

PROJET :
TRAVAUX DE CONSTRUCTION D'UN IMMEUBLE EN R+2 + SOUS SOL

NOTE DE CALCUL STRUCTURE :

1. Règlements de base :

- Béton armé : BAEL 91 modifié 99
- Géotechnique : DTU 13.12
- Calcul sismique : RPS 2011
- Charges d'exploitation : NF P 06-001

2. Outils informatiques :

- Modélisation et calcul dynamique : Robot Structural Analysis V2018
- Dimensionnement des éléments de structure : Robot, Arch Graitec, Robot Expert

3. Matériaux :

3.1. Béton :

Paramètre	Valeur	Commentaires
Résistance caractéristique	$f_{c28} = 25 \text{ MPa}$	LE RPS 2011 exige une résistance minimale de 22 MPa <i>Article 4.2.1 RPS 2011</i>
Coefficient de sécurité	$\gamma_b = 1,5 \text{ ELU}$	<i>Voir Article BAEL A.4.3.41</i>
	$\gamma_b = 1,15 \text{ ELA}$	
Résistance limite à la traction :	$f_{t28} = 2,10 \text{ MPa}$	$f_{t28} = 0,60 + 0,06 f_{c28}$
Contrainte limite à l'ELU	$\sigma_{blimite} = 14,17 \text{ MPa}$	$\sigma_{blimite} = \frac{0,85 \times f_{c28}}{\gamma_b} = \frac{0,85 \times 25}{1,5} = 14,17 \text{ MPa}$
Contrainte limite à l'ELS	$\sigma_{blimite} = 15 \text{ MPa}$	$\sigma_{blimite} = 0,60 f_{c28} = 15 \text{ MPa}$
Contrainte limite de cisaillement conventionnelle (Dalle)	$\tau_{lim} = 1,75 \text{ MPa}$	$\tau_{lim} = 0,07 \times f_{c28} = 1,75 \text{ MPa}$ (Cas pas d'armatures transversales)- Recommandé Pour le cas de nécessité d'armatures transversales) - $\text{Min}(0,2 f_{c3} / \gamma_b, 5 \text{ MPa}) k$ pour la FPP, - $\text{Min}(0,15 f_{c3} / \gamma_b, 4 \text{ MPa}) k$ pour la FP ou la FTP où $k = \text{Min}(10h/3, 1)$ (h en m).

3.2. Acier :

Paramètre	Valeur	Commentaires
Résistance caractéristique	$f_e = 500 \text{ MPa}$	LE RPS 2011 exige une résistance minimale de 500 MPa <i>Article 4.2.2 RPS 2011</i>
Coefficient de sécurité	$\gamma_s = 1,15 \text{ ELU}$ $\gamma_s = 1,00 \text{ ELA}$	
Contrainte limite à l'ELU	$\sigma_{slimite} = 434,78 \text{ MPa}$ $\sigma_{slimite} = \text{MPa MPa}$	$\sigma_{slimite} = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa ELU}$ $\sigma_{slimite} = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{500}{1,00} = 500 \text{ MPa ELA}$
Contrainte limite à l'ELS	$\sigma_{slim} = 250 \text{ MPa}$	Fissuration préjudiciable (Fondations)

4. Charges :

4.1. Permanentes :

4.1.1. Terrasse :

4.1.1.1. Plancher :

Elément	Formule	Valeur
Plancher à hourdis 16+4	-	2,65 KN/m ²
Partie en dalle pleine de 20cm	0,20 x 25	5,00 KN/m ²
Forme de pente : Pente 1% Distance maximale du point le plus éloignée : 12,00m Soit une épaisseur de : $0,04 + 0,01 \times 12,00 = 16\text{cm}$	Epaisseur moyenne : $0,5 \times (4,00 + 16,00) = 10\text{cm}$ Poids surfacique : $20,00 \times 0,01$	2,00 KN/m ²
Chape de lissage de 2cm	0,02 x 25,00	0,50 KN/m ²
Etanchéité multicouche	-	0,12 KN/m ²
Protection mécanique en dalles de béton de 5cm	0,05 x 20,00	1,00 KN/m ²
Total partie plancher à hourdis		6,27 KN/m²
Total partie dalle pleine de 20cm		8,62 KN/m²

4.1.1.2. Acrotère (terrasse accessible):

Elément	Formule	Valeur
Maçonnerie (Voir détail)	0,20 x 1,80 x 15,00	5,40 KN/ml
Enduit (1,5cm de chaque côté)	$(1,80 + 0,20 + 1,80) \times 1,00 \times 20,00 \times 0,015$	1,14 KN/ml
Total		6,54 KN/ml

4.1.1.3. Acrotère (terrasse cage):

Elément	Formule	Valeur
Béton (Voir détail)	0,10 x 0,40 x 25,00	1,00 KN/ml
Enduit (1,5cm de chaque côté)	$(0,40 + 0,20 + 0,40) \times 1,00 \times 20,00 \times 0,015$	0,30 KN/ml
Total		1,30 KN/ml

4.1.1.4. Mur cage d'escaliers terrasse :

Elément	Formule	Valeur
Maçonnerie (Voir détail)	0,20 x 2,10 x 15,00	6,30 KN/ml
Enduit (1,5cm de chaque côté)	$(2,10 + 2,10) \times 1,00 \times 20,00 \times 0,015$	1,26 KN/ml
Total		7,56 KN/ml

4.1.2. Etage courant (PL haut RDC & 1^{er} Etage) :**4.1.2.1. Plancher :**

Elément	Formule	Valeur
Plancher à hourdis 16+4	-	2,65 KN/m ²
Partie en dalle pleine de 20cm	0,20 x 25	5,00 KN/m ²
Revêtement en grès cérame y compris forme	-	2,00 KN/m ²
Enduit sur plafond de 1,50cm	0,015 x 20,00	0,30 KN/m ²
Total partie plancher à hourdis		4,95 KN/m²
Total partie dalle pleine de 20cm		7,30 KN/m²

4.1.2.2. Mur de 20cm :

Elément	Formule	Valeur
Agglos de 20cm	0,20 x 2,80 x 15,00	8,40 KN/ml
Enduit (1,5cm de chaque côté)	(2,80 + 2,80) x 1,00 x 20,00 x 0,015	1,68 KN/ml
Total		10,08 KN/ml

4.1.2.3. Mur de 10cm :

Elément	Formule	Valeur
Agglos de 10cm	0,10 x 2,80 x 15,00	4,20 KN/ml
Enduit (1,5cm de chaque côté)	(2,80 + 2,80) x 1,00 x 20,00 x 0,015	1,68 KN/ml
Total		5,88 KN/ml

4.1.3. Plancher Mezzanine :**4.1.3.1. Plancher :**

Elément	Formule	Valeur
Partie en dalle pleine de 15cm	0,15 x 25	3,75 KN/m ²
Revêtement en grès cérame y compris forme	-	2,00 KN/m ²
Enduit sur plafond de 1,50cm	0,015 x 20,00	0,30 KN/m ²
Total partie dalle pleine de 20cm		6,05 KN/m²

4.1.4. Plancher haut sous-sol :**4.1.4.1. Plancher :**

Elément	Formule	Valeur
Plancher à hourdis 16+4	-	2,65 KN/m ²
Revêtement en grès cérame y compris forme	-	2,00 KN/m ²
Enduit sur plafond de 1,50cm	0,015 x 20,00	0,30 KN/m ²
Total partie plancher à hourdis		4,95 KN/m²

4.1.4.2. Mur de 20cm :

Elément	Formule	Valeur
Agglos de 20cm	$0,20 \times 5,25 \times 15,00$	15,75 KN/ml
Enduit (1,5cm de chaque côté)	$(5,25 + 5,25) \times 1,00 \times 20,00 \times 0,015$	3,15 KN/ml
Total		18,90 KN/ml

4.1.4.3. Mur de 10cm :

Elément	Formule	Valeur
Agglos de 10cm	$0,10 \times 5,25 \times 15,00$	7,88 KN/ml
Enduit (1,5cm de chaque côté)	$(5,25 + 5,25) \times 1,00 \times 20,00 \times 0,015$	3,15 KN/ml
Total		11,05 KN/ml

4.1.5. Escaliers :

Elément	Formule	Valeur
Partie en dalle pleine de 15cm	$0,15 \times 25$	3,75 KN/m ²
Revêtement en grès cérame y compris forme	-	2,00 KN/m ²
Marche/contre marche (30x17,50x110)	$=0,5 \times (0,30 \times 0,175) \times 25 / \text{racine } (0,175^2 + 0,30^2)$	1,92 KN/m ²
Total		7,67 KN/m²

4.2. Calcul du contrepoids de la dalle en porte à faux (largeur unitaire) :

A rappeler que la combinaison à adopter pour justifier l'équilibre statique du porte-à-faux est :

- **G + 1,50Q** pour le porte-à-faux
- **0,9G** pour le contrepoids

4.2.1. Plancher haut RDC/1^{er} étage :

Côté porte à faux (largeur unitaire)	Côté contrepoids
<ul style="list-style-type: none"> • Poids du mur : 10,08 KN • Poids surfacique : 7,30KN/m² • Bras de levier : 1,42m • Charge d'exploitation : 1,50 KN (salon) • Moment renversant : $10,08 \times 1,42 + (7,30 + 1,50 \times 1,50) \times 1,42^2 / 2 = \mathbf{23,94 \text{ KN.m}}$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Poids surfacique : 7,30KN/m² • Bras de levier : L • Moment Stabilisant : $0,9 \times 7,30 \times L^2 / 2 = 3,28 L^2$ En égalisant les deux moments on obtient : $3,29 L^2 = 23,94$ L = 2,70m

4.2.2. Plancher terrasse :

Côté porte à faux (largeur unitaire)	Côté contrepoids
<ul style="list-style-type: none"> • Poids de l'acrotère : 6,54 KN • Poids surfacique : 8,62KN/m² • Bras de levier : 1,42m • Charge d'exploitation : 1,50 KN • Moment renversant : $6,54 \times 1,42 + (8,62 + 1,50 \times 1,50) \times 1,42^2 / 2 = \mathbf{20,24 \text{ KN.m}}$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Poids surfacique : 8,62KN/m² • Bras de levier : L • Moment Stabilisant : $0,9 \times 8,62 \times L^2 / 2 = 3,88 L^2$ En égalisant les deux moments on obtient : $3,88 L^2 = 20,24$ L = 2,30m

4.3. Exploitation :

Local	Destination	Valeur
Terrasse cage d'escaliers	Terrasse inaccessible	1,00 KN/m ²
Terrasse	Terrasse accessible	1,50 KN/m ²
Plancher haut RDC et 1 ^{er} étage	Habitation	1,50 KN/m ²
	Escaliers	2,50 KN/m ²
	Balcons	3,50 KN/m ²
Plancher mezzanine	Mezzanine	3,50 KN/m ²
Plancher haut sous-sol	Escaliers	2,50 KN/m ²
	Magasin (dépôt)	3,50 KN/m ²

5. Résultat de l'analyse modale :

5.1. Masses modales :

Mode N°	Période en sec	Masse Modale suivant X (%)	Masse Modale suivant U (%)	Masse Cumulée suivant X (%)	Masse Cumulée suivant U (%)
1	0,79	68,39	3,08	68,39	3,08
2	0,72	10,50	68,88	78,89	71,96
3	0,59	13,18	11,58	92,07	83,55
4	0,27	0,58	3,65	92,65	87,19
5	0,25	3,10	4,43	95,76	91,62
6	0,22	1,85	2,04	97,61	93,66
7	0,16	0,22	0,64	97,84	94,30
8	0,15	0,12	1,14	97,96	95,43
9	0,14	0,29	0,00	98,24	95,43
10	0,13	0,00	0,26	98,24	95,70

5.1.1. Conclusion :

Les masses modales dans les deux directions sont bien supérieures à 90% de la masse.

Les deux premiers modes dominants sont des translations suivant X et Y respectivement.

6. Analyse sismique :

6.1. Données sismiques du site :

Paramètre	Valeur	Commentaire
Ville	Mohammedia	Zone de vitesse N°02 Zone d'accélération N°02 <i>Article N°5.2.2 RPS 2011</i>
Coefficient de vitesse	$Z_v = 0,10$	
Coefficient d'accélération	$Z_a = 0,10$	
Coefficient d'importance	$I = 1,00$	Bâtiment Grand public- <i>Article 3.1.2 RPS 2011</i>
Niveau de ductilité	ND1	Classe III et $Z_v \leq 0,10$ <i>Article 3.3.3 Tableau 3.2 RPS 2011</i>
Facteur de comportement	$K = 2$	On est en niveau de ductilité ND1 et à priori un système de contreventement par portique ou par portique et voile <i>Article 3.3.4 Tableau 3.3 RPS 2011</i>
Coefficient de site	$S = 1,20$ S_2	<i>Article 5.2.3.2 Tableau 3.3 RPS 2011</i> <i>Manque de données</i>

6.2. Période Fondamentale du bâtiment :

6.2.1. Hypothèse contreventement par portique (article 6.3.a) :

Méthode de calcul	Direction	Formule	Donnée du projet	Valeur T	Valeur D	% D/D _{forf}
Forfaitaire RPS 2011	X	$T_x = 0,075H^{3/4}$	H=14,00m	$T_x = 0,54 \text{ sec}$	$D = 1,80$	100%
	Y	$T_y = 0,075H^{3/4}$	H=14,00m	$T_y = 0,54 \text{ sec}$	$D = 1,80$	100%
Rayleigh simplifiée	X	$T_x = 2\sqrt{d_x}$	$d_x = 254 \text{ mm}$	$T_x = 1,01 \text{ sec}$	$D = 1,20$	66%
	Y	$T_y = 2\sqrt{d_y}$	$d_y = 178 \text{ mm}$	$T_y = 0,84 \text{ sec}$	$D = 1,34$	75%
Analyse modale (Mode dominant)	X			$T_x = 0,79 \text{ sec}$	$D = 1,40$	78%
	Y			$T_y = 0,72 \text{ sec}$	$D = 1,49$	83%
Valeurs retenues	X			$T_x = T_y = 0,76 \text{ sec}$ $D_x = 1,44$ (80% $D_{\text{forfaitaire}}$) <i>Article 6.3.a et d RPS 2011</i>		
	Y					

6.3. Force sismique équivalente :

6.3.1. Poids de la structure

Poids total du bâtiment $W = G + 0,20 Q$ (article 6.2.1.3 RPS 2011) <i>Extrait Directement du logiciel Robot</i>	5226,41 KN
---	-------------------

6.3.2. Facteur d'amplification dynamique :

Paramètre	Valeur	Commentaire
Période fondamentale	$T_x = 0,76$ s $T_y = 0,74$ s	Contreventement par portique
Coefficient de vitesse	$Z_v = 0,10$	Article 5.2.3.3 Tableau 5.3 RPS 2011
Coefficient d'accélération	$Z_A = 0,10$	
Rapport Z_A/Z_v	1	
Amortissement	5%	
Facteur de comportement D	$D_x = D_y = 1,44$	

6.3.3. Force sismique équivalente :

Force sismique équivalente	F_x	F_y
Coefficient de vitesse Z_v	0,10	0,10
Coefficient de site S	1,20	1,20
Facteur d'amplification dynamique D	1,44	1,44
Coefficient d'importance I	1,00	1,00
Poids de la structure W (KN)	5226,41	5226,41
Facteur de comportement K	2,00	2,00
Force sismique équivalente $F_x = F_y$ (Article 6.2.1.3 RPS 2011)	451,56	451,56
90% Force équivalente	406,41	406,41

6.4. Résultat de l'analyse sismique :

6.4.1. Effort tranchant à la base

6.4.1.1. Valeurs issues du calcul modal spectral par logiciel :

Force	Valeur	Commentaire
Suivant Direction X	$V_x = 349,03$ KN	Valeur $< 90\%$ F statique équivalente 406,41 KN Le facteur de majoration est de : $396,26/349,61 = 1,164$
Suivant Direction Y	$V_y = 356,31$ KN	Valeur $< 90\%$ F statique équivalente 406,41 KN Le facteur de majoration est de : $404,52/359,26 = 1,141$

6.4.1.2. Valeurs retenues :

Force	Valeur
Suivant Direction X	406,41 KN
Suivant Direction Y	406,41 KN

6.5. Prise en compte de l'effet de torsion :

6.5.1. Valeur de calcul

Paramètre	Séisme	Valeur	Commentaire
Excentricité géométrique	Suivant X	$e_x = 0,40$	Bâtiment parfaitement symétrique suivant les deux directions
	Suivant Y	$e_y = 0,67$	
Excentricité Additionnelle	Suivant X	$e_{1x} = e_{2x} = 0,40\text{m}$	$= 0,05 \times 7,90 = 0,40\text{m}$ (Article 6.5 RPS 2011)
	Suivant Y	$e_{1y} = e_{2y} = 0,60\text{m}$	$= 0,05 \times 11,83 = 0,60\text{m}$ (Article 6.5 RPS 2011)

6.5.2. Valeurs retenues :

Les efforts tranchants sismique seront décalés (moment de torsion additionnel) des valeurs suivantes pour le calcul des sollicitations sur les portiques :

Effort	Excentricité
V_x	0,80 m
V_y	1,23 m

6.6. Vérification vis-à-vis de l'action sismique :

6.6.1. Déplacement total du bâtiment :

Direction de l'action sismique	Déplacement maximal (cm)	Déplacement limite (mm)	Commentaire
V_x	$\Delta_x = 48,60\text{ cm}$	$\Delta_{\text{limite}} = 56\text{ mm}$	$\Delta_{\text{limite}} = 0,004H$ H : hauteur totale du bâtiment = 14,00m (Article 8.4 RPS 2011) $\Delta_x \leq \Delta_{\text{limite}} \quad \Delta_y \leq \Delta_{\text{limite}}$ La condition de déformation globale est bien vérifiée
V_y	$\Delta_y = 43,78\text{ cm}$		

6.6.2. Déplacement inter étage :

Etage	Hauteur	Dr U_x (mm)	Dr U_y (mm)	Dr Limit (mm)	Commentaire
PL sous sol	2,70	1,36	0,50	27,00	La condition est bien vérifiée (Article 8.4 RPS 2011) $\Delta_{\text{elimit}} = 0,010 h$
Mezzanine	3,00	8,74	7,36	30,00	
PL RDC	2,45	12,76	7,85	24,50	
Etage 1	3,00	10,45	9,54	30,00	
Etage 2	3,00	5,70	5,55	30,00	
Cage	2,50	-6,40	-3,72	25,00	

6.6.3. Stabilité au renversement :

Niveau	Poids en dessus de l'étage En KN	Effort tranchant en KN		Déplacement inter étage en mm		Hauteur de l'étage	Θ Article 8.3.2 RPS 2011	
		Suivant X	Suivant Y	Suivant X	Suivant Y		Suivant X	Suivant Y
PL sous sol	5226,41	406,27	406,55	1,36	0,50	0	-	-
Mezzanine	5180,37	405,60	406,08	8,74	7,36	3,05	0,037	0,031
PL RDC	4289,33	370,04	376,82	12,76	7,85	5,5	0,027	0,016
Etage 1	2761,73	274,55	289,60	10,45	9,54	8,50	0,012	0,011
Etage 2	1335,51	150,92	166,15	5,70	5,55	11,50	0,004	0,004
Cage	121,09	17,17	19,43	6,40	3,72	14,00	0,003	0,002

Conclusion :

La condition de non renversement est vérifiée

7. Justification des éléments de structure :

7.1. Poteaux

7.1.1. Effort normal réduit

Poteaux N°	Dimensions (m)		f_{c28} (en MPa)	N_{max} (KN)	V_d	Commentaire
	a	b				
1	0,25	0,25	25	137,82	0,09	L'effort normal réduit est bien inférieur à 0,65 (Poteau primaire- Article 5.4.3.2.1 EC8)
2	0,30	0,30	25	726,59	0,32	
3	0,25	0,40	25	1103,41	0,44	
4	0,25	0,30	25	644,42	0,34	
5	0,40	0,40	25	924,68	0,23	

7.1.2. Contrainte de cisaillement

	$\tau_{y_{max}}$ (MPa)	$\tau_{z_{max}}$ (MPa)	τ_{limit} (MPa)	Commentaire
Tous les poteaux	1,00	1,26	3,33	La contrainte de cisaillement maximale est bien inférieure à la contrainte limite $\tau_{limit} = \min (0,2f_{c28}/\gamma_b, 5MPa)$ FPP $\tau_{limit} = \min (0,15f_{c28}/\gamma_b, 4MPa)$ FPP

1.1.1.Ferraillage des poteaux

Poteau N°	Niveau	Section	Cas	N _{max} (KN)	M _y max (KN.m)	M _z max (KN.m)	Ferraillage théorique
P1	Sous sol/Fondation	25x25	ELU	120,01	11,26	4,24	6,40cm ²
P2	Fondation/PL haut RDC	30x30	ELU	550,11	4,22	10,67	11,20 cm ²
			ELA	463,99	76,38	15,20	
			ELA	237,37	-35,20	-77,61	
			ELA	8,99	-15,62	-25,96	
	PL haut RDC PL haut 2 ^{ème} étage	25x30	ELU	292,12	27,09	2,00	7,60 cm ²
			ELA	224,96	62,84	12,89	
			ELA	88,23	17,87	37,76	
			ELA	-0,99	-4,99	-5,21	
P3	Fondation/PL haut RDC	30x30	ELU	724,37	2,51	10,68	9,00 cm ²
			ELA	405,68	-34,82	-14,08	
			ELA	240,64	10,03	29,74	
			ELA	50,99	1,70	0,02	
	PL haut RDC PL haut 2 ^{ème} étage	25x30	ELU	225,55	9,31	-0,71	7,50 cm ²
			ELA	330,04	45,27	12,55	
			ELA	182,71	-10,04	-43,06	
			ELA	79,70	-15,51	-10,71	
	Pl haut 2 ^{ème} Etage Cage d'escaliers	25x25	ELU	57,07	7,17	22,30	6,25 cm ²
			ELA	42,20	13,08	7,52	
			ELA	50,96	-11,65	-18,51	
			ELA	16,40	-9,54	-2,22	
P4	Fondation/PL haut RDC	40x40	ELU	909,31	13,40	45,62	16,00 cm ²
			ELA	688,86	50,26	7,83	
			ELA	408,54	10,34	71,07	
			ELA	388,78	7,27	-7,40	
	PL haut RDC PL haut 2 ^{ème} étage	30x30	ELU	474,10	0,71	8,54	9,00 cm ²
			ELA	280,57	22,95	6,41	
			ELA	284,50	4,66	38,92	
			ELA	136,53	-10,29	-1,24	
P5	Fondation/PL haut RDC	25x40	ELU	1095,14	2,38	22,74	10,00 cm ²
			ELA	936,72	-122,60	0,35	
			ELA	321,21	-0,46	-63,89	
			ELA	59,32	-51,81	0,02	
	PL haut RDC PL haut 2 ^{ème} étage	25x30	ELU	639,56	12,51	-0,47	7,50 cm ²
			ELA	378,88	-73,58	-9,47	
			ELA	195,00	3,87	41,52	
			ELA	87,29	-2,31	-6,86	
P6	Fondation/PL haut 2 ^{ème} étage	25x40	ELU	795,79	1,24	0,33	10,00 cm ²
			ELA	419,73	-16,06	-4,69	
			ELA	453,42	-8,93	-8,66	
			ELA	269,92	-24,91	-56,64	
P7	Pl haut 2 ^{ème} Etage Cage d'escaliers	25x25	ELU	35,89	5,86	6,10	6,25 cm ²
			ELA	38,18	13,45	9,53	
			ELA	28,06	3,29	15,04	
			ELA	16,99	-4,58	-1,24	

