE I (m⁴)	0,46	0,00	0,46	0,92	
Inet*xk	0,00	0,00	3,69	3,69	4
Inert*I_k2	8,92	0,00	5,97	14,89	rty

65,78 R_t

$$R_t = 50.89 + 14.89 = 65,78 \text{ m}^6$$

Facteur de distribution dans chaque file de voile dans le sens y

	I_k	$I_k/\Sigma(I_k)$	L_k	$I_k * L_k$	$e_x * I_k * L_k / R_t$	η_y
1	0,3375	0,276	9,35	3,16	0,041	0,317
2						
3	0,27	0,224	2,35	0,64	0,008	0,233
4	0,27	0,224	0,65	0,18	0,002	0,227
5						
6	0,3375	0,276	7,65	2,58	0,033	0,309
		1,000				

Facteur de distribution dans chaque file de voile dans le sens x

	I_t	$I_t/\Sigma(I_t)$	L_t	$I_t * L_t$	$e_y * I_t * L_t / R_t$	η_x
A	0,4608	0,500	4,40	2,03	0,012	0,512
B						
C	0,4608	0,500	3,60	1,66	0,010	0,510

La force sismique horizontale dans chaque voile et dans chaque niveau sens y

		File de Voiles η_y					
L'axe y		1	2	3	4	5	6
NIVEAU	V_{yj} (KN)	0,317		0,233	0,227		0,309
6	694,37	219,81		161,48	157,29		214,66
5	578,64	183,17		134,56	131,08		178,88
4	462,91	146,54		107,65	104,86		143,11
3	347,18	109,90		80,74	78,65		107,33
2	231,46	73,27		53,83	52,43		71,55
1	115,73	36,63		26,91	26,22		35,78

La force sismique horizontale dans chaque voile et dans chaque niveau sens x

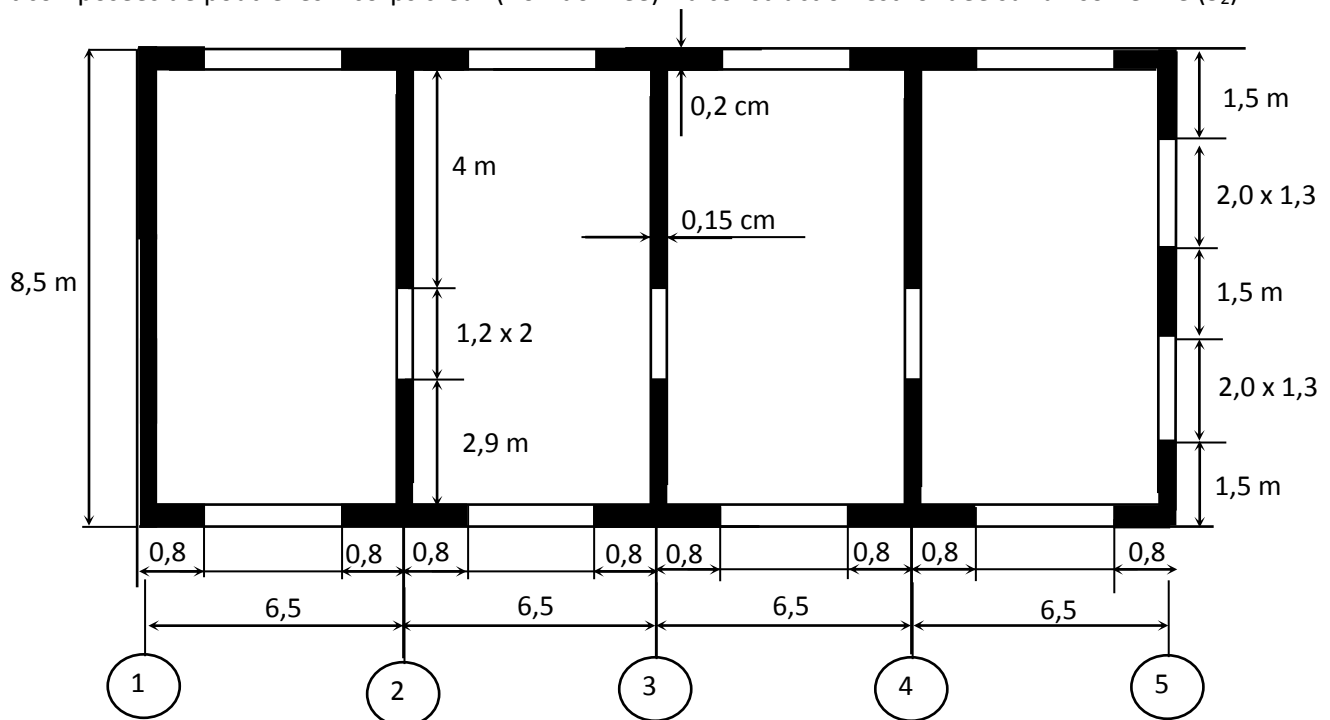
		File de Voiles η_x		
L'axe x		A	B	C
NIVEAU	V_{xj}	0,512		0,510
6	767,17	393,01		391,30
5	639,31	327,51		326,08
4	511,45	262,01		260,87
3	383,59	196,51		195,65
2	255,72	131,00		130,43
1	127,86	65,50		65,22



Master 2 Structures (2018/2019)

TD 3 : Étude Sismique d'une construction en voiles porteurs (R+10)

Soit un bâtiment à usage administratif devant rester fonctionnels en cas de séisme, implanté en zone de forte sismicité Zone IIb, composé d'un sous sol (S/sol) + un Rez de Chaussée (RDC) + 10 étages. Il contreventé par Voiles porteurs en béton armé (Voir figures et données). Les planchers du S/sol est une dalle pleine et les autres étages sont composées de poutrelles + corps creux (Voir donnée). La construction est fondée sur un sol ferme (S_2).



- Les poids pondérés de chaque étage sont donnés :
 $W_1 = W_2 = W_3 = W_4 = W_5 = W_6 = W_7 = W_8 = W_9 = W_{10} = 1500 \text{ KN}$
 $W_{11} = 1350 \text{ KN}$
- Le poids total pondéré est :
 $W_T = 16350 \text{ KN}$
- La hauteur totale $H = 30,8 \text{ m}$
- La hauteur de chaque étage $h_i = 2,8 \text{ m}$
- Les inerties équivalentes des voiles sont déterminées :

L'axe k	1	2	3	4	5
$I_k \text{ (m}^4\text{)}$	14,37	16,61	16,61	16,61	11,27

Déterminer :

- La force sismique à la base V_y par la méthode statique équivalente;
- La distribution verticale de la force sismique à la base ;
- La distribution horizontale de la force sismique de chaque niveau ;

1. Calcul de la force sismique totale

La force sismique totale V , appliquée à la base de la structure, dans le sens y est exprimée par :

$$V = \frac{ADQ}{R} W$$

- **A** : coefficient d'accélération de zone, donné en fonction de la zone sismique et le groupe d'usage du bâtiment.

- la zone sismique de la construction est **IIb**

- le groupe d'usage du bâtiment. La construction administrative devant rester fonctionnels en cas de séisme, donc le groupe d'usage **1A**

Donc, le coefficient d'accélération de zone **A** est égal à **0.30**.

- **D** : facteur d'amplification dynamique moyen, fonction de :

- la catégorie de site,

- du facteur de correction d'amortissement (η)

- de la période fondamentale de la structure (T).

Il est exprimé par :

$$D = \begin{cases} 2.5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta \left(\frac{T_2}{T}\right)^{\frac{2}{3}} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta \left(\frac{T_2}{3.0}\right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{3.0}{T}\right)^{\frac{5}{3}} & T \geq 3.0s \end{cases}$$

1. La valeur de la période fondamentale (T) de la structure est déterminée par :

$$T = C_T h_N^{3/4}$$

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

C_T : coefficient, fonction du système de contreventement, du type de remplissage.

Pour la construction en voile porteur, le contreventement par voiles, **$C_T = 0.05$**

D'où : $T = 0.65$ Sec

Dans notre cas, on peut également utiliser aussi la formule :

$$T = 0.09 h_n / \sqrt{D}$$

où D est la dimension du bâtiment mesurée à sa base dans la direction de calcul considérée.

Dans le sens **Y** : **$T_{1y} = 0.95$ Sec**

La période retenue dans la direction **Y** considérée est la plus petite des deux valeurs de :

$$T_y = \min(T_{1y}, T) = \min(0.65 \text{ Sec}, 0.95 \text{ Sec}) = 0.65 \text{ Sec}$$

La période caractéristique T_2 , associée à la catégorie du site est égale à **0.4 sec** pour un sol ferme S_2 .

η : Facteur de correction d'amortissement donné par la formule :

$$\eta = \sqrt{7/(2 + \xi)} \geq 0.7$$

où ξ (%) est le pourcentage d'amortissement critique fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages.

Pour les voiles en béton armé, $\xi = 10\%$, on a **$\eta = 0,76$**

Facteur d'amplification dynamique moyen D , dans le sens y :

Nous avons : $T_2 < T = 0.65 \text{ Sec} < 3 \text{ sec}$

Dans ce cas :

$$D = 2.5\eta \left(\frac{T_2}{T} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$D = 1,38$

R : coefficient de comportement global de la structure

La structure étudiée est en voiles porteurs, d'où : Le coefficient **$R = 3.5$**

- Q : facteur de qualité

Le facteur de qualité de la structure est fonction de :

- la redondance et de la géométrie des éléments qui la constituent
- la régularité en plan et en élévation
- la qualité du contrôle de la construction

La valeur de Q est déterminée par la formule :

$$Q = 1 + \sum_{q=1}^6 P_q$$

q est la pénalité à retenir selon que le critère de qualité q "est satisfait ou non".

Sa valeur est donnée au tableau **4.4**

Les critères de qualité "q" à vérifier sont :

1. Conditions minimales sur les files de contreventement

- **système de voiles** : chaque file de voiles doit comporter à tous les niveaux, au moins un (01) trumeau ayant un rapport "hauteur d'étage sur largeur" inférieur ou égal à **0,67** ou bien deux (02) trumeaux ayant un rapport "hauteur d'étage sur largeur" inférieur ou égal à 1,0.

L'axe 1 $H_{eta}/L_{tru} = 2.8/8.5 = 0.33 < 0.67$ cette relation est observé,

L'axe 2 $H_{eta}/L_{tru} = 2.8/4 = 0.7 < 1$ cette relation est observé

L'axe 5 $H_{eta}/L_{tru} = 2.8/1.5 = 1,9 > 1$ cette relation n'est pas observé, donc : $P_q = 0.05$

2. Redondance en plan

Dans notre cas, chaque étage contient cinq (05) files de voiles dans la direction y des forces latérales appliquées.

Ces files de contreventement sont disposées d'une manière symétrique.

Sens Y : 5 files et $6.5/6.5 = 1 < 1.5$ donc : $P_q = 0.00$

3. Régularité en plan : La structure est classée régulière en plan.

La construction est régulière en plan, donc : $P_q = 0.00$

4. Régularité en élévation : La structure est classée régulière en élévation.

La construction est régulière en élévation, donc : $P_q = 0.00$

5. Contrôle de la qualité des matériaux

Il n'est y pas des essais systématiques sur les matériaux mis en œuvre doivent être réalisés par l'entreprise.

D'où : $P_q = 0.05$

6. Contrôle de la qualité de l'exécution

Il n'est y pas une supervision des essais effectués sur les matériaux.

D'où : $P_q = 0.1$

Tableau: Résumé des valeurs des pénalités P_q

	Critère q	Sens Y
1.	Conditions minimales sur les files de contreventement	0,05
2.	Redondance en plan	0
3.	Régularité en plan	0
4.	Régularité en élévation	0
5.	Contrôle de la qualité des matériaux	0,05
6.	Contrôle de la qualité de l'exécution	0,1
		1
		$Q_y = 1.2$

- W : poids total de la structure,

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

$$W = \sum_{i=k}^n W_i$$

Avec : $W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi}$

Où :

W_{Gi} : poids dû aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels, solidaires de la structure

W_{Qi} : charges d'exploitation

β : coefficient de pondération, fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation

$$W = 10 \times 1500 + 1350 = \mathbf{16350 \text{ KN}}$$

La force sismique totale V , appliquée à la base de la structure,

Dans la direction horizontale Y est : $V_Y = 2314,38 \text{ KN}$

2. Distribution verticales de la force sismique (selon la hauteur)

La résultante des forces sismiques à la base V est distribuée sur la hauteur de la structure selon la formule suivante :

$$V = F_t + \sum_{i=k}^n F_i$$

La force concentrée F_t au sommet de la structure permet de tenir compte de l'influence des modes supérieurs de vibration. Elle est déterminée par la formule :

$$F_t = 0,07 TV$$

où T est la période fondamentale de la structure (en secondes).

La valeur de F_t ne dépassera en aucun cas $0,25 V$ et sera prise égale à 0 quand T est plus petite ou égale à $0,7$ secondes. La partie restante de V soit $(V - F_t)$ est distribuée sur la hauteur de la structure suivant la formule suivante:

$$F_i = \frac{(V - F_t)W_i h_i}{\sum_{j=1}^n W_j h_j}$$

Où :

F_i : Effort horizontal revenant au niveau i

h_i : niveau du plancher où s'exerce la force F_i

h_j : niveau du plancher quelconque

W_i, W_j : poids revenant aux planchers i, j

Nous avons : $T = 0.65 \text{ sec} < 0.7 \text{ sec}$, **donc : $F_t = 0$**

La distribution verticales de la force sismique dans le sens Y

NIVEAU	$W_{Gi}(\text{KN})$	$h_i \text{ (m)}$	$W_i * h_i$	$\gamma = \frac{W_i h_i}{\sum_{j=1}^n W_j h_j}$	$F_{yi} = V * \gamma$ (KN)
11	1350	30,8	41580	0,153	353,04
10	1500	28	42000	0,154	356,61
9	1500	25,2	37800	0,139	320,95
8	1500	22,4	33600	0,123	285,29
7	1500	19,6	29400	0,108	249,63
6	1500	16,8	25200	0,092	213,96
5	1500	14	21000	0,077	178,30
4	1500	11,2	16800	0,062	142,64
3	1500	8,4	12600	0,046	106,98
2	1500	5,6	8400	0,031	71,32
1	1500	2,8	4200	0,015	35,66
	16350	0	272580	1,000	2314,38

3. Distribution horizontale de force sismique de niveau

L'effort tranchant au niveau de l'étage k :

$$V = F_t + \sum_{i=k}^n F_i$$

Dans le cas de structures comportant des planchers rigides dans leur plan, est distribué aux éléments verticaux de contreventement proportionnellement à leurs rigidités relatives.

La rigidité de chaque élément

L'axe k	1	2	3	4	5
$I_k \text{ (m}^4\text{)}$	14,37	16,61	16,61	16,61	11,27

Le centre de gravité : $X_{CG} = 13 \text{ m}$

Le centre de rigidité : $X_{CR} = 12.43 \text{ m}$

L'excentricité $e_x = 0,57 \text{ m} < e_{x\text{theo}} = 5\% * L_x = 1,3 \text{ m}$

La rigidité de torsion :

$$R_t = \sum I_{yi} \times l_k^2 + \sum t_{xi} \times t_i^2$$

L'axe	1	2	3	4	5	R _t (KN-m)
l_{xi}	0	6,5	13	19,5	26	
Inertie	14,37	16,61	16,61	16,61	11,27	
l_k	11,70	5,20	1,30	7,80	14,30	
I_{yi} x l_k²	1967,11	449,24	28,08	1010,80	2304,60	5759,83

$$R_{tY} = 5759,83 \text{ m}^6$$

Facteur de distribution dans chaque file de voile dans le sens y

$$F_{kj} = F_{jy} \frac{I_{ky}^j}{\sum_{k=1}^m I_{ky}} \pm F_{jy} e_x \frac{I_{ky}^j l_k}{R_t^j} = F_{jy} \left(\frac{I_{ky}^j}{\sum_{k=1}^m I_{ky}} \pm e_x \frac{I_{ky}^j l_k}{R_t^j} \right) = F_{jy} \chi_y$$

Avec :

$$\chi_y = \frac{I_{ky}^j}{\sum_{k=1}^m I_{ky}} \pm e_x \frac{I_{ky}^j l_k}{R_t^j}$$

χ Au lieu η de qu'on a donné dans le cours

l _k (m)	$\frac{I_{ky}^j}{\sum_{k=1}^m I_{ky}}$	l _k (m)	l _k * l _k	$e_x \frac{I_{ky}^j l_k}{R_t^j}$	χ _y
14,37	0,190	11,7	168,13	0,038	0,228
16,614	0,220	5,2	86,39	0,019	0,240
16,614	0,220	1,3	21,60	0,005	0,225
16,614	0,220	7,8	129,59	0,029	0,249
11,27	0,149	14,3	161,16	0,036	0,186
75,482	1,000				

La force sismique horizontale dans chaque voile et dans chaque niveau sens y

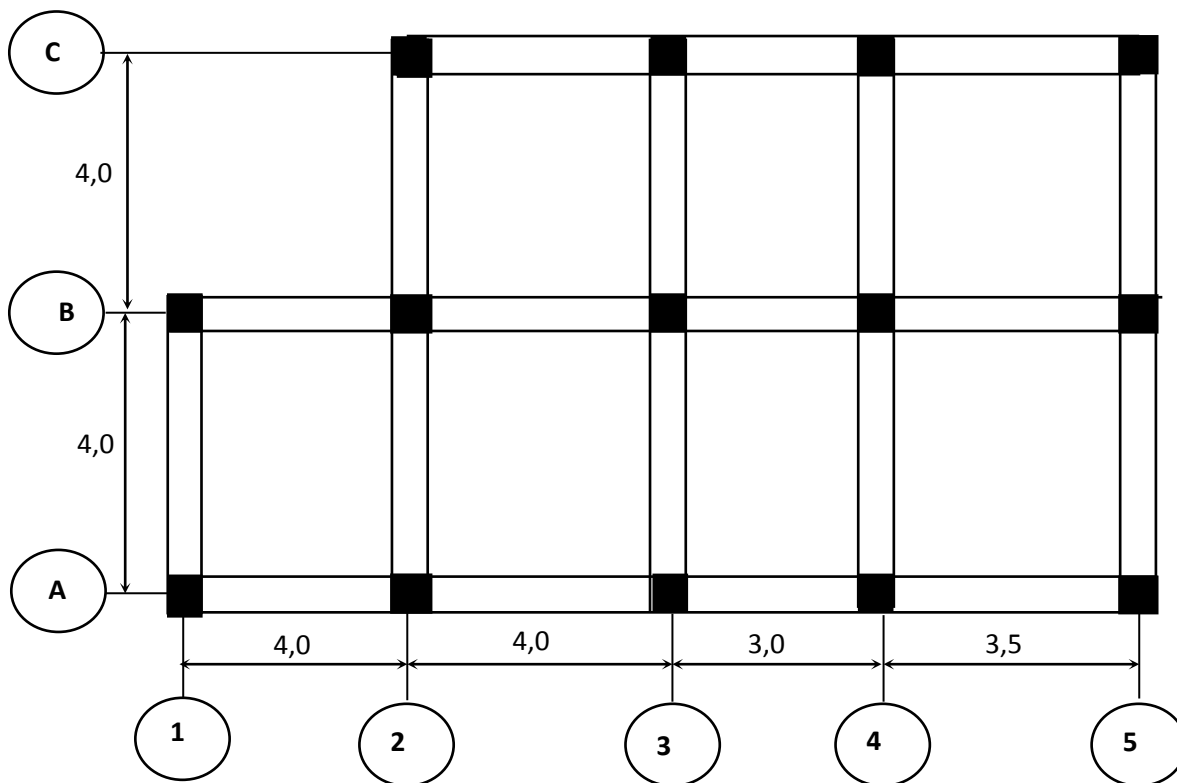
Niveau		File de Voiles				
		1	2	3	4	5
	χ _y	0,228	0,240	0,225	0,249	0,186
	F _j (KN)	F _{j1} = F _j * χ _y (KN)	F _{j2} = F _j * χ _y (KN)	F _{j3} = F _j * χ _y (KN)	F _{j4} = F _j * χ _y (KN)	F _{j5} = F _j * χ _y (KN)
11	353,04	80,61	84,59	79,4	88,03	65,55
10	356,61	81,42	85,44	80,23	88,92	66,22
9	320,95	73,28	76,90	72,21	80,03	59,59
8	285,29	65,14	68,36	64,18	71,14	52,97
7	249,63	57,00	59,81	56,16	62,25	46,35
6	213,96	48,85	51,27	48,14	53,35	39,73
5	178,30	40,71	42,72	40,11	44,46	33,11
4	142,64	32,57	34,18	32,09	35,57	26,49
3	106,98	24,43	25,63	24,07	26,68	19,86
2	71,32	16,28	17,09	16,05	17,78	13,24
1	35,66	8,14	8,54	8,02	8,89	6,62



Master 2 Structures (2018/2019)

TD 4 : Étude Sismique d'une construction auto stable

Soit une construction en portiques auto stable à usage d'habitation. Ces portiques en béton armé avec remplissage en maçonnerie rigide. La construction est implanté dans une zone de forte sismicité Zone III, de 2 niveaux de 3,2 m de hauteur ($H = 3,2 \times 2 = 6,4$ m) (Voir figures et données). Les deux planchers sont composés de poutrelles + corps creux. Ces planchers sont considérés comme indéformables. L'ouvrage est fondé sur un sol meuble.



- Les dimensions des poteaux et des poutres :

	b (m)	h (m)
Poteau $b_1 \times h_1$	0,4	0,4
Poutre $b \times h$	0,3	0,4

Déterminer :

- Le poids de chaque étage W_1 et W_2
- La rigidité relative de niveau et la rigidité de torsion pour chaque étage
- La force sismique à la base par la méthode statique équivalente;
- La distribution verticale de la force sismique à la base ;
- La distribution horizontale de la force sismique de chaque niveau ;

Les données supplémentaires

Plancher terrasse :	γ (Kg/m ³)	e(m)
Protection en gravillon roulés	1700	0,05
Etanchéité multicouches	12	1
Béton en forme de pente	2200	0,12
Isolation thermique au liège	400	0,04
Plancher en corps creux	1360	0,2
Enduit en plâtre	1000	0,02

Plancher courant :	γ (Kg/m ³)	e(m)
Revêtement en carrelage	2200	0,02
Mortier de pose	2000	0,02
Lit de sable	1800	0,02
Plancher en corps creux	1360	0,2
Enduit en plâtre	1000	0,02
Distribution des Cloisons	100 (kg/m ²)	

Murs extérieures	γ (Kg/m ³)	e(m)
Enduit en ciment	1800	0,02
Brique creuse	900	0,15
Vide		
Brique creuse	900	0,1
Enduit en plâtre	1000	0,02
Enduit en ciment	1800	0,02

- Les dimensions dans les fenêtres des murs extérieures sont de : **1.2m x 1.2m**
- Les dimensions en axe de l'ouverture de la cage d'escalier sont de : **3.0 m x 4.0 m**
- Le module d'élasticité de Young **E = 35000 MPa**

1 Le poids par mètre carré du plancher terrasse :

Plancher terrasse :	kg/m ³	e(m)	KN/m ²
Protection en gravillon roulés	1700	0,05	0,85
Etanchéité multicouches	12	1	0,12
Béton forme de pente	2200	0,12	2,64
Isolation thermique au liège	400	0,04	0,16
Plancher en corps creux	1400	0,2	2,8
Enduit en plâtre	1000	0,02	0,2

Plancher terrasse : $\gamma_{ter} = 6,77 \text{ KN/m}^2$

Plancher courant :			KN/m ²
Revêtement en carrelage	2200	0,02	0,44
Mortier de pose	2000	0,02	0,4
Lit de sable	1800	0,02	0,36
Plancher en corps creux	1400	0,2	2,8
Enduit en plâtre	1000	0,02	0,2
Enduit en plâtre	1	1	1

Plancher courant : $\gamma_{Cour} = 5,2 \text{ KN/m}^2$

1 le poids par mètre carré des murs

Murs extérieures			KN/m ²
Enduit en ciment	1800	0,02	0,36
Brique creuse	900	0,15	1,35
Vide			0
Brique creuse	900	0,1	0,9
Enduit en plâtre	1000	0,02	0,2
Murs extérieures : $\gamma_{mur} = 2,81 \text{ KN/m}^2$			2,81

Murs intérieures			KN/m ²
Enduit en ciment	1800	0,02	0,36
Brique creuse	900	0,15	1,35
Enduit en plâtre	1000	0,02	0,2
Murs intérieures : $\gamma_{mur} = 1,91 \text{ KN/m}^2$			1,91

Surface du plancher terrasse		
(13 - 0,3)x(11 - 0,3)	11,84	m ²
(12 - 0,3)x(11 - 0,3)	9,99	m ²
8*(13 - 0,3)x(11 - 0,3)+2*(12 - 0,3)x(11 - 0,3)	114,7	m ²

Surface du plancher courant		
(13 - 0,3)x(11 - 0,3)	11,84	m ²
(12 - 0,3)x(11 - 0,3)	9,99	m ²
8*(13 - 0,3)x(11 - 0,3)+(12 - 0,3)x(11 - 0,3)	104,71	m ²

longueur du bâtiment Lx	4*11+12	17	m
longueur du bâtiment Ly	2*13	8	m

Surface des murs

Axe A	4*((11-0,3)*(H-0,3)-1,2*1,2)	28,8	m ²
Axe C	4*((11-0,3)*(H-0,3)-1,2*1,2)+((12-0,3)*(H-0,3)-1,2*1,2)	34,65	m ²
Axe 1 et 6	2*(13-0,3)*(H-0,4)	19,24	m ²
Axe 3 et 4	2*(13-0,35)*(H-0,4)	18,98	m ²

1. Le poids de chaque étage W_1 et W_2

Niveau 2

	Eléments	γ (KN/m ²)	S (m ²) où V (m ³)	Wi(KN)	Xi (m)	Wi*Xi (KN- m)	Yi (m)	Wi*Yi (KN-m)
1	Plancher terrasse	6,77	79,18	536,05	8,16	4372,93	3,66	1958,83
2	Poutres (Sens X)							
l'AXE A	$2*((l1-0,4)*0,3*0,4+(l2-0,4)*0,3*0,4+(l3-0,4)*0,3*0,4)$	2,5	1,55	3,87	7,25	28,06	0	0,00
l'AXE B	$2*((l1-0,4)*0,3*0,4+(l2-0,4)*0,3*0,4+(l3-0,4)*0,3*0,4)$	2,5	1,55	3,87	7,25	28,06	4	15,48
l'AXE C	$2*((l1-0,4)*0,3*0,4+(l2-0,4)*0,3*0,4+(l3-0,4)*0,3*0,4)$	2,5	1,55	3,87	7,25	28,06	8	30,96
3	Poutres (Sens Y)							
l'AXE 1	$(l4-0,4)*0,3*0,4$	2,5	0,43	1,08	0	0,00	2	2,16
l'AXE 2	$2*(l4-0,4)*0,3*0,4$	2,5	0,86	2,16	4	8,64	4	8,64
l'AXE 3	$2*(l4-0,4)*0,3*0,4$	2,5	0,86	2,16	8	17,28	4	8,64
l'AXE 4	$2*(l4-0,4)*0,3*0,4$	2,5	0,86	2,16	11	23,76	4	8,64
l'AXE 5	$2*(l4-0,4)*0,3*0,4$	2,5	0,86	2,16	14,5	31,32	4	8,64
4	Poteaux (Sens Y)							
l'AXE A	$5*3,2*0,4*0,4$	2,5	2,56	6,40	0	0,00	4	25,60
l'AXE B	$5*3,2*0,4*0,4$	2,5	2,56	6,40	4	25,60	4	25,60
l'AXE C	$4*3,2*0,4*0,4$	2,5	2,05	5,12	7	35,84	4	20,48
5	Murs (Sens X)							
Axe A	$2*((l1-0,4)*(H-0,4)-1,2*1,2)+((l3-0,4)*(H-0,4)-1,2*1,2)$	2,81	24,52	68,90	7,25	499,53	0	0,00
Axe B	$((l1-0,4)*(H-0,4)-1,2*1,2)$	2,81	8,64	24,28	2	48,56	4	97,11
Axe C	$2*((l1-0,4)*(H-0,4)-1,2*1,2)+((l2-0,4)*(H-0,4)-1,2*1,2)+((l3-0,4)*(H-0,4)-1,2*1,2)$	2,81	30,36	85,31	7,25	618,51	8	682,49
6	Murs (Sens Y)							
l'AXE 1	$(l4-0,3)*(H-0,4)$	2,81	10,08	28,32	0	0,00	4	113,30
l'AXE 2	$(l4-0,3)*(H-0,4)$	2,81	10,08	28,32	4	113,30	6	169,95
l'AXE 3								
l'AXE 4								
l'AXE 5	$2*(l4-0,3)*(H-0,4)$	2,81	20,16	56,65	14,5	821,42	4	226,60
	WG2			1207,52				

Niveau 1

	Eléments	γ (KN/m ²)	S (m ²) où V (m ³)	Wi(KN)	Xi (m)	Wi*Xi (KN-m)	Yi (m)	Wi*Yi (KN-m)
1	Plancher terrasse	5,2	69,19	359,79	8,29	2982,20	3,60	1296,78
2	Poutres (Sens X)							
I'AXE A	$2*((I1-0,4)*0,3*0,4+(I2-0,4)*0,3*0,4+(I3-0,4)*0,3*0,4)$	2,5	1,55	3,87	7,25	28,06	0	0,00
I'AXE B	$2*((I1-0,4)*0,3*0,4+(I2-0,4)*0,3*0,4+(I3-0,4)*0,3*0,4)$	2,5	1,55	3,87	7,25	28,06	4	15,48
I'AXE C	$2*((I1-0,4)*0,3*0,4+(I2-0,4)*0,3*0,4+(I3-0,4)*0,3*0,4)$	2,5	1,55	3,87	7,25	28,06	8	30,96
3	Poutres (Sens Y)							
I'AXE 1	$(I4-0,4)*0,3*0,4$	2,5	0,43	1,08	0	0,00	2	2,16
I'AXE 2	$2*(I4-0,4)*0,3*0,4$	2,5	0,86	2,16	4	8,64	4	8,64
I'AXE 3	$2*(I4-0,4)*0,3*0,4$	2,5	0,86	2,16	8	17,28	4	8,64
I'AXE 4	$2*(I4-0,4)*0,3*0,4$	2,5	0,86	2,16	11	23,76	4	8,64
I'AXE 5	$2*(I4-0,4)*0,3*0,4$	2,5	0,86	2,16	14,5	31,32	4	8,64
4	Poteaux (Sens Y)							
I'AXE A	$5*3,2*0,4*0,4$	2,5	2,56	6,40	7,25	46,40	0	0,00
I'AXE B	$5*3,2*0,4*0,4$	2,5	2,56	6,40	7,25	46,40	4	25,60
I'AXE C	$4*3,2*0,4*0,4$	2,5	2,05	5,12	9,25	47,36	8	40,96
5	Murs (Sens X)							
Axe A	$2*((I1-0,4)*(H-0,4)-1,2*1,2)+((I3-0,4)*(H-0,4)-1,2*1,2)$	2,81	24,52	68,90	7,25	499,53	0	0,00
Axe B	$((I1-0,4)*(H-0,4)-1,2*1,2)$	2,81	8,64	24,28	2	48,56	4	97,11
Axe C	$2*((I1-0,4)*(H-0,4)-1,2*1,2)+((I2-0,4)*(H-0,4)-1,2*1,2)+((I3-0,4)*(H-0,4)-1,2*1,2)$	2,81	21,72	61,03	9,25	564,56	8	488,27
6	Murs (Sens Y)							
I'AXE 1	$(I4-0,3)*(H-0,4)$	2,81	10,08	28,32	0	0,00	2	56,65
I'AXE 2	$(I4-0,3)*(H-0,4)$	2,81	10,08	28,32	4	113,30	6	169,95
I'AXE 3								
I'AXE 4								
I'AXE 5	$2*(I4-0,3)*(H-0,4)$	2,81	20,16	56,65	14,5	821,42	4	226,60
				975,50				

NIVEAU	WGI (KN)°	β	Si	qi	Qi	Wi (KN)		XG(m)	YG(m)
2	1207,52	0,2	114,7	1	114,7	1230,46		8,500	4,05
1	975,50	0,2	104,71	2,5	261,775	1027,85		8,500	4,07
						2258,31	WT		

2-La rigidité relative de niveau et la rigidité de torsion pour chaque étage**PLANCHER INDEFORMABLE**

La rigidité de chaque poteau

$$R = \frac{12 EI}{H^3}$$

$$R = \chi R_0$$

 χ Au lieu η de qu'on a donné dans le coursLa rigidité de référence R_0

h(mm)	400	b (mm)	400	I_0 (mm ⁴)	2133333333		
H_0 (mm)	3200	E (N/mm ²)	35000	R_0	$12EI_0/(H^{*3})$	27343,75	N-mm

Dans notre cas $R = R_0$ avec $\chi=1$ La rigidité conventionnelle de chaque file et chaque niveau χ :

L'axe	1	2	3	4	5	rigidité relative (X)	centre de rigidité X_{CR}
Lxi (m)	0	4	8	11	14,5	$\Sigma R_y = \chi R_0$	
Niveau 2	2	3	3	3	3	14 R_0	8,04
Niveau 1	2	3	3	3	3	14 R_0	8,04

L'axe	A	B	C	rigidité relative (Y)	centre de rigidité Y_{CR}
Lyj (m)	0	4	8	$\Sigma R_x = \chi R_0$	
Niveau 2	5	5	4	14 R_0	3,7
Niveau 1	5	5	4	14 R_0	3,7

Le centre de rigidité

	X	Y
Les coordonnées du centre de rigidité	X_{CR} (m)	Y_{CR} (m)
Les coordonnées du centre de gravité	X_{CG} (m)	Y_{CG} (m)
L'excentricité théorique : $e_{xthéor}$	e_x (m)	e_y (m)
L'excentricité accidentelle du RPA99/2003 $e_{accid} = 5\% * L$	e_{xaccid}	e_{yaccid}

Niveau	X_{CGi} (m)	X_{CRI} (m)	$e_{xthéo}$	$e_{xaccid} = 5\% * L_x$	$e_{xi}(consi)$	X_{CR} (m) (Nouv)	Y_{CGi} (m)	Y_{CRI} (m)	$e_{théorique}$	$e_{RPA 5\%}$	e_{yi} (consi)	Y_{CR} (m) (Nouv)
2	7,7	8,0	0,3	0,725	0,725	8,5	3,9	3,71	0,21	0,4	0,4	4,3
1	8,0	8,0	0,0	0,725	0,725	8,7	3,7	3,71	0,01	0,4	0,4	4,1

La rigidité de torsion :

$$R_t = I_{yi} \times I_k^2 + t_{xi} \times t_i^2$$

La rigidité de torsion pour chaque étage :

Niveau		sens y						sens x				R. de torsion
		L1y	L2y	L3y	L4y	L5y	RY2	LAX	LBx	LCx	Rx2	RT2
		8,5	4,5	0,5	2,5	6,0		4,3	0,3	3,7		
2	$(I_k)^2$	71,45	19,83	0,21	6,49	36,57		18,70	0,11	13,51		
	RTX	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	14,00 R_0	4,00	5,00	5,00	14,00 R_0	
	$RTX * (I_k)^2$	142,91	59,49	0,62	19,46	109,70		74,81	0,53	67,54		475,05 R_0
		L1y	L2y	L3y	L4y	L5y	Ry1	LAX	LBx	LCx	Rx1	Rt1
		8,7	4,7	0,7	2,3	5,8		4,1	0,1	3,9		
1	$(t_j)^2$	76,19	22,36	0,53	5,16	33,31		17,04	0,02	15,98		
	RTX	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	14,00 R_0	4,00	5,00	5,00	14,00 R_0	
	$RTX * (t_j)^2$	152,38	67,08	1,59	15,48	99,92		68,17	0,08	79,92		484,63 R_0

3. Force sismique à la base par la méthode statique équivalente;**1. Calcul de la force sismique totale**

La force sismique totale V , appliquée à la base de la structure, dans deux directions horizontales orthogonales selon la formule suivante :

$$V = \frac{ADQ}{R} W$$

- **A** : coefficient d'accélération de zone, donné en fonction de la zone sismique et le groupe d'usage du bâtiment.

- la zone sismique de la construction est **III**

- le groupe d'usage du bâtiment. La construction a usage d'habitation

donc le groupe d'usage **2**

Donc, le coefficient d'accélération de zone $A = 0.25$.

- **D** : facteur d'amplification dynamique moyen, fonction de la catégorie de site, du facteur de correction d'amortissement (η) et de la période fondamentale de la structure (T).

Il est exprimé par :

$$D = \begin{cases} 2.5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta \left(\frac{T_2}{T}\right)^{\frac{2}{3}} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta \left(\frac{T_2}{3.0}\right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{3.0}{T}\right)^{\frac{5}{3}} & T \geq 3.0s \end{cases}$$

1. La valeur de la période fondamentale (T) de la structure est déterminée par :

$$T = C_T h_N^{3/4}$$

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

C_T : coefficient, fonction du système de contreventement, du type de remplissage.

Pour les portiques autostables en béton armé avec remplissage en maçonnerie, $C_T = 0.05$

D'où : $T = 0.20 \text{ Sec}$

La période caractéristique T_2 , associée à la catégorie du site est égale à **0.5 sec** pour un sol meuble **S₃**.

Dans ce cas, $0 \leq T \leq T_2$

Tableau 4.7 : Valeurs de T_1 et T_2

Site	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
$T_1(\text{sec})$	0,15	0,15	0,15	0,15
$T_2(\text{sec})$	0,30	0,40	0,50	0,70

Donc : $D = 2.5\eta$

η : Facteur de correction d'amortissement donné par la formule :

$$\eta = \sqrt{7/(2 + \xi)} \geq 0.7$$

où ξ (%) est le pourcentage d'amortissement critique fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages.

Pour les portiques en béton armé avec un remplissage dense, $\xi = 7\%$, on a : $\eta = 0,88$

Facteur d'amplification dynamique moyen D, dans le sens x :

Nous avons : $0 < T = 0.2 \text{ Sec} < T_2 = 0.5 \text{ sec}$

Dans ce cas : **D = 2,2**

R : coefficient de comportement global de la structure

La structure étudiée est en Portiques autostables en béton armé avec remplissage en maçonnerie rigide.

Le coefficient **R = 3.5**

- Q : facteur de qualité

Le facteur de qualité de la structure est fonction de :

- la redondance et de la géométrie des éléments qui la constituent
- la régularité en plan et en élévation
- la qualité du contrôle de la construction

La valeur de Q est déterminée par la formule :

$$Q = 1 + \sum_{1}^{6} P_q$$

q est la pénalité à retenir selon que le critère de qualité q " est satisfait ou non".

Les critères de qualité "q" à vérifier sont :

1. Conditions minimales sur les files de contreventement

Système de portiques : chaque file de portique doit comporter à tous les niveaux, au **moins trois (03) travées** dont le rapport des portées n'excède pas 1.5.

Sens Y : on a **deux travées** seulement, donc cette condition **n'est pas observée**, donc : **Pq = 0.05**

Sens X : on a **quatre travées** $L_1/L_2 = 3.5/3 = 1.17 < 1.5$ cette critère est observée ;

$L_1/L_2 = 4/3 = 1.25 < 1.5$ cette critère est observée, donc : **Pq = 0.0**

2. Redondance en plan

Chaque étage devra avoir, en plan, **au moins quatre (04) files de portiques** et/ou de voiles dans la direction des forces latérales appliquées.

Ces files de contreventement devront être disposées symétriquement autant que possible avec un rapport entre valeurs maximale et minimale d'espacement ne dépassant pas 1,5.

Sens Y : **5 files** et $4/3 = 1.33 < 1.5$, cette critère est observée, donc : **Pq = 0.00**

Sens X : **3 files, critère non observé** donc : **Pq = 0.05**

3. Régularité en plan : La structure est classée régulière en plan.

Sens X : $4/8 = 0.5 > 0.25$ cette critère non observée, donc : **Pq = 0.05**

Sens X : $4/13.5 = 0.3 > 0.25$ cette critère non observée, donc : **Pq = 0.05**

4. Régularité en élévation : La structure est classée régulière en élévation.

La construction est régulière en élévation, donc : **Pq = 0.00**

5. Contrôle de la qualité des matériaux

Il n'est y pas des essais systématiques sur les matériaux mis en œuvre doivent être réalisés par l'entreprise.

D'où : $P_q = 0.05$

6. Contrôle de la qualité de l'exécution

Il n'est y pas une supervision des essais effectués sur les matériaux.

D'où : $P_q = 0.1$

Tableau : Résumé des valeurs des pénalités P_q

	Critère q	Sens Y	Sens X
1.	Conditions minimales sur les files de contreventement	0,05	0,00
2.	Redondance en plan	0	0,05
3.	Régularité en plan	0,05	0,05
4.	Régularité en élévation	0	0
5.	Contrôle de la qualité des matériaux	0,05	0,05
6.	Contrôle de la qualité de l'exécution	0,1	0,1
		1	1
		1.25	1.25

$$Q_x = 1.25 \text{ et } Q_y = 1.25$$

- W : poids total de la structure,

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

$$W = \sum_{i=1}^n W_i$$

Avec : $W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi}$

Où :

W_{Gi} : poids dû aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels, solidaires de la structure

W_{Qi} : charges d'exploitation

β : coefficient de pondération, fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation

$\beta = 0.2$

NIVEAU	W_{Gi} (KN)°	β	$S_i(m^2)$	$q_i(KN/m^2)$ °	$Q_i(KN)$ °	W_i (KN)
2	867,089	0,2	79,18	1	79,18	882,925
1	666,55	0,2	69,19	2,5	172,975	701,145
					WT	1584,07

La force sismique totale V , appliquée à la base de la structure,

Dans la direction horizontale X est : $V_x = 311,8$ KN

Dans la direction horizontale Y est : $V_y = 311,8$ KN

4. Distribution verticale de la force sismique à la base ;

4.1 Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur (verticale)

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

$$V = F_t + \sum_{i=k}^n F_i$$

La force concentrée F_t au sommet de la structure permet de tenir compte de l'influence des modes supérieurs de vibration. Elle doit être déterminée par la formule :

$$F_t = 0,07 TV$$

où T est la période fondamentale de la structure (en secondes). La valeur de F_t ne dépassera en aucun cas $0,25 V$ et sera prise égale à 0 quand T est plus petite ou égale à $0,7$ secondes.

La partie restante de V soit $(V - F_t)$ doit être distribuée sur la hauteur de la structure suivant la formule :

$$F_i = \frac{(V - F_t)W_i h_i}{\sum_{j=1}^n W_j h_j}$$

Où :

F_i : Effort horizontal revenant au niveau i

h_i : niveau du plancher où s'exerce la force F_i

h_j : niveau du plancher quelconque

W_i, W_j : poids revenant aux planchers i, j

Nous avons : $T < 0.7$ sec donc : $F_t = 0$

Sens X = Sens Y

	W (KN)	Hi(m)	W _i H _i	W _i H _i /Σ(W _i H _i)	Vx(KN)	Fix(KN)
2	882,93	6,4	5650,72	0,72	311,83	223,21
1	701,15	3,2	2243,664	0,28		88,63
	1584,07		7894,384	1,00		311,83

5. Distribution horizontale de la force sismique de chaque niveau

L'effort tranchant au niveau de l'étage k :

$$V = F_t + \sum_{i=k}^n F_i$$

Dans le cas de structures comportant des planchers rigides dans leur plan, est distribué aux éléments verticaux de contreventement proportionnellement à leurs rigidités relatives.

$$F_{ij} = F_{jx} \frac{R_{ix}^j}{\sum_{i=1}^n R_{ix}^j} \pm F_{jx} e_x \frac{R_{ix}^j t_i}{R_t^j}$$

$$F_{kj} = F_{jy} \frac{R_{ky}^j}{\sum_{k=1}^m R_{ky}^j} \pm F_{jy} e_y \frac{R_{ky}^j l_k}{R_t^j}$$

DISTRIBUTION HORIZONTALE DE LA FORCE SISMIQUE DE NIVEAU SENS Y**Niveau 2**

Portique K	F2Y (KN)	RKY	RKY/S(RKY)	F2Y*RKY/S(RKY)	Mt = F2Y*ax	LK	RKY*LK	RT2	F2YR	FK = FKX(T)+FKX(R)
1	223,21	2,000	0,143	31,89	161,83	8,453	16,91	475,05	5,76	37,65
2	223,21	3,000	0,214	47,83	161,83	4,453	13,36	475,05	4,55	52,38
3	223,21	3,000	0,214	47,83	161,83	0,453	1,36	475,05	0,46	48,29
4	223,21	3,000	0,214	47,83	161,83	2,547	7,64	475,05	2,60	50,43
5	223,21	3,000	0,214	47,83	161,83	6,047	18,14	475,05	6,18	54,01
		14,000								

Niveau 1

Portique K	F1Y (KN)	RKY	RKY/S(RKY)	F1Y*RKY/S(RKY)	Mt = F1Y*ax	LK	RKY*LK	RT1	F1YR	FK = FKX(T)+FKX(R)
1	88,63	2,000	0,143	12,66	64,25	8,729	17,457	484,63	2,31	14,98
2	88,63	3,000	0,214	18,99	64,25	4,729	14,186	484,63	1,88	20,87
3	88,63	3,000	0,214	18,99	64,25	0,729	2,186	484,63	0,29	19,28
4	88,63	3,000	0,214	18,99	64,25	2,271	6,814	484,63	0,90	19,89
5	88,63	3,000	0,214	18,99	64,25	5,771	17,314	484,63	2,30	21,29
		14,000	1,000	88,63						

DISTRIBUTION HORIZONTALE DE LA FORCE SISMIQUE DE NIVEAU SENS X**Niveau 2**

Portique t	F2Y	RKY	RKY/S(RKY)	F2X*RKY/S(RKY)	Mt = F2y*ay	LK	RKY*LK	RT2	F2XR	FK = FKX(T)+FKX®
A	223,21	4,000	0,286	63,77	89,28	4,325	17,299	475,05	3,25	67,02
B	223,21	5,000	0,357	79,72	89,28	0,325	1,624	475,05	0,31	80,02
C	223,21	5,000	0,357	79,72	89,28	3,675	18,376	475,05	3,45	83,17
		14,000								

Niveau 1

Portique t	F1Y	RKY	RKY/S(RKY)	F1X*RKY/S(RKY)	Mt = F2y*ay	LK	RKY*LK	RT1	F1XR	FK = FKX(T)+FKX®
A	88,63	4,000	0,286	25,32	35,45	4,128	16,513	484,63	1,21	26,53
B	88,63	5,000	0,357	31,65	35,45	0,128	0,641	484,63	0,05	31,70
C	88,63	5,000	0,357	31,65	35,45	3,872	19,359	484,63	1,42	33,07
		14,000								