



العالى والتعلیم العلمى البحت وزارة

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPEREUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

مستغانم باديس بن الحميد عبد جامعة

Université Abdelhamid Iba Badis Mostaganem

والتكنولوجيا العلوم كلية

Faculté des Sciences et de la Technologie

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



N D'ORDRE: M... 2025

MÉMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

MASTER EN GENIE CIVIL

Spécialité: STRUCTURE

Thème

**Comparison entre les règlements parasismiques algérienne
RPA2003 et RPA2024 à travers l'étude de cas d'un bâtiment
RDC+15étage+sous-sol**

Présenté par:

BENBOUZIANE Ouafae

MENOUER Lina Aicha

Soutenue le 22/ Juin /2025 devant le jury composé de :

Encadreur: Mr BAHAR SADEK

Université de Mostaganem

Président: Mr ZELMAT YASSIN

Université de Mostaganem

Examineur: Mr REZIGUA AHMED

Université de Mostaganem

Année Universitaire 2024/2025

REMERCIEMENT

Avant toute chose, nous rends grace a dieu tout-puissant, source de sagesse, de patience et de force. C'est par sa volonté et avec son aide que nous pu mener a bien ce travail. Que sa paix et sa bénédiction soient sur toutes les étapes de ce parcours.

Nous tenons a exprimer notre profonde reconnaissance a notre encadrant, docteur **BAHAR SADEK**, pour son accompagnement, ses conseils éclairés et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire. Son expertise et sa bienveillance ont été précieuses

Nous remercie égalem l'ensemble du corps enseignant de l'université de Mostaganem **ABDLHAMIDE IBN BADIS** de la science et la thechnologie pour les enseignements de qualité, le soutien pédagogique et l'inspiration qu'ils nous ont appoetés tout au long de nos études

Mes remerciement aux membre du jury **Mr ZELMAT YASSIN** et **Mr REZIGUA AHMED** qui nous feront l'honneur d'examiner et d'évaluer notre travail

Je suis particulièrement reconnaissant envers a nos familles qui nous ont soutenus moralement et finacièremment avec amour et partience. Nous adressons également nos sincères remerciements a nos parents, frères, soeurs et amis pour leurs encouragements et leur soutient const.

Enfin, nous tenons a remercier tous ceux qui ont contribué, directement ou indirectement, a la réalisation de ce projet

DEDICACE

Nous dédie ce mémoire, fruit d'un long parcours d'apprentissage, d'efforts et de persévérance, à nos chers parents. À vous, qui avez toujours croient en nous , qui m'avez guidé, soutenu et sacrifié tant pour nous voir réussir. Votre amour et votre patience ont été la lumière sur nos chemin.

À nos frères et sœurs, pour leur soutien constant, leurs encouragements sincères et leur présence rassurante à chaque étape.

À tous nos amis, qui ont partagé mes joies, mes doutes et mes nuits blanches, je vous remercie pour votre complicité et vos encouragements.

À toute nos familles, proche ou éloignée, pour votre bienveillance et vos pensées positives.

Enfin, à nos camarades et collègues de l'université, avec qui j'ai partagé cette aventure académique, vos échanges, votre entraide et votre amitié ont rendu ce chemin plus riche et plus humain.

À vous tous, ce travail est aussi le vôtre.

RESUME

Ce document consiste en l'étude comparative des règlement parasismiques algérienne (RPA2003 et RPA2024) travers l'étude de cas d'un bâtiment rez de chaussée + 15 étage avec sous-sol. L'ouvrage est implanté à Mostaganem qui est considéré zone sismique IIa (version 2003) et V (version 2024)

La sécurité vis-à-vis des actions verticales et horizontales est assurée par un système de contreventement murs porteurs.

L'étude technique a été établie conformément aux règles algériennes en vigueur (RPA99/2003, RPA2024, CBA 93, BAEL91/99) et se divise en :

- La présentation de l'ouvrage, le pré dimensionnement et la descente de charge ;
- L'étude des éléments qui ne participent pas à la résistance de la structure (balcon, acrotère, escaliers) ;
- L'analyse dynamique réalisée avec le logiciel ROBOT version 2003 et 2024 et l'étude des éléments structuraux (plancher, poutres d'extrémité, voiles) ;
- L'étude de l'infrastructure qui a abouti à une fondation de type radié nervuré. L'étude Prix Elle a été réalisée à l'aide des logiciels CYPE2017.

Mots clés : Etude sismique, Etude bâtiment, Voile de contreventement, ROBOT, CYPE, RDM6.

ABSTRACT

This document consists of a comparative study of Algerian seismic regulations (RPA2003 and RPA2024) through the case study of a ground floor + 15th floor building with basement. The structure is located in Mostaganem, which is considered seismic zone IIa (version 2003) and V (version 2024).

Safety against vertical and horizontal actions is ensured by a load-bearing wall bracing system.

The technical study was prepared in accordance with current Algerian regulations (RPA99/2003, RPA2024, CBA 93, BAEL91/99) and is divided into:

- Presentation of the structure, pre-dimensioning, and load descent;
- Study of elements that do not contribute to the structure's strength (balcony, parapet, stairs);
- Dynamic analysis performed using ROBOT software version 2003 and 2024 and the study of structural elements (floor, end beams, walls);
- The infrastructure study, which resulted in a ribbed raft foundation. The study Price It was carried out using CYPE2017 software.

Keywords: Seismic study, Building study, Shear wall, ROBOT, CYPE, RDM6

ملخص

تتكون هذه الوثيقة من دراسة مقارنة للوائح الزلازل الجزائرية (RPA2003 و RPA2024) من خلال دراسة حالة مبنى مكون من طابق أرضي و15 طابقاً مع قبو. يقع المبنى في مستغانم، المصنفة ضمن المنطقة الزلزالية IIa (إصدار 2003) و V (إصدار 2024).

يضمن نظام تدعيم الجدران الحاملة السلامة من الصدمات الرأسية والأفقية.

أعدت الدراسة الفنية وفقاً للوائح الجزائرية السارية (RPA99/2003، RPA2024، CBA 93، BAEL91/99)، وتنقسم إلى:

- عرض الهيكل، وتحديد الأبعاد المسبقة، وتخفيض الأحمال؛

- دراسة العناصر التي لا تؤثر على متانة الهيكل (الشرفة، المتراس، السلالم)؛

- تحليل ديناميكي باستخدام برنامج ROBOT إصدار 2003 و 2024، ودراسة العناصر الإنشائية (الأرضية، العوارض الطرفية، الجدران). دراسة البنية التحتية، والتي أسفرت عن أساسات طوف مضلعة. سعت الدراسة. أجريت باستخدام برنامجي و CYPE2017.

الكلمات المفتاحية: دراسة زلزالية، دراسة بناء، جدار قص، ريبوت، CYPE، RDM6.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE 1: CADRE THEORIQUE

I.	Présentation générale des RPA 2003 et RPA 2024 :	3
1.	Avant l'indépendance (période coloniale)	3
2.	Après l'indépendance (1962 - 1980)	3
3.	L'établissement du premier règlement parasismique algérien (RPA).....	3
4.	Évolution et amélioration du RPA	3
5.	RPA 2003 : Consolidation après le séisme de Boumerdès	4
6.	RPA 2024 : Modernisation et adaptation aux défis récents	4
7.	Mises à jour et motivations du passage au RPA 2024	5
7.1.	Mises à jour clés du RPA 2024	5
II.	Principales différences entre RPA2003 et RPA2024	7
1.	Différences entre le zonage sismique du RPA 2003 et du RPA 2024	7
1.1.	Zonage sismique dans le RPA 2003	7
1.2.	Zonage sismique dans le RPA 2024	8
2.	Nouvelles prescriptions techniques dans le RPA 2003 et le RPA 2024	8
2.1.	Matériaux principaux RPA 2003	8
2.2.	Matériaux RPA 2024	9
2.3.	Modélisation des forces sismiques RPA 2003	9
2.4.	Modélisation des forces sismiques RPA 2024	10
3.	Règle de dimensionnement des bâtiments	10
3.1.	Contexte et évolution	10
4.	Prise en compte des nouveaux événements sismique dans les formulations des règlements.....	10
	INTRODUCTION	14
I.	Description de l'ouvrage.....	14
.1	Caractéristiques géométriques	14
2.	Compositions de la structure	15
3.	Caractéristiques des matériaux	16
3.1.	Béton	16
3.2.	Acier	17
3.3.	Sollicitations de calcul et combinaisons d'actions	18
4.	Normes utilisées.....	19

5.	Logiciels utilisés	20
II.	Modélisation numérique de bâtiment	21
1.	Hypothèse de conception	21
1.1.	Plancher.....	21
1.2.	Les voiles	21
1.3.	Poutres noyées	22
1.4.	Poutre d'extrémité.....	22
1.5.	Poutre palière	22
1.6.	L'escalier.....	22
1.7.	Descente de charge.....	24
2.	Calcule les éléments secondaires	28
2.1.	Balcon	28
2.1.1.	Dessin de ferrailage de balcon	31
2.2.	Escalier.....	32
2.3.	Acrotère.....	37
a)	Selon RPA 2003	37
2.3.1.	Dessin de ferrailag de acrotère 2003	39
b)	Selon RPA 2024	40
2.3.2.	Dessin de ferailage de acrotère 2024	42
3.	Modalisation et vérification selon RPA 2003 et 2024	43
3.1.	Choix de la méthode de calcul	43
3.2.	Méthode statique équivalent	43
a)	Selon RPA 2003	43
3.1.	Méthode dynamique modale spectrale.....	43
3.1.1.	Principe	43
3.1.2.	Les hypothèses	45
3.1.3.	Domaine d'application.....	45
3.1.	Spectre de réponse de calcul	49
c)	Selon RPA 2003	49
d)	Selon RPA 2024	51
3.1.	Modélisation	53
3.2.	Calcul de la force sismique par la méthode statique équivalente	54
a)	Selon RPA 2003	54
b)	Selon RPA 2024	56

3.3. Résultante des forces sismiques de calcul	58
3.4. Evaluation des excentricités.....	59
3.5. Vérification des déplacements inter-étages 2003	61
a) Selon RPA 2003	61
b) Selon RPA 2024	61
3.6. Vérification effet P-delta	63
a) Selon RPA 2003	63
b) Selon RPA 2024	64
4. Etude des elements structuraux	67
4.1. Plancher.....	67
a) Selon RPA2003	67
4.1.1. Dessin de ferrailage de plancher 2003	69
b) Selon RPA2024	72
4.1.2. Dessin de Ferrailage de plancher 2024	76
4.2. Poutre d'extrémité.....	79
4.3. Voiles.....	81
a) Selon RPA2003	81
4.3.1. Combinaison de charge.....	81
4.3.2. Dessin de ferrailage de voile 2003.....	84
b) Selon RPA2024	86
4.3.4. Dessin de ferrailage de voile 2024.....	88
5. Infrastructure.....	89
5.1. Choix du type de fondation.....	89
5.2. Avantage du radier	89
5.3. Pré dimensionnement.....	89
a) Selon RPA2003	90
5.5. Calcul du ferrailage du radier.....	93
b) Selon RPA2024	96
5.6. Calcul du ferrailage du radier.....	97
5.7. Calcul des armatures	97
5.8. Dessin de ferrailage de radier	100

CHAPITRE 1: ETUDE DE COUT

Introduction.....	102
-------------------	-----

1. Etude de prix	102
1.1. Etapes à suivre	102
1.1.2. Deuxième base de données	110
1.1.2.1. Dalle pleine.....	113
2. Etude de cout	117
Conclusion général	122
3. Anexe:.....	123
Réfirance	127

Liste des figures

Figure 1: Zonage sismique de l'Algérie (2003)[2]	7
Figure 2: Zonage sismique de l'Algérie (2024)[3].....	8
Figure 3: L'implantation du projet	14
Figure 4: Coupe verticale d'un mur extérieur.....	26
Figure 5: Coupe verticale d'un mur intérieur.....	27
Figure 6: Calcul du moment fléchissant Balcon (ELU) par RDM6	28
Figure 7: Calcul de l'effort tranchant Balcon (ELU) par RDM6.....	29
Figure 8: Calcul du moment fléchissant Balcon (ELS) par RDM6.....	29
Figure 9: Calcul de l'effort tranchant Balcon (ELS) par RDM6	29
Figure 10: Ferrailage du balcon.....	31
Figure 11: Schéma statique d'escalier	32
Figure 12: Calcul du moment fléchissant (ELU) Escalier par RDM6.....	33
Figure 13: Calcul de l'effort tranchant (ELU) Escalier par RDM6	33
Figure 14: Calcul du moment fléchissant (ELS) Escalier par RDM6	33
Figure 15: Calcul de l'effort tranchant (ELS) Escalier par RDM6.....	33
Figure 16: Ferrailage des escalier	36
Figure 17: Les dimensions de l'acrotère	37
Figure 18: Ferrailage d'acrotère 2003	39
Figure 19: Ferrailage d'acrotère 2024	42
Figure 20: Schéma de spectre	46
Figure 21: Disposition des voile	53
Figure 22: Vue de la structure modélisée.....	54
Figure 23: Déformée des 3 premier modes.....	58
Figure 24: Résultats de cartographie (ELU)2003	67
Figure 25: Résultats de cartographie (ELS)2003.....	67
Figure 26: Ferrailage sens X-X 2003	68
Figure 27: Ferrailage sens Y-Y 2003	68
Figure 28: Ferrailage de Plancher 2003	70
Figure 29: Résultats de cartographie (ELU) 2024	72
Figure 30: Résultats de cartographie (ELS)2024.....	73
Figure 31: Ferrailage sens X-X 2024	74
Figure 32: Ferrailage sens Y-Y 2024	75
Figure 33: Ferrailage de plancher 2024	76
Figure 34: Moment plancher Y-Y	78
Figure 35: Moment plancher X-X.....	78
Figure 36: Ferrailage de poutre	81
Figure 37: Cartographie Ep35 2003	83
Figure 38: Cartographie Ep30 2003	83
Figure 39: Cartographie Ep25 2003	84
Figure 40: Ferrailage Voile 2,50m 2003	84

Figure 41: Cartographie Ep35 2024	86
Figure 42: Cartographie Ep30 2024	87
Figure 43: Cartographie Ep25 2024	87
Figure 44: Ferrailage Voile 2,50m 2024	88
Figure 45: Dimensions du radier en mètre	91
Figure 46: Cartographie de contrainte du radier sur le sol a l'ELU 2024.....	92
Figure 47: Cartographie de contrainte du radier sur le sol a l'ELS 2003.....	92
Figure 48: Ferrailage appuis selon X-X 2003	93
Figure 49: Ferrailage Travée selon X-X 2003	94
Figure 50: Ferrailage appuis selon Y-Y 2003	94
Figure 51: Ferrailage Travée selon Y-Y 2003.....	95
Figure 52: Cartographie de contrainte du radier sur le sol a l'ELU 2024.....	96
Figure 53: Ferrailage Appuis selon X-X 2024.....	97
Figure 54: Ferrailage Travée selon X-X 2024	98
Figure 55: Ferrailage Appuis selon Y-Y 2024	98
Figure 56: Ferrailage Travée selon Y-Y 2024.....	99
Figure 57: Ferrailage de radier	100
Figure 58: accueil du logiciel CYPE	102
Figure 59: base de données 1	103
Figure 60: générateur de prix.....	103
Figure 61: type de projet.....	104
Figure 62: décimales.....	105
Figure 63: pourcentages.....	105
Figure 64: emplacement du projet	106
Figure 65: Informations supplémentaires	107
Figure 66: données supplémentaires.....	108
Figure 67: base de données.....	108
Figure 68: données nouveau budget	110
Figure 69: base de données 2.....	110
Figure 70: importation du fichier excel	111
Figure 71: caractéristiques des unités d'ouvrage.....	111
Figure 72: béton de propreté.....	112
Figure 73: béton pour radier	112
Figure 74: acier pour le radier.....	112
Figure 75: coffrage pour le radier Finition pour le radier.....	113
Figure 76: Finition pour le radier.....	113
Figure 77: épaisseur et hauteur pour la dalle	114
Figure 78: béton pour dalle pleine	114
Figure 79: Caractéristiques ferrailage de la dalle	115
Figure 80: coffrage dalle pleine	115
Figure 81: béton pour les escaliers	115
Figure 82: acier pour les escaliers	116

Figure 83: coffrage des escaliers	116
Figure 84: Diagramme Ratio	120
Figure 85: coût de structure	120
Figure 86: Plan de façade	123
Figure 87: Plan sous-sol.....	123
Figure 88: Plan RDC	125
Figure 89: Plan des étage courant	125
Figure 90: Plan de toiture.....	126

Liste des Tableau

Tableau 1: Zonage sismique de l'Algérie (2003) [2]	7
Tableau 2: Zonage sismique de l'Algérie (2024) [3]	8
Tableau 3: Combinaisons d'actions RPA 2003 [2]	
Tableau 4: Combinaisons d'actions RPA 2024[3]	19
Tableau 5: Le dimensionnement des voiles	22
Tableau 6: Descente de charge du plancher terrasse	24
Tableau 7: Descente de charge des étages courant	24
Tableau 8: Descente de charge du RDC	25
Tableau 9: Descente de charge des balcons	25
Tableau 10: Descente de charge de sous-sol	25
Tableau 11: Descente de charge des murs extérieurs	26
Tableau 12: Descente de charge des murs intérieurs	26
Tableau 13: Descente de charge des pa	27
Tableau 14: Descente de charge des paliers	27
Tableau 15: Charge permanâtes de dalle pleine	28
Tableau 16: Les moments et efforts tranchants	30
Tableau 17: Les moments et efforts tranchants	32
Tableau 18: Paramètres du spectre de réponse	45
Tableau 19: Les conditions du facteur de qualité	47
Tableau 20: Les conditions du facteur de qualité	49
Tableau 21: Les valeurs du Coefficient d'accompagnement	53
Tableau 22: Résultats dynamique	57
Tableau 23: Résultante des forces sismique 2003	59
Tableau 24: Résultante des forces sismique 2024	59
Tableau 25: Evaluation des excentricités 2003.....	60
Tableau 26: Evaluation des excentricités 2024.....	60
Tableau 27: Vérification déplacement inter-étages 2003	61
Tableau 28: Valeurs limites des déplacements inter-étages	62
Tableau 29: Valeurs limites des déplacements inter-étages 2024.....	62

Tableau 30: vérification effets du second ordre sens x-x 2003	63
Tableau 31: Vérification des effets du second ordre sens y-y 2003	64
Tableau 32: vérification effets du second ordre sens x-x 2024	64
Tableau 33: Vérification effets du second ordre sens y-y2024.....	66
Tableau 34: Les moments max du plancher 2003	68
Tableau 35: Choix des armatures 2003.....	69
Tableau 36: Des moment et l'effort de plancher ELU	70
Tableau 37: Des moment et l'effort de plancher ELS.....	70
Tableau 38: Des moment et l'effort de plancher (ELU)(ELS)(ACC).....	70
Tableau 39: Les moments max du plancher 2024	73
Tableau 40: Choix des armatures 2024.....	75
Tableau 41: Des moment et l'effort de Plancher ELU	76
Tableau 42: Des moment et l'effort de Plancher ELS.....	77
Tableau 43: Des moment et l'effort de Plancher (ELU) (ELS)(ACC).....	78
Tableau 44: Les moments et efforts tranchants de poutre	79
Tableau 45: Sections des armatures des voile 2003	84
Tableau 46: Des moment et l'effort de voile ELU	85
Tableau 47: Des moment et l'effort de voile ELS.....	85
Tableau 48: Des moment et l'effort de voile (ELU)(ELS)(ACC).....	85
Tableau 49: Sections des armatures des voile2024	88
Tableau 50: Des moment et l'effort de voile ELU	88
Tableau 51: Des moment et l'effort de voile ELS.....	88
Tableau 52 : Des moment et l'effort de voile (ELU)(ELS)(ACC)	89
Tableau 53: Récapitulatif moments Mxx 2003.....	93
Tableau 54: Récapitulatif moments Myy 2003.....	93
Tableau 55: Choix des armatures de radier 2003	95
Tableau 56: Vérification à l'ELS 2003	95
Tableau 57: Récapitulatif moments Mxx 2024.....	97
Tableau 58: Récapitulatif moments Myy 2024.....	97
Tableau 59: Choix des armatures de radier 2024	99
Tableau 60: Vérification à l'ELS 2024.....	99
Tableau 61: étude de coût 2003	117
Tableau 62: étude de coût 2024	118
Tableau 63: Zonage sismique selon RPA2024	126
Tableau 64: Zonage sismique selon RPA2024	127

Liste des Notation

f_{c28} : résistance à la compression du béton à 28jours.
 F_{cj} : résistance du béton à la compression à j jours ($j < 28$).
 γ béton : masse volumique du béton.
 F_{t28} : résistance du béton à la traction à l'âge de 28 jours.
 σ_{bc} : contrainte limite ultime du béton comprimé.
 $\bar{\sigma}_{bc}$: contrainte limite service du béton comprimé.
 τ_U : contrainte de cisaillement.
 γ_b : coefficient de sécurité du béton.
 γ_s : coefficient de sécurité de l'acier.
 E_i : module de déformation longitudinale instantanée.
 E_v : module de déformation longitudinale différée.
 G' : module de déformation transversale.
 ε_s : allongement relatif de l'acier.
 E_s : Module d'élasticité longitudinale.
 F_e : Limite d'élasticité garantie.
 E : module de YOUNG.
 ν : coefficient de POISSON.
 σ_s : limite élastique de l'acier utilisé.
 η : Coefficient de fissuration.
 $\bar{\sigma}_s$: contrainte limite de l'acier.
 G : charge permanente.
 Q : charge d'exploitation.
 $E_{x,y,z}$: effort de séisme.
 e_p : épaisseur dalle.
 $L ; a$: longueur et épaisseur du voile.
 h_e : hauteur libre d'étage.
 b : largeur de la poutre.
 h : hauteur de la marche.
 g : la largeur de la marche.
 H : hauteur entre les faces supérieures des deux paliers successifs d'étage.
 n : nombre de contre marches.
 L : projection horizontale de la volée.
 P : charge concentrée du balcon.
 ELU : état limite ultime.
 ELS : état limite service.
 μ : moment réduit.
 T : effort tranchant.

b' : largeur de la section.
 d : hauteur utile.
 c : enrobage.
 I : moment d'inertie.
 A_{cal} : section d'armatures calculée.
 A_{min} : section d'armatures minimale.
 A : section d'armatures choisie.
 A_v : section d'armatures verticales.
 A_h : section d'armatures horizontales.
 A_r : armatures de répartition.
 A_t : armatures transversales.
 A_s : section d'armatures tendues.
 $A's$: section d'armatures comprimées.
 n : coefficient d'équivalence.
 S_t, e : espacement.
 \emptyset_t : diamètre des barres.
 F_p : force de poussée.
 W_p : Poids de l'acrotère.
 C_p : facteur des forces horizontales.
 g : Accélération de la pesanteur.
 A : Coefficient d'accélération de zone.
 η : Facteur de correction d'amortissement.
 ξ : Pourcentage d'amortissement critique.
 R : Coefficient de comportement de la structure.
 T_1, T_2 : Périodes caractéristiques associées à la catégorie de site.
 Q : Facteur de qualité.
 D : facteur d'amplification dynamique moyen.
 V : force sismique calculée par la méthode statique équivalente.
 W : poids total de la structure.
 W_{Gi} : poids dû aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels, solidaires de la structure.
 W_{Qi} : poids dû aux charges d'exploitation.
 β : Coefficient de pondération en fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation.
 C_T : Coefficient, fonction de système de contreventement, du type de remplissage.
 h_N : Hauteur mesurée à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau.
 d : est la dimension du bâtiment mesurée à sa base dans la direction de calcul considéré.
 $X_m ; Y_m$: coordonnées du centre de masse.
 $X_t ; Y_t$: coordonnées du centre de torsion.
 P_k : poids total de la structure et des charges d'exploitation associées au-dessus du niveau k .
 V_k : effort tranchant d'étage au niveau k .
 Δ_k : déplacement relatif du niveau k par rapport au niveau $k-1$.
 h_k : hauteur du niveau k .
 F_n : force horizontale appliquée au niveau n .
 W_n : Masse au niveau n .

H_n : hauteur du niveau n.

M_{tu} ; M_{au} : moments en travée et en appui à l'ELU.

M_{ts} , M_{as} : moments en travée et en appui à l'ELS.

N : effort normal.

M : moment.

B : section de béton.

V : distance de l'axe neutre à la fibre la plus tendue/comprimée.

L_e : longueur ; épaisseur du voile.

L_t : longueur de la zone tendue.

S_s : surface des semelles.

S_B : surface du bâtiment.

L_e : longueur élastique du radier.

L_{max} : longueur du panneau le plus sollicité

K : coefficient d'élasticité du sol.

B : largeur du panneau le plus sollicité.

U_c : périmètre cisailé dans le plan moyen du radier

μ_x , μ_y : coefficients de PIGEAUD.

α ; β : paramètres auxiliaires pour le calcul du ferrailage à l'ELU.

K_1 , β_1 ; ρ_1 : paramètres auxiliaires pour le calcul du ferrailage à l'ELS.

INTRODUCTION GENERALE

Les règlements parasismiques en Algérie sont indispensables pour garantir la sécurité des citoyens face aux risques sismiques, particulièrement dans un pays où des tremblements de terre ont déjà causé des dégâts importants. Ces règles permettent de protéger les vies humaines, de préserver les infrastructures et de réduire les conséquences économiques et sociales des catastrophes naturelles. Les règlements parasismiques en Algérie revêtent une importance cruciale en raison de la vulnérabilité sismique du pays. Située sur une zone géologique active en bordure de la plaque africaine, l'Algérie est régulièrement exposée à des tremblements de terre de magnitude variable, dont certains ont causé des pertes humaines et des dommages matériels considérables. C'est pourquoi nous avons décidé de comprendre la motivation principale de la comparaison entre les versions RPA2003 et RPA2024 repose sur plusieurs facteurs stratégiques et opérationnels, en lien avec l'évolution des besoins, des technologies et des connaissances dans le domaine de la réglementation parasismique.

Le choix d'un bâtiment de 15 étages comme étude de cas pour une comparaison entre le RPA2003 et le RPA2024 est motivé par plusieurs raisons pertinentes qui mettent en lumière les différences dans l'application des deux règlements. Voici les justifications pour ce choix :

1. Représentativité des bâtiments à risque élevé
2. Complexité structurelle
3. Pertinence en milieu urbain
4. Évaluation des impacts des nouvelles exigences
5. Optimisation des performances et des coûts

Résilience en cas de séisme majeur

Quels sont les principaux changements entre les deux règlements et leur impact sur la conception d'un bâtiment ?

Pour répondre à cette question, on a jugé utile de scinder notre travail en quatre chapitres, dont le premier chapitre présentation général des RPA2003 et RPA2024 et les différences entre eux, dans le chapitre deux et trois porteront la présentation du projet, en plus des calculs statiques et analyse comparative des résultats entre les deux règlements, en dernier chapitre nous avons parlé sur les résultats.

CHAPITRE 1: CADRE THEORIQUE

I. Présentation générale des RPA 2003 et RPA 2024 :

L'Algérie, située dans une zone sismique active, a connu des tremblements de terre majeurs au cours de son histoire. Ces événements ont fortement influencé le développement progressif des règlements parasismiques pour garantir la sécurité des constructions. Voici un aperçu de l'évolution de ces règlements :

1. Avant l'indépendance (période coloniale)

Avant l'indépendance en 1962, les constructions en Algérie suivaient principalement les normes françaises, sans règlement spécifique pour les conditions sismiques locales. L'absence de prise en compte des risques sismiques spécifiques au pays a laissé de nombreuses constructions vulnérables. [1]

2. Après l'indépendance (1962 - 1980)

Après l'indépendance, le pays a commencé à reconstruire et moderniser ses infrastructures. Cependant, les règlements parasismiques étaient encore embryonnaires.

Le séisme de El Asnam (Chlef) en 1954 avait déjà mis en lumière la nécessité d'une réglementation spécifique, mais peu de mesures concrètes ont été prises à l'époque.

Le séisme de Chlef (1980), d'une magnitude de 7,3 sur l'échelle de Richter, a marqué un tournant en montrant les failles des infrastructures face aux séismes majeurs.

Après 1980, des études sismiques ont été lancées, et des mesures d'urgence ont été mises en œuvre pour intégrer des normes adaptées. [1]

3. L'établissement du premier règlement parasismique algérien (RPA) (Création du RPA 81 (1981))

Suite au séisme de Chlef, l'Algérie a publié son premier Règlement Parasismique Algérien (RPA 81).

Le but est de Proposer des règles de conception et de construction spécifiques pour réduire les risques liés aux séismes.

Le règlement a été largement inspiré des normes internationales, notamment françaises et américaines, mais adapté aux conditions sismiques locales. [1]

4. Évolution et amélioration du RPA

Les versions successives du RPA ont visé à améliorer les exigences et à intégrer les avancées scientifiques :

- RPA 83 : Mise à jour basée sur les retours d'expérience des séismes récents.
- RPA 88 : Intégration de meilleures pratiques en ingénierie parasismique.
- RPA 99 : Une refonte majeure, incluant des méthodes de calcul probabiliste et une meilleure compréhension des dangers sismiques en Algérie. Introduction des cartes de zonage sismique spécifiques au pays. Adoption des méthodes de dimensionnement dynamique.
- RPA 2003 (modifié en 2003) : Révision après le séisme de Boumerdès (2003), d'une

magnitude de 6,8. Inclusion de dispositions plus strictes pour les structures en béton armé et en acier. Réduction des zones de tolérance pour les bâtiments non conformes.[1]

5. RPA 2003 : Consolidation après le séisme de Boumerdès

Le Règlement Parasismique Algérien (RPA) 2003 a été introduit après le séisme dévastateur de Boumerdès (magnitude 6,8) pour remédier aux insuffisances constatées dans les structures existantes et améliorer leur résilience.

Principes fondamentaux

- **Approche dynamique générale** : Adoption de l'analyse modale spectrale pour mieux simuler les forces sismiques sur les bâtiments complexes.
- **Zonage sismique précis** : Le pays a été divisé en 4 zones sismiques (zones 0 à III) en fonction des risques. Les régions à haut risque ont des exigences plus strictes.
- **Ductilité des structures** : Obligation de concevoir des bâtiments capables de dissiper l'énergie sismique grâce à des matériaux et des détails constructifs adaptés.
- **Normes renforcées pour les bâtiments critiques** : Les hôpitaux, écoles et infrastructures stratégiques doivent répondre à des exigences de sécurité plus élevées.
- **Calculs basés sur la sécurité des personnes** : Les structures doivent éviter l'effondrement complet et limiter les pertes humaines, même dans des séismes intenses.[2]

6. RPA 2024 : Modernisation et adaptation aux défis récents

La version RPA 2024, annoncée récemment, représente une avancée significative, intégrant des leçons tirées des récents séismes (Béjaïa 2021, Mila 2020) et les dernières techniques de génie parasismique.

Principes fondamentaux

- **Approche basée sur la performance** : Introduction de méthodes modernes comme le calcul "pushover" pour évaluer la capacité réelle des bâtiments à résister aux séismes. Les bâtiments sont conçus selon des objectifs précis : **service**, **sécurité**, ou **effondrement contrôlé**.
- **Isolation sismique** : Intégration de technologies d'isolation à la base, qui protègent les superstructures en réduisant les forces transmises par les séismes.
- **Nouveaux matériaux et structures** : Intégration de prescriptions pour les structures en acier léger et en bois, en plus des constructions traditionnelles en béton armé.
- **Zonage et microzonage** : Cartographie affinée des zones sismiques, prenant en compte les effets locaux comme la topographie et les conditions de sol.
- **Formation et contrôle** : Accent sur la formation continue des ingénieurs et artisans, ainsi que des mécanismes de contrôle renforcés pour garantir l'application stricte des normes.
- **Systèmes intelligents** : Encouragement à l'utilisation de capteurs pour surveiller le comportement des bâtiments pendant et après les séismes.[3]

7. Mises à jour et motivations du passage au RPA 2024 :

Le passage au RPA 2024 repose sur une combinaison de nouvelles données scientifiques, des avancées en ingénierie parasismique, et des leçons tirées des séismes récents. Voici un résumé des mises à jour majeures et des motivations derrière cette révision.

7.1. Mises à jour clés du RPA 2024 :

Zonage sismique plus précis

- Mise à jour des zones sismiques basée sur des études géophysiques récentes et des données actualisées sur l'activité sismique.
- Inclusion de sous-zonages pour affiner les prescriptions selon l'intensité réelle du risque dans chaque région.
- Adoption de cartes de microzonage pour les zones urbaines densément peuplées, tenant compte des effets locaux du sol.

Méthodes de calcul améliorées

- Obligation de recourir à des analyses dynamiques (linéaires et non linéaires) pour les structures complexes.
- Calcul des effets du site et de l'interaction sol-structure
- Intégration de méthodes plus précises pour modéliser les déformations et dissiper l'énergie sismique via la ductilité.

Renforcement de la ductilité et de l'énergie dissipée

- Les structures doivent être conçues pour se déformer de manière contrôlée (ductilité) et dissiper l'énergie sismique sans effondrement.

Exigences pour les bâtiments critiques et infrastructures stratégiques

- Normes spécifiques pour les bâtiments essentiels (hôpitaux, écoles, centrales, etc.), avec des niveaux de performance plus élevés.

Qualité des matériaux et construction durable

- Normes renforcées pour la qualité des matériaux de construction (acier, béton, etc.).
- Intégration de la durabilité des structures pour leur réutilisation après des séismes modérés.

Meilleure prise en compte des effets du sol

- Prise en compte des effets dynamiques locaux du sol, comme l'amplification des ondes dans des zones spécifiques (effets de site).

Normes pour la construction en hauteur et les structures complexes

- Prescriptions spécifiques pour les bâtiments de grande hauteur et les structures non conventionnelles, souvent absentes dans les versions antérieures.

7.2. Motivations du passage au RPA 2024

Leçons tirées des séismes récents

- Les séismes de magnitude élevée survenus ces dernières années (exemple : séisme de Boumerdès en 2003) ont mis en lumière les lacunes du RPA 2003.
- Certains bâtiments conçus selon les anciennes normes n'ont pas résisté comme prévu, en raison de l'insuffisance des prescriptions liées à la ductilité ou aux effets du site.

Avancées technologiques et scientifiques

- Progrès en sismologie et en ingénierie parasismique.
- Introduction de nouvelles techniques de simulation et d'analyse des structures (modélisations 3D, analyses non linéaires).
- Disponibilité de données géologiques et géophysiques actualisées.

Évolution des attentes sociales et économiques

- L'objectif du RPA 2024 n'est pas seulement d'éviter l'effondrement des bâtiments, mais aussi de limiter les dommages pour assurer une reprise rapide des activités après un séisme.
- Une attention particulière est donnée aux infrastructures critiques pour préserver les fonctions vitales (hôpitaux, postes de police, écoles, etc).

Normes internationales et harmonisation

- Le RPA 2024 s'aligne davantage avec les normes internationales telles que l'**Eurocode 8** et les réglementations américaines (**ASCE 7** "American Society of Civil Engainées ", **UBC** "Uniform Building Code).
- Cette mise à jour permet également de faciliter l'intégration des pratiques algériennes dans des projets internationaux.

Changements environnementaux et urbanisation

- La densité urbaine croissante en Algérie a conduit à une augmentation des bâtiments en hauteur et des infrastructures complexes.
- L'impact potentiel des séismes est amplifié dans les zones urbaines modernes, nécessitant des prescriptions plus strictes.

Durabilité et résilience

- L'approche moderne vise à construire des bâtiments non seulement résistants mais aussi **résilients**, c'est-à-dire capables de reprendre leur fonction rapidement après un séisme.[3]

II. Principales différences entre RPA2003 et RPA2024

1. Différences entre le zonage sismique du RPA 2003 et du RPA 2024

Le RPA 2003 et le RPA 2024 présentent des différences notables dans la définition et l'application du zonage sismique en Algérie. Ces différences reflètent les avancées scientifiques et les nouvelles données sur les risques sismiques.

1.1. Zonage sismique dans le RPA 2003

Nombre de zones

Le RPA 2003 définit **quatre zones principales**, basées sur l'intensité attendue des séismes (voir annexe) :

Tableau 1: Zonage sismique de l'Algérie (2003) [2]

Sismicité	Zone
Très faible sismicité	I
Faible sismicité	IIa
Moyenne sismicité	IIb
Forte sismicité	III

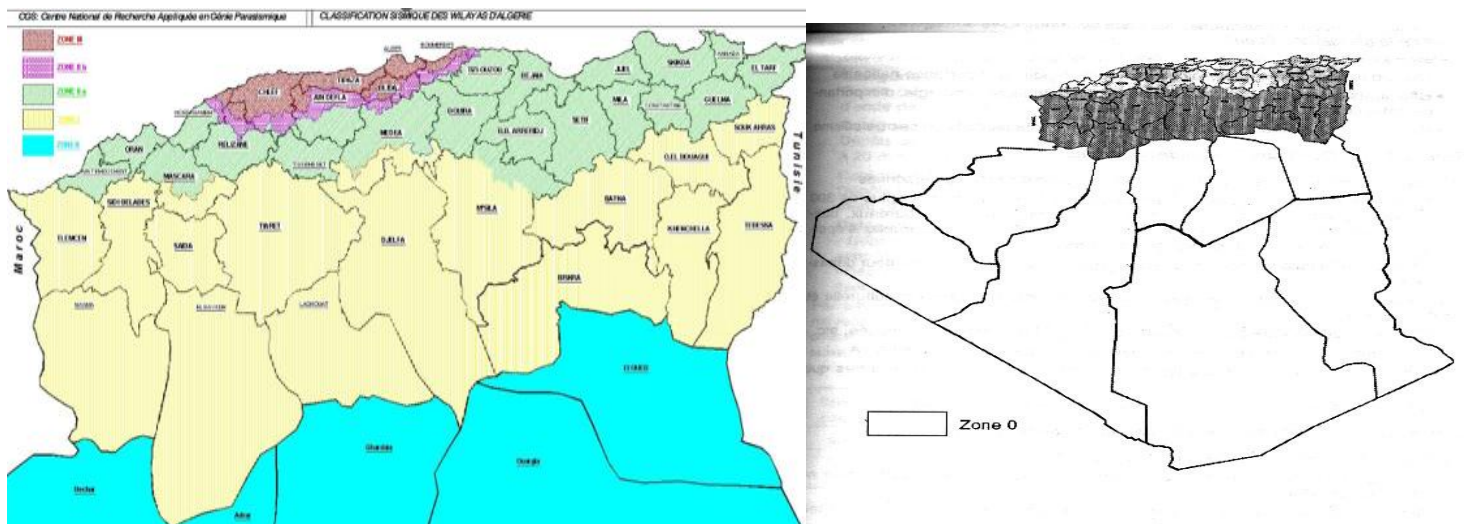


Figure 1: Zonage sismique de l'Algérie (2003)[2]

Critères de classification

- Basé principalement sur des données historiques de sismicité et des observations empiriques.
- Les zones sont définies en fonction de l'intensité des secousses estimée sur des périodes longues.

1.2. Zonage sismique dans le RPA 2024

Nombre de zones

Le RPA 2024 définit **six zones principales**, basées sur l'intensité attendue des séismes (voir annexe):

Tableau 2: Zonage sismique de l'Algérie (2024) [3]

Sismicité	Zone
Très faible	0
Faible	I
Faible a moyenne	II
Moyenne	III
Moyenne a élevée	IV
Elevée	V & VI

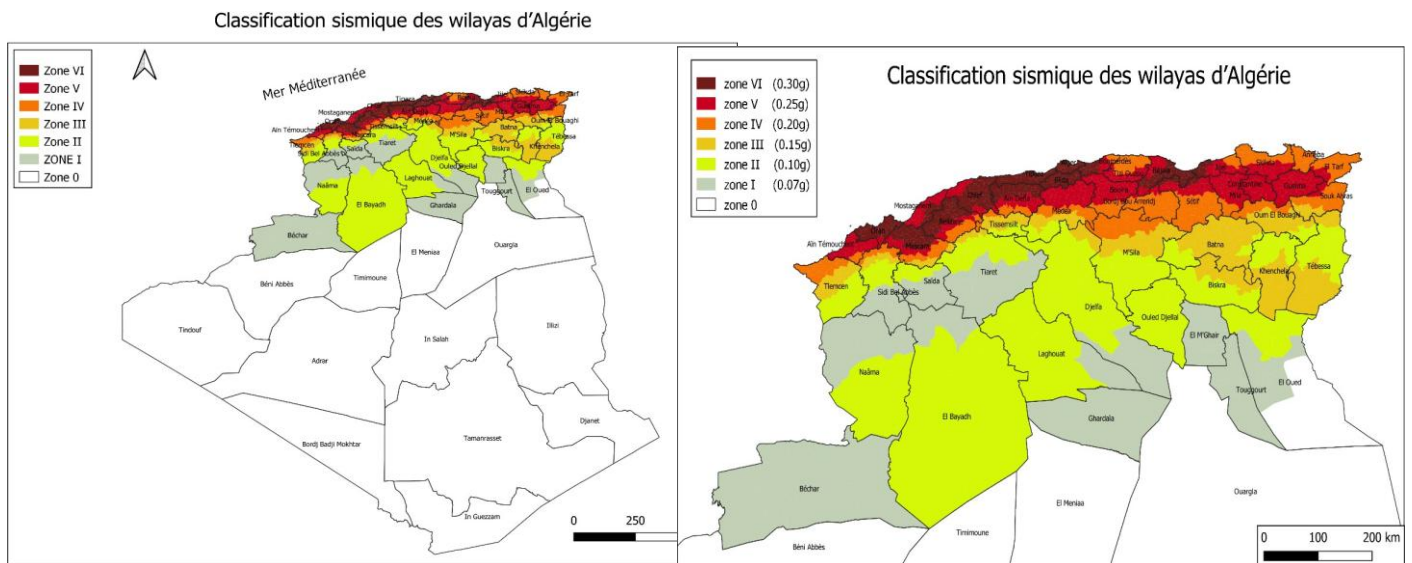


Figure 2: Zonage sismique de l'Algérie (2024)[3]

Introduction du microzonage

- Dans les grandes villes et les zones densément peuplées (comme Alger, Oran, Constantine), des cartes de **microzonage urbain** sont intégrées.
- Le microzonage tient compte des effets locaux du sol (par exemple, amplification des secousses dans les zones avec des sols mous ou instables).

2. Nouvelles prescriptions techniques dans le RPA 2003 et le RPA 2024

L'évolution du RPA (Règlement Parasismique Algérien) entre 2003 et 2024 illustre des améliorations significatives pour garantir une meilleure résistance des structures face aux séismes. Les prescriptions techniques concernent à la fois les **types de matériaux** et les **méthodes de modélisation des forces sismiques**.

2.1. Matériaux principaux RPA 2003

- **Béton armé** : Principal matériau de construction, avec des exigences minimales sur la résistance à la compression ($f^c \geq 20$ MPa).
- **Acier** : Utilisation d'acier ordinaire (FeE400 ou équivalent). La ductilité de l'acier est mentionnée, mais pas prioritaire. [2]

Caractéristiques générales

- Les normes de contrôle qualité sont limitées.
- Les matériaux sont évalués sur leur résistance minimale sans mise en avant de leurs propriétés ductiles.
- Utilisation limitée de matériaux modernes [2]

Limites du béton armé

- Faible contrôle des propriétés spécifiques, comme la durabilité et la capacité à dissiper l'énergie sismique.
- Négligence de l'interaction entre le béton et l'acier dans des conditions de surcharge dynamique. [2]

2.2. Matériaux RPA 2024

Béton armé haute performance (HPC "Haute Performance Concrete")

- Résistance accrue ($f'_c \geq 30$ Mpa et ≤ 90 Mpa) pour mieux résister aux efforts sismiques.
- Prescriptions sur la durabilité et la résistance à long terme (notamment en zones exposées à la corrosion). [3]

Acier haute ductilité

- Introduction d'aciers spéciaux (par ex., S500, S600) avec des propriétés de ductilité améliorées, essentiels pour absorber les énergies sismiques. [3]

Matériaux composites et renforts (FRP)

- Utilisation recommandée pour renforcer les structures existantes et améliorer leur résistance sismique. [3]

Caractéristiques avancées

- Accent sur la **ductilité des matériaux** pour permettre des déformations contrôlées sans rupture brutale.
- Introduction des critères de performance basés sur la **capacité énergétique des matériaux** (énergie dissipée).
- Inclusion de nouvelles méthodes pour la validation des matériaux modernes via des tests expérimentaux. [3]

2.3. Modélisation des forces sismiques RPA 2003

Méthode principale

- Utilisation de la **méthode statique équivalente** basée sur une approximation des forces sismiques.

Critères simplifiés

- Les forces sont réparties sur la structure selon une distribution en fonction de la hauteur. Les effets dynamiques non linéaires ne sont pas considérés (analyse linéaire uniquement).

2.4. Modélisation des forces sismiques RPA 2024

3. Méthodes avancées

- Obligation d'utiliser des **analyses dynamiques linéaires et non linéaires** pour les bâtiments importants ou complexes.
- Introduction de la **méthode de spectre de réponse** pour modéliser les réponses des structures aux séismes selon différentes fréquences.

Prise en compte des effets locaux

- Les calculs incluent désormais les **effets du site**, comme les amplifications locales dues à des sols mous ou instables.
- Les interactions **sol-structure** sont modélisées pour évaluer les forces supplémentaires générées.

Modélisation des déformations

- Introduction de critères basés sur la **performance structurelle**, y compris les déformations maximales acceptables sans effondrement.

Prise en compte de la non-linéarité

- Analyse non linéaire pour des cas critiques, prenant en compte les plastifications locales (ex. : rotules plastiques). Modélisation avancée des mécanismes de dissipation d'énergie via la ductilité. [3]

4. Règle de dimensionnement des bâtiments

Les règles de dimensionnement parasismique des bâtiments en Algérie sont régies par le Règlement Parasismique Algérien (RPA). Il fixe les exigences relatives à la conception, au calcul et à la construction des structures afin de résister aux séismes. Deux versions majeures sont à distinguer : le RPA 2003 et le RPA 2024:

4.1. Contexte et évolution

- **RPA 2003** : Représente l'ancienne version du règlement parasismique, basée sur les connaissances sismiques et les pratiques constructives de l'époque. Il a constitué pendant deux décennies la base réglementaire pour la conception sismique en Algérie. [2]
- **RPA 2024** : Version actualisée intégrant les avancées récentes en matière d'ingénierie parasismique, les nouvelles données sismotectoniques, les méthodes de calcul modernes (notamment la méthode dynamique modale spectrale), ainsi qu'une meilleure classification des sols et des zones sismiques. [3]

5. Prise en compte des nouveaux événements sismique dans les formulations des règlements

Les différences principales entre la RPA 2003 (Réglementation Parasismique Algérienne) et la RPA 2024 se trouvent principalement dans la prise en compte des nouveaux événements sismiques, l'amélioration des formulations des règlements et l'intégration de données récentes sur la sismicité, les comportements des structures, ainsi que des avancées scientifiques et technologiques. Voici les principaux changements entre la RPA 2003 et la RPA 2024 en ce qui concerne les événements sismique

CHAPITRE N°1 : CADRE THEORIQUE

Mise à jour de la cartographie de la sismicité	
RPA 2003	RPA 2024
La cartographie sismique était basée sur les connaissances et les données disponibles à l'époque, mais elle ne reflétait pas toujours les évolutions récentes des zones sismiques	Elle intègre des données plus récentes concernant la sismicité, notamment suite à l'amélioration des connaissances sismologiques en Algérie, notamment après les grands séismes des années 2000 et 2010. Elle réévalue certaines zones de risque sismique pour mieux refléter les comportements sismiques observés récemment
Nouveaux paramètres de la réponse sismique des sols	
RPA 2003	RPA 2024
Les critères de réponse des sols étaient basés sur des coefficients généraux qui ne tenaient pas toujours compte de la diversité des sols et de leurs comportements spécifiques face aux tremblements de terre.	L'approche est plus détaillée, prenant en compte la nature des sols (p. ex., sol meuble, sol dur, etc.), et utilise des paramètres plus précis pour évaluer la réponse des sols aux séismes. De nouveaux modèles de comportement des sols sont pris en compte pour améliorer la précision des calculs de la réponse sismique
Renforcement des structures	
RPA 2003	RPA 2024
Les exigences en matière de renforcement des structures face aux séismes étaient basées sur des critères simplifiés	De nouvelles approches sont proposées pour le renforcement des structures existantes, avec des exigences plus strictes, notamment pour les bâtiments anciens et les infrastructures essentielles (hôpitaux, écoles, etc.). Le comportement des matériaux dans les conditions sismiques est aussi mieux pris en compte
Méthodes de calcul et de modélisation des structures	
RPA 2003	RPA 2024
Les méthodes de calcul se basaient en grande partie sur des approches classiques (modèles linéaires simples) pour la conception parasismique	De nouvelles méthodes de calcul plus avancées et basées sur des modèles non linéaires et dynamiques sont intégrées. Ces méthodes prennent mieux en compte les effets de la déformation et de l'endommagement des structures en cas de séisme majeur
Prise en compte des événements sismiques majeurs récents	
RPA 2003	RPA 2024

CHAPITRE N°1 : CADRE THEORIQUE

Cette version ne prenait pas en compte tous les événements sismiques majeurs récents qui ont eu lieu dans la région méditerranéenne et plus spécifiquement en Algérie	La prise en compte des grands tremblements de terre survenus ces dernières années (comme ceux de Boumerdès en 2003 ou de El Asnam en 1980) a permis de réévaluer les niveaux de risque sismique et de rendre le règlement plus pertinent par rapport aux données actuelles
Évolution des critères de conception parasismique	
RPA 2003	RPA 2024
Les critères de conception étaient assez simples, centrés sur la sécurité des occupants et la stabilité des bâtiments, sans vraiment prendre en compte le confort post-sismique ou la continuité des services après un séisme	Les exigences sont désormais plus complètes, incluant des critères non seulement de sécurité mais aussi de résilience des bâtiments face aux séismes, notamment pour les infrastructures critiques, les équipements sensibles, et la gestion des risques post-sismiques (accès pour les secours, continuité de service, etc.)
Gestion des risques sismiques	
RPA 2003	RPA 2024
Cette version se concentrait sur la conception et la sécurité des nouvelles constructions	La gestion du risque sismique est abordée de manière plus globale, en incluant des stratégies de prévention, de surveillance et d'intervention. La prise en compte du risque dans les zones déjà urbanisées et la réhabilitation des structures existantes sont des éléments essentiels du règlement révisé

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGES

INTRODUCTION :

En commençons par la présentation de la structure et caractéristique des matériaux ; cette première partie consiste à la description du projet à étudier. L'étude des bâtiments se base généralement sur des règlements parasismiques algérien RPA99/ version2003. Et le règlement parasismique algérien RPA2024

I. Description de l'ouvrage

Notre projet à étudier consiste à la réalisation d'un bâtiment en **R+15**, composé d'un rez-de-chaussée, et 15 étages à usage d'habitation. Il est implanté dans la wilaya de Mostaganem. Classé dans le « groupe d'usage 2 », site Rocheux **S1**, ville située en zone **IIa**, selon le règlement parasismique algérien RPA99/ version2003. Et zone **V** selon le règlement parasismique algérien RPA2024, Contrainte admissible du sol est 4MPa.

1. Caractéristiques géométriques

Les caractéristiques géométriques de la structure à étudier sont :

- Hauteur des étages courants 3.06m.
- Hauteur du RDC.....3.06 m.
- Hauteur du Sous-Sol 4,90 m.
- Hauteur totale du bâtiment sans acrotère.....53,86m.
- Longueur totale du bâtiment en plan 26,5 m.
- Largeur totale du bâtiment en plan 23,4m.



Figure 3: L'implantation du projet

2. Compositions de la structure

- **Plancher**

Plancher est un élément horizontal d'une structure, conçu pour supporter et répartir les charges (poids des occupants, équipements, meubles) et les transmettre aux éléments porteurs verticaux tels que les poutres, poteaux ou murs porteurs. Il sert également à diviser un bâtiment en niveaux distincts tout en offrant une isolation thermique et acoustique entre les étages

- **Ossature**

L'ossature choisie est un système de voiles porteurs, ils assurent la stabilité de la structure sous l'effet des actions verticales et horizontales

- **Voiles**

Des éléments verticaux à deux dimensions. Ils présentent une grande résistance et une grande rigidité vis-à-vis des forces horizontales.

- **Poutres noyées**

Les poutres seront noyées dans le plancher et reprendront les charges de celui-ci et des murs

- **Escalier**

Un escalier est un ouvrage constitué d'une suite de degrés horizontaux (marche et contremarche) qui passe à pied d'un niveau à l'autre d'une construction.

- **Maçonnerie**

La maçonnerie du bâtiment est réalisée en briques creuses, Les murs extérieurs sont constitués en double parois de briques (10cm et 15cm d'épaisseur) séparés par une lame d'air de 5cm d'épaisseur. Les murs intérieurs sont constitués d'une seule paroi de briques d'épaisseur 10cm.

- **Acrotère**

C'est un élément de façade situé au-dessus de la toiture ou de la terrasse, à la périphérie du bâtiment, et constituant des rebords ou garde-corps. Compte tenu de non accessibilité de la terrasse, notre acrotère a une hauteur de 60 cm avec une épaisseur de 10 cm.

- **Revêtement**

Pour la façade extérieure : enduit de ciment.

Pour les plafonds et murs intérieurs : enduit plâtre.

Pour les planchers : carrelage.

- **Infrastructure**

C'est la partie de la structure enfouie sous terre : les fondations. Le choix se fera en fonction de l'étude du terrain, la nature de l'ouvrage, l'environnement du projet.

- **Ascenseur**

Un ascenseur est un dispositif assurant le déplacement rapide en hauteur de passagers et objets sur les différents niveaux d'une construction. Il est indispensable lorsque le nombre d'étages est important comme pour le cas de notre ouvrage (15 niveaux).

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

3. Caractéristiques des matériaux

3.1. Béton

Composition du béton

Le béton est constitué par un mélange intime de matériaux inertes, appelés "granulats" (sables, graviers, pierres cassées...) avec du ciment et de l'eau. Grâce à la réaction du ciment, le mélange ainsi obtenu, appelé "béton frais", commence à durcir après quelques heures et acquiert progressivement ses caractères de résistance.

Caractéristique du béton

- **Résistance à la compression**

Pour l'établissement des projets, dans les cas courants, un béton est défini par une valeur de sa résistance à la compression à l'âge de 28 jours, dite valeur caractéristique requise (ou spécifiée). Celle-ci, notée f_{c28} est choisie a priori, compte tenu des possibilités locales ; et des régies de contrôle qui permettent de vérifier qu'elle est atteinte.

Pour notre projet, il a été choisi de travailler avec $f_{c28} = 25$ MPA (béton à usage courant).

Pour un béton d'âge inférieur à 28 jours, la résistance à la compression peut être obtenue par la formule suivante :

$$f_{cj} = \frac{j}{4.76+0.88j} \times f_{c28} \quad \text{Pour } f_{c28} \leq 40 \text{ Mpa (CBA93, A2.1.1.1).} \quad \text{Avec : } j \leq 28 \text{ jours}$$

Poids volumique du béton : $\gamma_{\text{béton}} = 25 \text{ KN/m}^3$

Coefficient de poisson

- Pour le calcul des éléments bidimensionnels (dalles, coques...), on prendra :

$\nu = 0 \rightarrow$ états limites ultimes (béton fissuré).

$\nu = 0,2 \rightarrow$ états limites de service (béton non fissuré).

Avec

1- Pivot A : traction simple ou composée, flexion avec état limite ultime atteint dans l'acier.

2- Pivot B : flexion avec état limite ultime atteint dans béton.

3- Pivot C : compression simple ou composée.

- La résistance caractéristique à la traction d'un béton est donnée par la formule :

$$f_{t28} = 0,6 + 0,06 f_{c28} \rightarrow f_{t28} = 0,6 + 0,06 \times (25) \rightarrow f_{t28} = 2,1 \text{ MPa.}$$

- Cette formule étant valable pour les valeurs de : $f_{cj} \leq 60 \text{ MPa}$.

Contraintes limites de compression

- La contrainte limite ultime du béton comprimé est donnée par :

$$\sigma_{bc} = 0,85 \times \frac{f_{c28}}{\gamma_b} \quad \text{Avec} \quad \gamma_b: \text{coefficient de sécurité.}$$

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

$$\gamma_b = \begin{cases} 1,5 & \text{En situation durable et transitoire} \\ 1,15 & \text{en situation accidentelle} \end{cases}$$

- Le coefficient θ est fixé à 1 lorsque la durée probable d'application de la combinaison d'actions considérée est supérieure à 24 h, à 0,9 lorsque cette durée est comprise entre 1h et 24h, et à 0,85 lorsqu'elle est inférieure à 1h.

$$\sigma_{bc} = 0,85 \times \frac{25}{1,5} 14,2 \text{ Mpa (situation durable et transitoires)}$$

$$\sigma_{bc} = 0,85 \times \frac{25}{1,15} 18,5 \text{ Mpa (situation accidentelles)}$$

La contrainte limite service du béton comprimé est donnée par :

$$\overline{\sigma}_{bc} = 0,6 f_{cj} \text{ (C.B.A 93, A.4.5.2) / } f_{c28}=25\text{MPa} \rightarrow \overline{\sigma}_{bc}=15 \text{ MPA}$$

La contrainte ultime de cisaillement (C.B.A 93, A.5.1.2.1)

La contrainte limite de cisaillement prend les valeurs suivantes

Fissuration non préjudiciable (peu nuisible) :

$$\tau_u = \min\left(\frac{0,2 \times f_{cj}}{\gamma_b}; 5\text{MPa}\right) = 3,33 \text{ MPa}$$

Fissuration préjudiciable ou très préjudiciable :

$$\tau_u = \min\left(\frac{0,15 \times f_{cj}}{\gamma_b}; 4\text{MPa}\right) = 2,5 \text{ MPa}$$

Module de déformation longitudinale du béton (C.B.A 93, A.2.1.2.)

Le module de déformation longitudinale instantanée

Sous des contraintes normales d'une durée d'application inférieure à 24 heures, le module de déformation longitudinale instantanée du béton E_{ij} est donné par :

$$E_i = 11000^3 \sqrt{f_{c28}} = 32164,195 \text{ MPa}$$

Le module de déformation longitudinale différée :

Pour les déformations différées du béton qui comprennent le retrait et le fluage, on considère dans le calcul que les effets de ces deux phénomènes s'additionnent sans atténuation pour le calcul des déformations finales du béton, utilise le module de déformation longitudinale différée E_{ij} qui est donné par la formule :

$$E_v = 3700^3 \sqrt{f_{c28}} = 10818,9\text{MPa}$$

Module de déformation transversale

$$G = \frac{E}{2(1 + 2\nu)}$$

E : module de YOUNG

ν : coefficient de POISSON

3.2. Acier

L'acier est un alliage fer carbone en faible pourcentage, leur rôle est d'absorber les efforts de traction, de cisaillement et de torsion, on distingue deux types d'aciers :

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

Aciers doux ou mi-durs pour 0.15 à 0.25 % de carbone. Aciers durs pour 0.25 à 0.40% de carbone.

Le module d'élasticité longitudinal de l'acier est pris égale à :

$E_s = 200\,000$ MPA. (C.B.A 93, A.2.2.1.)

Caractéristique de l'acier : Fe500 \rightarrow limite d'élasticité = 500 MPA

Etat limite ultime (E.L.U)

La contrainte admissible de l'acier est définie par :

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} \rightarrow \varepsilon_s \geq \varepsilon_L \qquad \sigma_s = E_s \times \varepsilon_s \rightarrow \varepsilon_s < \varepsilon_L \quad (\text{C.B.A 93 A.2.2.2}).$$

Avec :

ε_s : Allongement relatif de l'acier, limité à 10 %.

E_s : Module d'élasticité longitudinale est pris égal à 200 000 MPa.

f_e : Limite d'élasticité garantie.

Le diagramme contraintes déformations de calcul se déduit du précédent en effectuant une affinité

Parallèlement à la tangente à l'origine et dans le rapport $1/\gamma_s$

$$\gamma_s \begin{cases} 1,15 \text{ situation normale} \\ 1 \text{ situation accidentelle} \end{cases}$$

Avec : σ_s limite élastique de l'acier utilise

$$\sigma_s = \begin{cases} \sigma_s = 435 \text{ Mpa situation normale} \\ \sigma_s = 500 \text{ Mpa situation accidentelle} \end{cases}$$

État limite de service (E.L.S)

On ne limite pas la contrainte de l'acier sauf en état limite d'ouverture des fissures :

η : Coefficient de fissuration.

$$\eta = \begin{cases} \eta = 1 \text{ pour les ronds lisse (RL)} \\ \eta = 1,6 \text{ pour les armatures à hautes adhérence (HA)} \end{cases}$$

Fissuration préjudiciable : $\bar{\sigma} \leq \min[2/3 \times f_e ; 110\sqrt{\eta} \times f_{tj}]$

Donc : $\bar{\sigma} \leq 201,63$ MPA (HA)

Fissuration très préjudiciable : $\bar{\sigma} \leq \min[1/2 \times f_e ; 90\sqrt{\eta} \times f_{tj}]$

Donc : $\bar{\sigma} \leq 164,97$ MPA (HA)

Fissuration peu nuisible : aucune vérification n'est requise pour les aciers.

3.3. Sollicitations de calcul et combinaisons d'actions

Les justifications produites doivent montrer pour les divers éléments d'une structure et pour l'ensemble de celle-ci, que les sollicitations de calcul définies dans les articles qui suivent ne provoquent pas le phénomène que l'on veut éviter.

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

Tableau 3: Combinaisons d'actions RPA 2003 [2]

combinaisons d'actions RPA 2003	
Etat limite ultime (E.L.U)	État limite de service (E.L.S)
1,35 G + 1,5 Q	G + Q
Combinaisons accidentelle	
G+Q±E	
0,8 G±E	
G+Q±1.2E	

$$\left\{ \begin{array}{l} E1 = \pm Ex \pm 0.3Ey \\ E2 = \pm 0.3Ex \pm Ey \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} E3 = \pm Ex \pm 0.3Ey \pm 0.3Ez \\ E4 = \pm 0.3Ex \pm Ey \pm 0.3Ez \\ E5 = \pm 0.3Ex \pm 0.3Ey \pm Ez \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} E4 = \pm 0.3Ex \pm Ey \pm 0.3Ez \\ E5 = \pm 0.3Ex \pm 0.3Ey \pm Ez \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} E4 = \pm 0.3Ex \pm Ey \pm 0.3Ez \\ E5 = \pm 0.3Ex \pm 0.3Ey \pm Ez \end{array} \right.$$

Avec : G : charge permanente

Q : charge d'exploitation

E : effort de séisme

ψ : Coefficient d'accompagnement

Tableau 4: Combinaisons d'actions RPA 2024[3]

combinaisons d'actions RPA 2024	
Etat limite ultime (E.L.U)	État limite de service (E.L.S)
1,35 G + 1,5 Q	G + Q
Combinaisons accidentelle	
$G + \psi \cdot Q + E_1$	$G + \psi \cdot Q + E_2$
$G + \psi \cdot Q + E_3$	$G + \psi \cdot Q + E_4$
$G + \psi \cdot Q + E_5$	$G + \psi \cdot Q \pm 1.3E_x$
$G + \psi \cdot Q \pm 1.3E_y$	$G + \psi \cdot Q \pm \frac{R}{Q_F} \cdot E_x$
$G + \psi \cdot Q \pm \frac{R}{Q_F} \cdot E_y$	$G + \psi \cdot Q \pm 1.4E_x$
$G + \psi \cdot Q \pm 1.4E_y$	

4. Normes utilisées

L'étude de cet ouvrage est effectuée conformément aux règlements ci-après :

- Règle de conception et de calcul des structures en béton armé (C.B.A.93) : basé sur la théorie des états limites.
- Règles Parasismiques Algériennes (RPA99/version2003) : Le présent document technique réglementaire fixe les règles de conception et de calcul des constructions en zones sismiques.
- Règles Parasismiques Algériennes (RPA 2024) : est une version actualisée des normes parasismiques en Algérie. Cette réglementation est essentielle pour la conception et la construction de bâtiments capables de résister aux tremblements de terre
- DTR B.C. 2.2 Charges permanentes et charges d'exploitation : Le présent document traite des charges permanentes et charges d'exploitation des bâtiments, de leur mode d'évaluation et des valeurs de ces charges à introduire dans les calculs.

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

- BAEL 91 révisé en 99 : Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites.

5. Logiciels utilisés

- AUTOCAD (version 2021) : pour le dessin des plans
- ROBOT (version 2025) : pour la modélisation de la structure
- Robot Expert : pour les ferraillages
- RDM6 : pour le calcul des moments, efforts tranchants, flèche.
- CYPE (version 2017) : pour étude de cout

II. Modélisation numérique de bâtiment

1. Hypothèse de conception

L'évaluation des différentes sections de notre structure (plancher, voiles,) passe par un dimensionnement préliminaire appelé pré dimensionnement.

Pour cela nous allons effectuer une descente de charge afin de déterminer ce qui revient à chaque élément comme charge permanente et d'exploitation.

On remarque que **le plancher et le voile, l'escalier** ont la même épaisseur, tant que RPA2003 et RPA2024, aussi le prédimensionnement du **poutre noyée, poutre extrémité, poutre palier**

1.1. Plancher

Le plancher peut être continue sur 2, 3, voire 4 appuis constitués de poutres, poutrelles ou murs. L'épaisseur doit être choisie selon les conditions :

De résistance à la flexion

$$\frac{Lx}{35} < e < \frac{Lx}{30} \quad \text{Pour une dalle continue sur 2 appuis}$$

$$\frac{Lx}{50} < e < \frac{Lx}{40} \quad \text{Pour une dalle continue sur 3 ou 4 appuis}$$

D'isolation acoustique : $e \geq 16\text{cm}$

De condition de flèche : $f \leq \frac{L}{500}$

De sécurité vis-à-vis de l'incendie : on choisit $e=7\text{cm}$ pour 1h de coupe-feu et 11cm pour 2h. Notre panneau le plus sollicité a les dimensions suivantes

$$Lx=6.25\text{m} ; Ly=7.84 \text{ m}$$

$$\rho = \frac{6.25}{7.84} = 0.80$$

$0,80 > 0,4 \Rightarrow$ La dalle est considérée comme portante dans les 2 directions.

$$\frac{Lx}{50} \leq ep \leq \frac{Lx}{40} \Rightarrow \frac{625}{50} \leq ep \leq \frac{625}{40} \Rightarrow 12.5 \text{ cm} \leq ep \leq 15.625 \text{ cm}$$

On prend $ep=20 \text{ cm}$

1.2. Les voiles

Le dimensionnement des voiles en béton armé est justifié par l'article 7.7 du RPA99 version 2003.

D'après le RPA99 version 2003 **article 7.7.1**, les voiles sont considérés comme des éléments satisfaisant la condition : $L \geq 4e$. Dans le cas contraire, les éléments sont considérés comme des éléments linéaires. Avec :

L : longueur de voile.

e : épaisseur du voile.

L'épaisseur minimale est de 15cm, de plus l'épaisseur doit être déterminée en fonction de la hauteur libre d'étage et des conditions de rigidité aux extrémités indiquées sur la figure suivante :

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

Un seul type de voiles est considérés à savoir :

Voile linéaire où le RPA exige que l'épaisseur $a \geq h_e/20$; h_e = hauteur d'étage – l'épaisseur du plancher

Tableau 5: Le dimensionnement des voiles

Niveau	h	h_e	$h_e/20$
Sous-sol	490	470	23.5
RDC	306	286	14.3
Etage courant	306	286	14.3

Nous avons opté pour une épaisseur de $a = 35$ cm

1.3. Poutres noyées

Nous avons choisi de faire de poutres noyées car la structure est contreventée par des voiles et nous souhaitons ne pas avoir de retombée visible.

- La hauteur de la poutre sera la même que l'épaisseur du plancher ;
- La largeur : $b \geq a$ (largeur du voile) On a poutre **(20x55) cm²**

1.4. Poutre d'extrémité

$$\frac{625}{15} \leq h \leq \frac{625}{10} \rightarrow 41 \leq h \leq 62.5$$

$$0.3h \leq b \leq 0.7h \rightarrow 18 \leq b \leq 42$$

On prend $h=55$ cm et $b=25$ cm \rightarrow (25 x55)

1.5. Poutre palière

$$L_{\max} = 480 \text{ cm}$$

$$\frac{480}{15} \leq h \leq \frac{480}{10} \Rightarrow 32 \text{ cm} \leq h \leq 48 \text{ cm}$$

On prend : $h = 35$ cm et $b = 30$ cm \rightarrow (30 x35)

Vérification des conditions imposées par le RPA 99 version 2003

$b = 30 \text{ cm} > 25 \text{ cm}$; $h = 35 \text{ cm} > 30 \text{ cm}$; $h/b = 1,17 < 4.0$. Conditions vérifiées

1.6. L'escalier

Sous-sol

- **Calcul du giron et la hauteur de marche :**

Dans le cas des escalier balancés, la même formule Blondel, s'applique avec une condition supplémentaire : la ligne de foulée est prise a une distance de 50cm des murs extérieurs.

D'après la formule de **BONDEL**, on a : $0,59 \text{ m} \leq g + 2h \leq 0,66 \text{ m}$

$g+2h = 0,59 \text{ m}$: correspond a des escaliers courants d'appartement.

$g+2h = 0,66 \text{ m}$: correspond a des locaux publics.

Avec : g : giron

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

h : hauteur d'une marche

H : de mi-hauteur d'un étage

n : nombre des marches

N : nombre des contre-marches

Généralement : pour avoir des marches confortables, on a utilisé : $g+2h=0,64 \text{ m} = 64$

Avec : **$g = 30 \text{ cm}$**

$h = 17 \text{ cm}$

$$59 \text{ cm} \leq 30 + 2 \times 17 = 64 \leq 66 \text{ cm} \dots \dots \dots \text{(Condition vérifié)}$$

- **Calcul du nombre des marches et contre-marches**

$$N_C = \frac{H}{h} = \frac{490}{17} = 29 \quad , \text{on aura 29 contres-marches pour sous-sol.}$$

- **L'angle d'inclinaison**

$$\text{tg} \alpha = \frac{h}{g} = \frac{17}{30} \cong 0,56 \rightarrow \alpha = 29,53^\circ < 40 \dots \dots \dots \text{(Condition vérifié)}$$

- **La longueur de volée**

$$L_V = n \times g = 13 \times 30 = 390 \text{ cm}$$

- **L'épaisseur de la pailasse** : est calculée suivant la condition : $\frac{L}{30} \leq e_p \leq \frac{L}{20}$

$$L = \sqrt{(L_V^2 + H^2)} = \sqrt{(390^2 + 238^2)} = 456,8 \text{ cm}$$

$$\frac{456,8}{30} \leq e_p \leq \frac{456,6}{20} \rightarrow 15,22 \text{ cm} \leq e_p \leq 22,84 \text{ cm}$$

On adopte : $e_p = 16 \text{ cm}$

- **RDC et étage courant**

$$g + 2h = 0,64 \text{ m} = 64 \text{ m}$$

Avec : **$g = 30 \text{ cm}$**

$h = 17 \text{ cm}$

$$59 \text{ cm} \leq 30 + 2 \times 17 = 64 \leq 66 \text{ cm} \dots \dots \dots \text{(Condition vérifié)}$$

- **Calcul du nombre des marches et contre-marches**

$$N_C = \frac{H}{h} = \frac{306}{17} = 18 \quad , \text{on aura 18 contres-marches pour RDC et étage courant.}$$

- **L'angle d'inclinaison**

$$\text{tg} \alpha = \frac{h}{g} = \frac{17}{30} \cong 0,56 \rightarrow \alpha = 29,53^\circ < 40 \dots \dots \dots \text{(Condition vérifié)}$$

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

- La longueur de volée

$$L_V = n \times g = 8 \times 30 = 240 \text{ cm}$$

- L'épaisseur de la pailleasse : est calculée suivant la condition : $\frac{L}{30} \leq e_p \leq \frac{L}{20}$

$$L = \sqrt{(L_V^2 + H^2)} = \sqrt{(240^2 + 153^2)} = 284,6 \text{ cm}$$

$$\frac{284,6}{30} \leq e_p \leq \frac{284,6}{20} \rightarrow 9,48 \text{ cm} \leq e_p \leq 14,23 \text{ cm}$$

On adopte : $e_p = 16 \text{ cm}$

1.7. Descente de charge

Le DTR n'a pas changé selon les deux règlements alors elle reste le même

Planchers terrasse (accessible)

Tableau 6: Descente de charge du plancher terrasse

Composants	Epaisseur (m)	Poids volumique (KN/m ³)	Poids surfacique (KN/m ²)
Protection gravillon	0.05	17	0.85
Etanchéité multicouche	0.02	6	0.12
Forme de pente	0.1	22	2.2
Isolation thermique	0.04	4	0.16
Dalle en BA	0.20	25	5
Enduite plâtre	0.02	10	0.2
Pare vapeur	0.01	6	0.06
G= 9.9			
Q= 5			

Plancher étage courant

Tableau 7: Descente de charge des étages courant

Composants	Epaisseur (m)	Poids volumique (KN/m ³)	Poids surfacique (KN/m ²)
Carrelage	0.02	22	0.44
Mortier de pose	0.02	20	0.4
Lit de sable	0.02	18	0.36
Dalle en BA	0.20	25	5
Enduit en plâtre	0.02	10	0.2
Cloisons internes	0.01	9	0.06
G= 6.49			
Q= 1.5			

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

Plancher RDC

Tableau 8: Descente de charge du RDC

Composants	Epaisseur (m)	Poids volumique (KN/m ³)	Poids surfacique (KN/m ²)
Carrelage	0.02	22	0.44
Mortier de pose	0.02	20	0.4
Lit de sable	0.02	18	0.36
Dalle en BA	0.20	25	5
Enduit en plâtre	0.02	10	0.2
Cloisons internes	0.01	9	0.09
G= 6.49			
Q= 5			

Plancher balcon

Tableau 9: Descente de charge des balcons

Composants	Epaisseur (m)	Poids volumique (KN/m ³)	Poids surfacique (KN/m ²)
Carrelage	0.02	22	0.44
Mortier de pose	0.02	20	0.4
Lit de sable	0.03	18	0.54
Dalle en BA	0.20	25	5
Enduit en plâtre	0.02	10	0.2
Enduit en ciment	0.02	9	0.18
G= 7.26			
Q= 3.5			

Plancher sous-sol

Tableau 10: Descente de charge de sous-sol

Composants	Epaisseur (m)	Poids volumique (KN/m ³)	Poids surfacique (KN/m ²)
Dalle en BA	0.20	25	5
Enduit en ciment	0.02	9	0.18
Cloisons internes	0.04	18	0.72
G= 6.4			
Q= 2.5			

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

Murs extérieurs

Tableau 11: Descente de charge des murs extérieurs

Composants	Epaisseur (m)	Poids volumique (KN/m ³)	Poids surfacique (KN/m ²)
Brique creuse	0.10	9	0.9
L'âme d'aire	0.05	/	/
Brique creuse	0.10	9	0.9
Enduit en plâtre	0.02	10	0.2
Enduit en ciment	0.02	18	0.36
G= 2.36			

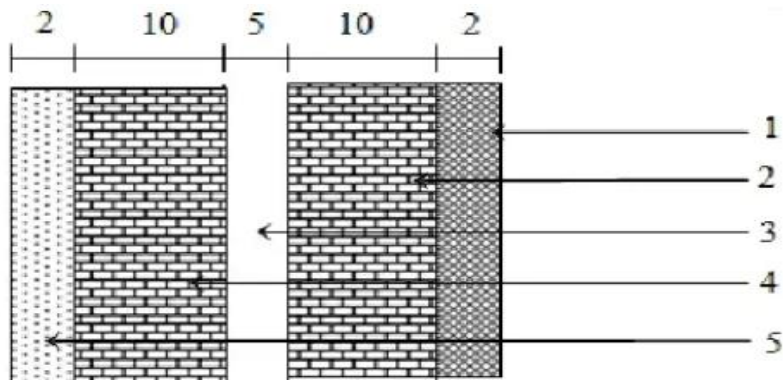


Figure 4: Coupe verticale d'un mur extérieur.

Murs intérieurs

Tableau 12: Descente de charge des murs intérieurs

Composants	Epaisseur (m)	Poids volumique (KN/m ³)	Poids surfacique (KN/m ²)
Brique creuse	0.10	9	0.9
Enduit en ciment	0.02	18	0.36
Enduit en plâtre	0.02	10	0.2
G= 1.46			

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

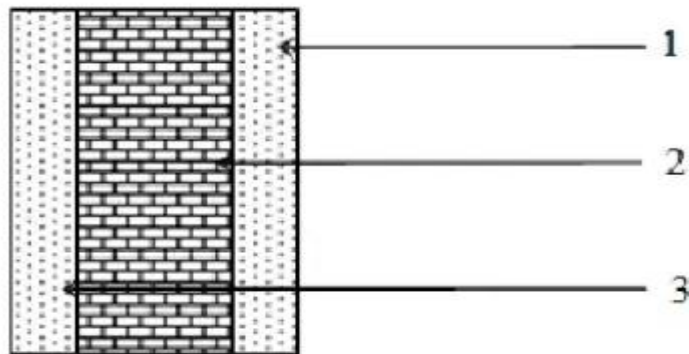


Figure 5: Coupe verticale d'un mur intérieur.

Paillasse

Tableau 13: Descente de charge des pa

Désignation	Formule	Poids surfacique (KN/m ²)
Revêtement vertical	/	104
Revêtement horizontal (carrelage et matériau de pose)	$104 \times \frac{h}{g}$	58.93
Brique creuse	$2200 \times \frac{h}{2}$	187
Enduit en plâtre	$2500 \times \frac{e_p}{\cos\alpha}$	430.98
Enduit en ciment	$18 \times \frac{e_p}{\cos\alpha}$	31.03
G=8.12 KN/m ²		
Q=2.5KN/m ²		

Palier

Tableau 14: Descente de charge des paliers

Désignation	Formule	Poids surfacique (KN/m ²)
Revêtement horizontal (Carrelage +sable + mortier de pose)	/	104
Poids propre du palier (e=15 cm)	$2500 \times \frac{e_p}{\cos\alpha}$	430.98
Enduit en ciment	$18 \times \frac{e_p}{\cos\alpha}$	41.37
Cloisons légères	/	0.5
G=5.77 KN/m ²		
Q=2.5 KN/m ²		

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

Charge permanâtes de dalle pleine

Tableau 15: Charge permanâtes de dalle pleine

Composants	Epaisseur (m)	Poids volumique (KN/m ³)	Poids surfacique (KN/m ²)
Carrelage	0.02	22	0.44
Mortier de pose	0.02	20	0.4
Lit de sable	0.03	18	0.54
Dalle en BA	0.20	25	5
Enduit en plâtre	0.02	10	0.2
Enduit en ciment	0.02	9	0.18
G= 5.51 KN/m ²			
Q= 3.5KN/m ²			

2. Calcule les éléments secondaires :

Le calcule des élément secondaire est le meme selon RPA 2003 et RPA 2024 sauf l'acrotère

2.1. Balcon

Le balcon est soumis à une charge permanente uniformément repartie G, une charge concentrée Pet une charge d'exploitation Q.

Le calcul se fera en flexion simple sur une bande de 1.5m et une section 100x15.

Calcul des sollicitations

La charge concentrée P= P enduit + P brique

P enduit ciment d'épaisseur 10 cm0.18 × 2 = 0.36KN/m²

P briques d'épaisseur 2 cm.....0.9KN/m² → **P=1.26KN/ml**

G=7.26×1.5=10.89KN/m

Q=3.5×1.5=5.25KN/m

- **A L'ELU**

G_u=1.35G+1.5Q=1.35×10.89+1.5×5.25=22.57KN/m **P_u=1.35P=1.35×1.51=2.04KN**

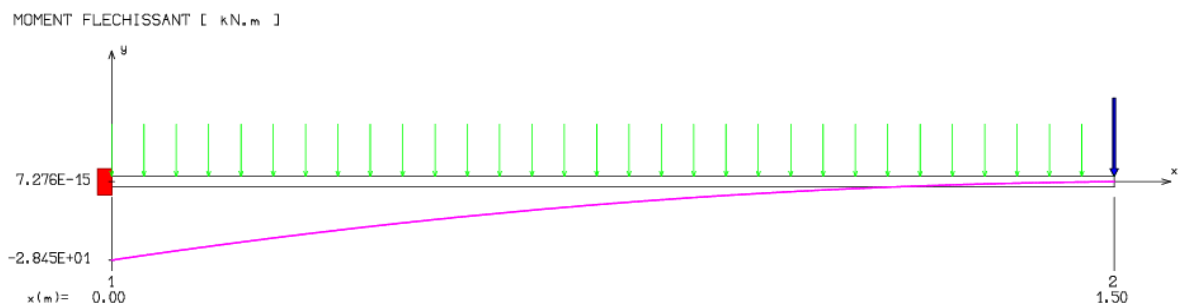


Figure 6: Calcul du moment fléchissant Balcon (ELU) par RDM6

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

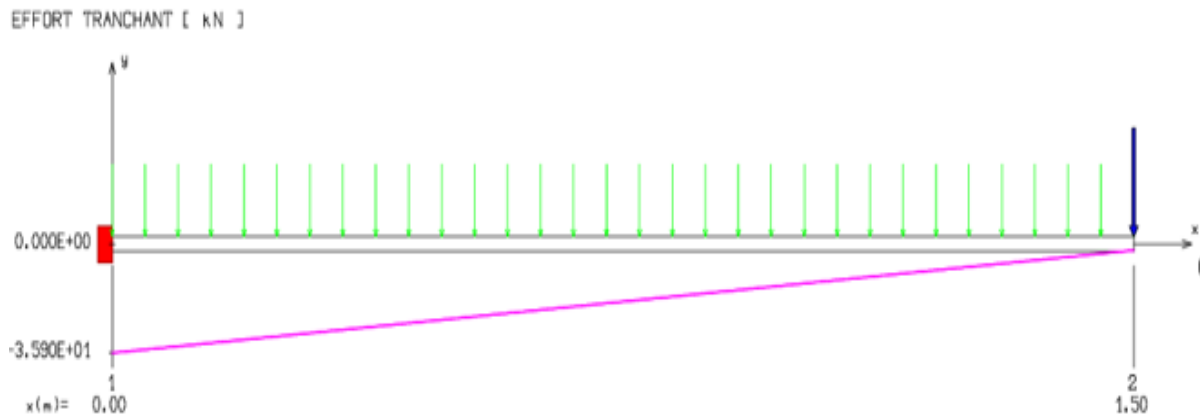


Figure 7: Calcul de l'effort tranchant Balcon (ELU) par RDM6

- A L'ELS : $G_u = G + Q = 10,89 + 5,25 = 16,14 \text{ kN/m}$ $P_u = P = 1,51 \text{ kN}$

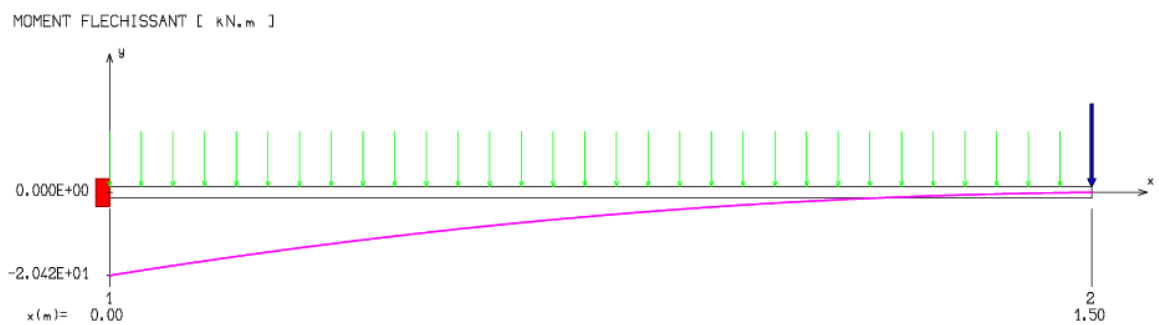


Figure 8: Calcul du moment fléchissant Balcon (ELS) par RDM6

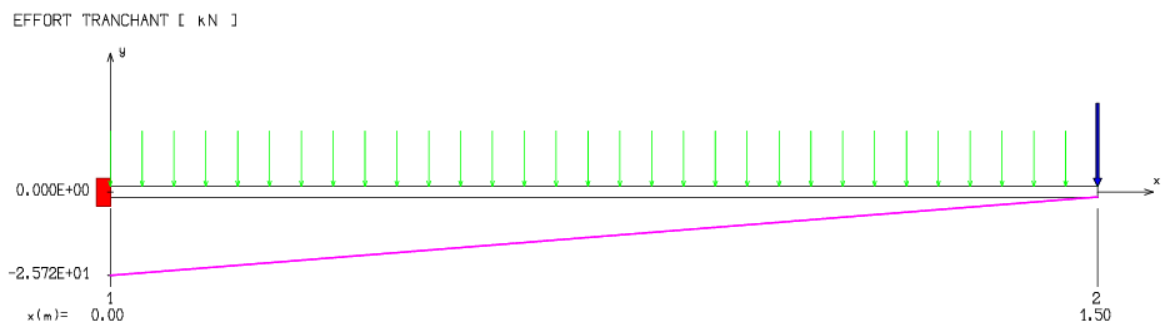


Figure 9: Calcul de l'effort tranchant Balcon (ELS) par RDM6

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

Tableau 16: Les moments et efforts tranchants

	M (KN.m)	T (KN)
ELU	28.45	35.90
ELS	20.42	25.72

Calcul du ferrailage

Le balcon est exposé aux intempéries, donc la fissuration est préjudiciable. Voir l'organigramme de calcul en flexion simple en annexe.

• **A L'ELU**

$$\mu = \frac{M_u}{b \cdot d^2 \cdot \sigma_{bc}} = \frac{28450}{100 \cdot 10.8^2 \cdot 14,2} = 0,171 < 0,392 \quad d = h - \frac{h}{10} = 12 - \frac{12}{10} = 10.8$$

Donc : Les armatures de compression ne sont pas nécessaires.

$$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,171}) = 0,236$$

$$\beta = 1 - 0,4\alpha = 1 - 0,4 \times 0,236 = 0,905$$

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPA}$$

$$A_{cal} = \frac{M_u}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{28450}{0,905 \times 10.8 \times 435} = 6.69 \text{ cm}^2$$

$$A_{min} = 0,23 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{t28}}{F_e} = 0,23 \times 100 \times 18 \times \frac{2,1}{500} = 1,73 \text{ cm}^2 \quad d = h - \frac{h}{10} = 20 - \frac{20}{10} = 18$$

$$A = \max(A_{cal}; A_{min}) = 6.69 \text{ cm}^2$$

Choix : **6HA12** (A=6.79 cm²) → Espacement = 15 cm

Armatures de répartitions $A_r = \frac{A}{4} = 1,69 \text{ cm}^2$

Donc on adopte **6HA12/ml** → Ar= 6.79 cm²/ml Avec : es = 15 cm

• **A L'ELS**

$$G_s = G + Q = 16.14 \text{ KN/m}$$

$$P_s = 1.51 \text{ KN}$$

On doit vérifier $\sigma_s \leq \sigma_s \text{ adm}$

$$\sigma_b \leq \sigma_b \text{ adm}$$

$$\bar{\sigma}_s = 0,6 \times 25 = 15 \text{ MPA}$$

Fissuration préjudiciable → $\bar{\sigma}_s = \min\left(\frac{2 \times f_e}{3}; 110 \times \sqrt{\eta \cdot f_{t28}}\right)$

$$\bar{\sigma}_s = \min\left(\frac{2 \times 500}{3}; 110 \times \sqrt{\eta \cdot f_{t28}}\right) = \min(333.3; 201.63)$$

$$\bar{\sigma}_s = 201,63 \text{ MPa}$$

$$D = \frac{15 \times A}{b} = \frac{15 \times 6.79}{b} = 1.02 \text{ cm}$$

$$E = 2 \times d \times D = 2 \times 10.8 \times 1.02 = 22.03 \text{ cm}^2$$

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

$$y_1 = -D + \sqrt{D^2 + E} = -1.02 + \sqrt{1.02^2 + 22.03} = 3.78 \text{ cm} = \frac{b \times y_1^3}{3} + 15 \times A \times (d - y_1)^2 \Rightarrow$$

$$I = 6819.55 \text{ cm}^4$$

$$K = \frac{M_{ser}}{I} = \frac{2042}{6819.55} = 0.29$$

$$\sigma_b = K \cdot y_1 = 1.09 \text{ MPA}$$

$$\sigma_s = 15 \cdot K \cdot (d - y_1) = 30.54 \text{ MPA}$$

$$\begin{cases} \sigma_s = 30.54 \text{ MPA} \leq \bar{\sigma}_s = 201.63 \text{ MPA} \\ \sigma_b = 1.09 \text{ MPA} \leq \bar{\sigma}_b = 15 \text{ MPA} \end{cases} \quad \text{C.V} \Rightarrow \text{les armatures calculées à l'ELU seront maintenues}$$

Vérification de l'effort tranchant T=35.90KN

Fissuration préjudiciable, τ_u doit être au plus égale à la plus basse des deux valeurs suivantes :

$$\bar{r}_u = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,15 \times \frac{f_{cj}}{\gamma_b} = 2,5 \text{ MPA} \rightarrow \bar{r}_u = 2,50 \text{ MPA} \\ 4 \text{ MPA} \end{array} \right.$$

$$r_u = \frac{T}{bd} = \frac{35900}{1000 \times 180} = 0,19 \text{ MPA} < \bar{r}_u = 2,50 \text{ MPA} \quad \text{CV.}$$

Vérification de la flèche

$$f = 0,02 \text{ cm} < \bar{f} = \frac{l}{500} = \frac{150}{500} = 0,3 \text{ cm} \quad \text{CV.}$$

2.1.1. Dessin de ferrailage

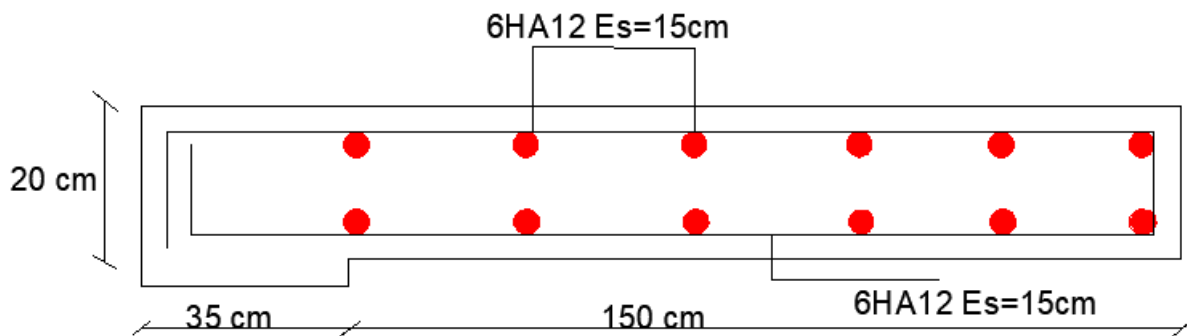


Figure 10: Ferrailage du balcon

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

2.2. Escalier

Les escaliers sont des éléments d'ouvrage qui permettent le passage à pied entre les différents Niveaux d'un immeuble qu'ils relient.

Différents éléments de l'escalier

- Emmarchement : largeur de l'escalier qu'on peut emprunter ;
- Giron : distance horizontale entre les nez de deux marches successives ;
- Marche : surface plane de l'escalier où l'on pose les pieds ;
- Contremarche : face verticale reliant, quand elles existent, deux marches successives ;
- Nez de marche : bord extérieur de la marche ;
- Hauteur de marche : distance verticale séparant deux nez de marches successives ;
- Palier : plan horizontal plus large que les marches courantes ;
- Volée : ensemble de marches compris entre deux paliers.

Vérification de la loi de Blondel

On a opté pour des escaliers à volées droites avec palier intermédiaire.

$$h = 17 \text{ cm} \quad g = 30 \text{ cm} \quad ep = 16 \text{ cm}$$

$$59\text{cm} \leq g + 2h \leq 66\text{cm} ; g + 2h = 64\text{cm} \text{ Condition vérifiée.}$$

- **Sollicitations de calcul**

$$\begin{cases} G = 8.12 \text{ KN/m} \\ Q = 2.5 \text{ KN/m} \end{cases} \text{ Paillasse}$$

$$\begin{cases} G = 5.77 \frac{\text{KN}}{\text{m}} \\ Q = \frac{2.5 \text{ KN}}{\text{m}} \end{cases} \text{ Palier}$$

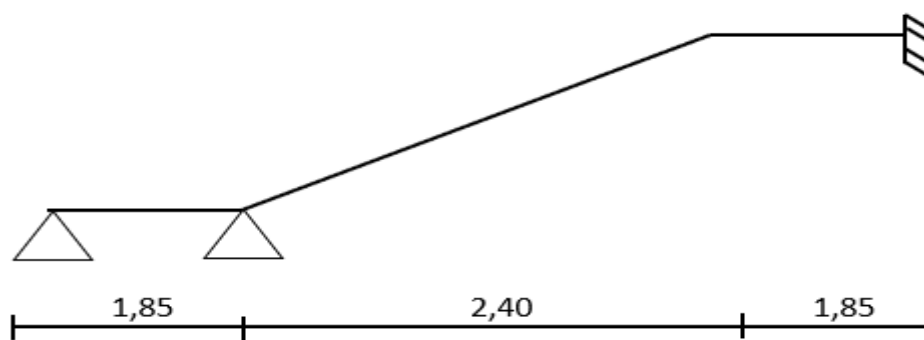


Figure 11: Schéma statique d'escalier

On a utilisé le logiciel RDM6 pour déterminer les moments fléchissant et les efforts tranchants ; les résultats sont consignés ci-dessous :

Tableau 17: Les moments et efforts tranchants

Cas	Mt (KN.m)	Ma (KN.m)	T (KN)
ELU	5.59	11.03	19.67
ELS	4.02	7.95	14.19

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

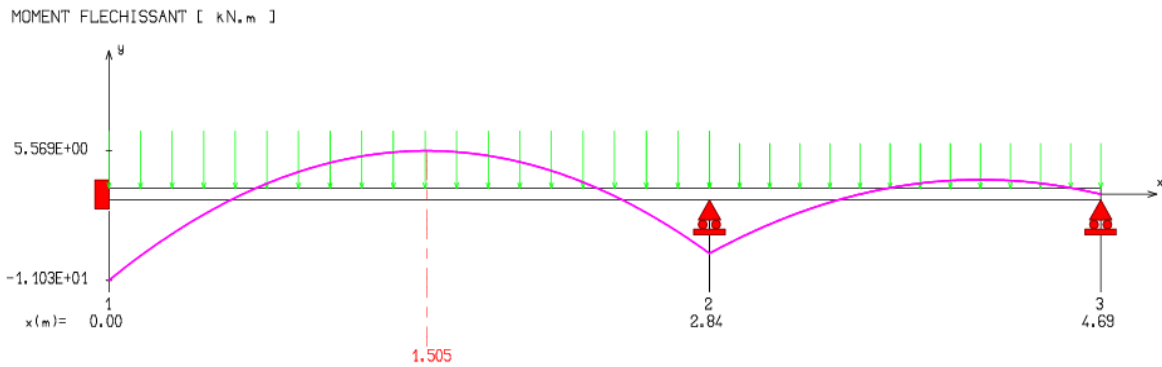


Figure 12: Calcul du moment fléchissant (ELU) Escalier par RDM6

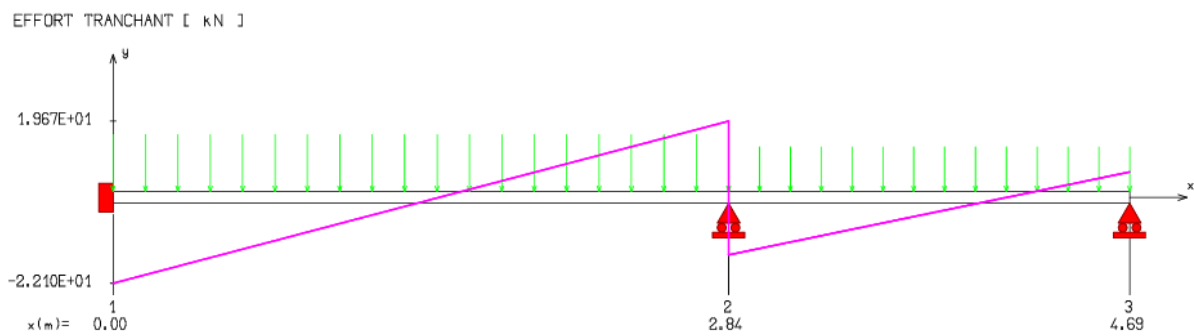


Figure 13: Calcul de l'effort tranchant (ELU) Escalier par RDM6

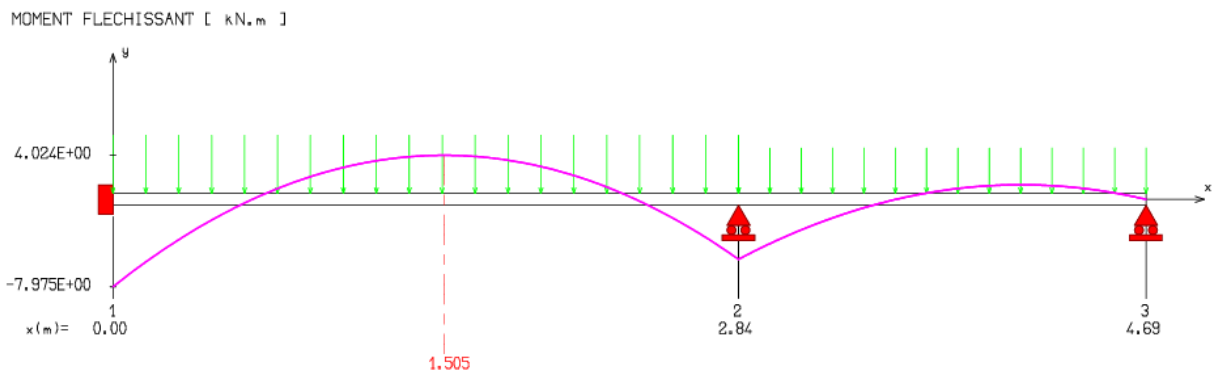


Figure 14: Calcul du moment fléchissant (ELS) Escalier par RDM6

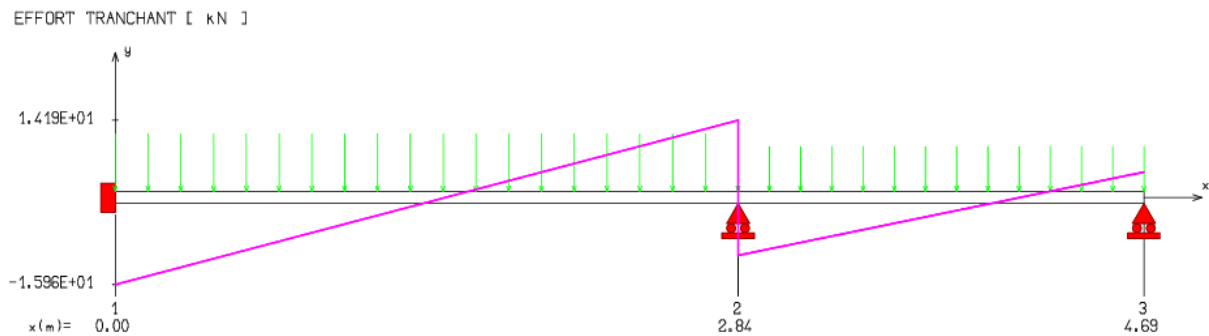


Figure 15: Calcul de l'effort tranchant (ELS) Escalier par RDM6

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

Calcul du ferrailage escalier du RDC

- **En travée: ELU**

$$\mu = \frac{M_t}{b \times d^2 \times \sigma_{bc}} = \frac{5590}{100 \times 10,8^2 \times 14,2} \rightarrow \mu = 0,033 < 0,392$$

Donc les armatures comprimées ne sont pas nécessaires.

$$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,033}) = 0,521$$

$$\beta = 1 - 0,4\alpha = 1 - 0,4 \times 0,521 = 0,79$$

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPA}$$

$$A_{cal} = \frac{M_t}{\sigma_s \times \beta \times d} = \frac{5590}{435 \times 0,79 \times 10,8} = 1,51 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{min} = 0,23 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{t28}}{F_e} = 1,74 \text{ cm}^2$$

Donc on prend : $A_s = \max(A_{cal}; A_{min}) = 1,74 \text{ cm}^2/\text{ml}$

Choix des armatures $A_s = 4\text{HA}12 = 4,52 \text{ cm}^2$ espacement $e_s = 25 \text{ cm}$

Armature de répartition

$$A_r = \frac{A}{4} = \frac{2,26}{4} = 0,56 \text{ cm}^2 \quad \text{Choix : } 4\text{T}10 = 3,14 \text{ cm}^2$$

$e = 25 \text{ cm} \leq \min [3h ; 45] = \min [45 ; 45] \text{ cm} = 45 \text{ cm} \quad \square$ condition vérifiée

- **ELS**

On recalcule les armatures à l'ELS

$$D = \frac{15 \times A}{b} = \frac{15 \times 4,52}{b} = 0,68 \text{ cm}$$

$$E = 2 \times d \times D = 2 \times 14,4 \times 0,68 = 19,58 \text{ cm}^2$$

$$y_1 = -D + \sqrt{D^2 + E} = -0,68 + \sqrt{0,68^2 + 19,58} = 3,79 \text{ cm}$$

$$I = \frac{b \times y^3}{3} + 15 \times A \times (d - y_1)^2 \Rightarrow I = 9447,05 \text{ cm}^4$$

$$K = \frac{M_{ser}}{I} = \frac{4020}{9447,05} = 0,42$$

$$\sigma_b = K \cdot y_1 = 1,59 \text{ MPA} \leq \bar{\sigma}_b = 15 \text{ MPA} \Rightarrow \text{C.V}$$

$$\sigma_s = 15 \cdot K \cdot (d - y_1) = 66,84 \text{ MPA} \leq \bar{\sigma}_s = 201,6 \text{ MPA} \Rightarrow \text{C.V}$$

Les armatures à l'ELU seront maintenues.

- **En appui : ELU**

$$\mu = \frac{M_a}{b \times d^2 \times \sigma_s} \rightarrow \mu = 0,067 < 0,392 \quad \text{Donc les armatures comprimées ne sont pas nécessaires.}$$

$$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 0,087$$

$$\beta = 1 - 0,4\alpha = 0,97$$

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 348 \text{ MPA}$$

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

$$A_{cal} = \frac{M_a}{\sigma_s \times \beta \times d} = 2,42 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{min} = 0,23 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{t28}}{F_e} = 1,74 \text{ cm}^2$$

Donc on prend : $A_s = \max(A_{cal}; A_{min}) = 2,42 \text{ cm}^2 / ml$ Choix **4T12=4,52 cm²**
 $e = 25 \text{ cm} \leq \min [3h ; 33\text{cm}] = \min [45 ; 33] \text{ cm} = 33 \text{ cm} \rightarrow$ condition vérifiée

Armatures de répartition

$$A_r = \frac{A}{4} = \frac{4,52}{4} = 1,13 \text{ cm}^2$$

Choix : 4T10 = 3,14 cm²

$e = 25 \text{ cm} \leq \min [3h ; 45] = \min [45 ; 45] \text{ cm} = 45 \text{ cm} \rightarrow$ condition vérifiée

• **ELS**

$$D = \frac{15 \times A}{b} = \frac{15 \times 3,14}{100} = 0,47 \text{ cm}$$

$$E = 2 \times d \times D = 2 \times 14,4 \times 0,47 = 13,53 \text{ cm}^2$$

$$y_1 = -D + \sqrt{D^2 + E} = -0,47 + \sqrt{0,47^2 + 13,53} = 3,24 \text{ cm}$$

$$I = \frac{b \times y^3}{3} + 15 \times A \times (d - y_1)^2 \Rightarrow I = 6999,83 \text{ cm}^4$$

$$K = \frac{M_{ser}}{I} = \frac{7950}{6999,83} = 1,13$$

$$\sigma_b = K \cdot y_1 = 3,66 \text{ MPA} \leq \bar{\sigma}_b = 15 \text{ MPA} \Rightarrow \text{C.V}$$

$$\sigma_s = 15 \cdot K \cdot (d - y_1) = 189,16 \text{ MPA} \leq \bar{\sigma}_s = 201,6 \text{ MPA} \Rightarrow \text{C.V}$$

Les armatures à l'ELU seront maintenues

T=14,19KN

Fissuration préjudiciable, τ_u doit être au plus égale à la plus basse des deux valeurs suivantes

$$\tau_u = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,15 \times \frac{f_{cj}}{\gamma_b} = 2,5 \text{ MPA} \rightarrow \bar{\tau}_u = 2,50 \text{ MPA} \\ 4 \text{ MPA} \end{array} \right.$$

$$\tau_u = \frac{T}{b \times d} = \frac{14190}{1000 \times 108} = 0,13 \text{ MPA} < \bar{\tau}_u = 2,50 \text{ MPA} \quad \text{CV}$$

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

2.2.1. Dessin de ferrailage

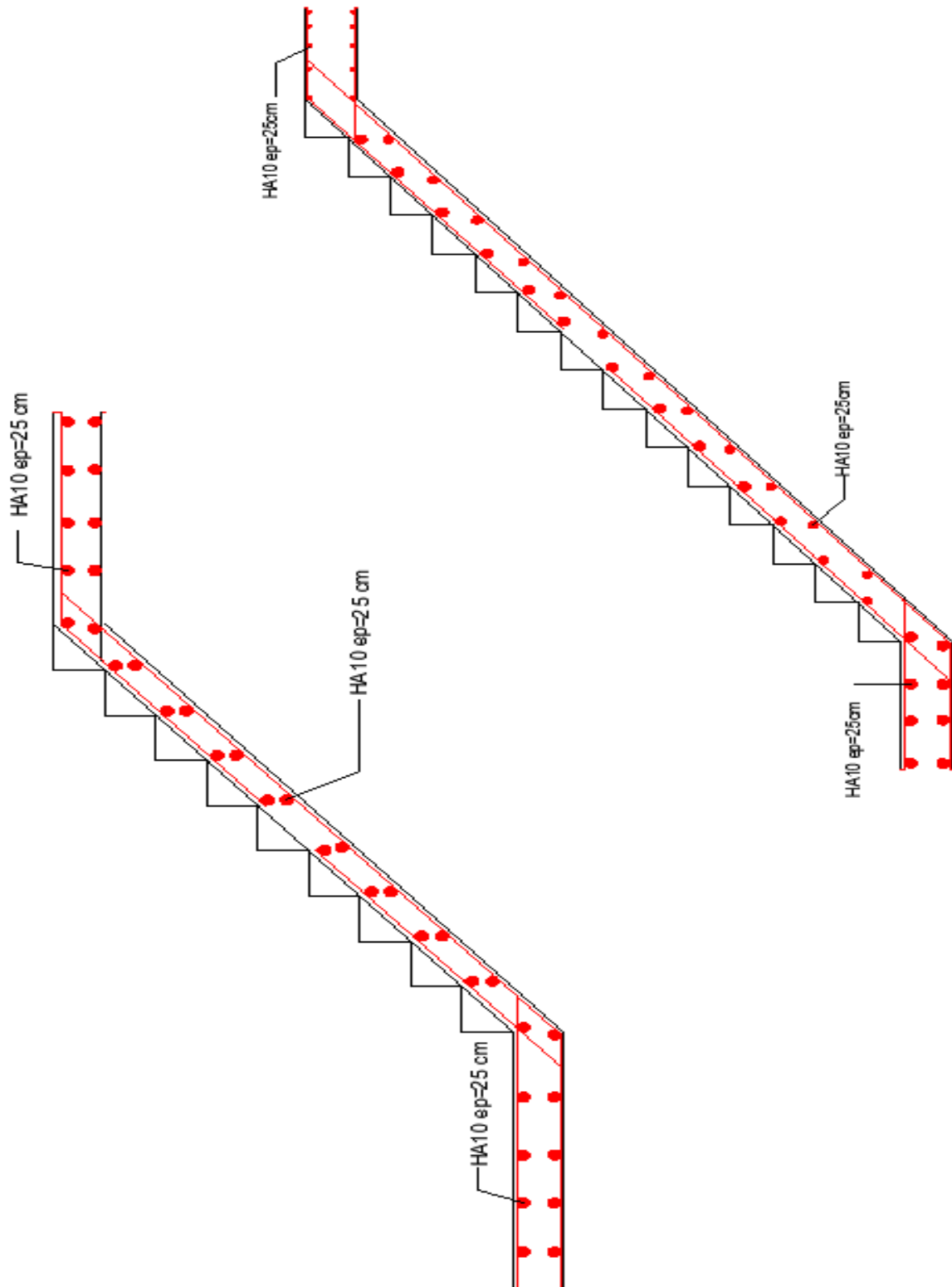


Figure 16: Ferrailage des escalier

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

2.3. Acrotère

a) Selon RPA 2003 :

L'acrotère sera encasturé à sa base, le calcul se fera en flexion composée pour une bande de 1m et la fissuration est considérée préjudiciable du fait qu'il est exposé aux intempéries.

Calcul des sollicitations

L'acrotère est sollicité par :

- Un effort normal dû à son poids propre
- Une surcharge d'exploitation, on prend le maximum entre (1 KN et F_p)

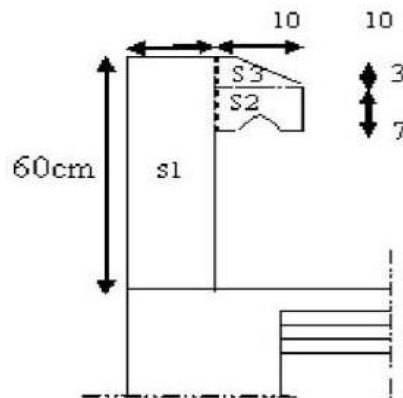


Figure 17: Les dimensions de l'acrotère

Charge permanente $W_p = S \times l \times \gamma_b$

$$S_1 = 0,6 \times 0,1 = 0,06 \text{ m}^2$$

$$S_2 = 0,07 \times 0,1 = 0,007 \text{ m}^2$$

$$S_3 = (0,03 \times 0,1)/2 = 0,0015 \text{ m}^2$$

$$S = 0,06 + 0,007 + 0,0015 = 0,0685 \text{ m}^2$$

$$W_p = s \times S = 0,0685 \times 1 \times 25 \Rightarrow W_p = 1,712 \text{ KN}$$

Charge d'exploitation

$$F_p = 4 \times A \times C_p \times W_p$$

$A = 0,20$ coefficient d'accélération (Tableau 4.1 RPA99/2003)

$C_p = 0,8$ facteur des forces horizontales (tableau 6.1 RPA99/2003) $W_p = 1,712 \text{ KN}$

Poids de l'élément considéré $F_p = 4 \times 0,2 \times 0,8 \times 1,712 \rightarrow F_p = 1,1 \text{ KN}$

$$P = \max(1,1 \text{ KN} ; 1 \text{ KN}) \rightarrow P = 1,1 \text{ KN}$$

$$G = W_p = 1,712 \text{ KN} \rightarrow Q = 1,1 \text{ KN}$$

• A L'ELU

$$N_u = 1,35 \times G = 1,35 \times 1,712 = 2,31 \text{ KN}$$

$$M_u = 1,5 \times F_p \times L = 1,5 \times 1,1 \times 1 = 1,65 \text{ KN.m}$$

$$T_u = 1,1 \times 1,5 = 1,65 \text{ KN}$$

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

• A L'ELS

$$N_s = W_p = 1.712 \text{ KN}$$

$$M_s = F_p \cdot h = 1.1 \times 1 \times 1 = 1.1 \text{ KN}$$

$$T_s = F_p \cdot 1.1 \times 1 = 1.1 \text{ KN}$$

Calcul du ferrailage

• A L'ELU

$$e_0 = \frac{M_u}{N_u} = \frac{165}{2.31} = 71,43 \text{ cm} \quad \frac{h}{2} - c' = 5 - 2 = 3 \text{ cm} < e_0$$

N est appliqué à l'extérieur de la section est donc partiellement comprimée.

Vérification de la méthode forfaitaire On doit vérifier :

$$\frac{l_f}{h} \leq \max\left(15; \frac{20 e_1}{h}\right)$$

$$e_1 = \frac{M}{N} + e_a = 71,43 + 2 = 73,43 \text{ cm}$$

$$e_a = \max\left(2 \text{ cm}; \frac{1}{250}\right) = 2 \text{ cm}$$

$$\frac{l_f}{h} = \frac{200}{10} = 20 \text{ cm} < 73,43 \text{ cm} \rightarrow \text{Le calcul se fait en flexion simple avec les sollicitations}$$

$$\text{suivantes : } \begin{cases} N' = N = 2,31 \text{ KN} \\ M' = N' \left(\frac{M}{N} + e_a + e_2 \right) = 2,31(71,43 + 2 + 3,2) = 2 \text{ KN.m} \end{cases}$$

$$e_2 = \frac{3l_f}{100000n} (2 + \alpha\phi) = 3,2 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{M_s(G)}{M_s(G+Q)} = 0$$

$$\mu = \frac{M_1}{b \times d^2 \times \sigma_{bc}} = \frac{1000}{100 \times 92 \times 14,2} \rightarrow \mu = 0,017 < 0,392$$

Dans les armatures comprimées ne sont pas nécessaires

$$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,017}) = 0,021$$

$$\beta = 1 - 0,4\alpha = 1 - 0,4 \times 0,021 = 0,99$$

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPA}$$

$$A_1 = \frac{M_1}{\sigma_s \times \beta \times d} = \frac{2000}{435 \times 0,99 \times 9} = 0,52 \text{ cm}^2$$

$$A = A_1 - \frac{N'}{100 \times \sigma_s} = 0,52 - \frac{2310}{100 \times 435} = 0,74 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

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

$$\text{Donc on prend : } A_s = \max(A_{cal}; A_{min}) = 1 \text{ cm}^2$$

Choix des armatures $A_s = 4T10 = 3,14 \text{ cm}^2$ espacement $e = 18 \text{ cm}$

Armature de répartition

$$A_r = \frac{A}{4} = 0,78 \text{ cm}^2 \quad \text{Choix : } 4T8 = 2,01 \text{ cm}^2$$

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

• A L'ELS

$$D = \frac{15 \times A}{b} = \frac{15 \times 3.14}{100} = 0.47 \text{ cm}$$

$$E = 2 \times d \times D = 2 \times 9 \times 0.47 = 8.46 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_b = K \cdot y_1 = 1.09 \text{ MPA} \leq \bar{\sigma}_b = 15 \text{ MPA} \Rightarrow \text{C.V}$$

$$\sigma_s = 15 \cdot K \cdot (d - y_1) = 43.03 \text{ MPA} \leq \bar{\sigma}_s = 201,6 \text{ MPA} \Rightarrow \text{C.V}$$

Les armatures à l'ELU seront maintenues.

Vérification au cisaillement T=1.73KN

Fissuration préjudiciable, τ_u doit être au plus égale à la plus basse des deux valeurs suivantes

$$\tau_u = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,15 \times \frac{f_{cj}}{\gamma_b} = 2,5 \text{ MPA} \rightarrow \bar{\tau}_u = 2,50 \text{ MPA} \\ 4 \text{ MPA} \end{array} \right.$$

$$\tau_u = \frac{T}{b \times d} = \frac{1730}{1000 \times 90} = 0,02 \text{ MPA} < \bar{\tau}_u = 2,50 \text{ MPA}$$

2.3.1. Dessin de ferrailage

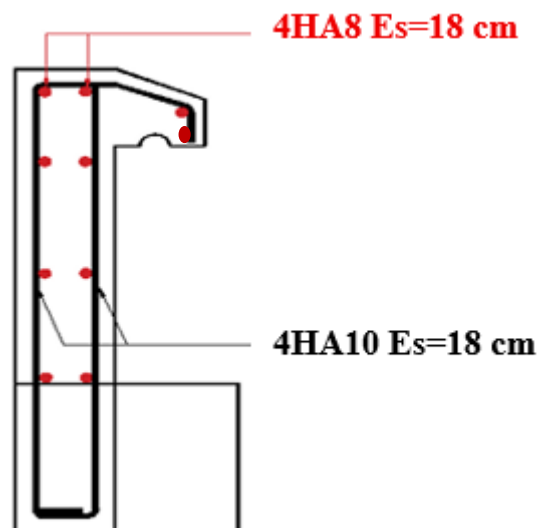


Figure 18: Ferrailage d'acrotère 2003

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

b) Selon RPA 2024

Calcul des sollicitations Charge permanente : $W_p = S \times l \times \gamma_b$

$$S_1 = 0,6 \times 0,1 = 0,06 \text{ m}^2$$

$$S_2 = 0,07 \times 0,1 = 0,007 \text{ m}^2$$

$$S_3 = (0,03 \times 0,1) / 2 = 0,0015 \text{ m}^2$$

$$S = 0,06 + 0,007 + 0,0015 = 0,0685 \text{ m}^2$$

$$W_p = 0,0685 \times 1 \times 25 \Rightarrow W_p = 1,712 \text{ KN}$$

La force horizontale (F_{pk}) :

Les forces horizontales de calcul, F_{pk} , agissant sur les éléments non-structuraux, du niveau k , sont calculées suivant

$$F_{pk} = (A.I.S).C_p \left(1 + \frac{3 \times h_z}{H} \right) \times W_p$$

$A=0.20$ coefficient d'accélération

$I=1$ Coefficient d'importance

$S=1$ Coefficient de site

$C_p = 0.8$ Facteur de force horizontale

$W_p = 1,712 \text{ KN}$ Poids de l'élément considéré

$H=30.6 \text{ m}$ Hauteur totale du bâtiment à partir de la base

$H_z=4.08 \text{ m}$ Hauteur, du niveau " k ", à partir de la base

$$F_{pk} = (0.20 \times 1 \times 0.20) \times 0.8 \times \left(1 + \frac{3 \times 4.08}{30.6} \right) \times 1.712 = 0.08 \text{ KN}$$

$P = \max (0.08 \text{ KN} ; 1 \text{ KN}) \rightarrow P = 1 \text{ KN}$.

$G = W_p = 1.712 \text{ KN}$

$Q = 1 \text{ KN}$

• ELU

$$N_u = 1.35 \times 1.712 = 2.31 \text{ KN}$$

$$M_u = 1.5 \times 1 \times L = 1.5 \times 1 \times 1 = 1.5 \text{ KN.m}$$

$$T_u = 1 \times 1.5 = 1.5 \text{ KN}$$

• ELS

$$N_s = 1.712 \text{ KN}$$

$$M_s = 1 \times 1 \times 1 = 1 \text{ KN.m}$$

$$T_s = 1 \times 1 = 1.1 \text{ KN}$$

Calcul du ferrailage

• ELU

$$e_0 = \frac{M_u}{N_u} = \frac{150}{2.31} = 64.94 \text{ cm}$$

$\frac{h}{2} - c' = 5 - 2 = 3 \text{ cm} < e_0$ N est appliqué à l'extérieur de la section est donc partiellement comprimée.

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

$$\frac{l_f}{h} \leq \max(15; x = \frac{20e_1}{h})$$

$$e_1 = \frac{M_u}{N_u} + e_a = 64.94 + 2 = 66.94 \text{ cm}$$

$$e_a = \max(2 \text{ cm}; \frac{l}{250}) = 2 \text{ cm}$$

$$\frac{l_f}{h} = \frac{200}{10} = 20 \text{ cm} < 66.94 \text{ cm} \quad \text{Le calcul se fait en flexion simple avec les sollicitations}$$

$$\text{suivantes} \begin{cases} N' = N = 2.31 \text{ KN} \\ M' = N' \left(\frac{M_u}{N_u} + e_a + e_2 \right) = 2.31(64.94 + 2 + 3.2) = 2 \text{ KN.m} \end{cases}$$

$$e_2 = \frac{3l_f}{100000h} (2 + a\emptyset) = 3.2 \text{ cm}$$

$$\emptyset = 2$$

$$a = \frac{M_s(G)}{M_s(G + Q)} = 0$$

$$M_f = N_u \cdot e = N_u \times \left(e_0 + \frac{h}{2} - c' \right) = 231 \times \left(0.64 + \frac{0.1}{2} - 0.02 \right) = 154.77 \text{ daN.m}$$

$$\mu = \frac{M_f}{b \times d^2 \times \sigma_{bc}} = \frac{1547.7}{100 \times 9^2 \times 14.2} = 0.013 < \mu_L = 0.392 \Rightarrow \text{Donc les armatures comprimées ne sont pas nécessaires}$$

$$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.013}) = 0,016$$

$$\beta = 1 - 0,4\alpha = 1 - 0,4 \times 0,016 = 0,99$$

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{500}{1.15} = 434.78$$

$$A_{cal} = \frac{M_f}{\beta \times d \times \sigma_s} = \frac{1547.7}{0.99 \times 9 \times 434.78} = 0.4 \text{ cm}^2$$

$$A = A_1 - \frac{N'}{100 \times \sigma_s} = 0.4 - \frac{2310}{100 \times 434.78} = 0.35 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{min} = 0,23 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{t28}}{f_e} = 0.87 \text{ cm}^2$$

$$A = \max(A_{cal}; A_{min}) = 0.87 \text{ cm}^2$$

Choix : **4HA10** (A=3.14 cm²) Espacement = 18

Armatures de répartitions $A_r = \frac{A}{4} = 0.78 \text{ cm}^2/\text{ml}$ Choix : **4T8**=2,01 cm²

• ELS

On doit vérifier : $\sigma_s \leq \sigma_s \text{ adm}$

$\sigma_b \leq \sigma_b \text{ adm}$

$$\bar{\sigma}_s = 0,6 \times 25 = 15 \text{ Mpa}$$

$$\text{Fissuration préjudiciable} \Rightarrow \bar{\sigma}_s = \min \left(\frac{2}{3} f_e; 110 \cdot \sqrt{\eta \cdot f_{t28}} \right) \quad \bar{\sigma}_s = 201,63 \text{ MPa}$$

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

Vérification

$$D = \frac{15 \times A}{b} = \frac{15 \times 3.14}{100} = 0.471 \text{ cm}$$

$$E = 2 \cdot dx \cdot D = 2 \times 9 \times 0.471 = 8.478 \text{ cm}^2$$

$$y_1 = -D + \sqrt{D^2 + E} = -0.471 + \sqrt{0.471^2 + 8.478} = 2.46 \text{ cm}$$

$$I = \frac{b \times y^3}{3} + 15 \times A \times (d - y_1)^2 = \frac{100 \times 2.46^3}{3} + 15 \times 3.14 \times (9 - 2.46)^2 = 2510.77 \text{ cm}^4$$

$$K = \frac{M_{ser}}{I} = \frac{1000}{2510.77} = 0.4$$

$$\sigma_b = K \cdot y_1 = 0.98 \text{ MPa} \leq \sigma_{badm} = 15 \text{ MPa} \rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

$$\sigma_s = 15 \cdot K \cdot (d - y_1) = 39.24 \text{ MPa} \leq \sigma_{sadm} = 201,6 \text{ MPa} \rightarrow \text{Condition vérifiée.}$$

2.3.2. Dessin de ferrailage

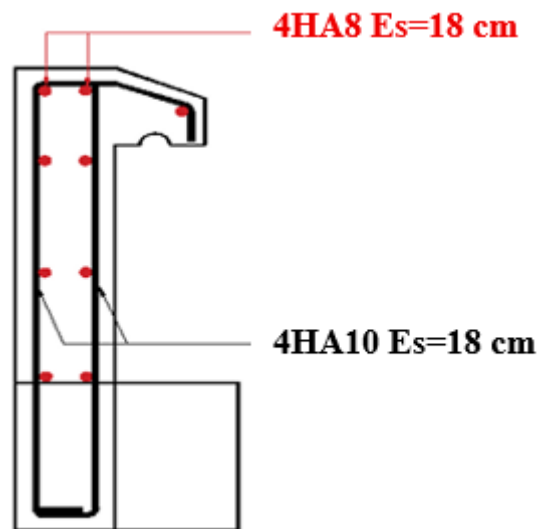


Figure 19: Ferrailage d'acrotère 2024

En remarque que les armatures de l'acrotère en 2003 et 20024 est le même.

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

3. Modalisation et vérification selon RPA 2003 et 2024

3.1. Choix de la méthode de calcul

En fonction de la forme, des dimensions et du type de la construction, le RPA99/ version2003 et 2024 prévoit d'utiliser soit :

- La méthode statique équivalente.
- La méthode d'analyse modale spectrale.
- La méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes.

3.2. Méthode statique équivalent

3.2.1. Principe de la méthode

Le principe de cette méthode est de remplacer les forces réelles dynamiques qui se développent dans la construction par un système de forces statiques fictives dont les effets sont considérés équivalents à ceux de l'action sismique.

3.2.2. Conditions d'application de la MSE

a) Selon RPA 2003 :

La méthode statique équivalente peut être utilisée dans les conditions suivantes :

- Le bâtiment ou le bloc étudié, satisfaisait aux conditions de régularité en plan et en élévation, avec : $6H \leq 5m$ en zone I et IIa,
- Le bâtiment ou le bloc étudié présente une configuration irrégulière, tout en respectant les conditions complémentaires exigées par le RPA (Art 4.1.2) en plus de la hauteur énoncée en a). Les bâtiments concernés ne doivent pas dépasser (07) niveaux ou 23mètres en zone (IIa) pour les groupes d'usages 2.

Remarque : Notre structure ne satisfait pas la condition (b) car elle dépasse (07) niveaux ou 23mètres en zone (IIa) pour les groupes d'usages 2.[2]

b) Selon RPA 2024 :

La méthode statique équivalente peut être utilisée dans les conditions suivantes :

- Le bâtiment, ou bloc étudié, satisfait aux conditions de régularité en plan et, en élévation, avec une hauteur au plus égale à 65m en zones (I, II et III) et à 32 m en zones (IV, V et VI).
- Le bâtiment, ou bloc étudié, présente une configuration irrégulière tout en respectant, outre les conditions de hauteur énoncées en a).

Remarque : Notre structure ne satisfait pas la condition (a) car la hauteur dépasse 32 mètres en zone (V) pour les groupes d'usages 2.[3]

3.1. Méthode dynamique modale spectrale

3.1.1. 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

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

calcul. Ces effets sont par la suite combinés pour obtenir la réponse de la structure.

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

3.1.2. Les hypothèses

- Les masses sont supposées concentrées au niveau des nœuds principaux (nœuds maitres) ;
- Seuls les déplacements horizontaux des nœuds sont pris en compte ;
- Les planchers et les fondations doivent être rigides dans leurs plans ;
- Le nombre de modes à prendre en compte est tel que la somme des taux de participation des masses modales atteint au moins 90 .

3.1.3. Domaine d'application

La méthode dynamique est une méthode générale et plus particulièrement quand la méthode statique équivalente n'est pas appliquée.

Tableau 18: Paramètres du spectre de réponse

Coefficient d'accélération A	
Selon RPA 2003 Zone II	Selon RPA 2024 Zone V
A = 0,15	A = 0,25
Coefficient de comportement R	
R = 3,5	R = 4,5
Facteur de qualité Q	
Q=1,30	Q=1
Facteur d'amortissement η	
$\eta = 0,764$	
Période	
T1 = 0,15 s T2 = 0,50 s	T1 = 0,15 s T2 = 0,60s T3 = 2,0 s
Poids total de la structure W=8749.72 KN	
Force sismique V	
V_X = 589.85 KN V_Y = 594.73 KN	V = V_x = V_y = 1041,22 KN

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

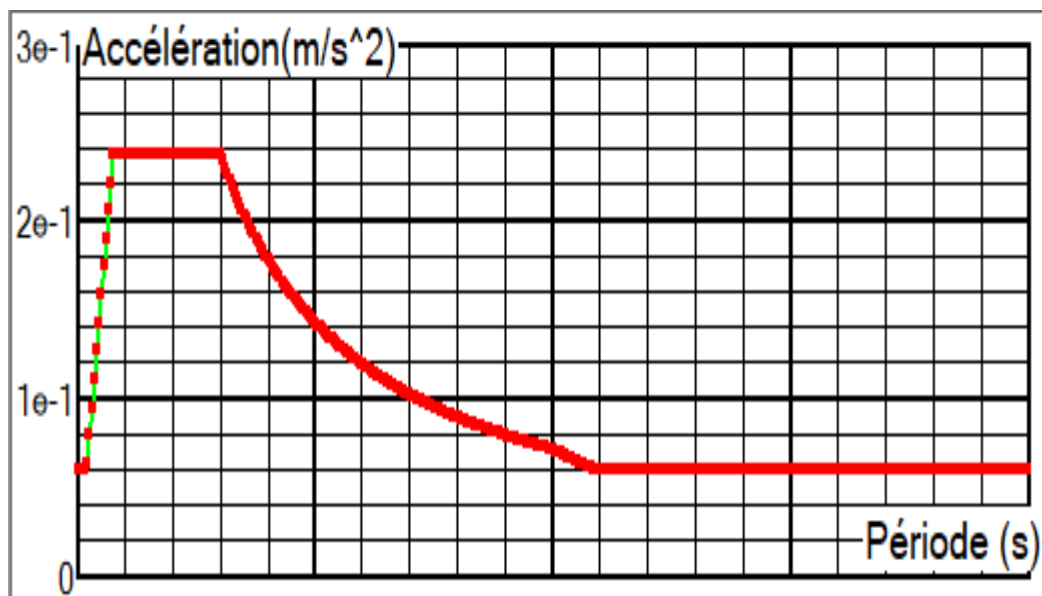
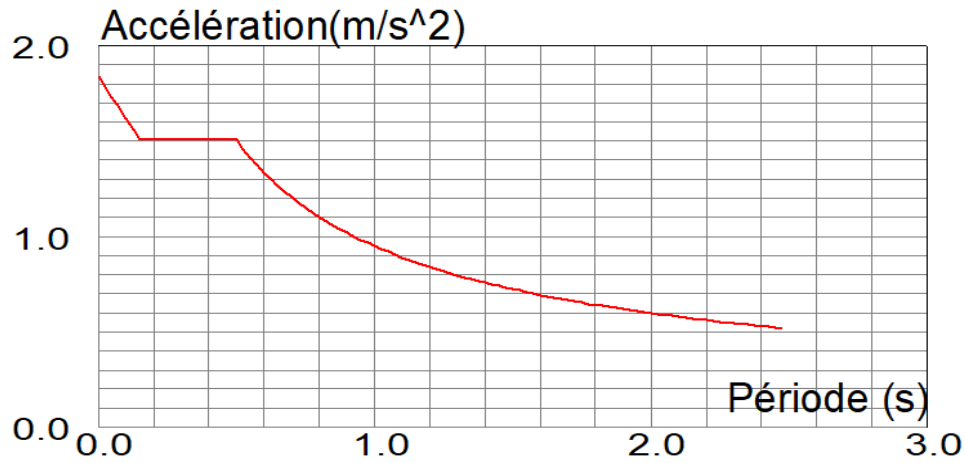


Figure 20: Schéma de spectre

Facteur de qualité Q 2003

Régularité en plan

- Le bâtiment présente une configuration sensiblement symétrique vis-à-vis de deux directions orthogonales.
- L'excentricité ne dépasse pas les 15 % de la dimension du bâtiment mesurée
- Perpendiculairement à la direction de l'action sismique considérée.
- La structure a une forme compacte, et le rapport :
- Longueur / largeur = $25.3/23.4 = 1.08 < 4$

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

- Donc le critère est observé $pq = 0$

Régularité en élévation

La structure est classée régulièrement en élévation $pq = 0$

Contrôle de la qualité des matériaux

On suppose que les matériaux utilisés dans notre bâtiment ne sont pas contrôlés donc :
 $pq=0.05$

Contrôle de la qualité de l'exécution

Il est prévu contractuellement une mission de suivi des travaux sur chantier. Cette mission doit comprendre notamment une supervision des essais effectués sur les matériaux.

On considère que ce critère est non observé : $pq = 0.10$

Q : Facteur de qualité, défini par : $Q = 1 \pm \Sigma pq$

Tableau 19: Les conditions du facteur de qualité

Critère « q »	pq
1. Conditions minimales sur les files de contreventement	0.05
2. Redondance en plan	0.05
3. Régularité en plan	0.05
4. Régularité en élévation	0.00
5. Contrôle de la qualité des matériaux	0.05
6. Contrôle de la qualité de l'exécution	0.10
Σ	0.30

$$Q = 1 + 0.05 + 0.05 + 0.1 = 1.30$$

Facteur de qualité Q 2024

Régularité en plan

- Le bâtiment présente une configuration sensiblement symétrique vis-à-vis de deux directions orthogonales. **C.V**
- A chaque niveau et pour chaque direction de calcul, l'excentricité ne doit pas dépasser 15% de la dimension du bâtiment
- La forme du bâtiment est compacte avec un rapport longueur/largeur du plancher inférieur ou égal 4 $\Rightarrow \frac{25,3}{23,4} = 1,08 < 4$ **C.V**
- La somme des dimensions des parties rentrantes ou saillantes du bâtiment dans une direction donnée ne doit pas excéder 25% de la dimension totale du bâtiment dans cette direction $\Rightarrow \frac{l_x}{L_x} = \frac{0.65}{23.4} = 0.0277 < 0.25$ **C.V**

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

- la surface totale des ouvertures de plancher doit rester inférieure à 15% de celle de ce dernier. C.V

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

Donc le critère est observé $pq = 0$

Régularité en élévation

La structure est classée régulièrement en élévation $pq = 0$

Tableau 20: Les conditions du facteur de qualité

Catégorie	Critère, q	Pq
(a)	1. Régularité en plan	0.05
	2. Régularité en élévation	0.20
	3. Conditions minimales sur le nombre étage	0.20
	4. Conditions minimales sur les travées	0.10
(b)	1. Régularité en plan	0.05
	2. Régularité en élévation	0.20
	3. Redondance en plan	0.05

$$Q = 1 \pm \sum pq \Rightarrow Q = 1$$

Facteur de correction d'amortissement "η"

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2+\xi}} \geq 0,7$$

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

ξ : Est donné par le tableau [4.2] des RPA99/Version 2003.

Nous avons un contreventement mixte voiles-portiques donc on prend $\xi = 10\%$ D'où : $\eta = 0$.

$$764 \geq 0.7$$

3.1. Spectre de réponse de calcul

c) Selon RPA 2003

L'action sismique est représentée par le spectre de calcul suivant (RPA99/2003V2 003, page 45)

$$\left(\frac{S_a}{g}\right) = \begin{cases} 1,25A \left(1 + \frac{T}{T_1} \left(2,5\eta \frac{Q}{R} - 1\right)\right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2,5\eta(1,25A) \left(\frac{Q}{R}\right) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2,5\eta(1,25A) \left(\frac{Q}{R}\right) \left(\frac{T_2}{T}\right)^{\frac{2}{3}} & T_2 \leq T \leq 3.0 \text{ s} \\ 2,5\eta(1,25A) \left(\frac{T_2}{3}\right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{3}{T}\right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{Q}{R}\right) & T > 3.0 \text{ s} \end{cases}$$

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

Détermination des paramètres des combinaisons d'action

$$\begin{array}{ll} \text{ELU} = 1.35 G + 1.5 Q & \text{ELS} = G + Q \\ G + Q \mp E & 0,8 \times G \mp E \\ G+Q \mp 1.2E & \end{array}$$

Détermination des paramètres des combinaisons d'action

$$\begin{array}{ll} \text{ELU} = 1.35 G + 1.5 Q & \text{ELS} = G + Q \\ G + Q \mp E & 0,8 \times G \mp E \\ G+Q \mp 1.2E & \end{array}$$

Estimation de la période fondamentale de la structure

On donc :

$$T = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,09 \times \frac{h_n}{\sqrt{D}} \\ C_T \times h_n \end{array} \right.$$

h_n : Hauteur 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 et donné par le tableau [4.6] des RPA99/Version2003.

$C_T = 0.05$ (Contreventement assuré partiellement ou totalement par des voiles en BA)

Facteur d'amplification dynamique moyen D

Le facteur d'amplification dynamique moyen, est fonction de la catégorie du site, du facteur de coefficient d'amortissement (α) et de la période fondamentale de la structure

T. Ce coefficient est donné par :

$$D = \begin{cases} 2,5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2,5\eta \left(\frac{T_2}{T}\right)^{\frac{2}{3}} & T_2 \leq T \leq 3,0 \text{ s} \\ 2,5\eta (1,25A) \left(\frac{T_2}{3}\right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{3}{T}\right)^{\frac{2}{3}} & T > 3,0 \text{ s} \end{cases}$$

Avec :

$T_2 = 0.50 \text{ s}$: période caractéristique associée à la catégorie du site et donnée par le tableau[4.7] des RPA99/Version 2003.

$h_n = 53,86 \text{ m}$

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

Poids total de la structure

W est égal à la somme des poids W_i calculés à chaque niveau $W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi}$

W_{Gi} : poids du aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels, solidaires de la structure ; W_{Qi} : charges d'exploitation

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

$\beta = 0.2$: Coefficient de pondération en fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation (Tableau 4.5)

D'après les calculs du logiciel robot nous avons obtenus $W=8749.72$ KN.

Combinaisons d'actions

ELU : $1.35G+1.5Q$

ELS : $G+Q$

Accidentelle : $0.8G \mp E$ $G+Q \mp 1.2E$ $G+Q \mp E$

d) Selon RPA 2024 :

L'action sismique est représentée par le spectre de calcul suivant (RPA2024, page 54)

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

$$\frac{S_{ve}}{g}(T) = \begin{cases} A_v \cdot I \cdot \left[1 + \frac{T}{T_1} \cdot (2,5\eta - 1) \right] & \text{si } 0 \leq T < T_1 \\ A_v \cdot I \cdot (2,5\eta) & \text{si } T_1 \leq T < T_2 \\ A_v \cdot I \cdot (2,5\eta) \cdot \left[\left(\frac{T_2}{T} \right)^\alpha \right] & \text{si } T_2 \leq T < T_3 \\ A_v \cdot I \cdot (2,5\eta) \cdot \left[\left(\frac{T_2 T_3}{T^2} \right) \right] & \text{si } T_3 \leq T < 4_s \end{cases}$$

L'action sismique horizontale est représentée par

$$\frac{S_{ad}}{g}(T) = \begin{cases} A \cdot I \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_1} \cdot \left(2,5 \frac{Q_F}{R} - \frac{2}{3} \right) \right] & \text{si } 0 \leq T < T_1 \\ A \cdot I \cdot S \cdot \left(2,5 \frac{Q_F}{R} \right) & \text{si } T_1 \leq T < T_2 \\ A \cdot I \cdot S \cdot \left(2,5 \frac{Q_F}{R} \right) \cdot \left(\frac{T_2}{T} \right) & \text{si } T_2 \leq T < T_3 \\ A \cdot I \cdot S \cdot \left(2,5 \frac{Q_F}{R} \right) \cdot \left(\frac{T_2 T_3}{T^2} \right) & \text{si } T_3 \leq T < 4_s \end{cases}$$

Détermination des paramètres des combinaisons d'action

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

ELS= $G + Q$.

$\begin{cases} G + \psi \cdot Q + E1 \\ G + \psi \cdot Q + E2 \end{cases}$

Avec

$\begin{cases} E1 = \pm Ex \pm 0.3Ey \\ E2 = \pm 0.3Ex \pm Ey \end{cases}$

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

Si l'action verticale doit être prise en compte, les combinaisons deviennent :

$$\begin{cases} G + \psi \cdot Q + E3 \\ G + \psi \cdot Q + E4 \\ G + \psi \cdot Q + E5 \end{cases} \quad \text{Avec} \quad \begin{cases} E3 = \pm Ex \pm 0.3Ey \pm 0.3Ez \\ E4 = \pm 0.3Ex \pm Ey \pm 0.3Ez \\ E5 = \pm 0.3Ex \pm 0.3Ey \pm Ez \end{cases}$$

Estimation de la période fondamentale de la structure

$$T = CT \cdot (hN)^{3/4}$$

T [unité en s]: période fondamentale

h_N [unité en m]: Hauteur mesurée à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau

C_T : Coefficient, fonction du système de contreventement, du type de remplissage et donné par Table.(4.4) du RPA 2024

$C_T = 0.05$ (Contreventement assuré partiellement ou totalement par des voiles en BA)

Poids total de la structure

W: Poids sismique total du bâtiment. Il est égal à la somme des poids W_i , calculés à chaque niveau

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

$w_i = w_{Gi} + \psi \cdot w_{Qi}$ pour tout niveau i de la structure $W=8749.72$ KN

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

W_{Qi} : Charges d'exploitation

ψ : Coefficient d'accompagnement, fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation et donné au Tableau

CHAPITRE N°2 : ETUDE DE CAS D'UN BATIMENT DE 15 ETAGE

Tableau 21: Les valeurs du Coefficient d'accompagnement

Cas	Type d'ouvrage	ψ
1	-Bâtiments d'habitation, bureaux ou assimilés	0.20
2	-Bâtiments recevant du public temporairement	
2a	-Salles d'exposition, de sport, lieux de culte, salles de réunions Avec places debout	0.30
2b	-salles de classes, restaurants, dortoirs, salles de réunions avec Places assises	0.40
3	-Entrepôts, hangars	0.50
4	-Archives, bibliothèques, réservoirs et ouvrages assimilés	1.00
5	-Autres locaux non visés ci-dessus	0.60

3.1. Modélisation

Position des voiles

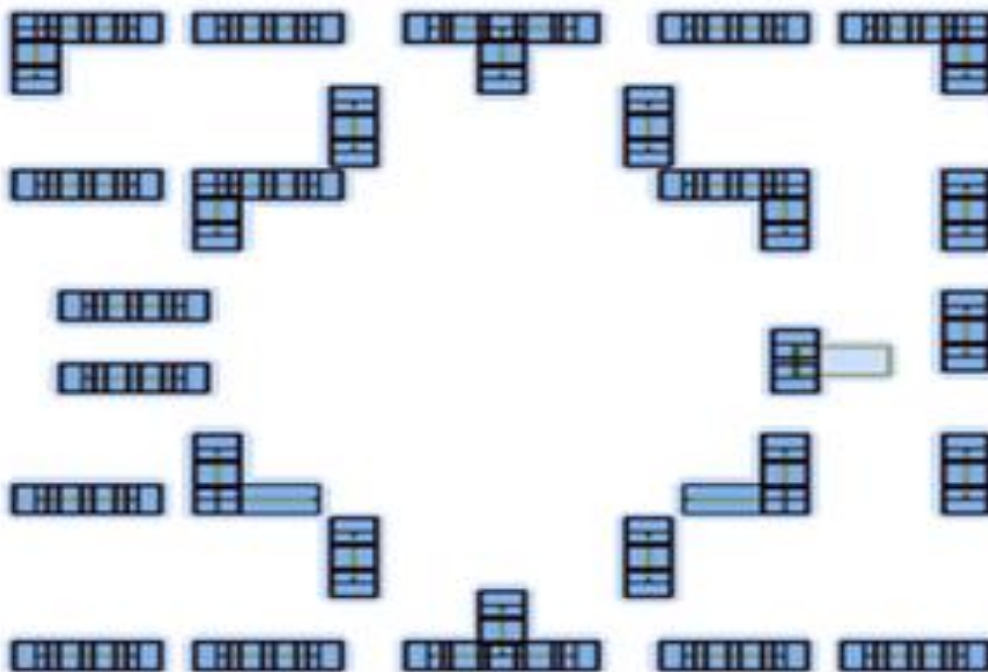


Figure 21: Disposition des voile

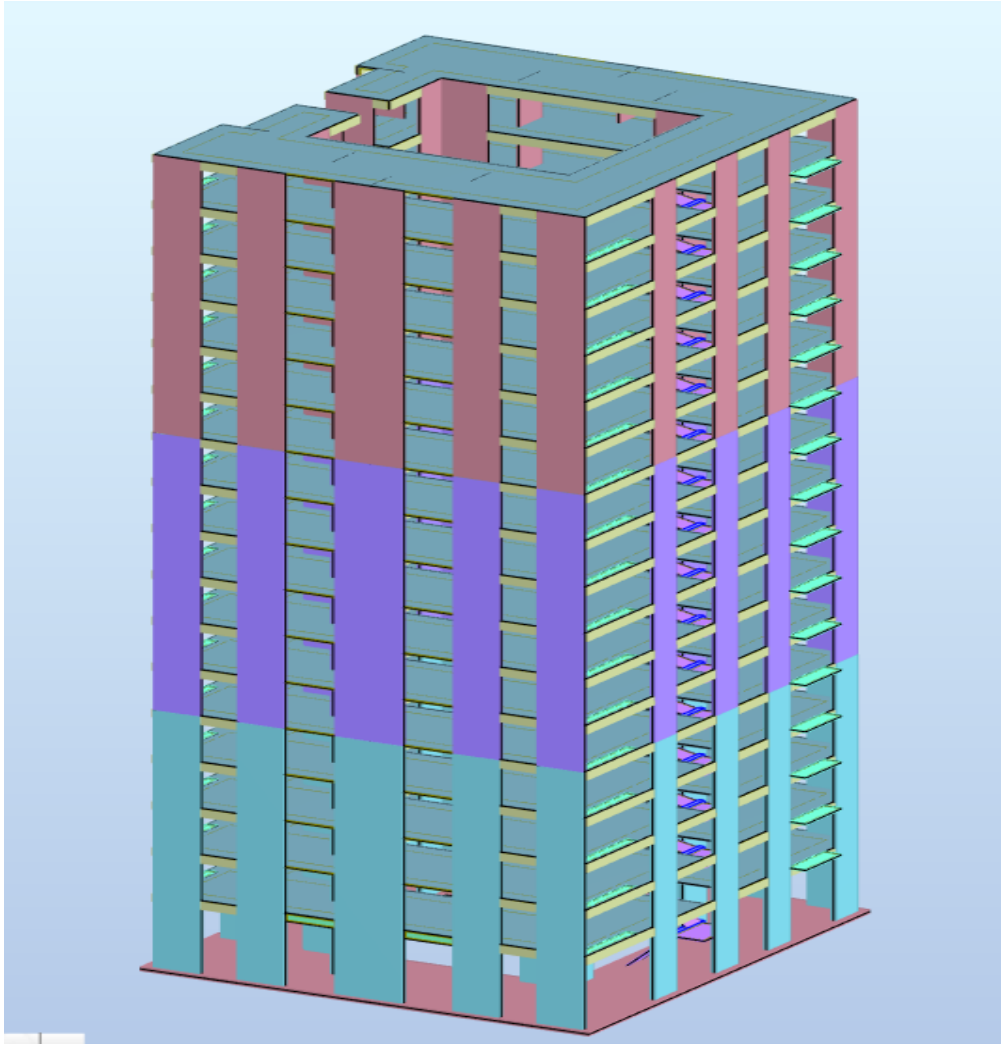


Figure 22: Vue de la structure modélisée

3.2. Calcul de la force sismique par la méthode statique équivalente

a) Selon RPA 2003

Cette force V appliquée à la base de la structure doit être calculée successivement dans les deux directions horizontales par la formule suivante :

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

Avec :

D : Facteur d'amplification dynamique moyen, il est en fonction de la catégorie de site, de facteur de correction d'amortissement et de période fondamentale de la structure (T).

Estimation de la période fondamentale de la structure (T)

La valeur de la période fondamentale (T) de la structure peut être estimée à partir des formules empiriques ou calculées par des méthodes analytiques ou numériques.

Les formules empiriques à utiliser selon le RPA99/version 2003 sont :

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

$$T = \min \begin{cases} 0,09 \times \frac{h_n}{\sqrt{D}} \\ C_T \times h_n^{\frac{3}{4}} \end{cases}$$

C : Coefficient, fonction de système de contreventement, du type de remplissage et donné par le tableau 4.6.

C_T = 0,05 (Contreventement assuré partiellement ou totalement par des voiles en BA)

H_N = 53,86m (Hauteur mesurée à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau) **D** : est la dimension du bâtiment mesurée à sa base dans la direction de calcul considéré :

$$D_x = 22,85m \quad D_y = 24,85m$$

$$T_x = 0,09 \times \frac{h_n}{\sqrt{22,85}} = 1,01s \quad T_y = 0,09 \times \frac{h_n}{\sqrt{24,85}} = 0,97s$$

$$T = C_T \times h_n^{\frac{3}{4}} = 0,99s$$

$$T_x = \min(1,01; 0,99) = 0,99s$$

$$T_y = \min(0,97; 0,99) = 0,97s$$

$$D = 2,5\eta \left(\frac{T_2}{T}\right)^{\frac{2}{3}} \quad T_2 \leq T \leq 3.0s \quad \begin{cases} D_x = 1,21 \\ D_y = 1,22 \end{cases}$$

Force sismique V

$$V_x = \frac{A \times D \times Q}{R} W = 589.85 \text{ KN}$$

$$V_y = \frac{A \times D \times Q}{R} W = 594.73 \text{ KN}$$

b) Selon RPA 2024 :

Cette force V appliquée à la base de la structure doit être calculée successivement dans les deux directions horizontales par la formule suivante :

$$V = \lambda \frac{S_{ad}}{g} (T_0) \cdot W$$

λ : Coefficient de correction en prend $\lambda=0.85$

$$\lambda = \begin{cases} 0.85 \text{ si } T_0 \leq 2T_2 \text{ et si la bâtiment a plus de deux niveaux} \\ 1, \text{ autrement} \end{cases}$$

W: Poids sismique total du bâtiment. Il est égal à la somme des poids W_i , calculés à chaque niveau « i » $\Rightarrow W=8749.72 \text{ KN}$

$$\frac{S_{ad}}{g} (T_0) = \text{Ordonnée du spectre de calcul pour la période } T_0$$

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

$$\frac{s_{ad}}{g}(T) = \begin{cases} A.I.S. \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_1} \cdot \left(2,5 \frac{Q_F}{R} - \frac{2}{3} \right) \right] & \text{si } 0 \leq T < T_1 \\ A.I.S. \left(2,5 \frac{Q_F}{R} \right) & \text{si } T_1 \leq T < T_2 \\ A.I.S. \left(2,5 \frac{Q_F}{R} \right) \cdot \left(\frac{T_2}{T} \right) & \text{si } T_2 \leq T < T_3 \\ A.I.S. \left(2,5 \frac{Q_F}{R} \right) \cdot \left(\frac{T_2 T_3}{T^2} \right) & \text{si } T_3 \leq T < 4_s \end{cases}$$

La valeur de la période fondamentale (T) de la structure peut être estimée à partir une formule empirique

$$Temp = C_T \cdot (H_N)^{3/4} = 0.99$$

On a site S1 alors $T_3 = 2$ et $T_2 = 0.60$ alors

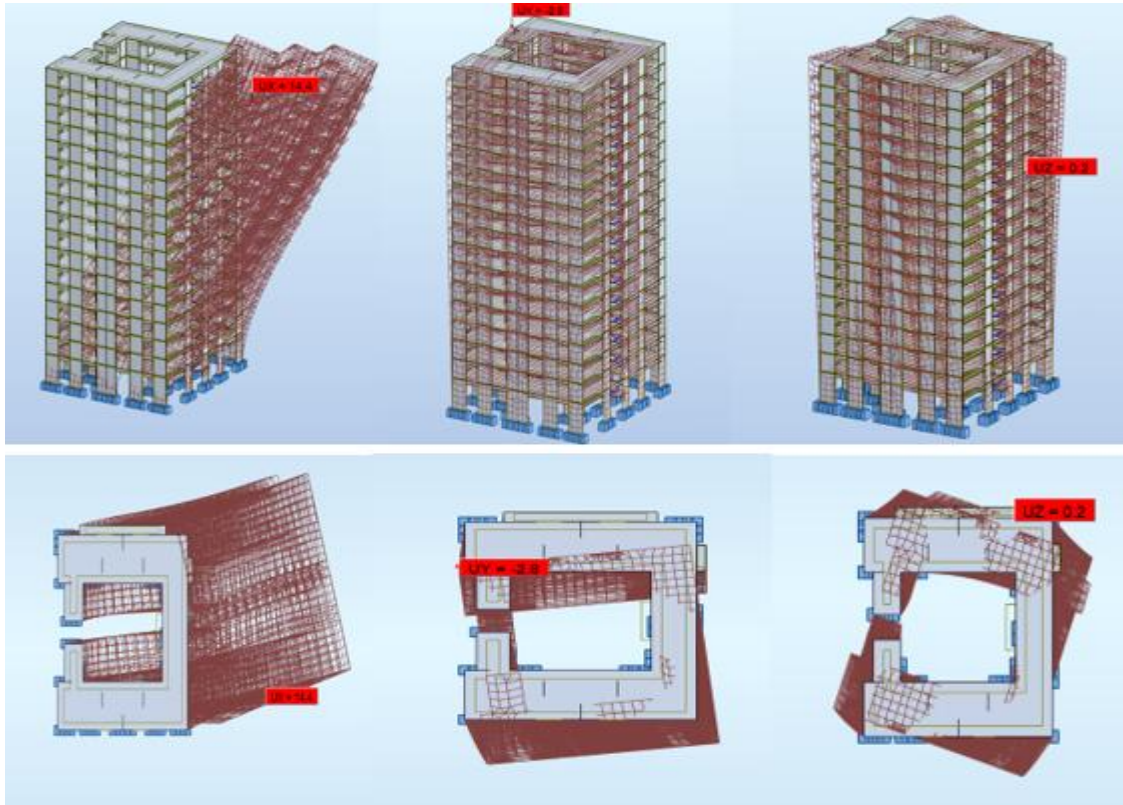
$$\frac{s_{ad}}{g}(T) = A.I.S. \left(2,5 \frac{Q_F}{R} \right) \cdot \left(\frac{T_2}{T} \right) = 0.14$$

$$V = V_x = V_y = 0.85 \times 0.14 \times 8749.72 = 1041,22 \text{ KN}$$

Tableau 22: Résultats dynamique

Cas/Mode	Période [sec]	Masses Cumulées UX [%]	Masses Cumulées UY [%]	Masse Modale UX [%]	Masse Modale UY [%]
3/ 1	1,20	1,89	64,65	1,89	64,65
3/ 2	1,07	66,70	68,02	64,81	3,38
3/ 3	0,82	69,22	73,55	2,52	5,52
3/ 4	0,37	69,29	85,78	0,07	12,23
3/ 5	0,30	84,27	85,93	14,98	0,15
3/ 6	0,24	85,23	86,36	0,97	0,43
3/ 7	0,21	85,23	86,36	0,00	0,00
3/ 8	0,21	85,23	86,36	0,00	0,00
3/ 9	0,21	85,23	86,36	0,00	0,00
3/ 10	0,21	85,23	86,36	0,00	0,00
3/ 11	0,19	85,24	91,10	0,00	4,75
3/ 12	0,14	90,45	91,13	5,21	0,02
3/ 13	0,14	90,45	91,13	0,00	0,00
3/ 14	0,14	90,45	91,13	0,00	0,00
3/ 15	0,14	90,45	91,13	0,00	0,00
3/ 16	0,14	90,45	91,13	0,00	0,00
3/ 17	0,12	90,88	91,40	0,43	0,28

- Le calcul terminé, nous avons d'après les résultats : $Temp < T_{dyn} < 1,3Temp$
- Le premier mode est une translation suivant y ;
- Le deuxième, une translation suivant x ;
- Le troisième, une torsion ;
- Les facteurs de participation massiques dépassent les 90% au 22ème mode sens x et au 19ème mode pour le sens y.



Mode 1 : Translation Y

Mode 2 : Translation X

Mode 3 : Torsion

Figure 23: Déformée des 3 premier modes

3.3. Résultante des forces sismiques de calcul :

La résultante des forces sismiques à la base V_t obtenue par combinaison des valeurs modales ne doit pas être inférieure à 80 % de la résultante des forces sismiques déterminée par la méthode statique équivalente V pour une valeur de la période fondamentale donnée par la formule empirique appropriée. ' $V_s > 0,8V$ '.

Si $V_s < 0,8V$ il faudra augmenter tous les paramètres de la réponse (forces, déplacements, moments...) dans le rapport

$$r = \frac{0,8V}{V_s}$$

Où : V_s : tiré du logiciel de calcul (modale spectrale)

V_d : obtenu par la méthode statique équivalente

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

Tableau 23: Résultante des forces sismique 2003

Sens	Vs (KN)	0,8Vs	Vd (KN)	0,8Vs≤Vd
X	589.85	471.88	5777,17	ok
Y	594.73	475.78	5369,87	ok

Tableau 24: Résultante des forces sismique 2024

Sens	Vs (KN)	0,8Vs	Vd (KN)	0,8Vs≤Vd
X	1041,22	832,97	8528,02	ok
Y	1041,22	832,97	14014,98	ok

Nous avons la résultante de la force sismique obtenue par le logiciel supérieur à 80% de la force sismique calculée par la méthode statique équivalente dans les deux directions. Condition vérifiée.

3.4. Evaluation des excentricités :

Nous avons à calculer selon le RPA les excentricités théorique et accidentelle suivant les directions x et y puis procéder au calcul avec la plus grande des deux valeurs.

Excentricité théorique:

$$\begin{aligned} E_x &= X_m - X_t \\ E_y &= Y_m - Y_t \end{aligned}$$

X_m ; Y_m : coordonnées du centre de masse

X_t ; Y_t : coordonnées du centre de torsion

Excentricité accidentelle:

$$\begin{cases} E_{acc_x} = 0.05 \times \max(L_x, L_y) = 1,265 \text{ m} \\ E_{acc_y} = 0.05 \times \max(L_x, L_y) = 1,265 \text{ m} \end{cases}$$

L_x ; L_y : dimensions de la structure en plan (25,3m ; 23,4m)

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

Tableau 25: Evaluation des excentricités 2003

Cas/Etage	Nom	G (x,y,z) [m]	R (x,y,z) [m]	ex0 [m]	ey0 [m]
1/ 1	Etage 1	11,58 13,08 -1,49	13,57 12,44 -1,49	2,00	0,64
1/ 2	Etage 2	11,69 13,08 2,30	13,58 12,44 2,30	1,89	0,64
1/ 3	Etage 3	11,69 13,09 5,36	13,58 12,44 5,36	1,89	0,65
1/ 4	Etage 4	11,69 13,09 8,42	13,58 12,44 8,42	1,89	0,65
1/ 5	Etage 5	11,69 13,09 11,4	13,58 12,44 11,4	1,89	0,65
1/ 6	Etage 6	11,73 13,10 14,5	13,64 12,44 14,5	1,91	0,66
1/ 7	Etage 7	11,73 13,10 17,6	13,64 12,44 17,6	1,91	0,66
1/ 8	Etage 8	11,73 13,10 20,7	13,64 12,44 20,7	1,91	0,66
1/ 9	Etage 9	11,73 13,10 23,7	13,64 12,44 23,7	1,91	0,66
1/ 10	Etage 10	11,73 13,10 26,8	13,64 12,44 26,8	1,91	0,66
1/ 11	Etage 11	11,73 13,10 29,8	13,64 12,44 29,8	1,91	0,66
1/ 12	Etage 12	11,77 13,10 33,0	13,70 12,43 33,0	1,93	0,67
1/ 13	Etage 13	11,77 13,10 36,0	13,70 12,43 36,0	1,93	0,67
1/ 14	Etage 14	11,77 13,10 39,1	13,70 12,43 39,1	1,93	0,67
1/ 15	Etage 15	11,77 13,10 42,2	13,70 12,43 42,2	1,93	0,67
1/ 16	Etage 16	11,77 13,10 45,2	13,70 12,43 45,2	1,93	0,67
1/ 17	Etage 17	11,69 12,58 48,3	13,61 12,43 48,3	1,92	0,14

Tableau 26: Evaluation des excentricités 2024

Cas/Etage	Nom	G (x,y,z) [m]	R (x,y,z) [m]	ex0 [m]	ey0 [m]
4/ 1	Etage 1	11,68 13,16 -2,45	13,57 12,44 -1,49	1,89	0,72
4/ 2	Etage 2	11,80 13,17 1,53	13,58 12,44 2,30	1,78	0,73
4/ 3	Etage 3	11,80 13,20 4,59	13,58 12,44 5,36	1,78	0,76
4/ 4	Etage 4	11,80 13,20 7,65	13,58 12,44 8,42	1,78	0,76
4/ 5	Etage 5	11,80 13,20 10,7	13,58 12,44 11,4	1,78	0,76
4/ 6	Etage 6	11,84 13,21 13,7	13,64 12,44 14,5	1,80	0,77
4/ 7	Etage 7	11,84 13,21 16,8	13,64 12,44 17,6	1,80	0,77
4/ 8	Etage 8	11,84 13,21 19,8	13,64 12,44 20,7	1,80	0,77
4/ 9	Etage 9	11,84 13,21 22,9	13,64 12,44 23,7	1,80	0,77
4/ 10	Etage 10	11,84 13,21 26,0	13,64 12,44 26,8	1,80	0,77
4/ 11	Etage 11	11,84 13,21 29,0	13,64 12,44 29,8	1,80	0,77
4/ 12	Etage 12	11,89 13,22 32,1	13,70 12,43 33,0	1,81	0,79
4/ 13	Etage 13	11,89 13,22 35,1	13,70 12,43 36,0	1,81	0,79
4/ 14	Etage 14	11,89 13,22 38,2	13,70 12,43 39,1	1,81	0,79
4/ 15	Etage 15	11,89 13,22 41,3	13,70 12,43 42,2	1,81	0,79
4/ 16	Etage 16	11,89 13,22 44,3	13,70 12,43 45,2	1,81	0,79
4/ 17	Etage 17	11,75 12,55 47,4	13,61 12,43 48,3	1,86	0,12

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

3.5. Vérification des déplacements inter-étages 2003

a) Selon RPA 2003

Les déplacements relatifs latéraux d'un étage par rapport aux étages qui lui sont adjacents ne doivent pas dépasser 1% de la hauteur d'étage à moins qu'il ne puisse être prouvé qu'un plus grand déplacement relatif peut être toléré.

$$\Delta k \times R = \frac{hk}{100}$$

Δk : déplacement relatif à l'étage k par rapport au niveau k-1. R : coefficient de comportement.

Hk : hauteur de l'étage k.

Tableau 27: Vérification déplacement inter-étages 2003

Niveau	H mm	Δk_x cm	Δk_y cm	R×k xcm	R×k ycm	0.01h mm	Observation $\Delta k_x < 0,01h$	Observation $\Delta k_x < 0,01h$
1	4900	0,4	0,6	1,4	2,1	49	Vérifiée	Vérifiée
2	3060	0,5	0,7	1,75	2,45	30,6	Vérifiée	Vérifiée
3	3060	0,6	0,9	2,1	3,15	30,6	Vérifiée	Vérifiée
4	3060	0,7	0,9	2,45	3,15	30,6	Vérifiée	Vérifiée
5	3060	0,8	1,0	2,8	3,5	30,6	Vérifiée	Vérifiée
6	3060	0,8	1,0	2,8	3,5	30,6	Vérifiée	Vérifiée
7	3060	0,9	1,0	3,15	3,5	30,6	Vérifiée	Vérifiée
8	3060	0,9	1,0	3,15	3,5	30,6	Vérifiée	Vérifiée
9	3060	0,9	1,0	3,15	3,5	30,6	Vérifiée	Vérifiée
10	3060	0,9	0,9	3,15	3,15	30,6	Vérifiée	Vérifiée
11	3060	0,9	0,9	3,15	3,15	30,6	Vérifiée	Vérifiée
12	3060	0,8	0,8	2,8	2,8	30,6	Vérifiée	Vérifiée
13	3060	0,8	0,8	2,8	2,8	30,6	Vérifiée	Vérifiée
14	3060	0,8	0,7	2,8	2,45	30,6	Vérifiée	Vérifiée
15	3060	0,7	0,6	2,45	2,1	30,6	Vérifiée	Vérifiée
16	3060	0,7	0,6	2,45	2,1	30,6	Vérifiée	Vérifiée
17	3060	0,8	0,4	2,8	1,4	30,6	Vérifiée	Vérifiée

b) Selon RPA 2024 :

Les déplacements relatifs latéraux, d'un étage par rapport à l'étage du dessous, tels que calculés selon $\Delta_K = \delta_k - \delta_{k-1}$ réduits en fonction du groupe d'importance au travers du coefficient réducteur v , ne doivent pas dépasser les limites, Δk , données dans le Tableau (5.2) de L'RPA 2024 et $V. \Delta_K \leq \overline{\Delta}_k$

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

Tableau 28: Valeurs limites des déplacements inter-étages

Type de Structure	Déplacement limite $\bar{\Delta}_k$
Bâtiments en Acier	0.0100 h_K
Bâtiments en Béton Armé	0.0075 h_K
Bâtiment en PAF	0.0050 h_K
Bâtiments en Bois	0.0075 h_K
Bâtiments en Maçonnerie Chainée	0.0050 h_K

Δ_K : déplacement relatif du niveau « k » par rapport au niveau « k-1 »

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

h_K : la hauteur du niveau « k »

V_A : Le coefficient réducteur il est pris égal à 0.5

Tableau 29: Valeurs limites des déplacements inter-étages 2024

Niveau	H mm	Δk_x cm	Δk_y cm	$R \times k_x$ cm	$R \times k_y$ cm	0.075h mm	Observation $\Delta k_x < 0,0075h$	Observation $\Delta k_x < 0,0075h$
1	4900	0,2	0,5	0,9	2,25	36,75	Vérifiée	Vérifiée
2	3060	0,2	0,5	0,9	2,25	22,95	Vérifiée	Vérifiée
3	3060	0,3	0,6	1,35	2,7	22,95	Vérifiée	Vérifiée
4	3060	0,3	0,7	1,35	3,15	22,95	Vérifiée	Vérifiée
5	3060	0,3	0,7	1,35	3,15	22,95	Vérifiée	Vérifiée
6	3060	0,3	0,7	1,35	3,15	22,95	Vérifiée	Vérifiée
7	3060	0,4	0,7	1,8	3,15	22,95	Vérifiée	Vérifiée
8	3060	0,4	0,7	1,8	3,15	22,95	Vérifiée	Vérifiée
9	3060	0,4	0,7	1,8	3,15	22,95	Vérifiée	Vérifiée
10	3060	0,4	0,7	1,8	3,15	22,95	Vérifiée	Vérifiée
11	3060	0,4	0,6	1,8	2,7	22,95	Vérifiée	Vérifiée
12	3060	0,4	0,6	1,8	2,7	22,95	Vérifiée	Vérifiée
13	3060	0,3	0,6	1,35	2,7	22,95	Vérifiée	Vérifiée
14	3060	0,3	0,5	1,35	2,25	22,95	Vérifiée	Vérifiée
15	3060	0,3	0,5	1,35	2,25	22,95	Vérifiée	Vérifiée
16	3060	0,3	0,4	1,35	1,8	22,95	Vérifiée	Vérifiée
17	3060	0,3	0,3	1,35	1,35	22,95	Vérifiée	Vérifiée

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

3.6.Vérification effet P-delta

a) Selon RPA 2003 :

Les effets du second ordre ou effet P- peuvent être négligés dans le cas des bâtiments si la condition suivante est satisfaite à tous les niveaux :

$$\theta = \frac{PK \times \Delta K}{VK \times hK} \leq 0,10$$

P_k : poids total de la structure et des charges d'exploitation associées au-dessus du niveau k ;

V_k : effort tranchant d'étage au niveau k ;

Δ : déplacement relatif du niveau k par rapport au niveau k-1 ;h_k : hauteur du niveau k.

Tableau 30: vérification effets du second ordre sens x-x 2003

Etage	P	Δ	V	h	θ	Vérification
1	-85805,5	0,4	5777,22	4,9	0,008908933	OK
2	-78903,1	0,5	5711,39	3,06	0,022573586	OK
3	-73476,6	0,6	5591,67	3,06	0,025765427	OK
4	-68263	0,7	5436,3	3,06	0,028724894	OK
5	-63049,4	0,8	5246,4	3,06	0,031418693	OK
6	-57883,9	0,8	5027,7	3,06	0,019858169	OK
7	-52960,2	0,9	4793,98	3,06	0,032491872	OK
8	-48036,5	0,9	4541,62	3,06	0,031108704	OK
9	-43112,8	0,9	4272,59	3,06	0,029678127	OK
10	-38189,2	0,9	3985,41	3,06	0,04652957	OK
11	-33265,5	0,9	3677,45	3,06	0,011587833	OK
12	-28389,9	0,8	3345,69	3,06	0,022184382	OK
13	-23756,2	0,8	2991,16	3,06	0,020763737	OK
14	-19122,4	0,8	2586,79	3,06	0,019326358	OK
15	-14488,7	0,7	2122,26	3,06	0,067960878	OK
16	-9854,88	0,7	1577,51	3,06	0,029678127	OK
17	-5229,28	0,8	920,14	3,06	0,01485787	OK

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

Tableau 31: Vérification des effets du second ordre sens y-y 2003

Etage	P	Δ	V	h	θ	Vérification
1	-85805,5	0,6	5369,83	4,9	0,019566336	OK
2	-78903,1	0,7	5300,25	3,06	0,034054464	OK
3	-73476,6	0,9	5179,68	3,06	0,0417222	OK
4	-68263	0,9	5027,48	3,06	0,03993521	OK
5	-63049,4	1	4842,13	3,06	0,042552278	OK
6	-57883,9	1	4631,45	3,06	0,040843178	OK
7	-52960,2	1	4410,85	3,06	0,039237935	OK
8	-48036,5	1	4172,95	3,06	0,03761898	OK
9	-43112,8	1	3918,27	3,06	0,035957612	OK
10	-38189,2	0,9	3647,45	3,06	0,030794399	OK
11	-33265,5	0,9	3355,82	3,06	0,029155196	OK
12	-28389,9	0,8	3040,15	3,06	0,024413948	OK
13	-23756,2	0,8	2705,84	3,06	0,02295319	OK
14	-19122,4	0,7	2326,58	3,06	0,018801879	OK
15	-14488,7	0,6	1892,76	3,06	0,015009361	OK
16	-9854,88	0,6	1395,91	3,06	0,013842794	OK
17	-5229,28	0,4	810,35	3,06	0,008435442	OK

La structure est stable vis-à-vis de l'effet P-delta. **Condition vérifiée**

b) Selon RPA 2024

Tableau 32: vérification effets du second ordre sens x-x 2024

Etage	P	Δ	V	h	θ	Vérification
1	-5226,6	0,2	8528,11	4.90	0,00025	ok
2	-9849,4	0,2	8436,38	3.06	0,00076	ok
3	-14480	0,3	8251,89	3.06	0,00172	ok
4	-19111	0,3	7997,21	3.06	0,00234	ok
5	-23743	0,3	7684,81	3.06	0,00303	ok
6	-28374	0,3	7337,69	3.06	0,00379	ok
7	-33246	0,4	6980,77	3.06	0,00623	ok
8	-38167	0,4	6604,23	3.06	0,00755	ok
9	-43088	0,4	6209,13	3.06	0,00907	ok
10	-48009	0,4	5792,68	3.06	0,01083	ok
11	-52930	0,4	5349,67	3.06	0,01293	ok
12	-57851	0,4	4876,23	3.06	0,01551	ok
13	-63014	0,3	4374,38	3.06	0,01412	ok
14	-68225	0,3	3797,94	3.06	0,01761	ok
15	-73436	0,3	3117,83	3.06	0,02309	ok
16	-78859	0,3	2302,31	3.06	0,03358	ok

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

17	-85726	0,3	1324,7	3.06	0,06344	ok
-----------	--------	-----	--------	------	---------	----

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

Tableau 33: Vérification effets du second ordre sens y-y2024

Etage	P	Δ	V	h	θ	Vérification
1	-5226,6	0,5	14014,9	4.90	0,00038	ok
2	-9849,4	0,5	13831,6	3.06	0,00116	ok
3	-14480	0,6	13484	3.06	0,00211	ok
4	-19111	0,7	13029,5	3.06	0,00336	ok
5	-23743	0,7	12493,8	3.06	0,00435	ok
6	-28374	0,7	11912,8	3.06	0,00545	ok
7	-33246	0,7	11322,4	3.06	0,00672	ok
8	-38167	0,7	10701,6	3.06	0,00816	ok
9	-43088	0,7	10050	3.06	0,00981	ok
10	-48009	0,7	9363,02	3.06	0,01173	ok
11	-52930	0,6	8630,06	3.06	0,01203	ok
12	-57851	0,6	7842,23	3.06	0,01446	Ok
13	-63014	0,6	7005,43	3.06	0,01764	Ok
14	-68225	0,5	6051,05	3.06	0,01842	Ok
15	-73436	0,5	4941,09	3.06	0,02428	Ok
16	-78859	0,4	3630,82	3.06	0,02839	Ok
17	-85726	0,3	2077,25	3.06	0,04046	ok

La structure est stable vis-à-vis de l'effet P-delta

4. Etude des elements structuraux

4.1. Plancher

a) Selon RPA2003

Nous allons procéder au ferrailage de la dalle pleine des étages à l'aide du logiciel Robot 2023 et Robot expert 2009. Le calcul se fait en flexion simple.

Par cartographie on tire les moments fléchissant maximum du sens x et sens y.

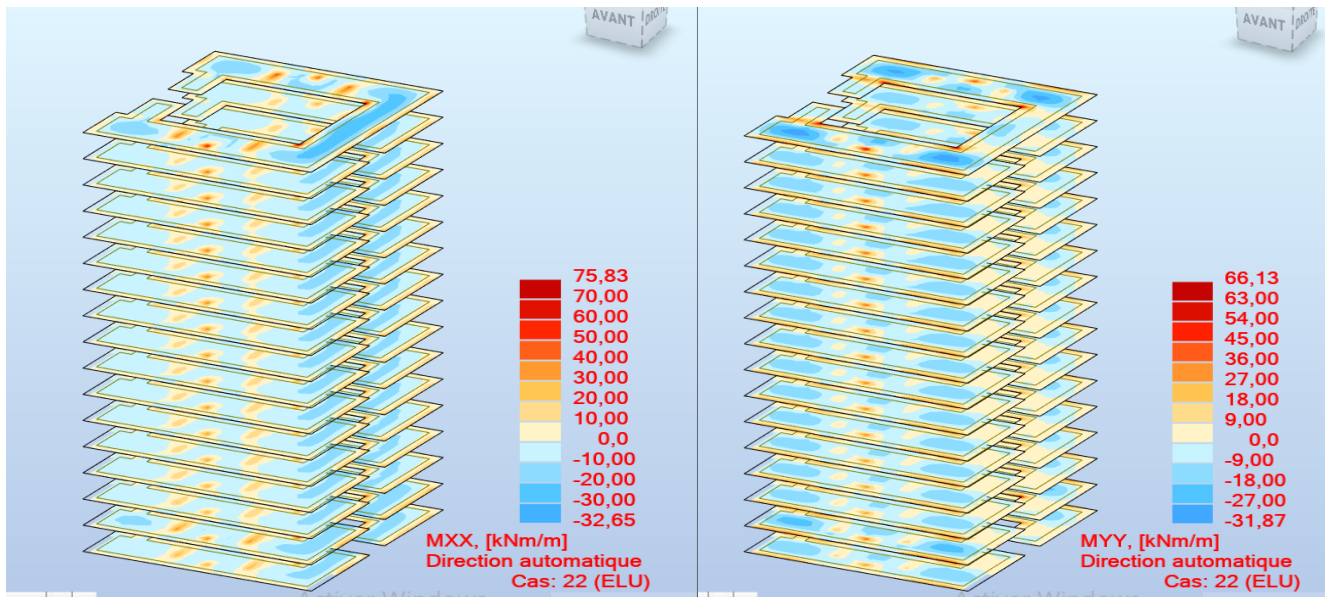


Figure 24: Résultats de cartographie (ELU)2003

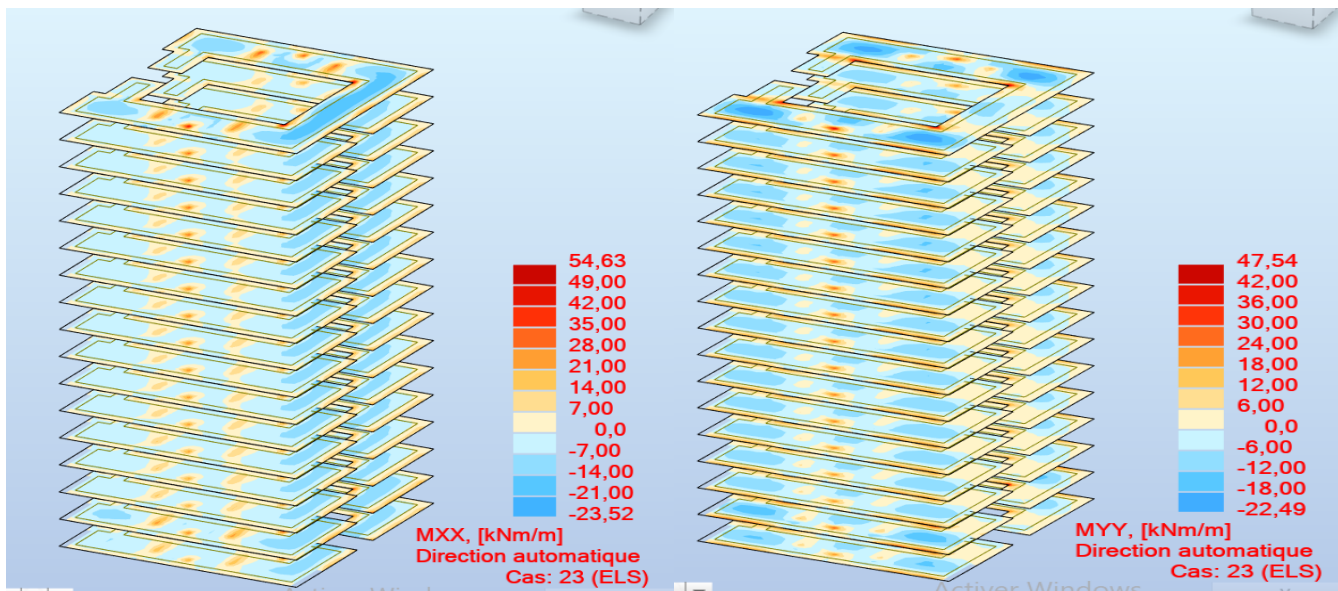


Figure 25: Résultats de cartographie (ELS)2003

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

Tableau 34: Les moments max du plancher 2003

Sens	ELU (KN.m)	ELS (KN.m)
X-X	75.83	54.63
Y-Y	66.13	47.54

Par Robot Expert BAE99 on calcul les sections de ferrailage pour une bande de 1 m de la dalle en flexion simple.

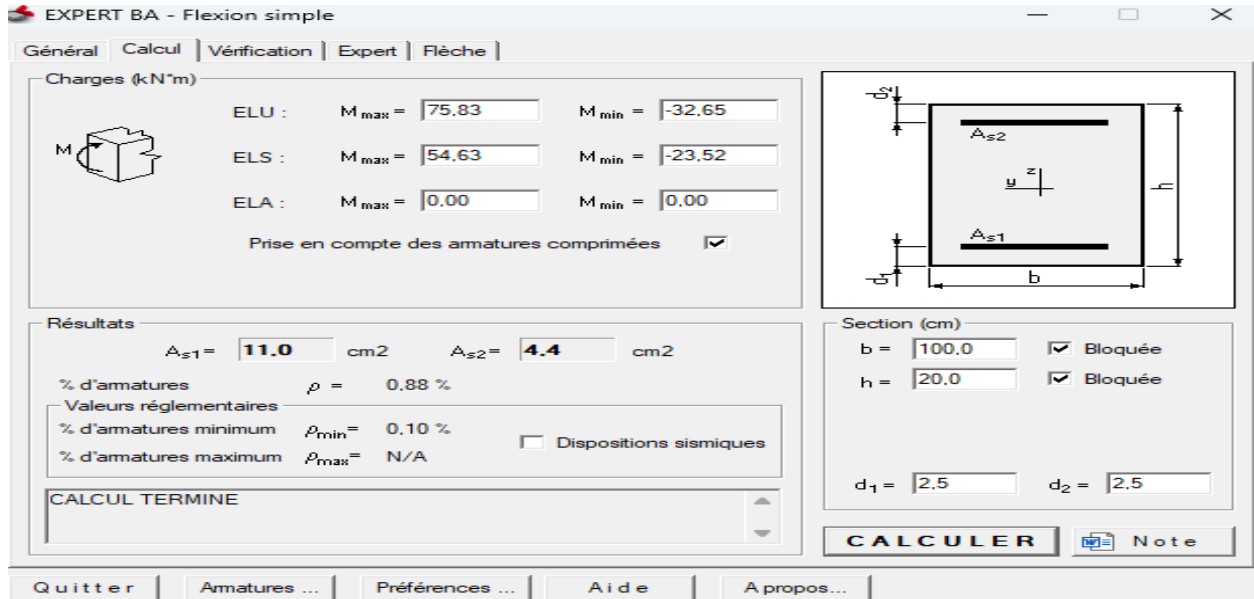


Figure 26: Ferrailage sens X-X 2003

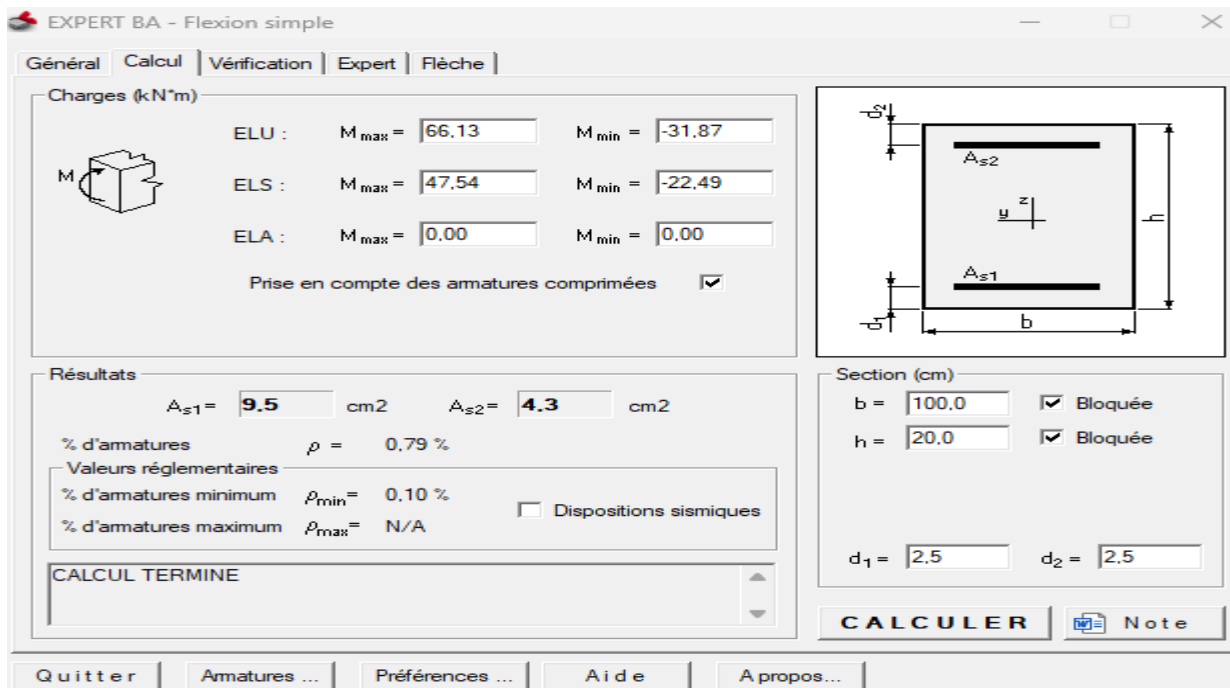


Figure 27: Ferrailage sens Y-Y 2003

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

Tableau 35: Choix des armatures 2003

Sens	A calculé	A min	Choix	A choix
X-X	11,0	1,73	10HA12	11,31
Y-Y	9,5	1,73	10HA12	10,18

Les vérifications

Condition de non fragilité :(Art A. 4, 2,1/BAEL99)

$$A_{\min} = 0,23 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{t28}}{F_e} = 0,23 \times 100 \times 18 \times \frac{2,1}{500} = 1,73 \text{ cm}^2$$

$$A_{\min} = 2,32 \text{ cm}^2 < A_{\text{choix}} = 11,31 \text{ cm}^2 \quad \text{C.V.}$$

L'écartement des barres d'une même nappe ne doit pas dépasser les valeurs suivantes.

Armatures principales : $St \leq \min(2h ; 25 \text{ cm})$ (charge répartie + charge concentrée)

$$St \leq \min(40\text{cm}; 25 \text{ cm}) = 25\text{cm} \quad St = 15 \text{ cm} \leq 25\text{cm} \quad \text{C.V.}$$

$$D = \frac{15 \times A}{b} = \frac{15 \times 11,31}{100} = 1,69 \text{ cm}$$

$$E = 2 \times d \times D = 2 \times 10,8 \times 1,69 = 36,50 \text{ cm}^2$$

$$y_1 = -D + \sqrt{D^2 + E} = -1,69 + \sqrt{1,69^2 + 36,50} = 4,58 \text{ cm}$$

$$I = \frac{b \times y^3}{3} + 15 \times A \times (d - y_1)^2 \Rightarrow I = 9765,88 \text{ cm}^4$$

$$K = \frac{M_{\text{ser}}}{I} = \frac{54630}{9765,88} = 1,44 \quad \sigma_b = K \cdot y_1 = 6,59 \text{ MPA} \leq \bar{\sigma}_b = 15 \text{ MPA} \Rightarrow \text{C.V.}$$

$$\sigma_s = 15 \cdot K \cdot (d - y_1) = 134,35 \text{ MPA} \leq \bar{\sigma}_s = 201,6 \text{ MPA} \Rightarrow \text{C.V.}$$

Les armatures à l'ELU seront maintenues.

4.1.1. Dessin de ferrailage

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

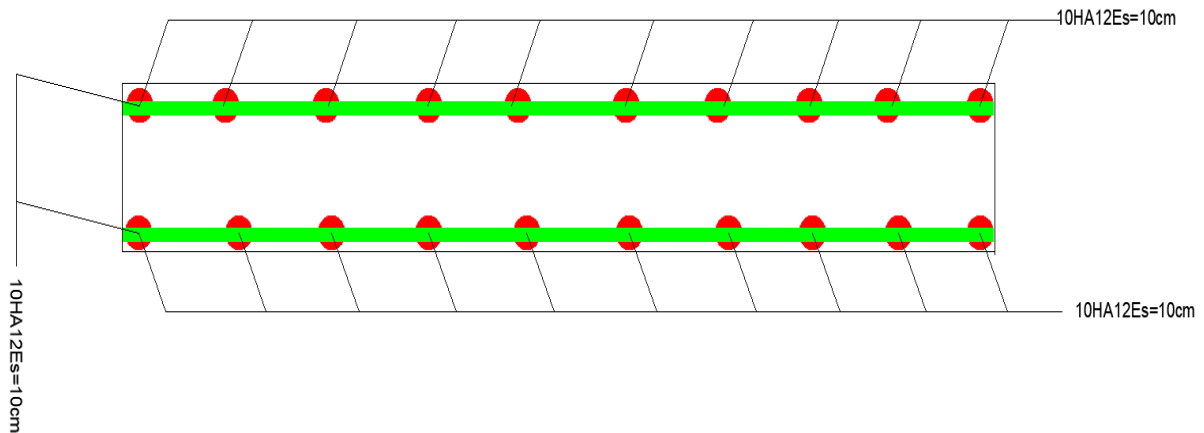


Figure 28: Ferraillage de Plancher 2003

Tableau 36: Des moment et l'effort de plancher ELU

	MXX [kNm/m]	MYY [kNm/m]	MXY [kNm/m]
MAX	75,60	73,57	19,52
Panneau	51	101	101
Noeud	5655	436	332
Cas	22 (C)	22 (C)	22 (C)
MIN	-32,72	-31,55	-16,67
Panneau	51	851	801
Noeud	24777	38712	4920
Cas	22 (C)	22 (C)	22 (C)

Tableau 37: Des moment et l'effort de plancher ELS

	MXX [kNm/m]	MYY [kNm/m]	MXY [kNm/m]
MAX	54,86	52,27	13,77
Panneau	51	101	101
Noeud	5655	436	332
Cas	23 (C)	23 (C)	23 (C)
MIN	-23,81	-22,49	-12,10
Panneau	51	851	801
Noeud	24777	38712	8617
Cas	23 (C)	23 (C)	23 (C)

Tableau 38: Des moment et l'effort de plancher (ELU)(ELS)(ACC)

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

	MXX [kNm/m]	MYY [kNm/m]	MXY [kNm/m]
MAX	228,02	249,16	52,24
Panneau	501	501	501
Noeud	2976	2976	2998
Cas	18 (C) (CQC)	18 (C) (CQC)	18 (C) (CQC)
Mode			
MIN	-178,86	-173,86	-57,77
Panneau	451	451	501
Noeud	2623	2732	2976
Cas	17 (C) (CQC)	17 (C) (CQC)	19 (C) (CQC)

b) Selon RPA2024

Nous allons procéder au ferrailage de la dalle pleine des étages à l'aide du logiciel Robot 2024 et Robot expert 2009. Le calcul se fait en flexion simple.

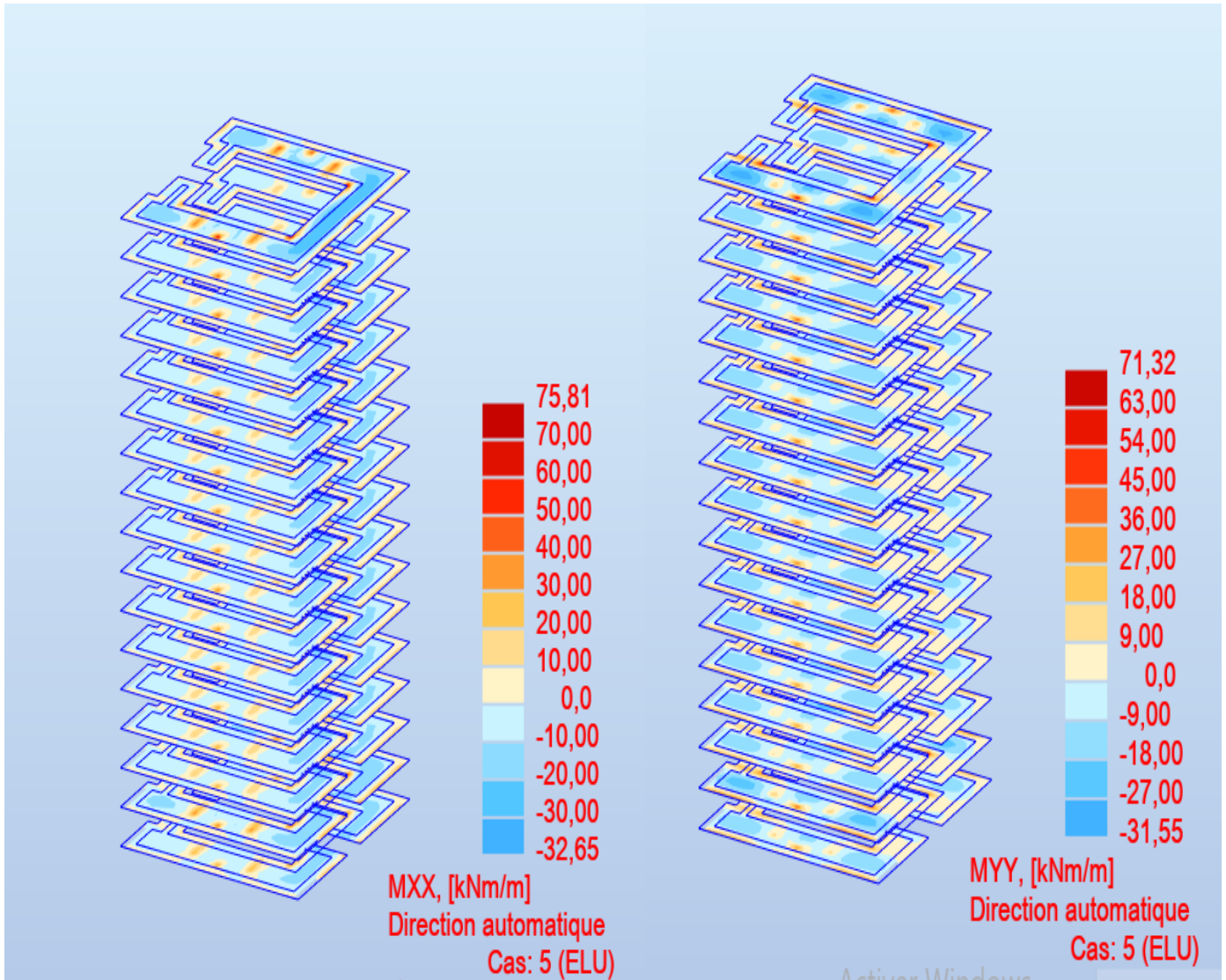


Figure 29: Résultats de cartographie (ELU) 2024

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

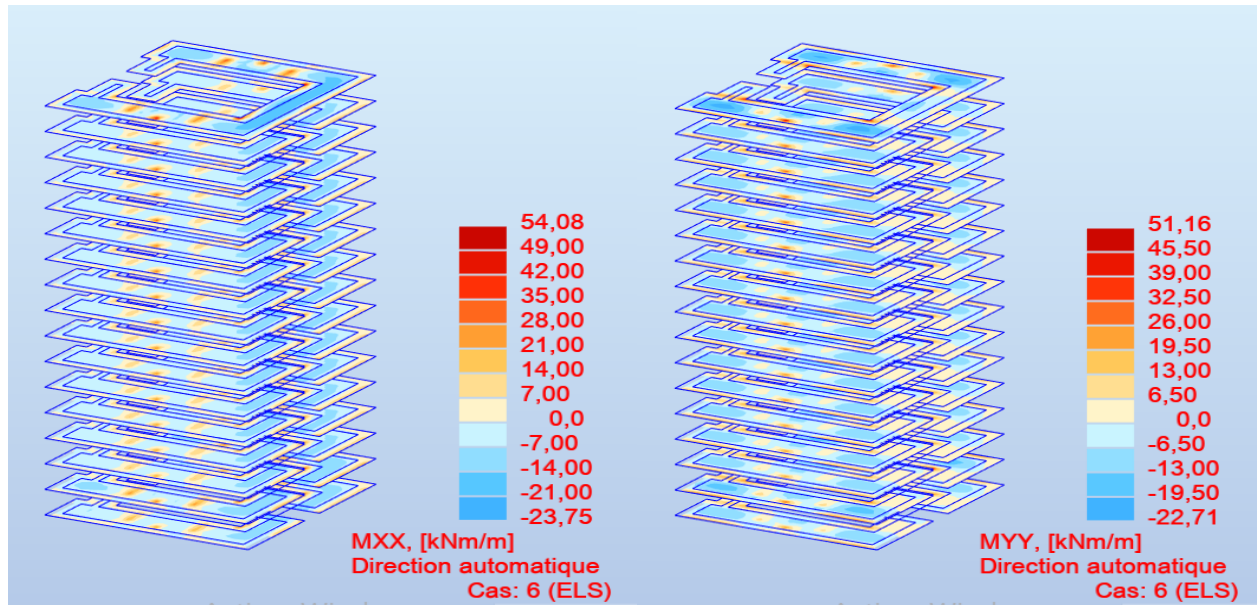


Figure 30: Résultats de cartographie (ELS)2024

Tableau 39: Les moments max du plancher 2024

Sens	ELU (KN.m)	ELS (KN.m)
X-X	75.81	54.08
Y-Y	71.32	51.16

Par Robot Expert BAEL99 on calcul les sections de ferrailage pour une bande de 1 m de la dalle en flexion simple.

EXPERT BA - Flexion simple

Général | Calcul | Vérification | Expert | Flèche

Charges (kN*m)

	ELU : $M_{max} =$ <input type="text" value="75.81"/>	$M_{min} =$ <input type="text" value="-32.65"/>	
	ELS : $M_{max} =$ <input type="text" value="54.08"/>	$M_{min} =$ <input type="text" value="-32.75"/>	
	ELA : $M_{max} =$ <input type="text" value="0.00"/>	$M_{min} =$ <input type="text" value="0.00"/>	

Prise en compte des armatures comprimées

Résultats

$A_{s1} =$ cm² $A_{s2} =$ cm²

% d'armatures $\rho =$ 0.88 %

Valeurs réglementaires

% d'armatures minimum $\rho_{min} =$ 0.10 % Dispositions sismiques

% d'armatures maximum $\rho_{max} =$ N/A

CALCUL TERMINE

Section (cm)

$b =$ Bloquée

$h =$ Bloquée

$d_1 =$ $d_2 =$

CALCULER

Figure 31: Ferrailage sens X-X 2024

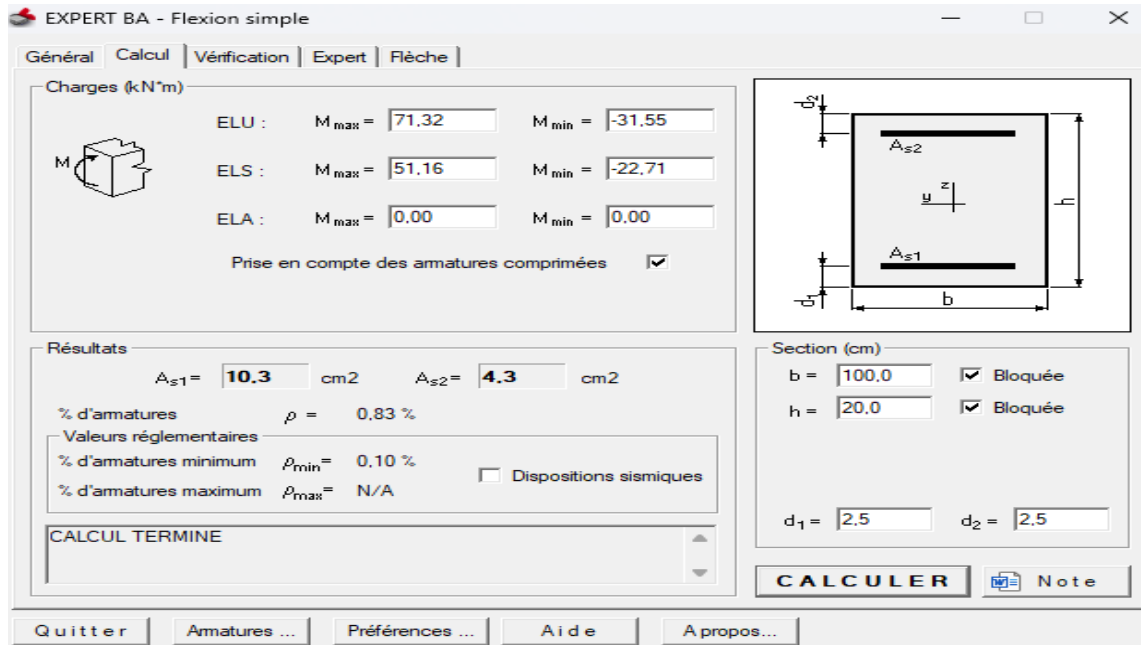


Figure 32: Ferrailage sens Y-Y 2024

Tableau 40: Choix des armatures 2024

Sens	A calculé	A min	Choix	A choix
X-X	11	1.73	8HA14	12.32
Y-Y	10.3	1.73	8HA14	12.32

Les vérifications

$$A_{min} = 0,23 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{t28}}{F_e} = 0,23 \times 100 \times 18 \times \frac{2,1}{500} = 1,73 \text{ cm}^2$$

$$A_{min} = 2,32 \text{ cm}^2 < A_{choix} = 11,31 \text{ cm}^2 \quad \text{C.V.}$$

Espacement des barres

L'écartement des barres d'une même nappe ne doit pas dépasser les valeurs suivantes.

Armatures principales :

$$St \leq \min (2h ; 25 \text{ cm}) \text{ (charge répartie + charge concentrée)}$$

$$St \leq \min (40\text{cm}; 25 \text{ cm}) = 25\text{cm}$$

$$St = 15 \text{ cm} \leq 25\text{cm} \quad \text{C.V.}$$

$$D = \frac{15 \times A}{b} = \frac{15 \times 11,31}{100} = 1,69 \text{ cm}$$

$$E = 2 \times d \times D = 2 \times 10,8 \times 1,69 = 36,50 \text{ cm}^2$$

$$y1 = -D + \sqrt{D^2 + E} = -1,69 + \sqrt{1,69^2 + 36,50} = 4,58 \text{ cm}$$

$$I = \frac{b \times y^3}{3} + 15 \times A \times (d - y1)^2 \Rightarrow I = 9765,88 \text{ cm}^4$$

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

$$K = \frac{M_{ser}}{I} = \frac{54080}{9765.88} = 1.45$$

$$\sigma_b = K \cdot y_1 = 1.45 \text{ MPA} \leq \bar{\sigma}_b = 15 \text{ MPA} \Rightarrow \text{C.V}$$

$$\sigma_s = 15 \cdot K \cdot (d - y_1) = 135.28 \text{ MPA} \leq \bar{\sigma}_s = 201,6 \text{ MPA} \Rightarrow \text{C.V}$$

4.1.2. Dessin de Ferrailage

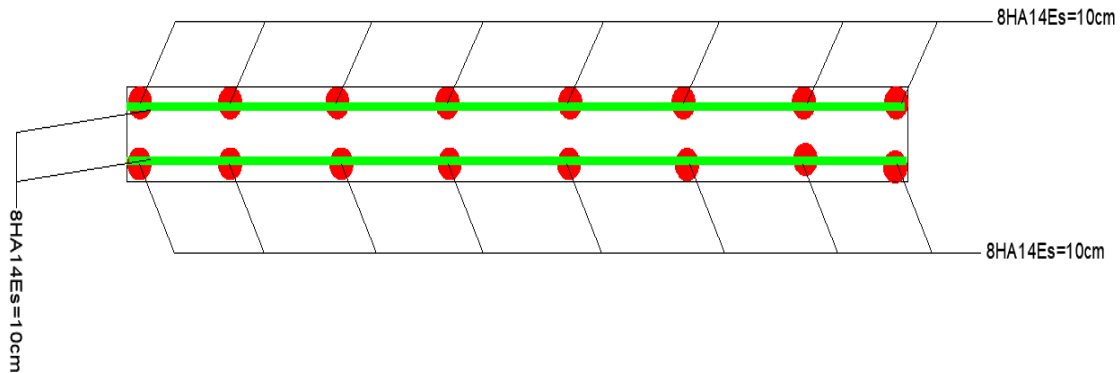


Figure 33: Ferrailage de plancher 2024

Tableau 41: Des moment et l'effort de Plancher ELU

	MXX [kNm/m]	MYY [kNm/m]	MXY [kNm/m]
MAX	75,06	70,61	19,28
Panneau	851	801	101
Noeud	23037	4920	332
Cas	5 (C)	5 (C)	5 (C)
MIN	-32,33	-31,55	-16,79
Panneau	151	851	801
Noeud	24906	38825	4920
Cas	5 (C)	5 (C)	5 (C)

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

Tableau 42: Des moment et l'effort de Plancher ELS

	MXX [kNm/m]	MYY [kNm/m]	MYX [kNm/m]
MAX	54,08	51,16	13,60
Panneau	51	801	101
Noeud	5655	4920	332
Cas	6 (C)	6 (C)	6 (C)
MIN	-23,51	-22,49	-12,16
Panneau	151	851	801
Noeud	24906	38825	4920
Cas	6 (C)	6 (C)	6 (C)

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

Tableau 43: Des moment et l'effort de Plancher (ELU) (ELS)(ACC)

	MXX [kNm/m]	MYY [kNm/m]	MXY [kNm/m]
MAX	1011,31	1180,64	269,90
Panneau	451	451	451
Noeud	2652	2652	2652
Cas	48 (C) (CQC)	47 (C) (CQC)	47 (C) (CQC)
Mode			
MIN	-949,14	-1096,69	-288,82
Panneau	451	451	451
Noeud	2652	2652	2652
Cas	54 (C) (CQC)	53 (C) (CQC)	53 (C) (CQC)

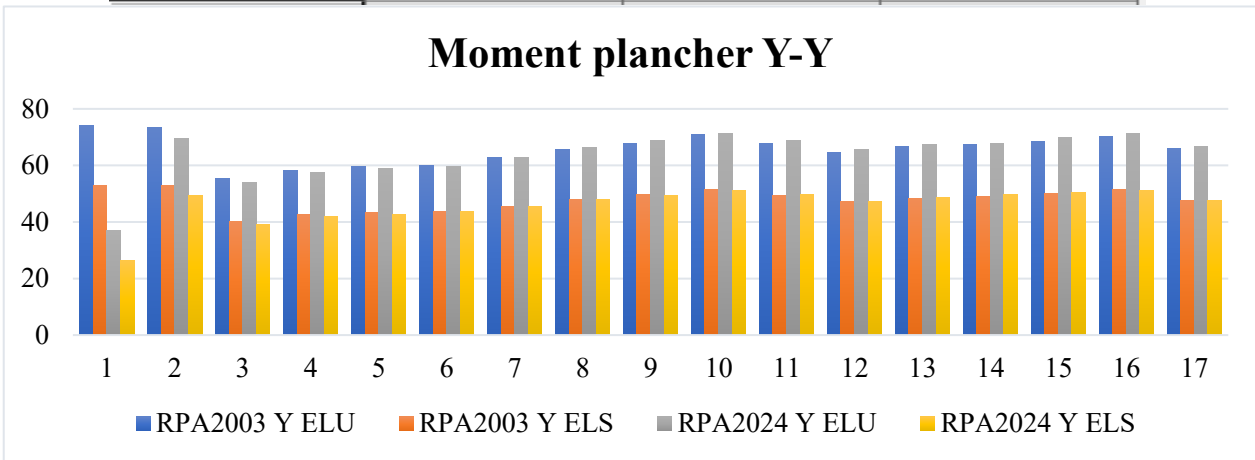


Figure 34: Moment plancher Y-Y

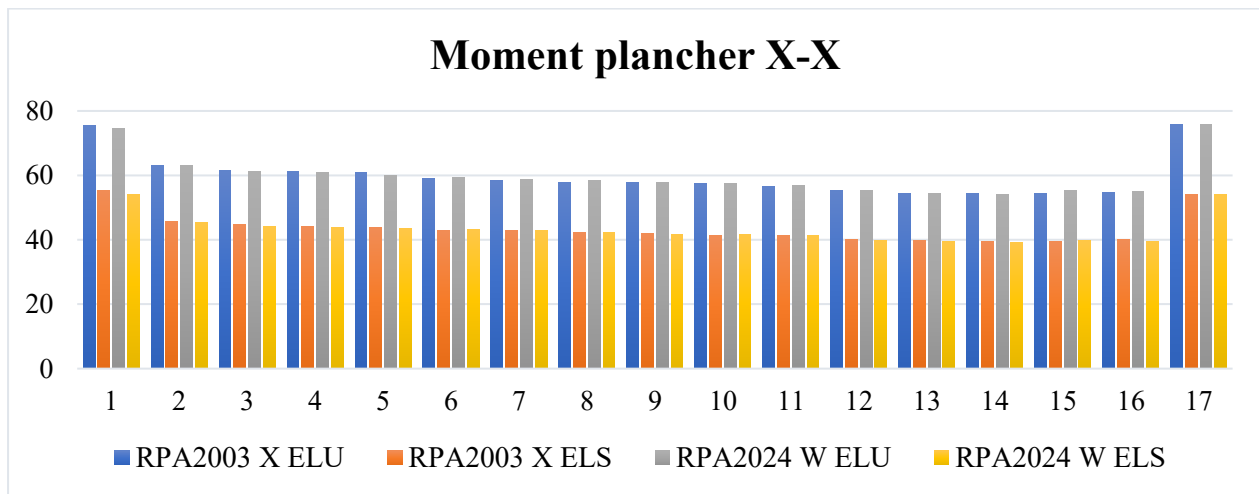


Figure 35: Moment plancher X-X

4.2. Poutre d'extrémité

Le ferrailage est calculé à l'état limité ultime sous l'effet du moment le plus défavorable

Tableau 44: Les moments et efforts tranchants de poutre

Cas	Sollicitations	Moment	Effort tranchant
ELU	Mtu	127,03	118,77
	Mau	-64,80	-134,79
ELS	Mts	174,03	85,93
	Mas	-279,79	-97,49

Calcul du ferrailage

$$b = 25 \text{ cm} \quad h = 55 \text{ cm} \quad c' = 5.5 \text{ cm} \quad d = 49.5 \text{ cm}$$

- **En travée:**

$$\mu = \frac{M_t}{b \times d^2 \times \sigma_{bc}} = \frac{127030}{25 \times 49.5^2 \times 14,2} \rightarrow \mu = 0,14 < 0,392$$

Donc les armatures comprimées ne sont pas nécessaires.

$$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,14}) = 0,18$$

$$\beta = 1 - 0,4\alpha = 1 - 0,4 \times 0,18 = 0,92$$

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPA}$$

$$A_{cal} = \frac{M_t}{\sigma_s \times \beta \times d} = \frac{127030}{435 \times 0,92 \times 49,5} = 6,41 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{min} = 0,23 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{t28}}{F_e} = 0,23 \times 25 \times 49,5 \times \frac{2,1}{500} = 1,19 \text{ cm}^2$$

Donc on prend : $A_s = \max(A_{cal}; A_{min}) = 6,41 \text{ cm}^2/\text{ml}$

Choix : **6HA12** (A= 6.79cm²)

- **En appuis**

$$\mu = \frac{M_a}{b \times d^2 \times \sigma_{bc}} = \frac{204060}{25 \times 49.5^2 \times 14,2} \rightarrow \mu = 0,23 < 0,392$$

Donc les armatures comprimées ne sont pas nécessaires.

$$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,23}) = 0,33$$

$$\beta = 1 - 0,4\alpha = 1 - 0,4 \times 0,33 = 0,86 \quad \sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPA}$$

$$A_{cal} = \frac{M_a}{\sigma_s \times \beta \times d} = \frac{64480}{435 \times 0,86 \times 49,5} = 6,03 \text{ cm}^2$$

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

Condition de non fragilité

$$A_{min} = 0,23 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{t28}}{F_e} = 0,23 \times 25 \times 49,5 \times \frac{2,1}{500} = 1,19 \text{ cm}^2$$

Donc on prend : $A_s = \max(A_{cal}; A_{min}) = 6.03 \text{ cm}^2/ml$

Choix : **6HA12** ($A = 6.79\text{cm}^2$)

Vérification

$$D = \frac{15 \times A}{b} = \frac{15 \times 11.31}{100} = 1.69 \text{ cm}$$

$$E = 2 \times d \times D = 2 \times 49,5 \times 1.69 = 167.31 \text{ cm}^2$$

$$y1 = -D + \sqrt{D^2 + E} = -1.69 + \sqrt{1.69^2 + 167.31} = 11.35 \text{ cm}$$

$$I = \frac{b \times y^3}{3} + 15 \times A \times (d - y1)^2 \Rightarrow I = 296168.31 \text{ cm}^4$$

$$K = \frac{M_{ser}}{I} = \frac{174030}{296168.31} = 0.59$$

$$\sigma_b = K \cdot y1 = 6.69 \text{ MPA} \leq \bar{\sigma}_b = 15 \text{ MPA} \Rightarrow \text{C.V}$$

$$\sigma_s = 15 \cdot K \cdot (d - y1) = 189.62 \text{ MPA} \leq \bar{\sigma}_s = 201,6 \text{ MPA} \Rightarrow \text{CNV}$$

Vérification de l'effort tranchant

Fissuration préjudiciable, τ_u doit être au plus égal à la plus basse des deux valeurs suivantes :

$$\tau_u = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,15 \times \frac{f_{cj}}{\gamma_b} = 2,5 \text{ MPA} \rightarrow \bar{\tau}_u = 2,50 \text{ MPA} \\ 4 \text{ MPA} \end{array} \right.$$

$$\tau_u = \frac{T}{b \times d} = \frac{118770}{1000 \times 108} = 1,09 \text{ MPA} < \bar{\tau}_u = 2,50 \text{ MPA}$$

4.2.1. Dessin de ferrailage

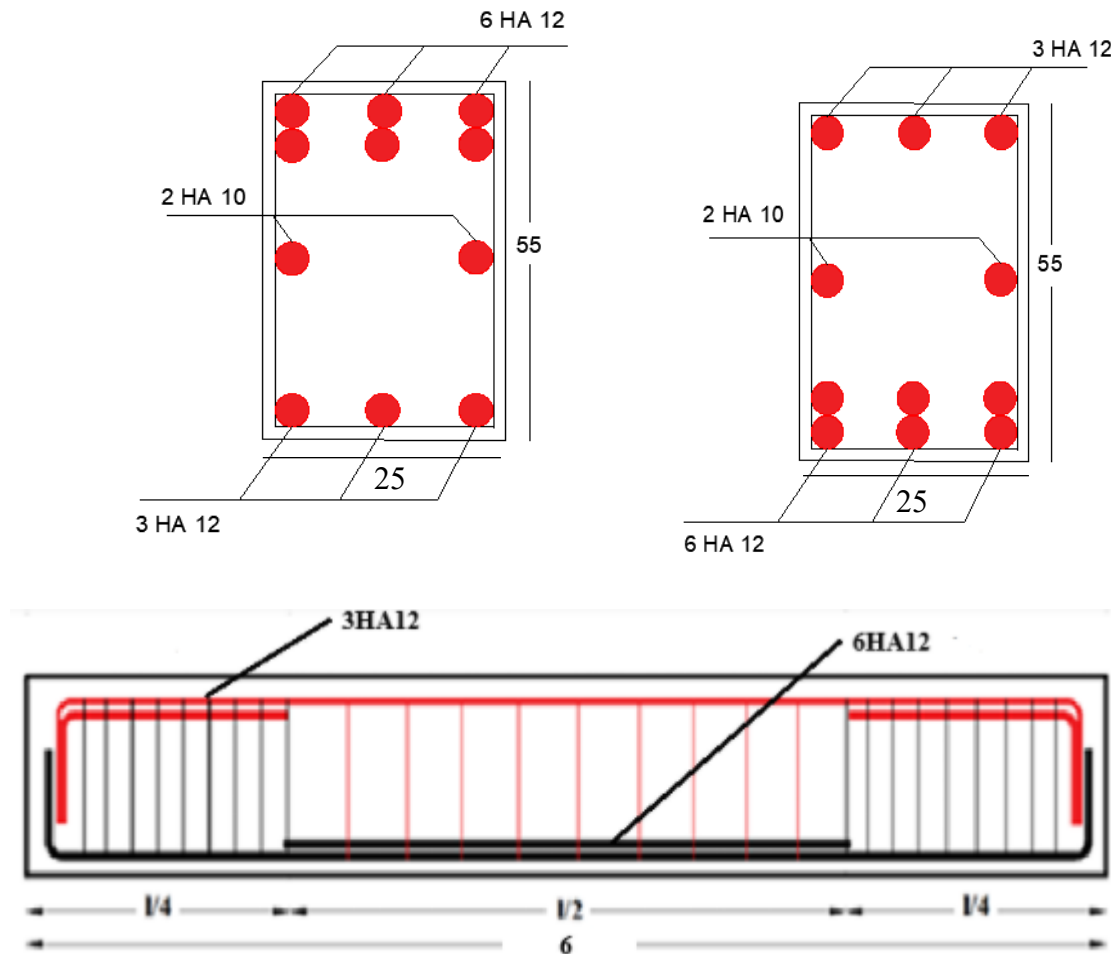


Figure 36: Ferrailage de poutre

4.3. Voiles

a) Selon RPA2003

4.3.1. Combinaison de charge

Selon le règlement parasismique Algérienne (RPA99/2003 version 2003) les combinaisons Considérées pour les voiles sont les suivants :

$$G + Q \pm E$$

$$0.8G \pm E$$

Nous allons procéder au ferrailage de les voiles des étages à l'aide du logiciel Robot 2023 et Robot expert 2009. Le calcul se fait en flexion composer.

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

Par cartographie on tire les moments fléchissant maximum du sens x et sens y.

Le calcul se fera selon la longueur et la hauteur d'étage, vu que nous avons la possibilité d'avoir le même ferrailage pour un certain nombre d'étage, nous allons diviser la structure en 3 niveaux :

- Niveau : Sous-sol ,R+4 Voile 35
- Niveau :R+4 – R+10 Voile 30
- Niveau : R+10-R+15 Voile 25

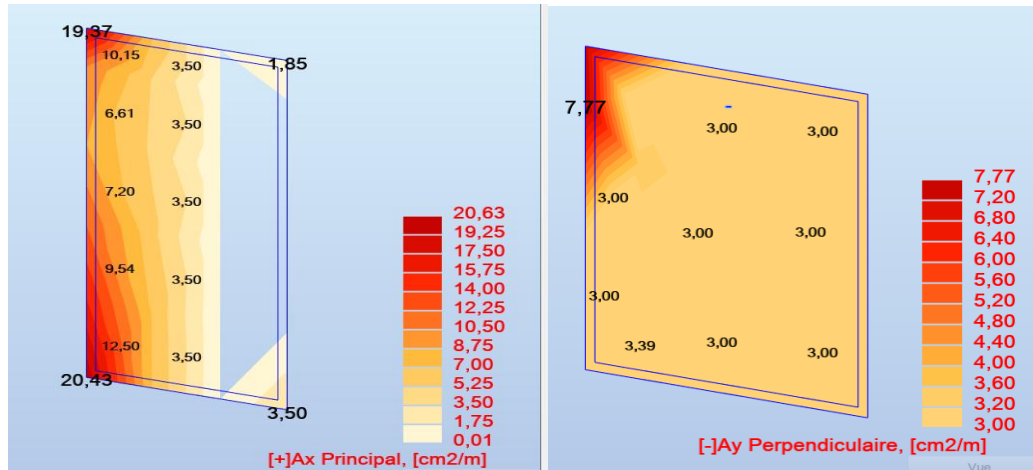


Figure 37: Cartographie Ep35 2003

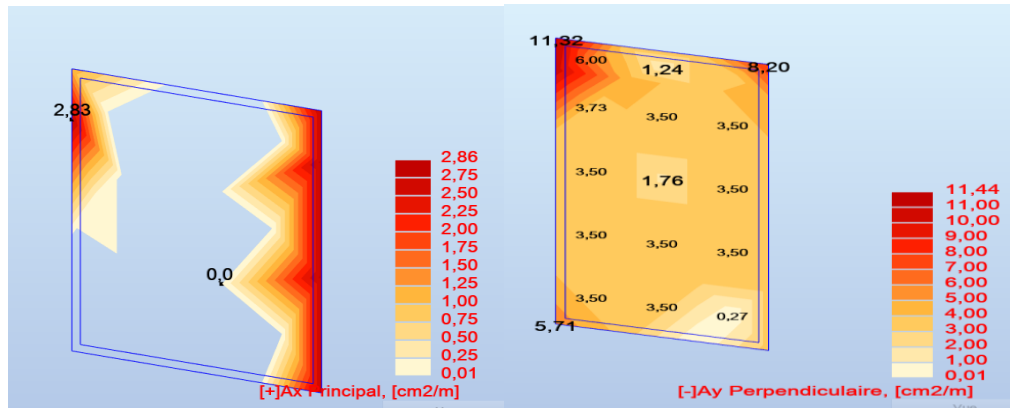


Figure 38: Cartographie Ep30 2003

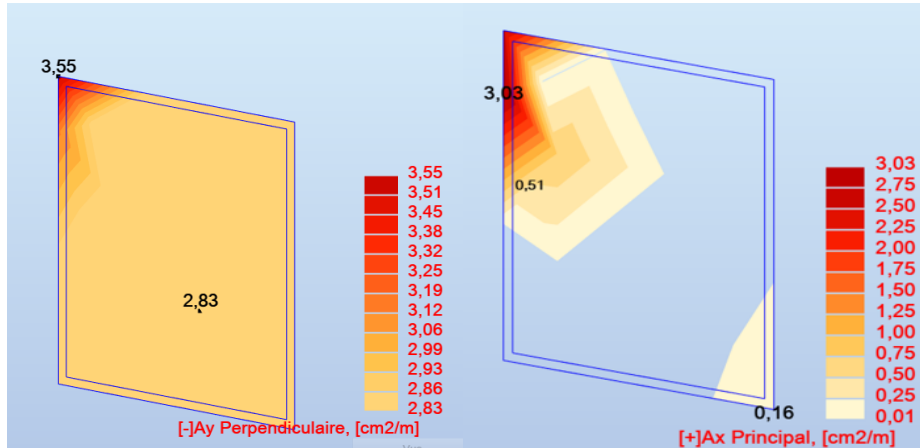


Figure 39: Cartographie Ep25 2003

Tableau 45: Sections des armatures des voile 2003

Epaisseur (cm)	35	30	25
Ax (cm ² /m)	60,29	26,11	22,90
Choix	30T16=60.32 cm ² Es=15 cm	24T12=27.14 cm ² Es=20 cm	22T12=24.88 cm ² Es=25 cm
Ay (cm ² /m)	32,90	20,62	17,75
Choix	44T10=34.56 cm ² Es=10 cm	28T10=24.13 cm ² Es=20 cm	24T10=18.85 cm ² Es=25 cm

4.3.2. Dessin de ferrailage:

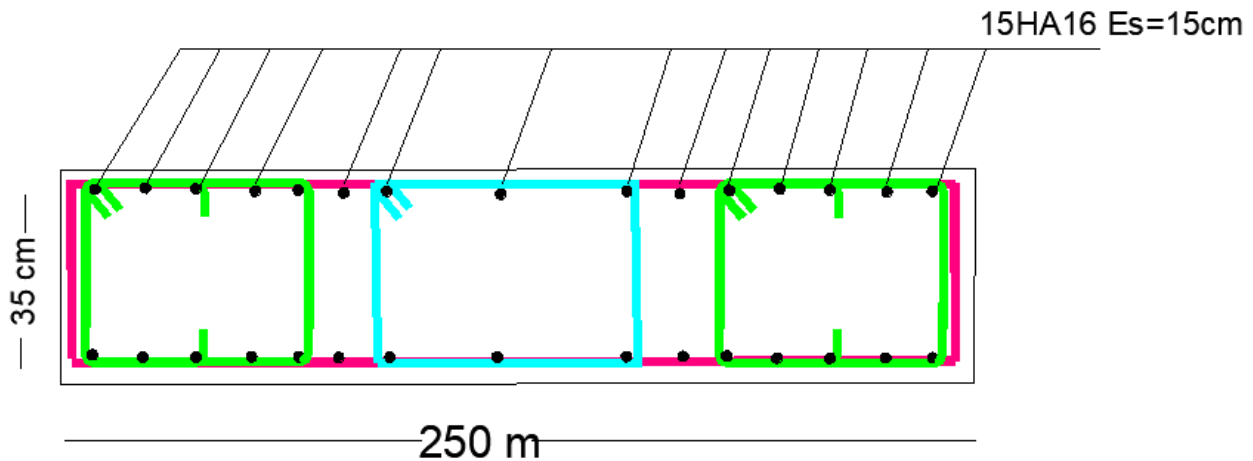


Figure 40: Ferrailage Voile 2,50m 2003

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

Tableau 46: Des moment et l'effort de voile ELU

	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
MAX	261,96	243,22	3367,13	166,05	115,76	15,79
Noeud	17242	19421	17244	19602	17261	24770
Cas	22 (C)	22 (C)	22 (C)	22 (C)	22 (C)	22 (C)
MIN	-225,74	-675,04	48,10	-166,77	-130,25	-19,75
Noeud	17261	17244	24770	19617	17242	24769
Cas	22 (C)	22 (C)	22 (C)	22 (C)	22 (C)	22 (C)

Tableau 47: Des moment et l'effort de voile ELS

	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
MAX	190,86	177,18	2452,42	120,93	84,28	11,48
Noeud	17242	19421	17244	19602	17261	24770
Cas	23 (C)	23 (C)	23 (C)	23 (C)	23 (C)	23 (C)
MIN	-164,34	-491,41	34,98	-121,40	-94,90	-14,36
Noeud	17261	17244	24770	19617	17242	24769
Cas	23 (C)	23 (C)	23 (C)	23 (C)	23 (C)	23 (C)

Tableau 48: Des moment et l'effort de voile (ELU)(ELS)(ACC)

	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
MAX	349,58	535,01	4026,87	262,52	172,29	16,81
Noeud	19350	19536	12936	19536	13041	24770
Cas	18 (C) (CQC)	20 (C) (CQC)	18 (C) (CQC)	20 (C) (CQC)	18 (C) (CQC)	20 (C) (CQC)
Mode						
MIN	-361,49	-854,08	-1306,89	-245,73	-177,85	-19,95
Noeud	13041	12936	19637	12936	17242	24769
Cas	19 (C) (CQC)	19 (C) (CQC)	15 (C) (CQC)	19 (C) (CQC)	19 (C) (CQC)	21 (C) (CQC)

b) Selon RPA2024

4.3.3. Combinaison de charge

Selon le règlement parasismique Algérienne RPA2024 les combinaisons Considérées pour les voiles sont les suivants :

$$\begin{cases} G + \psi \cdot Q + E1 \\ G + \psi \cdot Q + E2 \end{cases}$$

$$G + \psi \cdot Q + E3$$

$$G + \psi \cdot Q + E4$$

$$G + \psi \cdot Q + E5$$

Nous allons procéder au ferrailage de les voiles des étages à l'aide du logiciel Robot 2024 et Robot expert 2009. Le calcul se fait en flexion composée.

Par cartographie on tire les moments fléchissant maximum du sens x et sens y.

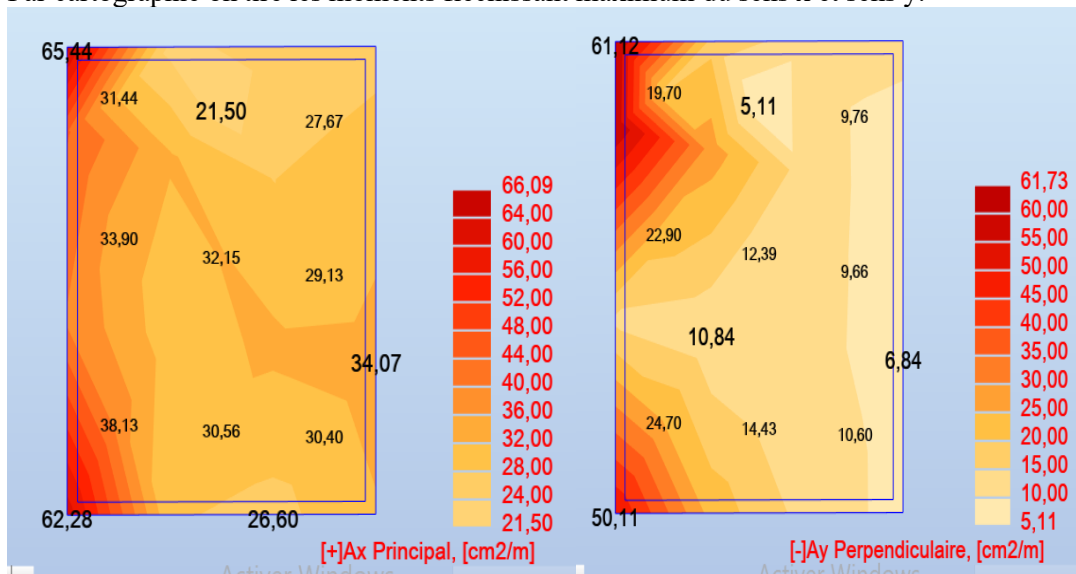


Figure 41: Cartographie Ep35 2024

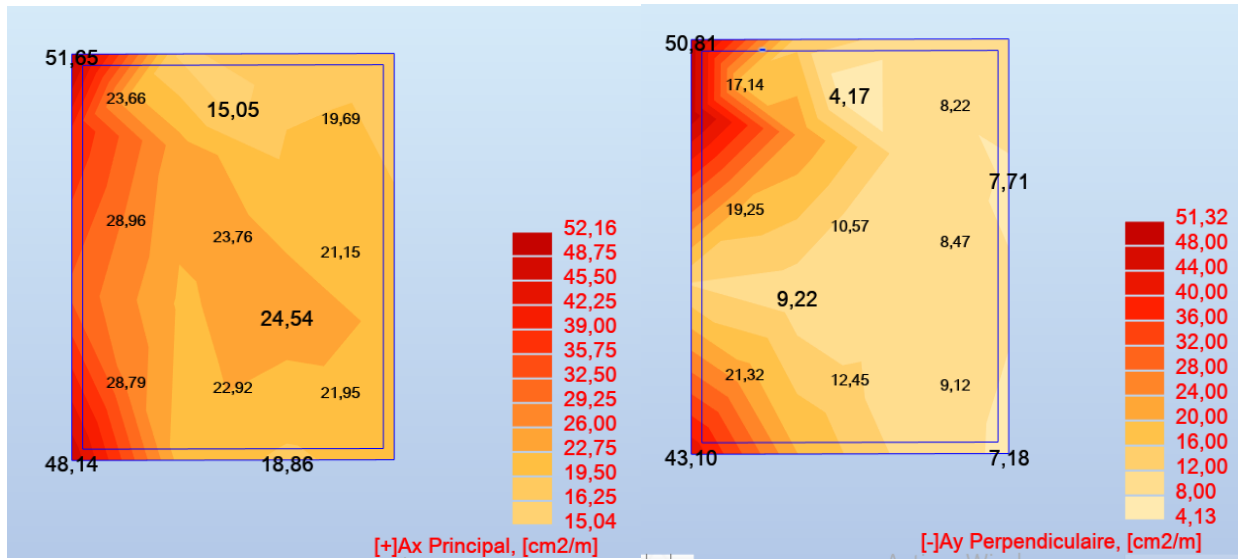


Figure 42: Cartographie Ep30 2024

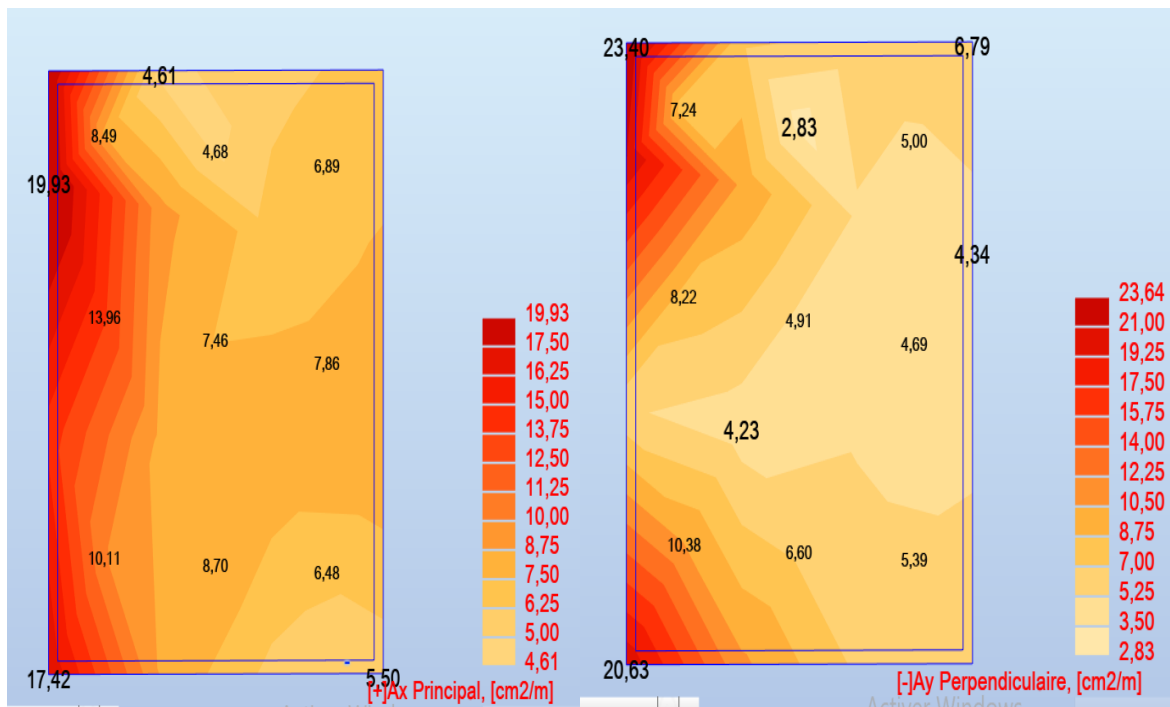


Figure 43: Cartographie Ep25 2024

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

Tableau 49: Sections des armatures des voile2024

Epaisseur (cm)	35	30	25
Ax (cm ² /m)	66,09	52,16	19,93
Choix	34T16=68.36cm ² Es=15 cm	26T16=52.26 cm ² Es=20 cm	26T10=20.54 cm ² Es=20 cm
Ay (cm ² /m)	61,73	51,32	23,64
Choix	56T12=63.33 cm ² Es=10 cm	46T12=52.02 cm ² Es=12 cm	24T12=27.14 cm ² Ep=25 cm

4.3.4. Dessin de ferrailage

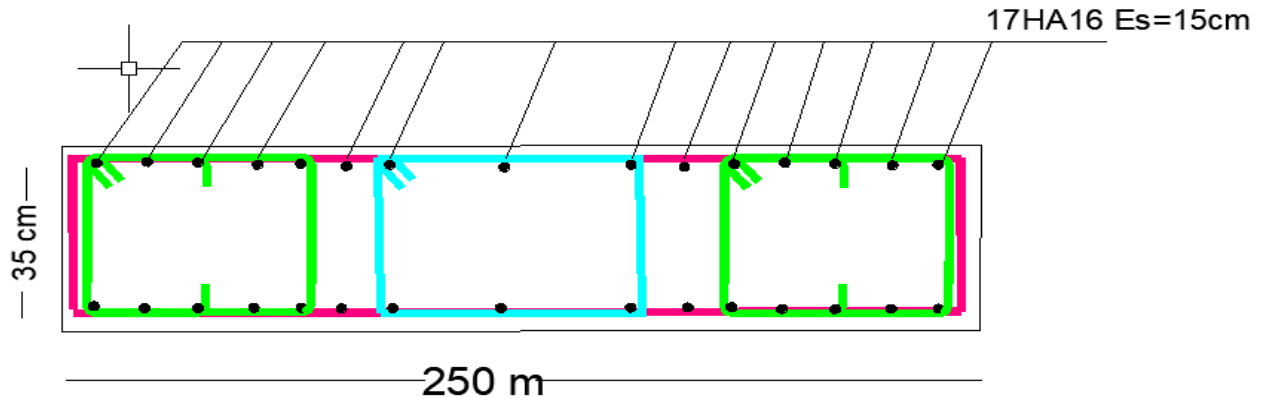


Figure 44: Ferrailage Voile 2,50m 2024

Tableau 50: Des moment et l'effort de voile ELU

	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
MAX	200,22	220,27	2365,26	160,91	101,57	15,37
Noeud	19422	19421	17244	19602	17261	24770
Cas	5 (C)	5 (C)	5 (C)	5 (C)	5 (C)	5 (C)
MIN	-213,53	-219,16	53,54	-171,88	-100,98	-19,36
Noeud	19421	19617	24770	19617	19422	24769
Cas	5 (C)	5 (C)	5 (C)	5 (C)	5 (C)	5 (C)

Tableau 51: Des moment et l'effort de voile ELS

	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
MAX	145,88	160,45	1722,50	117,18	73,95	11,18
Noeud	19422	19421	17244	19602	17261	24770
Cas	6 (C)	6 (C)	6 (C)	6 (C)	6 (C)	6 (C)
MIN	-155,57	-159,58	38,94	-125,12	-73,57	-14,07
Noeud	19421	19617	24770	19617	19422	24769
Cas	6 (C)	6 (C)	6 (C)	6 (C)	6 (C)	6 (C)

Tableau 52 : Des moment et l'effort de voile (ELU)(ELS)(ACC)

	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
MAX	1324,08	2533,47	12209,69	1237,04	696,01	49,70
Noeud	13017	19446	12984	19446	17233	24770
Cas	48 (C) (CQC)	47 (C) (CQC)	47 (C) (CQC)	47 (C) (CQC)	47 (C) (CQC)	47 (C) (CQC)
MIN	-1414,15	-2457,83	-10568,49	-1203,28	-605,29	-54,17
Noeud	12937	19637	19446	19454	13172	24769
Cas	53 (C) (CQC)	53 (C) (CQC)	53 (C) (CQC)	53 (C) (CQC)	53 (C) (CQC)	53 (C) (CQC)

5. Infrastructure

La conception et la construction des fondations est cruciale pour assurer la stabilité de la structure à long terme. Dans ce chapitre nous nous fixons comme objectif de choisir le type de fondation convenable, déterminer ses dimensions et de la quantité d'acier nécessaire. Il existe des fondations superficielles, semi-profondes et profondes. Le choix reposera sur la nature du sol, la charge à supporter et la géométrie de la structure. Il y a lieu d'envisager en premier lieu les fondations superficielles de type :

- Semelle filante .
- Radier général .
- Fondation profonde.

5.1.Choix du type de fondation

Nous nous intéressons au radier. Il consiste en une dalle de béton armé coulée directement sur le sol avec ou non des nervures, il est considéré comme un plancher renversé.

il faudrait vérifier que la surface des semelles soit supérieure à 50% de celle du bâtiment $\frac{S_s}{S_B} \geq 50\%$

.Avec S_s : Surface des semelles. S_B : Surface du bâtiment.

5.2.Avantage du radier

Le poids de la dalle est reparti sur une grande surface ce qui permet de réduire la pression du sol et de minimiser le risque d'affaissement.

Il présente une facilité d'exécution par rapport aux autres fondations : peu de coffrage, ne nécessite pas une importante excavation. Avantage du radier Le poids de la dalle est reparti sur une grande surface ce qui permet de réduire la pression du sol et de minimiser le risque d'affaissement. Il présente une facilité d'exécution par rapport aux autres fondations : peu de coffrage, ne nécessite pas une importante excavation.

5.3.Pré dimensionnement

Il fonctionne comme un plancher renversé dont les appuis sont les murs voiles et soumis à l'action du sol agissant du bas vers le haut de manière uniforme : il est supposé infiniment rigide. Son épaisseur doit satisfaire aux conditions :

- De rigidité.
- Forfaitaire.
- De non poinçonnement.
- De non cisaillement.

L_e : longueur élastique du radier.

a) Selon RPA2003

Condition de rigidité

$$L_e \geq \frac{2L_{max}}{\pi} \quad \text{et} \quad L_e = \sqrt[4]{\frac{4EI}{K \times b}}$$

L_{max} : longueur du panneau le plus sollicité = 4,77m

E : module de Young = 3.2×10^6 MPa ;

I : moment d'inertie du radier

K : coefficient d'élasticité du sol = 2,1347 kN/m³

B : largeur du panneau le plus sollicité = 4.50m

Nous obtiendrons en remplaçant :

$$h \geq \sqrt[3]{\frac{3K}{E} \times \left(\frac{2b}{\pi}\right)^4}$$

$$h \geq \sqrt[3]{\frac{3 \times 21,347}{3,2 \times 10^4} \times \left(\frac{2 \times 4,5}{\pi}\right)^4}$$

$$h \geq 51 \text{ cm} \quad \text{On prend : } h = 80 \text{ cm}$$

Condition forfaitaire

$$\frac{l_{max}}{8} \leq h \leq \frac{l_{max}}{5} \quad \rightarrow \quad \frac{4,77}{8} \leq h \leq \frac{4,77}{5} = 0,59 \text{ m} \leq h \leq 0,95 \text{ m}$$

Condition de non cisaillement

Pour le panneau le plus sollicité : $L_x=4,50\text{m}$ et $L_y=4,77\text{m}$

$$\frac{L_x}{L_y} = \frac{4}{4,77} = 0,83 > 0,4 \quad \rightarrow \quad \text{la dalle porte dans les deux sens}$$

$$\begin{cases} T_x = q \times \frac{L_x \times L_y}{2L_x + L_y} \\ T_y = \frac{q \times L_x}{3} \end{cases}$$

$$q = \frac{N}{sb} = \frac{46\,540}{459} = 102 \text{ KN/m}^2 \quad \begin{cases} T_x = 180,54 \text{ KN/m} \\ T_y = 136 \text{ KN/m} \end{cases} \quad T_{max} = T_x = 180,54 \text{ KN/m}$$

Nous devons vérifier : $\tau \leq \bar{\tau}_u$

$$\tau_u = \frac{T_{max}}{bd} = \frac{T_{max}}{b \times 0,9h}$$

$$\bar{\tau}_u = \min\left(\frac{0,15 f_{c28}}{\gamma_b}; 4 \text{ MPA}\right) = 2,5 \text{ Mpa}$$

$$h \geq \frac{T_{max}}{0,9b \times \bar{\tau}_u} = \frac{180,54}{0,9 \times 1 \times 2500} = 0,08 \text{ m}$$

Condition de non poinçonnement

$$N_u = 0,045 U_c \times h \times \frac{f_{c28}}{\gamma_b}$$

N_u : charge maximale appliquée par les voiles sur le radier (ELU) ;

$N_u = 597,14$ KN localisé au voile (0.35x2.5)

U_c : périmètre cisailé dans le plan moyen du radier ;

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

$$U_c = 2(a_1 + b_1) \text{ avec } \begin{cases} a_1 = a + h \\ b_1 = b + h \end{cases}$$

$$597,14 < 0,045 \times (4 \times h + 2,6) \times h \times \frac{25 \times 103}{1,5}$$

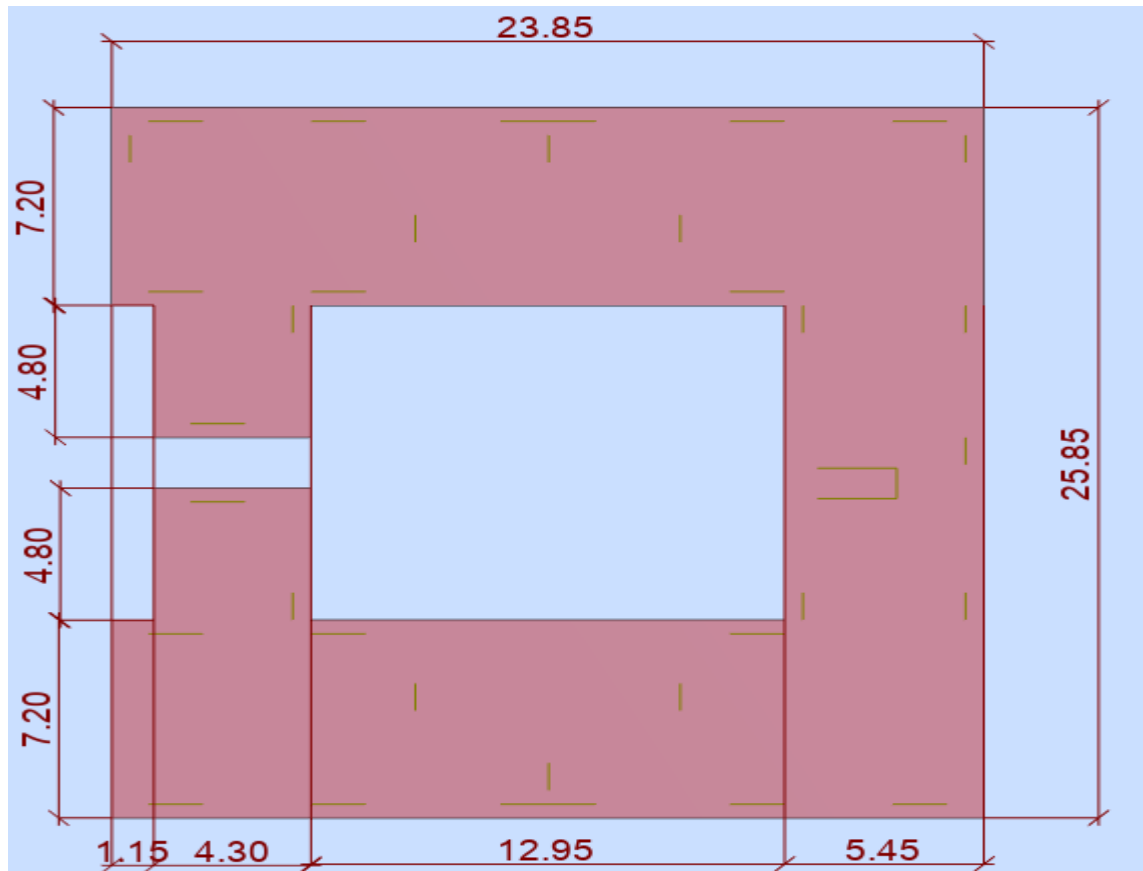
$$3000h^2 + 1950 - 597,14 \geq 0$$

$$h \geq 0,22m \quad \text{Les conditions sont tout satisfaites.}$$

5.4. Caractéristiques du radier

$$h_{\text{radier}} = 100 \text{ cm}$$

$$S = 447,12 \text{ m}^2$$



$$LPoids \text{ propre} : Gr = \gamma b \times h \times S = 25 \times 1 \times 447 = 11175 \text{ KN}$$

Figure 45: Dimensions du radier en mètre

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

Vérification des contraintes

Les contraintes calculées sous le radier doivent rester inférieures à la contrainte admissible du sol qu'on va majorer avec un coefficient de 1.5

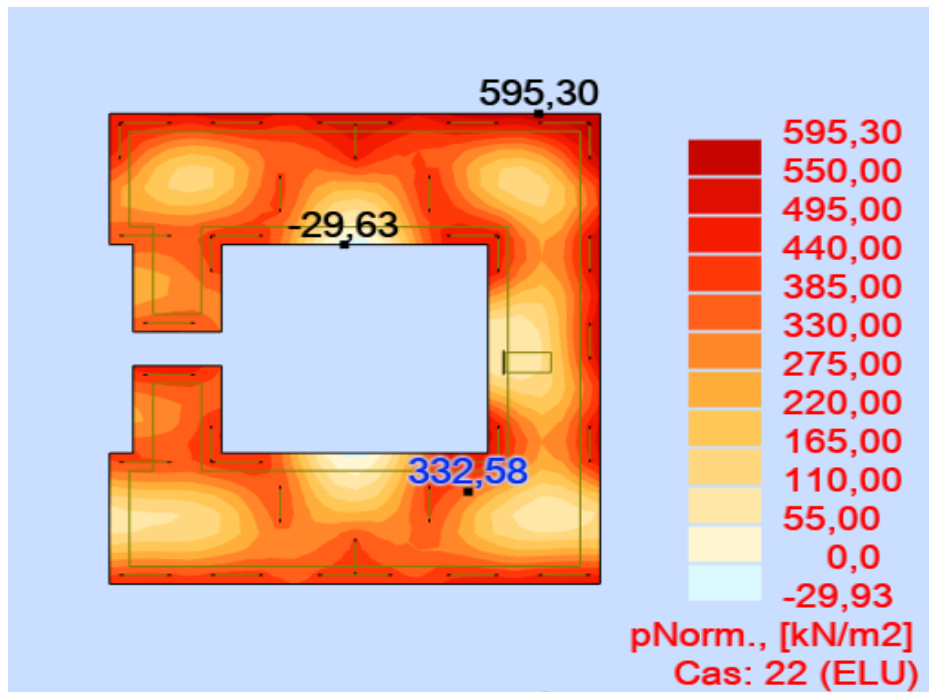


Figure 46: Cartographie de contrainte du radier sur le sol a l'ELU 2024

$\sigma_{sol} = 5 \text{ Mpa}$; $1,5\sigma_{sol} = 7,5 \text{ Mpa}$

$$\sigma_m = \frac{3\sigma_{max}}{4} = \frac{3 \times 5,95}{4} = 4,46 < 7,5 \text{ MPA}$$

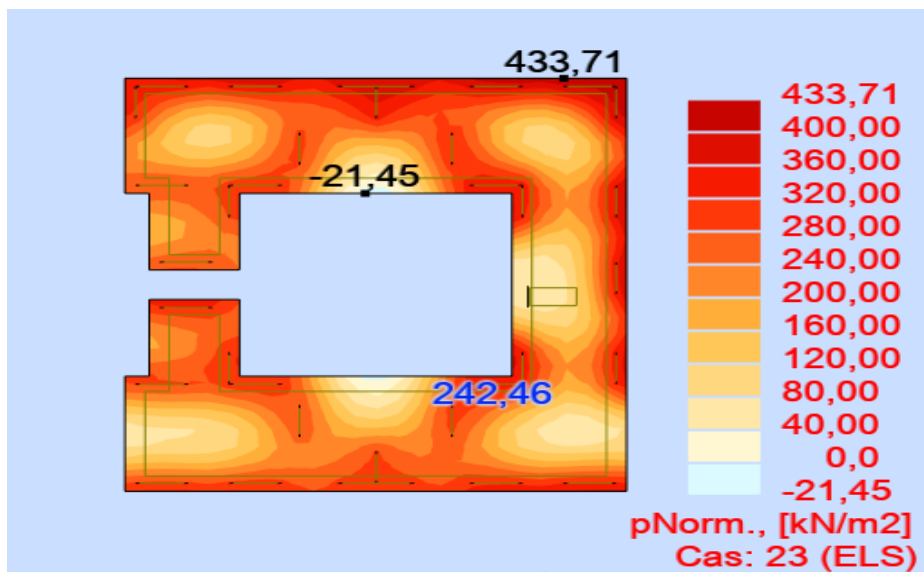


Figure 47: Cartographie de contrainte du radier sur le sol a l'ELS 2003

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

$$\sigma_m = \frac{3\sigma_{max}}{4} = \frac{3 \times 4,33}{4} = 3,25 < 7,5 \text{ MPA}$$

Vérification de l'effet sous pression

Nous devons nous assurer que notre radier est en sécurité vis-à-vis du phénomène de soulèvement sous l'effet de la pression hydrostatique. Pour cela, il faut vérifier : $P > 1,5 \times S \times \gamma \times Z$

P : poids du bâtiment ;

Z : profondeur d'ancrage ;

S : surface du radier ;

γ : Poids volumique de l'eau = 10KN/m³

$$1,5 \times S \times \gamma \times Z = 1,5 \times 447 \times 10 \times 4 = 26820 \text{ KN}$$

$$P=8749.72 \text{ kN} > 26820 \text{ kN}$$

Condition vérifiée

5.5. Calcul du ferrailage du radier

$M < 0$ tend les fibres inférieures

Tableau 53: Récapitulatif moments Mxx 2003

Niveau	ELU		ELS		ACC	
	Appui	Travée	Appui	Travée	Appui	Travée
Radier	425,52	-765,71	309,92	-557,64	303,87	-341,89

Tableau 54: Récapitulatif moments Myy 2003

Niveau	ELU		ELS		ACC	
	Appui	Travée	Appui	Travée	Appui	Travée
Radier	415,77	-823,01	302,78	-599,79	256,32	-337,77

Calcul des armatures

Le calcul se fera en flexion simple. Les résultats figurent dans le tableau suivant avec ROBOT2023 et les dimensions suivantes :

$$\begin{aligned} b &= 100 \text{ cm} \\ h &= 100 \text{ cm} \\ \text{enrobage} &= 10 \text{ cm} \end{aligned}$$

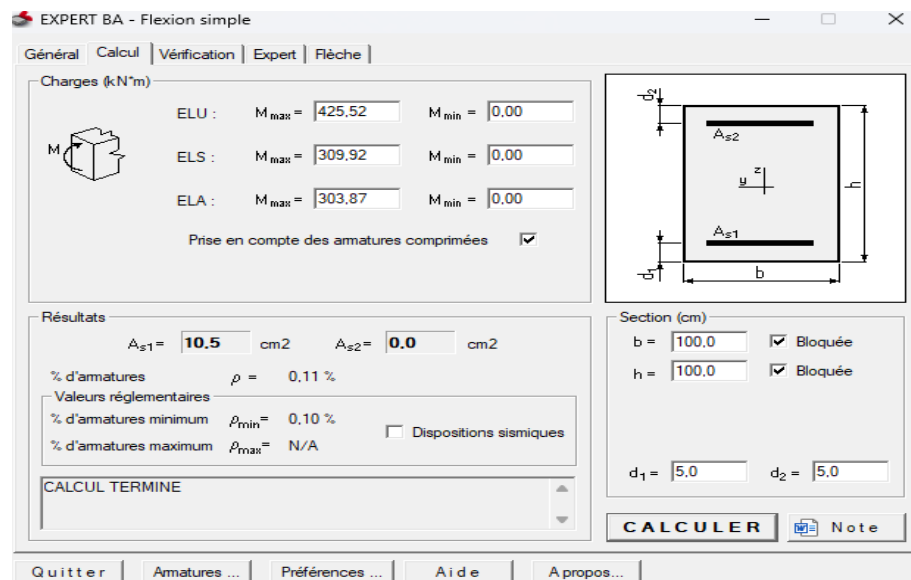


Figure 48: Ferrailage appuis selon X-X 2003

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

EXPERT BA - Flexion simple

Général | Calcul | Vérification | Expert | Flèche

Charges (kN*m)

ELU : $M_{max} = -765,71$ $M_{min} = 0,00$

ELS : $M_{max} = -557,64$ $M_{min} = 0,00$

ELA : $M_{max} = -341,89$ $M_{min} = 0,00$

Prise en compte des armatures comprimées

Résultats

$A_{s1} = 0,0$ cm² $A_{s2} = 19,1$ cm²

% d'armatures $\rho = 0,20$ %

Valeurs réglementaires

% d'armatures minimum $\rho_{min} = 0,10$ % Dispositions sismiques

% d'armatures maximum $\rho_{max} = N/A$

CALCUL TERMINE

Section (cm)

b = 100,0 Bloquée

h = 100,0 Bloquée

$d_1 = 5,0$ $d_2 = 5,0$

CALCULER

Quitter | Armatures ... | Préférences ... | Aide | A propos...

Figure 49: Ferrailage Travée selon X-X 2003

EXPERT BA - Flexion simple

Général | Calcul | Vérification | Expert | Flèche

Charges (kN*m)

ELU : $M_{max} = 415,77$ $M_{min} = 0,00$

ELS : $M_{max} = 302,78$ $M_{min} = 0,00$

ELA : $M_{max} = 256,32$ $M_{min} = 0,00$

Prise en compte des armatures comprimées

Résultats

$A_{s1} = 10,2$ cm² $A_{s2} = 0,0$ cm²

% d'armatures $\rho = 0,11$ %

Valeurs réglementaires

% d'armatures minimum $\rho_{min} = 0,10$ % Dispositions sismiques

% d'armatures maximum $\rho_{max} = N/A$

CALCUL TERMINE

Section (cm)

b = 100,0 Bloquée

h = 100,0 Bloquée

$d_1 = 5,0$ $d_2 = 5,0$

CALCULER

Quitter | Armatures ... | Préférences ... | Aide | A propos...

Figure 50: Ferrailage appuis selon Y-Y 2003

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

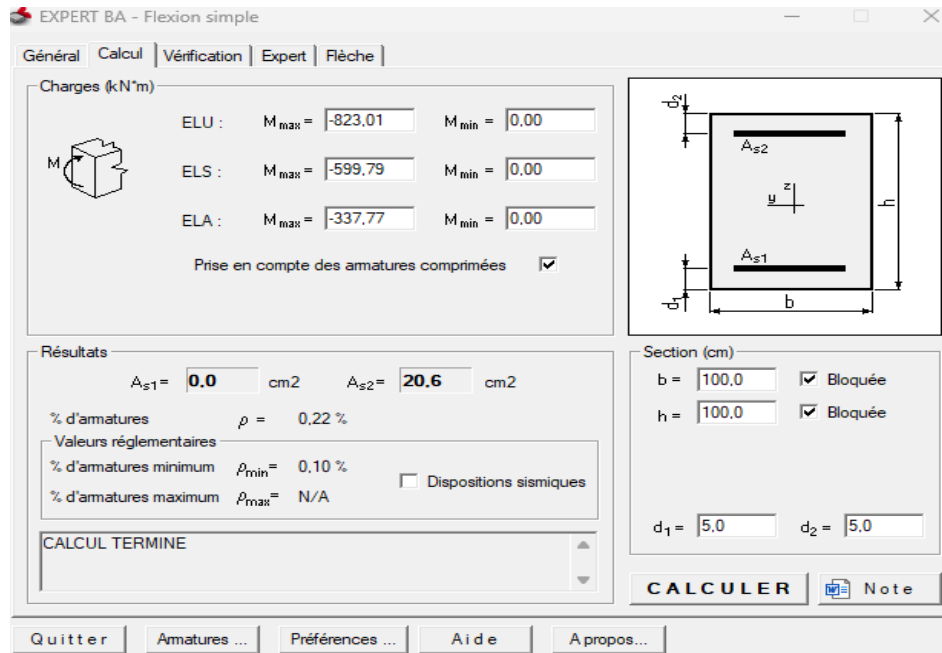


Figure 51: Ferrailage Travée selon Y-Y 2003

Tableau 55: Choix des armatures de radier 2003

		Acalc	Choix	A
Sens-X	Appui	10,5	5HA16	10,05
	Travée	19,1	7HA20	21,99
Sens-Y	Appui	10,2	5HA16	10,05
	Travée	20,6	7HA20	21,99

Condition de non fragilité

$$A_{min} = 0,23 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{tj}}{F_e} = 0,23 \times 100 \times 100 \times \frac{2,1}{500} = 9,66 \text{ cm}^2$$

- ELS

Nous devons vérifier :

$$\sigma_s \leq \bar{\sigma} = 201,63 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_b \leq \bar{\sigma}_b = 15 \text{ Mpa}$$

Tableau 56: Vérification à l'ELS 2003

		A	σ_s	σ_b	Vérification
Sens-X	Appui	10,05	29,6	4,7	C.V.
	Travée	19,1	165,0	2,3	C.V.
Sens-Y	Appui	15,71	26,2	4,4	C.V.
	Travée	20,6	165,0	1,9	C.V.

Les armatures calculées à l'ELU restent maintenues.

b) Selon RPA2024

Vérification des contraintes

Les contraintes calculées sous le radier doivent rester inférieures à la contrainte admissible du sol qu'on va majorer avec un coefficient de 1.5

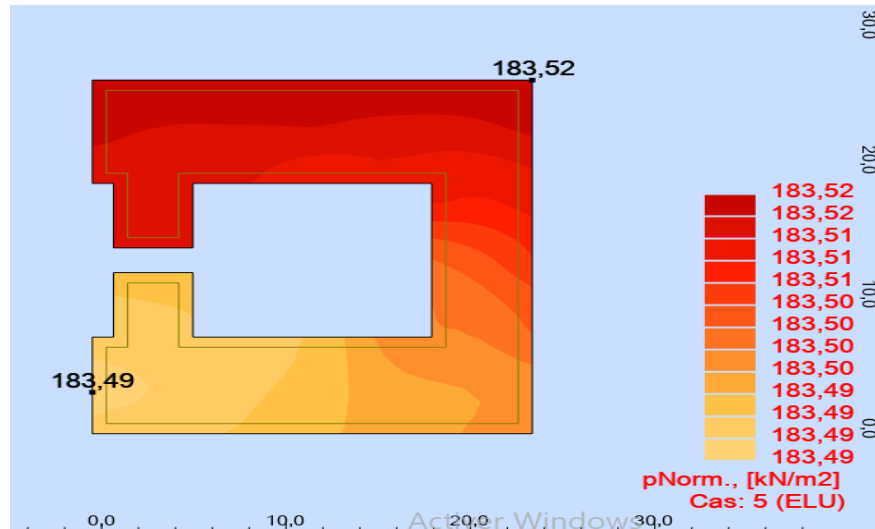
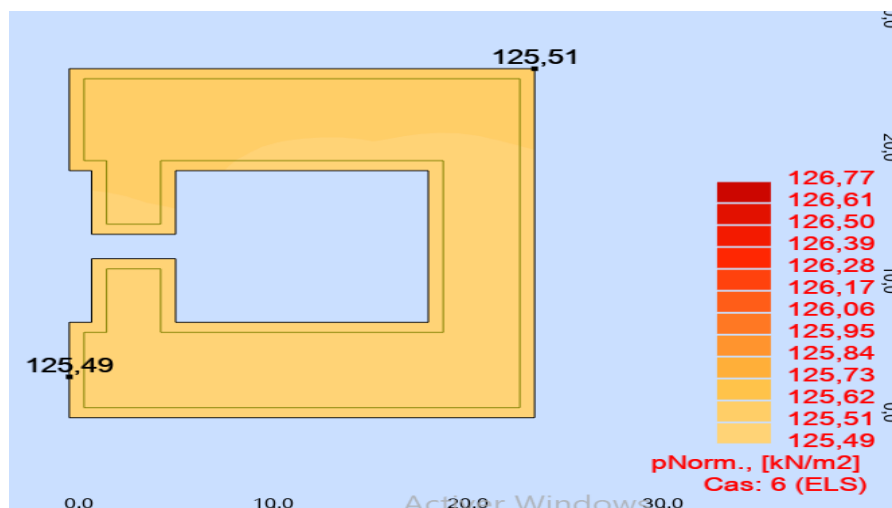


Figure 52: Cartographie de contrainte du radier sur le sol à l'ELU 2024

$$\sigma_{sol} = 5 \text{ Mpa} ; 1,5\sigma_{sol} = 7,5 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_m = \frac{3\sigma_{max}}{4} = \frac{3 \times 1,83}{4} = 1,37 < 7,5 \text{ MPA}$$



Cartographie de contrainte du radier sur le sol à l'ELS 2024

$$\sigma_m = \frac{3\sigma_{max}}{4} = \frac{3 \times 1,26}{4} = 0,95 < 7,5 \text{ MPA}$$

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOL+RDC+15ETAGE

5.6. Calcul du ferrailage du radier

$M < 0$ tend les fibres inférieures

Tableau 57: Récapitulatif moments M_{xx} 2024

Niveau	ELU		ELS		ACC	
	Appui	Travée	Appui	Travée	Appui	Travée
Radier	663,08	-820,77	457,19	-786,80	640,00	-424,73

Tableau 58: Récapitulatif moments M_{yy} 2024

Niveau	ELU		ELS		ACC	
	Appui	Travée	Appui	Travée	Appui	Travée
Radier	664,99	-800,00	456,78	-983,49	880,00	-131,71

5.7. Calcul des armatures

Le calcul se fera en flexion simple. Les résultats figurent dans le tableau suivant avec ROBOT2023 et les dimensions suivantes :

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$h = 100 \text{ cm}$$

$$\text{enrobage} = 10 \text{ cm}$$

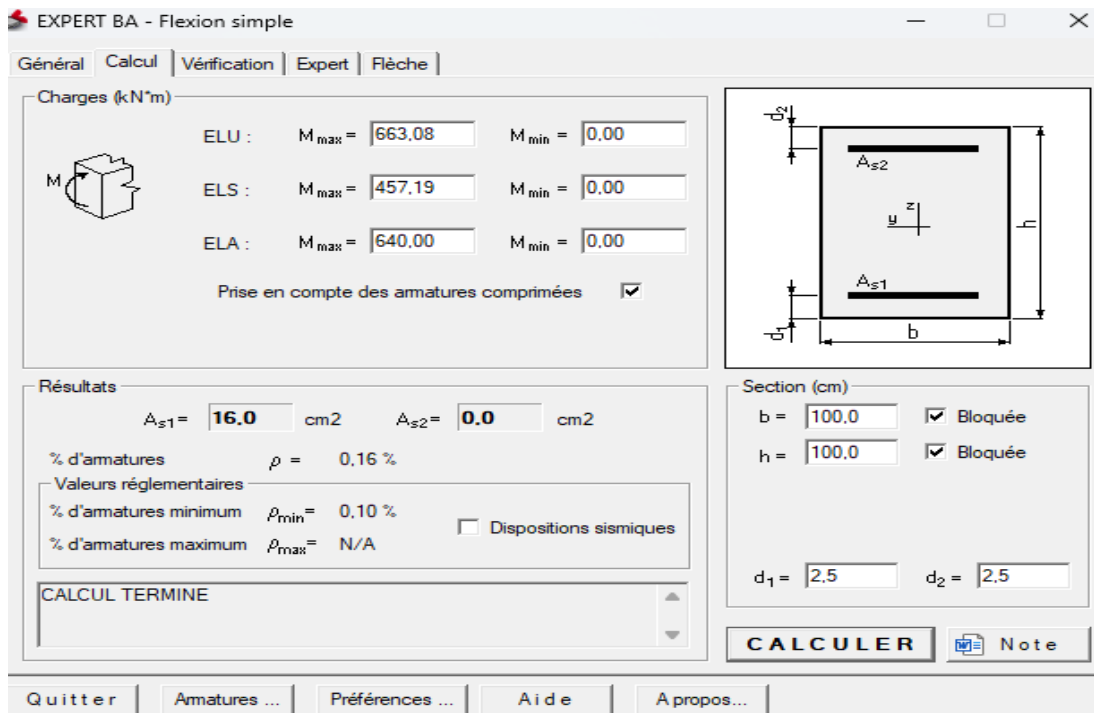


Figure 53: Ferrailage Appuis selon X-X 2024

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

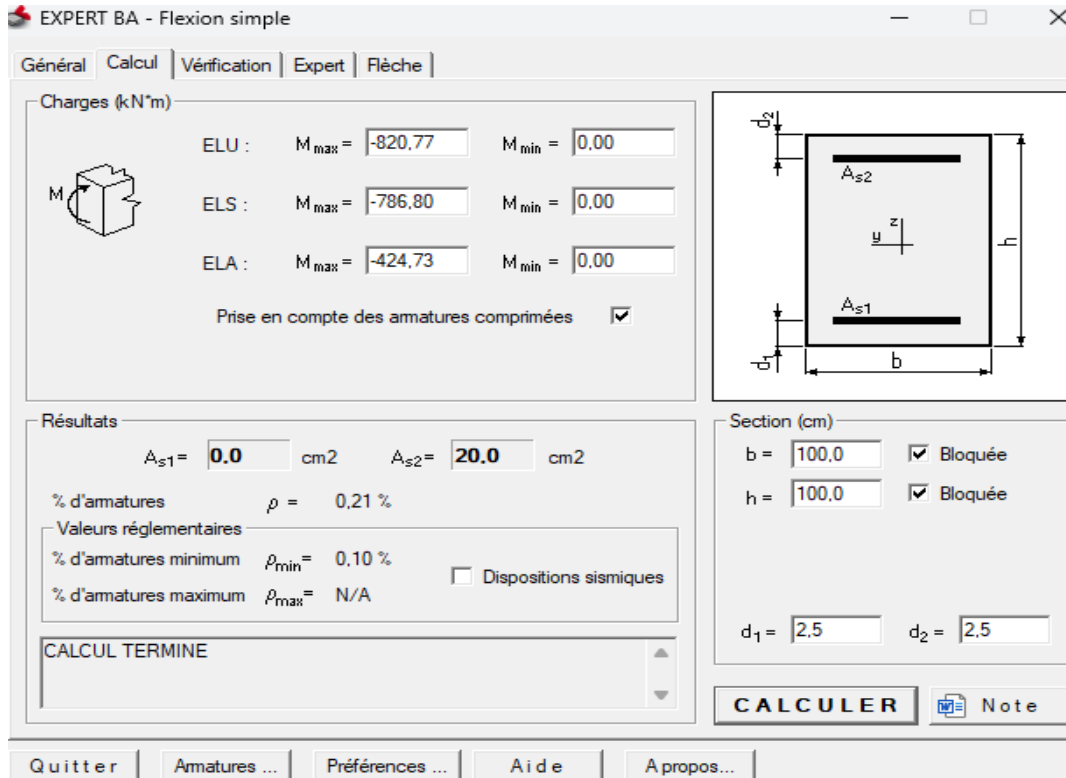


Figure 54: Ferrailage Travée selon X-X 2024

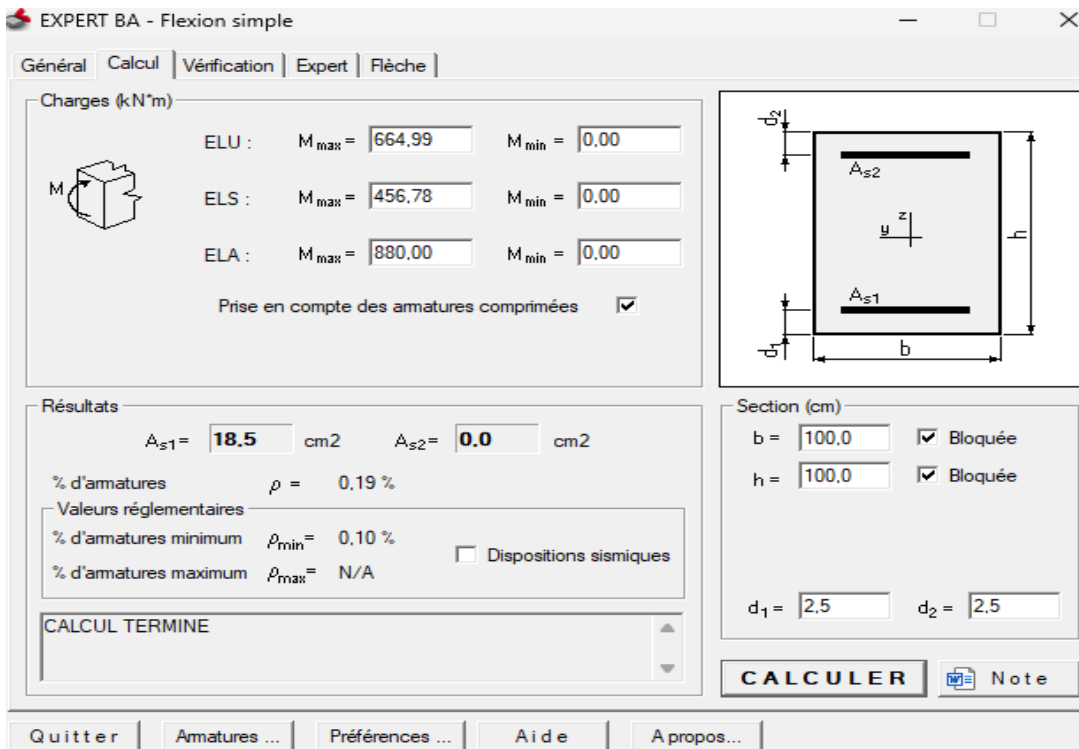


Figure 55: Ferrailage Appuis selon Y-Y 2024

CHAPITRE 2 : ETUDE DE BATIMENT SOUS SOL+RDC+15ETAGE

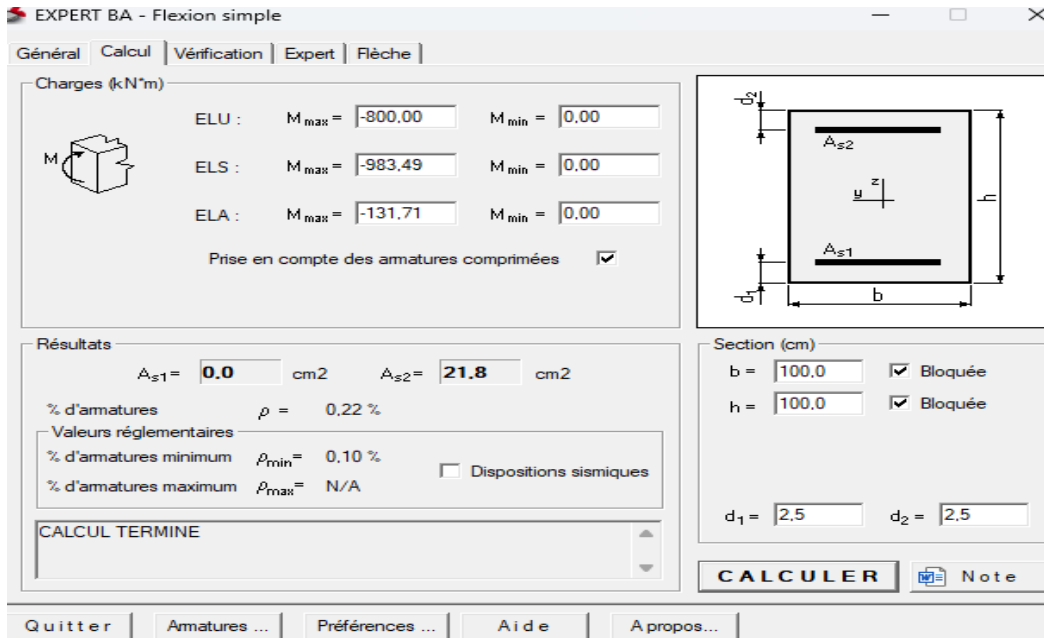


Figure 56: Ferrailage Travée selon Y-Y 2024

Tableau 59: Choix des armatures de radier 2024

		Acalc	Choix	A
Sens-X	Appui	16	8HA16	16,08
	Travée	20	7HA20	21,99
Sens-Y	Appui	18,5	10HA16	20,11
	Travée	21,8	7HA20	21,99

Condition de non fragilité

$$A_{min} = 0,23 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{tj}}{F_e} = 0,23 \times 100 \times 100 \times \frac{2,1}{500} = 9,66 \text{ cm}^2$$

- **ELS**

Nous devons vérifier :

$$\sigma_s \leq \bar{\sigma} = 201,63 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_b \leq \bar{\sigma}_b = 15 \text{ Mpa}$$

Tableau 60: Vérification à l'ELS 2024

		A	σ_s	σ_b	Vérification
Sens-X	Appui	16,08	29,6	4,7	C.V.
	Travée	21,99	165,0	2,3	C.V.
Sens-Y	Appui	20,11	26,2	4,4	C.V.
	Travée	21,99	165,0	1,9	C.V.

Les armatures calculées à l'ELU restent maintenues.

5.8. Dessin de ferrailage

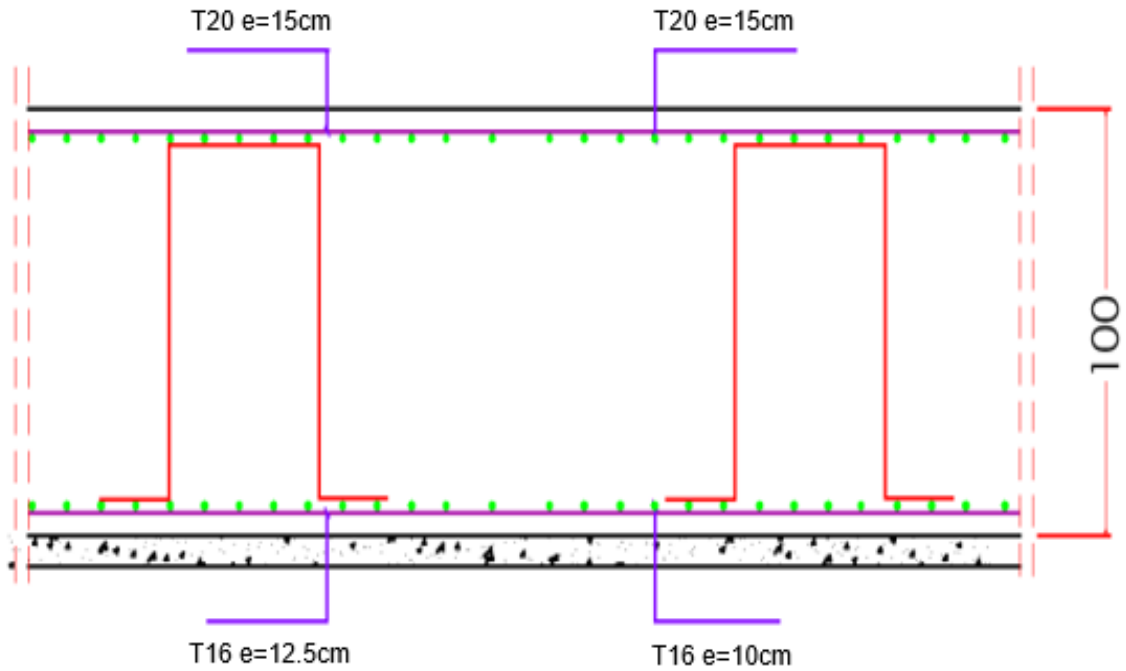


Figure 57: Ferrailage de radier

CHAPITRE N°3 : ETUDE DE COUT

Introduction

L'étude de coût permet d'estimer les dépenses nécessaires à la réalisation d'un projet de construction. Le logiciel **CYPE**, notamment à travers son module **Arquimedes**, facilite cette tâche en automatisant le métré, la gestion des prix, et la génération de devis. Il offre ainsi une estimation fiable, rapide et détaillée, essentielle pour une bonne planification budgétaire.

1. Etude de prix

Dans le processus de planification et de réalisation d'un projet, l'étude de prix est une étape essentielle. Elle vise en première position à estimer et évaluer les prix de vente hors taxe des ouvrages élémentaires en prenant en compte divers facteurs notamment la matière première, la main d'œuvre, le matériel,... puis à en déduire le prix de vente total des travaux hors taxes et toutes taxes comprises.

Elle permet de :

- Etablir un budget réaliste pour le projet ;
- Eviter les dépassements budgétaires et prendre des mesures correctives si nécessaire.
- Evaluer différentes options et choisir les solutions les plus adaptées aux besoins du projet.
- S'assurer que les prix proposés sont raisonnables et compétitifs lors des appels d'offres.

Nous avons utilisé le logiciel CYPE dont on va détailler la manière de procéder à l'aide d'images.

1.1. Etapes à suivre

1.1.1. Base de données

Il faut d'abord créer une base de données des prix, pour cela ouvrir le logiciel puis aller à l'onglet **CYPEPROJE**

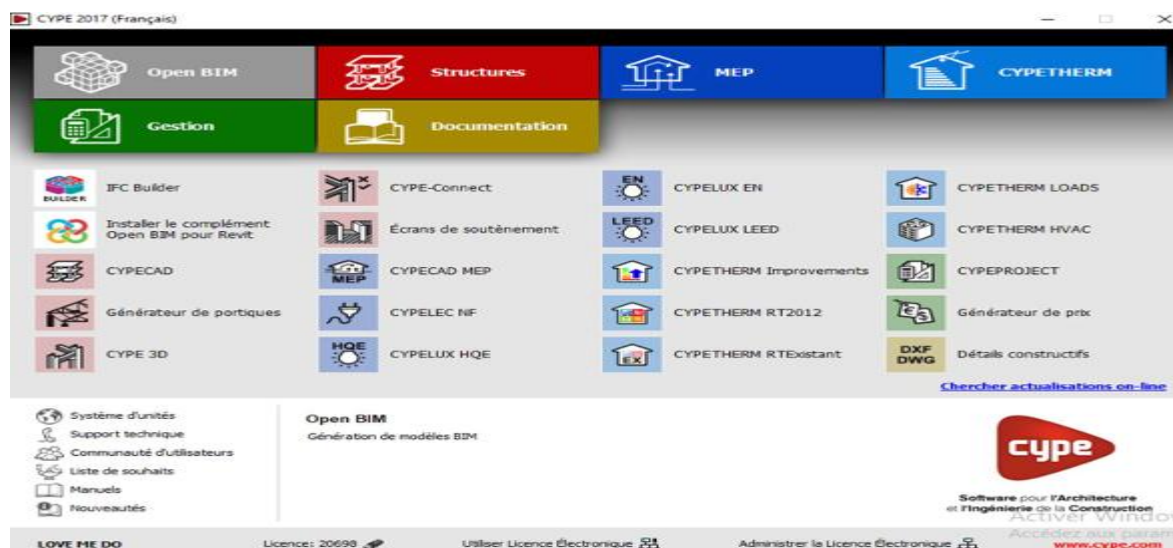


Figure 58: accueil du logiciel CYPE

Créer un nouveau projet, nous aurons une fenêtre affichée, il faudra cocher « budget » et accepter.

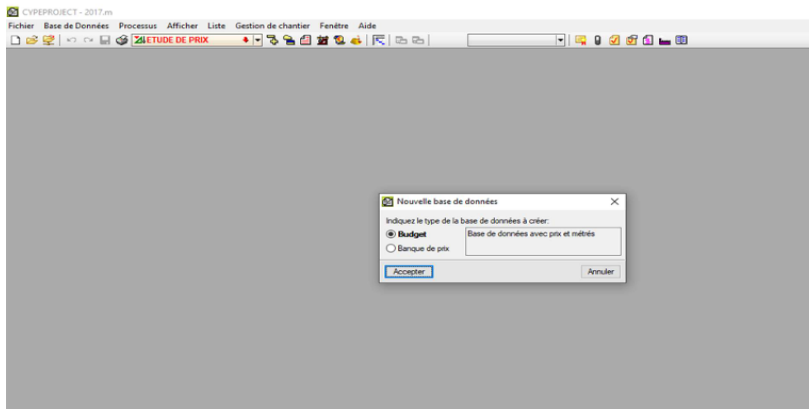


Figure 59: base de données 1

Ici on utilise le générateur de prix et saisit les informations du projet (construction neuve, Algérie)

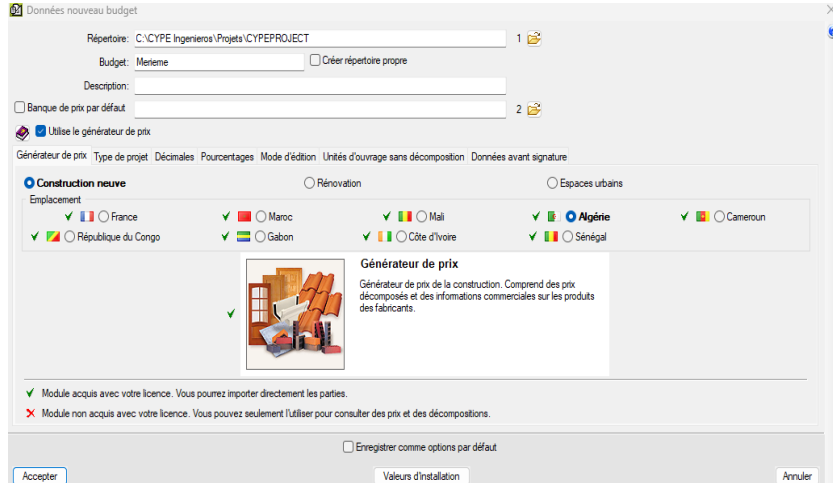


Figure 60: générateur de prix

Pour le type de projet, on coche de « promotion privée »

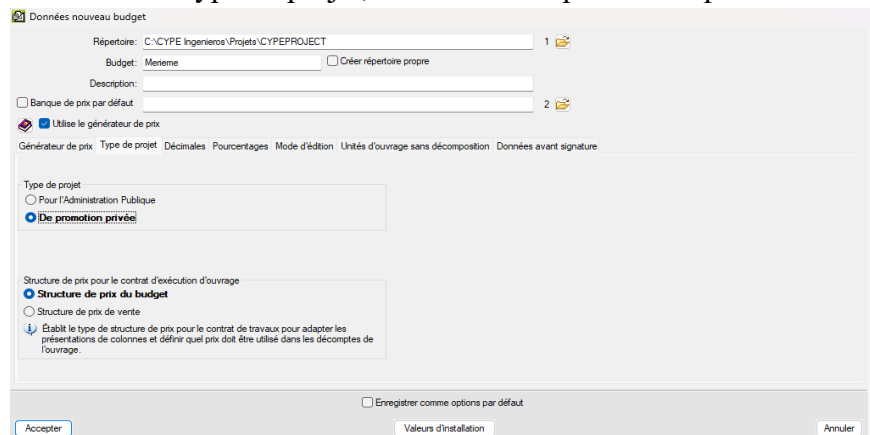


Figure 61: type de projet

Pour les décimales, nous allons arrondir à deux chiffres après la virgule.

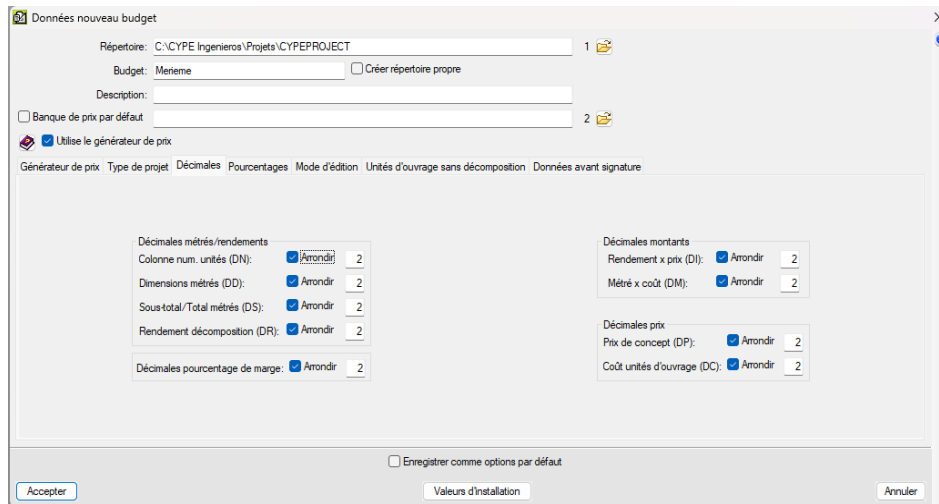


Figure 62: décimales

Nous n'allons pas considérer les couts indirects pour le moment, les pourcentages sont donc pris nuls.

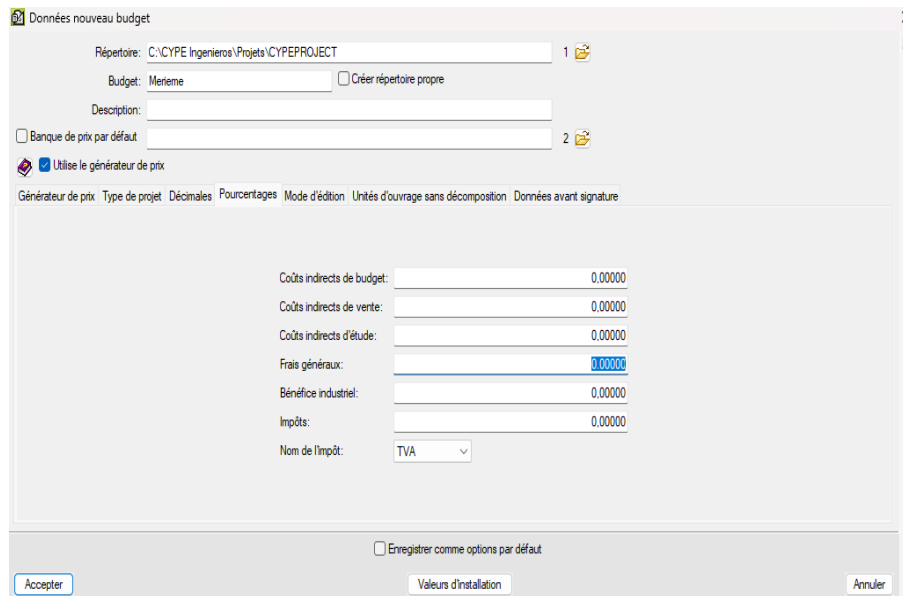


Figure 63: pourcentages

Il faut choisir le lieu d'implantation du projet (Oran pour notre cas).

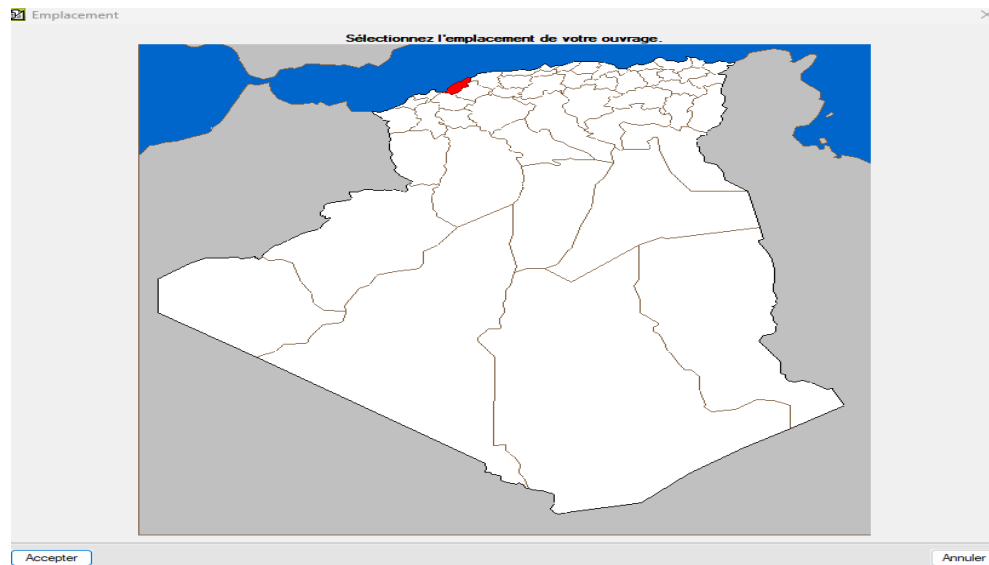


Figure 64: emplacement du projet

Les informations supplémentaires du projet seront renseignées à savoir le nombre d'étages, leur surfaces,...

Générateur de prix. Dernière actualisation: Avril 2017. Configuration

Emplacement:

L'un des objectifs principaux du Générateur de prix est d'offrir le coût le plus juste possible d'une partie de l'ouvrage. Dans cette fenêtre, vous devrez choisir les paramètres qui se rapprochent le plus des caractéristiques de votre ouvrage. Plus ce choix se rapproche de la réalité de votre ouvrage, plus les prix générés seront proches de ceux du marché.
Toutes les possibilités disponibles pour chaque paramètre possèdent une aide (bouton '?' en haut à droite de la fenêtre) dans laquelle sont indiquées des caractéristiques objectives qui vous permettront de classer correctement votre ouvrage.

Surface totale construite	<input type="text" value="850.00 m²"/>	Nombre de niveaux hors sol	<input type="text" value="16"/>
Surface du niveau type	<input type="text" value="500.00 m²"/>	Nombre de niveaux en sous-sol	<input type="text" value="1"/>

Accessibilité

Très bonne

Bonne

Normale

Difficulté moyenne

Difficulté élevée

Topographie

Plate

Avec dénivelés minimaux

Avec dénivelés marqués

Accidentée

Très accidentée

Marché

En hausse

Croissance modérée

Croissance soutenue (normale)

Récession modérée

Récession marquée (crise)

Type de projet

Logement individuel

Maisons en bande

Bâtiment collectif

Autres utilisations

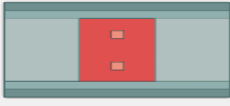
Situation

Mitoyenne

En biseau

Isolée

Géométrie du niveau



Distance à la décharge autorisée

Coefficients constants et variables dans la décomposition d'une unité d'ouvrage

Dans la décomposition d'une partie d'ouvrage, il existe des coefficients constants et d'autres variables. Le prix de la main d'oeuvre est fixé par convention et ne dépend que de la zone géographique. Dans une même partie, la quantité des matériaux ne dépend d'aucun des coefficients présents dans cette fenêtre. Les autres valeurs de la décomposition (rendement et prix de main d'oeuvre et de machinerie) dépendent des paramètres

Figure 65: Informations supplémentaires

On renseigne ici les données supplémentaires voire les documents à générer et la disposition de l'arbre des différentes étapes.

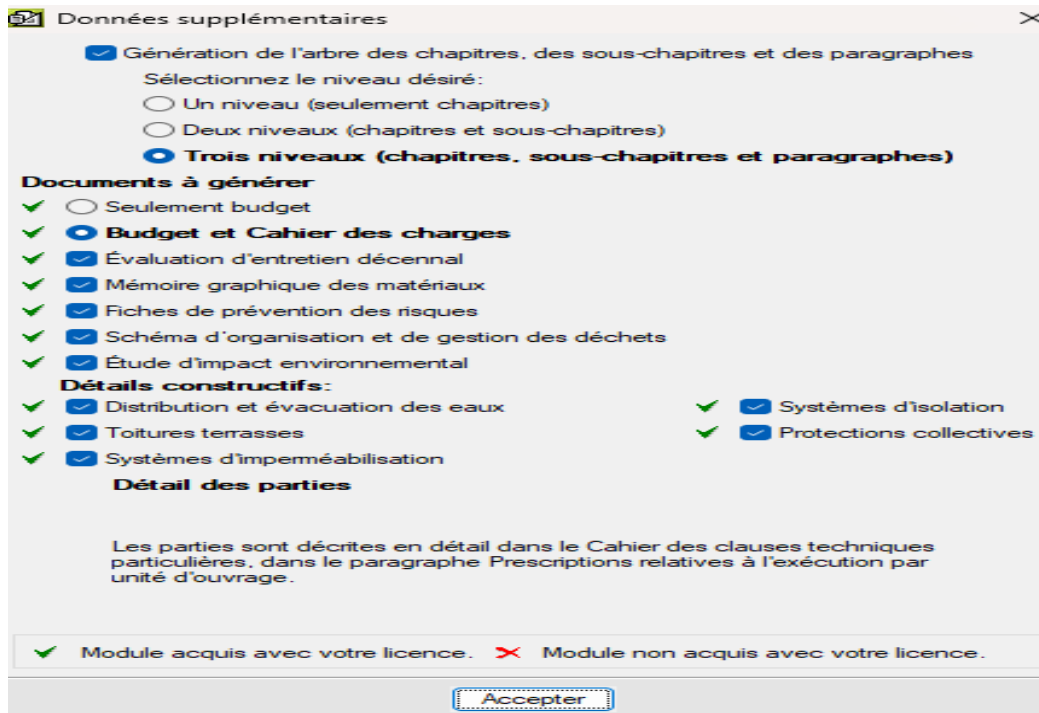


Figure 66: données supplémentaires

En cliquant sur accepter notre base de données sera créée.

Code	Ca	GD	Unité	Résumé	Quantité	Coût	Montant
MERIEME					1,00		
P				Interventions préalables	1,00		
PH				Équipements pour travaux en hauteur	1,00		
PHT				Grues à tour	1,00		
PHE				Échafaudages	1,00		
PHP				Plateformes élévatrices	1,00		
PO				Protections temporaires	1,00		
POT				Trottoirs et bordures	1,00		

Description

Notes

Figure 67: base de données

1.1.2. Deuxième base de données

Nous allons créer encore un nouveau projet mais cette fois-ci on décoche « utilise le générateur de prix » puis on reprend les mêmes étapes. Cela va nous permettre de ramener notre fichier excel qu'on a créé avec la hiérarchisation des tâches, la quantité de chacune d'elle et l'unité d'ouvrage.

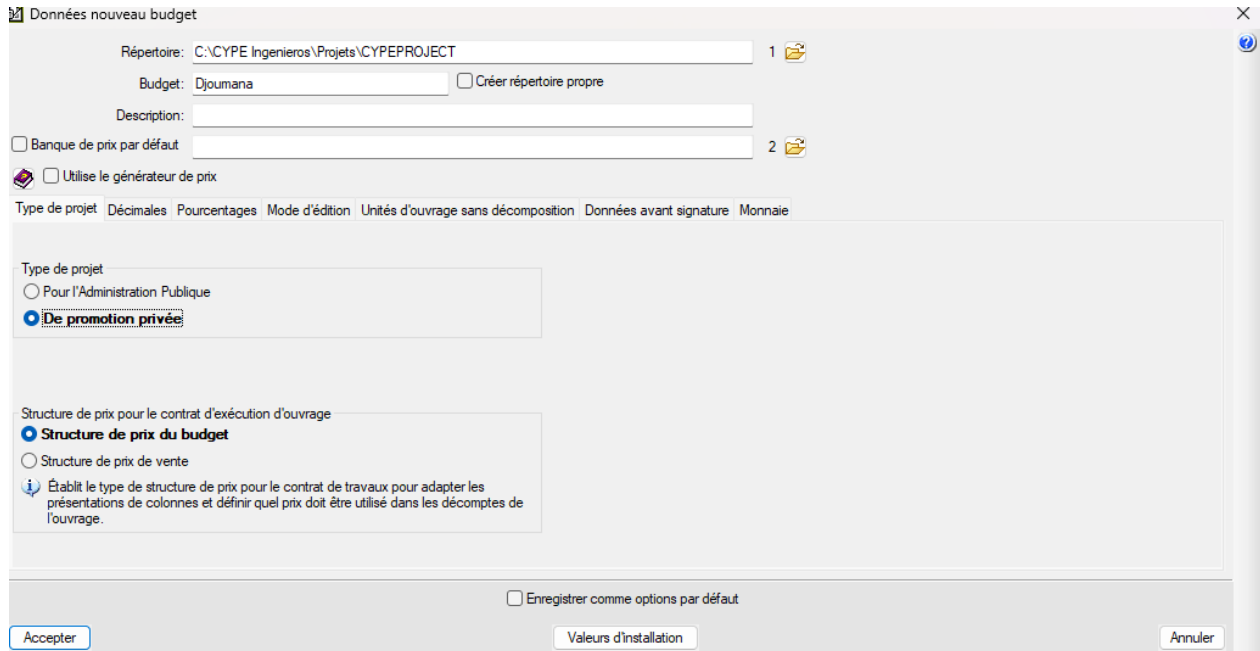


Figure 68: données nouveau budget

Code	Ca	GD	Unité	Résumé	Quantité	Coût	Montant
DJOUMANA					1,00		

Code	Ca	GD	Unité	Résumé	Quantité	Coût	Montant
MERIEME					1,00		
P				Interventions préalables	1,00		
PH				Équipements pour travaux en hauteur	1,00		
PHT				Grues à tour	1,00		
PHE				Échafaudages	1,00		
PHP				Plateformes élévatrices	1,00		
PO				Protections temporaires	1,00		
POT				Trottoirs et bordures	1,00		

Figure 69: base de données 2

La base de données créée, il faut sélectionner et copier le tableau excel. Revenir ensuite dans CYPE et faire clic droit dans la ligne puis sélectionner « importer depuis un format CSV ».

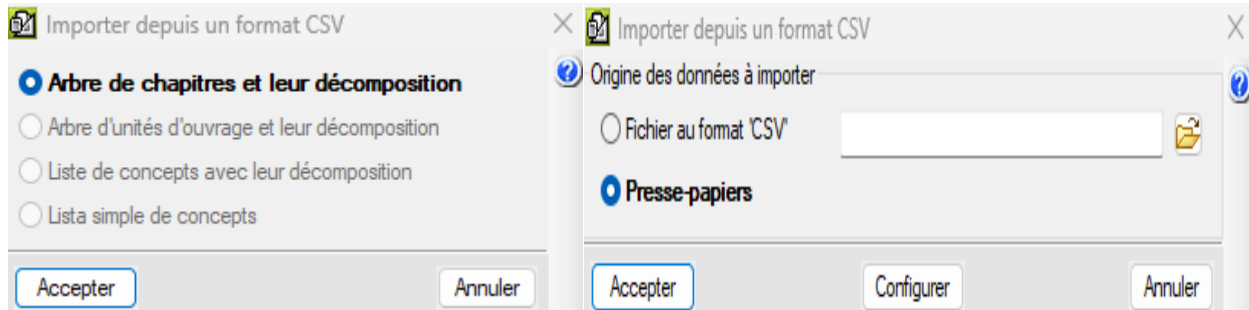


Figure 70: importation du fichier excel

Pour les différents éléments nous allons définir les caractéristiques dont on a besoin.

Béton de propreté

Aller sur la première base qu'on a créée et double clic sur béton de propreté puis accepter.

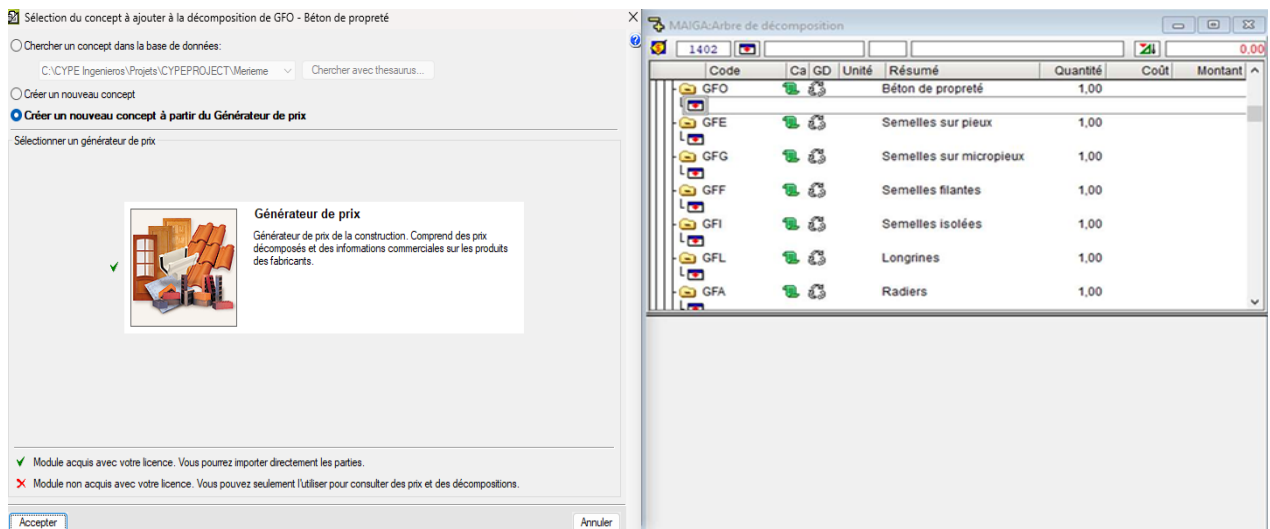


Figure 71: caractéristiques des unités d'ouvrage

Pour le béton de propreté : béton prêt à l'emploi, coulé à la pompe de résistance B16, avec du gravier de granulométrie 15/25 et de consistance très plastique.



Figure 72: béton de propreté

Radier

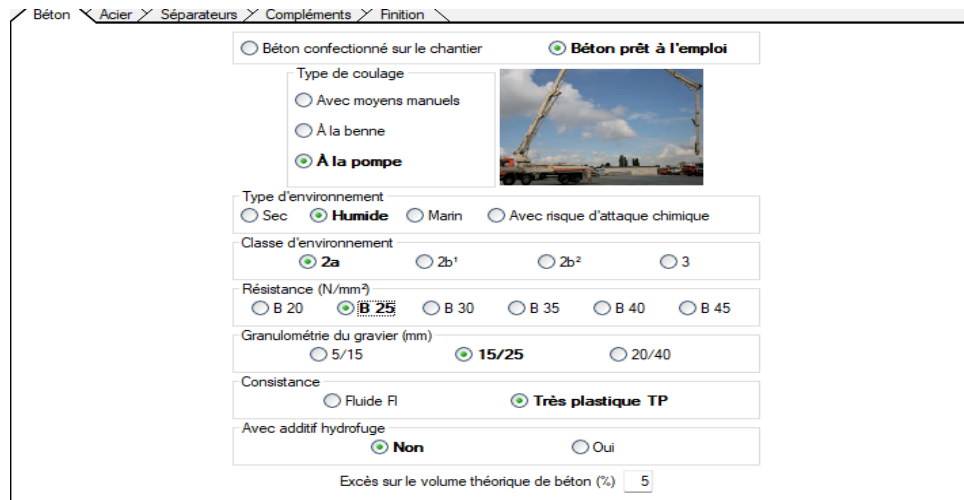


Figure 73: béton pour radier



Figure 74: acier pour le radier



Figure 75: coffrage pour le radier Finition pour le radier



Figure 76: Finition pour le radier

1.1.2.1. Dalle pleine



Figure 77: épaisseur et hauteur pour la dalle

Dalle pleine

Dalle Béton Acier Treillis soudé Séparateurs Coffrage Séchage

Béton confectionné sur le chantier **Béton prêt à l'emploi**

Type de coulage

Avec moyens manuels À la benne **À la pompe**

Type d'environnement

Sec **Humide** Marin Avec risque d'attaque chimique

Classe d'environnement

2a 2b¹ 2b² 3

Résistance (N/mm²)

B 20 **B 25** B 30 B 35 B 40 B 45

Granulométrie du gravier (mm)

5/15 **15/25**

Consistance

Fluide FI **Très plastique TP** Plastique P

Avec additif hydrofuge

Non Oui

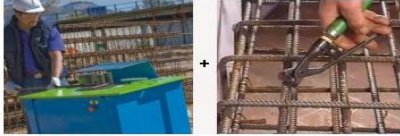
Excès sur le volume théorique de béton (%)

Figure 78: béton pour dalle pleine


Dalle Béton Acier Treillis soudé Séparateurs Coffrage Séchage

Dalle
Quantité d'acier (kg/m²) 21.00

Ferrailage de l'armature et pose
 Ferrailage de l'armature (coupe, façonnage et assemblage des éléments) sur le post ferrailage en chantier et pose en coffrage sur site



Type d'acier
 Fe E 500
 Fe E 400



Épointages et chutes d'acier (%) 5

Figure 79: Caractéristiques ferrailage de la dalle

Dalle Béton Acier Treillis soudé Séparateurs Coffrage Séchage

Finition du béton sur la face inférieure de la dalle
 À revêtir
 Avec plaques en EPS
 Visible à texture lisse

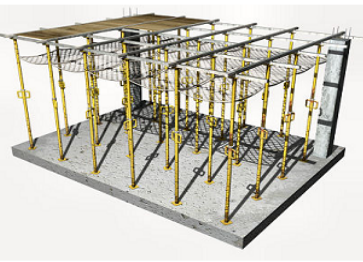
Système de coffrage
Surface coffrante
 Panneaux en bois traité, renforcés avec des tiges et des profilés



Nombre d'utilisations 25

Structure support horizontale
 Poutrelles métalliques et accessoires de montage

Nombre d'utilisations 150

Structure support verticale
Étais
 Nombre d'étais (U/m²) 4.0
 Nombre d'utilisations 150




Décoffrant


 Agent démolant pour coffrages métalliques, phénoliques ou en bois

Rendement (l/m²) 0.030

Figure 80: coffrage dalle pleine

Escalier




Épaisseur de la dalle (cm) 16

Béton Acier Séparateurs Coffrage

Béton confectionné sur le chantier **Béton prêt à l'emploi**

Type de coulage
 Avec moyens manuels
 À la benne



Type d'environnement
 Sec **Humide** Marin Avec risque d'attaque chimique

Classe d'environnement
 2a 2b¹ 2b² 3

Résistance (N/mm²)
 B 20 **B 25** B 30 B 35 B 40 B 45

Granulométrie du gravier (mm)
 5/15 **15/25**

Consistance
 Plastique P

Avec additif hydrofuge
 Non Oui

Excès sur le volume théorique de béton (%) 5


Figure 81: béton pour les escaliers

Béton Acier Séparateurs Coffrage

Quantité d'acier (kg/m²) 18,000

Ferrillage de l'armature et pose


Ferrillage de l'armature (coupe, façonnage et assemblage des éléments) sur le post ferrillage en chantier et pose en coffrage sur site



Type d'acier

Fe E 500

Fe E 400



Épointages et chutes d'acier (%) 5

Figure 82: acier pour les escaliers

Béton Acier Séparateurs Coffrage

Avec système de coffrage

Hauteur sous plafond

Jusqu'à 3 m Entre 3 et 4 m Entre 4 et 5 m

Poutre

Type

Plate En retombée



Position

Droite Inclinée



Système de coffrage

Surface coffrante

Panneaux en bois traité, renforcés avec des tiges et des profilés

Nombre d'utilisations 25

Structure support horizontale

Poutrelles métalliques et accessoires de montage

Nombre d'utilisations 150

Structure support verticale

Étais

Nombre d'étais (U/m²) 4,0

Nombre d'utilisations 150



Décoffrant



Figure 83: coffrage des escaliers

2. Etude de coût

Les résultats de l'étude de coutde notre projet figurent dans le tableau ci-dessous.

Tableau 61: étude de coût 2003

Ouvrage merieme											
Budget										% C.I.	0
Code	Type	Unité	Résumé							Prix (DA)	Montant (DA)
SADEK	Chapitre									225 039 118,11	225 039 118,11
1.1	Chapitre		Infrastructure							66 122 076,19	66 122 076,19
1.1.1	U	m3	Béton de propreté d'une épaisseur de 10 cm dosé à 150 Kg CPJ/M3 exécuté pour les ouvrages en fondation conformément aux plans d'exécution y compris coffrage en bois ou métallique et toutes sujétions de bonne exécution						44,70	10 502,51	469 462,20
1.1.2	Chapitre		Béton armé dosé à 350 Kg CPJ/M3 y compris coffrage bois ou métallique, ferrailage, étalement, mise en œuvre, pervibration, décoffrage dans les délais et toutes sujétions pour ouvrages en fondation application de Flin kot en deux couches croisées sur tous Éléé							64 434 875,66	64 434 875,66
1.1.2.1	U	m3	a- pour Radier						494,80	47 900,19	23 701 014,01
1.1.2.2	U	m3	d- Verticaux						823,20	48 954,65	40 299 467,88
1.1.2.3	U	m3	e- Escalier						7,27	59 751,55	434 393,77
			1.1.2							64 434 875,66	64 434 875,66
1.1.2.4	U	m2	Dalle						25,80	47 199,16	1 217 738,33
			1.1							66 122 076,19	66 122 076,19
1.2	Chapitre		Superstructure							158 917 041,92	158 917 041,92
1.2.1	Chapitre		RDC au4 -ème étage							65 175 215,33	65 175 215,33
1.2.1.1	U	m3	Verticaux						823,00	49 004,51	40 330 711,73
1.2.1.2	U	m3	Poutre						94,25	47 870,63	4 511 806,88
1.2.1.3	U	m3	Dalle pleine						391,65	47 199,16	18 485 551,01
1.2.1.4	U	m3	Escalier						36,65	50 399,61	1 847 145,71
			1.2.1							65 175 215,33	65 175 215,33
1.2.2	Chapitre		5 -ème étage au 10 -ème étage							52 399 083,33	52 399 083,33
1.2.2.1	U	m3	Verticaux						514,08	43 941,71	22 589 554,28
1.2.2.2	U	m3	Poutre						113,10	47 870,63	5 414 168,25

CHAPITRE 3 :ETUDE DE COUT

1.2.2.3	Unité d'ouvrage	m3	dalle pleine	469,98	47 229,52	22 196 929,81
1.2.2.4	U	m3	escalier	43,62	50 399,61	2 198 430,99
			1.2.2		52 399 083,33	52 399 083,33
1.2.3	Chapitre		11 ème étage au 15 ème étage		41 342 743,26	41 342 743,26
1.2.3.1	U	m3	verticaux	367,20	44 966,10	16 511 551,92
1.2.3.2	U	m3	Poutre	94,25	47 763,65	4 501 724,01
1.2.3.3	U	m3	dalle pleine	391,65	47 229,52	18 497 441,51
1.2.3.4	U	m3	escalier	36,35	50 399,61	1 832 025,82
			1.2.3		41 342 743,26	41 342 743,26
			1.2		158 917 041,92	158 917 041,92
			merieme		225 039 118,11	225 039 118,11

Tableau 62: étude de coût 2024

Ouvrage : djoumana						
Budget						% C.I. 0
Code	Type	Unit é	Résumé	Quantité	Prix (DA)	Montant (DA)
SADEK	Chapitre				260 561 100,12	260 561 100,12
1.1	Chapitre		Infrastructure		70 544 062,04	70 544 062,04
1.1.1	U	m3	Béton de propreté d'une épaisseur de 10 cm dosé à 150 Kg CPJ/M3 exécuté pour les ouvrages en fondation conformément aux plans d'exécution y compris coffrage en bois ou métallique et toutes sujétions de bonne exécution	44,70	10 502,51	469 462,20
1.1.2	Chapitre		Béton armé dosé à 350 Kg CPJ/M3 y compris coffrage bois ou métallique, ferrailage, étaieiment, mise en œuvre, pervibration, décoffrage dans les délais et toutes sujétions pour ouvrages en fondation application de Flin kot en deux couches croisées sur tous élé		68 627 924,44	68 627 924,44
1.1.2.1	U	m3	a- pour Radier	494,80	48 727,76	24 110 495,65
1.1.2.2	U	m3	d- Verticaux	823,20	53 550,82	44 083 035,02
1.1.2.3	U	m3	e- Escalier	7,27	59 751,55	434 393,77
			1.1.2		68 627 924,44	68 627 924,44

CHAPITRE 3 :ETUDE DE COUT

1.1.4	Unité d'ouvrage	m2	Dalle	25,80	56 072,69	1 446 675,40
			1.1		70 544 062,04	70 544 062,04
1.2	Chapitre		Superstructure		190 017 038,08	190 017 038,08
1.2.1	Chapitre		RDC au4 ème étage		72 655 754,07	72 655 754,07
1.2.1.1	U	m3	Verticaux	823,00	53 603,00	44 115 269,00
1.2.1.2	U	m3	Poutre	94,25	47 870,63	4 511 806,88
1.2.1.3	U	m3	Dalle pleine	391,65	56 636,11	22 181 532,48
1.2.1.4	U	m3	Escalier	36,65	50 399,61	1 847 145,71
			1.2.1		72 655 754,07	72 655 754,07
1.2.2	Chapitre		5 ème étage au 10 ème étage		72 201 860,64	72 201 860,64
1.2.2.1	U	m3	Verticaux	514,08	52 317,71	26 895 488,36
1.2.2.2	U	m3	Poutre	113,10	47 870,63	5 414 168,25
1.2.2.3	U	m3	Dalle pleine	469,98	80 202,93	37 693 773,04
1.2.2.4	U	m3	Escalier	43,62	50 399,61	2 198 430,99
			1.2.2		72 201 860,64	72 201 860,64
1.2.3	Chapitre		11 ème étage au 15 ème étage		45 159 423,37	45 159 423,37
1.2.3.1	U	m3	Verticaux	367,20	45 294,80	16 632 250,56
1.2.3.2	U	m3	Poutre	94,25	47 763,65	4 501 724,01
1.2.3.3	U	m3	Dalle pleine	391,65	56 666,47	22 193 422,98
1.2.3.4	U	m3	Escalier	36,35	50 399,61	1 832 025,82
			1.2.3		45 159 423,37	45 159 423,37
			1.2		190 017 038,08	190 017 038,08
			djoumana		260 561 100,12	260 561 100,12

Ce graphique montre les changements de ration ferailage selon RPA2003 et RPA2024 de la dalle et voile et poutre

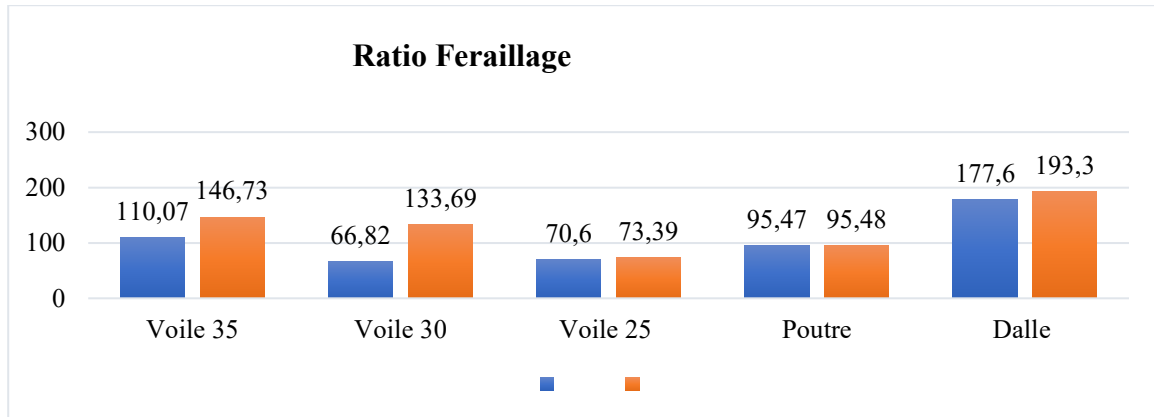


Figure 84: Diagramme Ratio

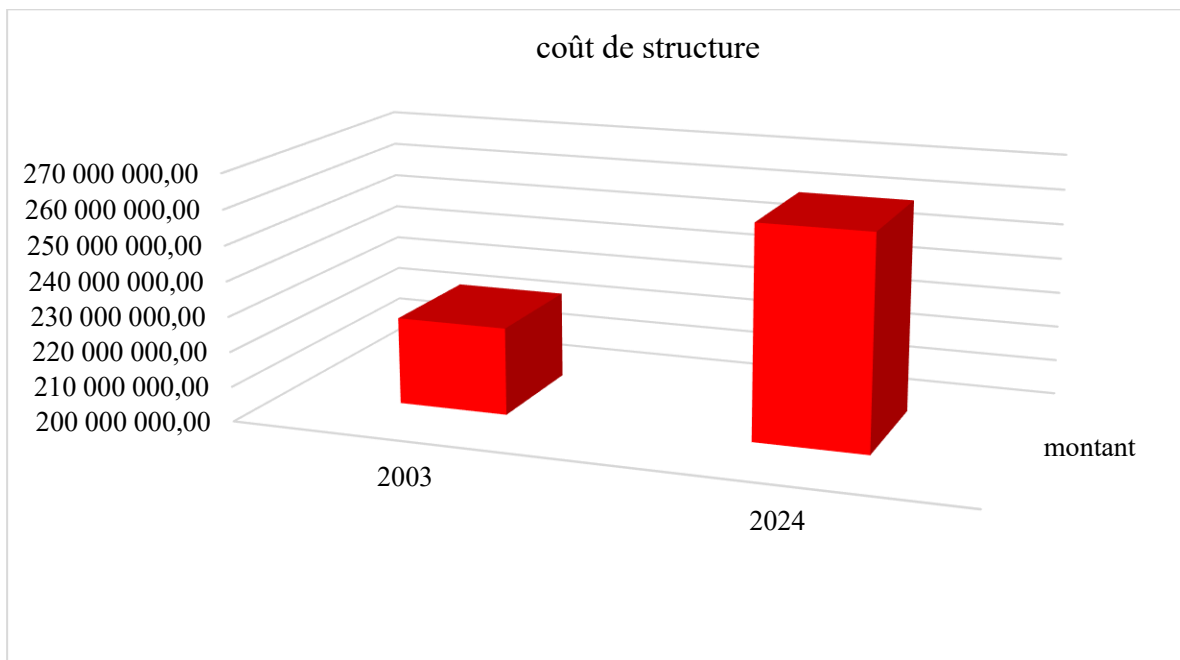


Figure 85: coût de structure

Conclusion général

À travers cette étude comparative entre le RPA 2003 et le RPA 2024, appliquée à un bâtiment de grande hauteur composé d'un sous-sol, d'un rez-de-chaussée et de 15 étages, nous avons pu mettre en évidence les évolutions majeures qu'a connues la réglementation parasismique en Algérie.

Le RPA 2024 marque une avancée significative tant sur le plan technique que méthodologique, en intégrant des approches plus modernes, des exigences plus rigoureuses en matière de sécurité, ainsi qu'une meilleure prise en compte du comportement réel des structures sous sollicitations sismiques. Comparativement au RPA 2003, il se distingue par une révision des coefficients d'importance, des méthodes de modélisation plus détaillées, et une attention accrue portée à la ductilité et à la dissipation d'énergie.

L'étude de cas réalisée a permis d'illustrer concrètement l'impact de ces changements sur la conception et le dimensionnement d'un bâtiment réel. Les résultats obtenus montrent que l'application du RPA 2024 conduit à une meilleure performance sismique, bien qu'elle impose parfois des contraintes supplémentaires en termes de conception, de coûts et d'exigences techniques. En somme, cette évolution réglementaire reflète la volonté des autorités et des experts algériens de renforcer la résilience du parc bâti face au risque sismique, dans un contexte où la sécurité des populations demeure une priorité absolue. Il devient alors indispensable pour les ingénieurs, architectes et bureaux d'études de s'adapter à ces nouvelles exigences, en intégrant les normes du RPA 2024 dès la phase de conception.

Cette étude ouvre également la voie à de futurs travaux portant sur la mise en œuvre effective du nouveau règlement, son impact sur les pratiques du génie civil en Algérie, et les retours d'expérience issus de projets réalisés sous ce nouveau cadre normatif.

3. Annexe:



Figure 86: Plan de façade

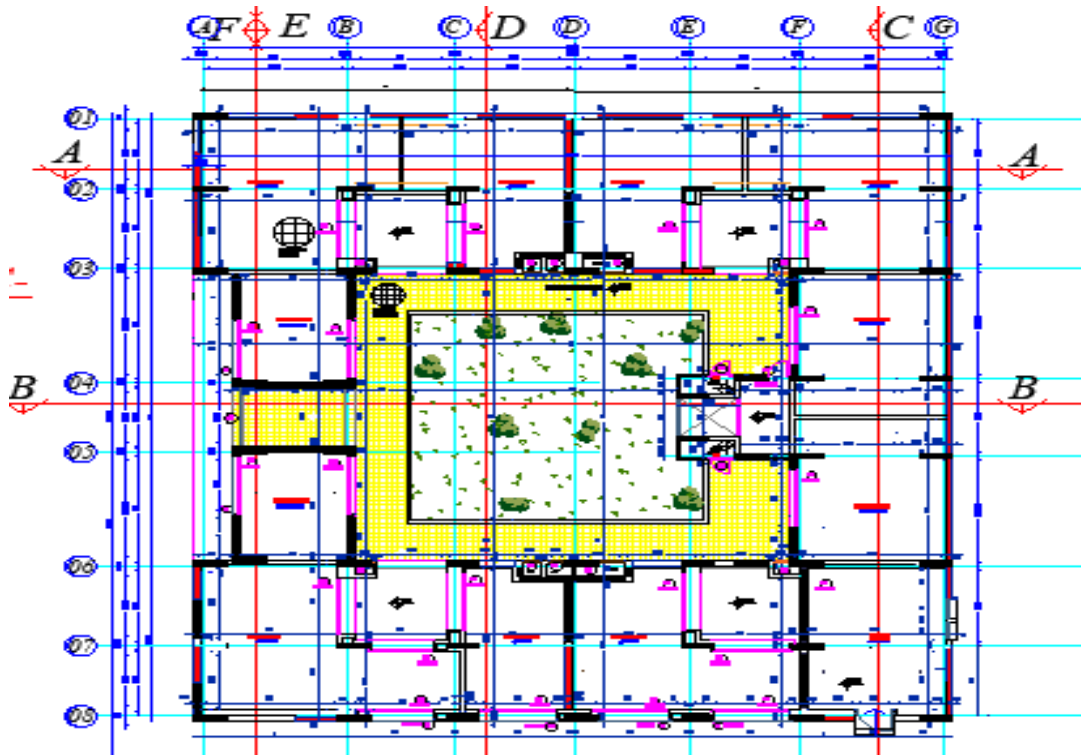


Figure 87: Plan sous-sol

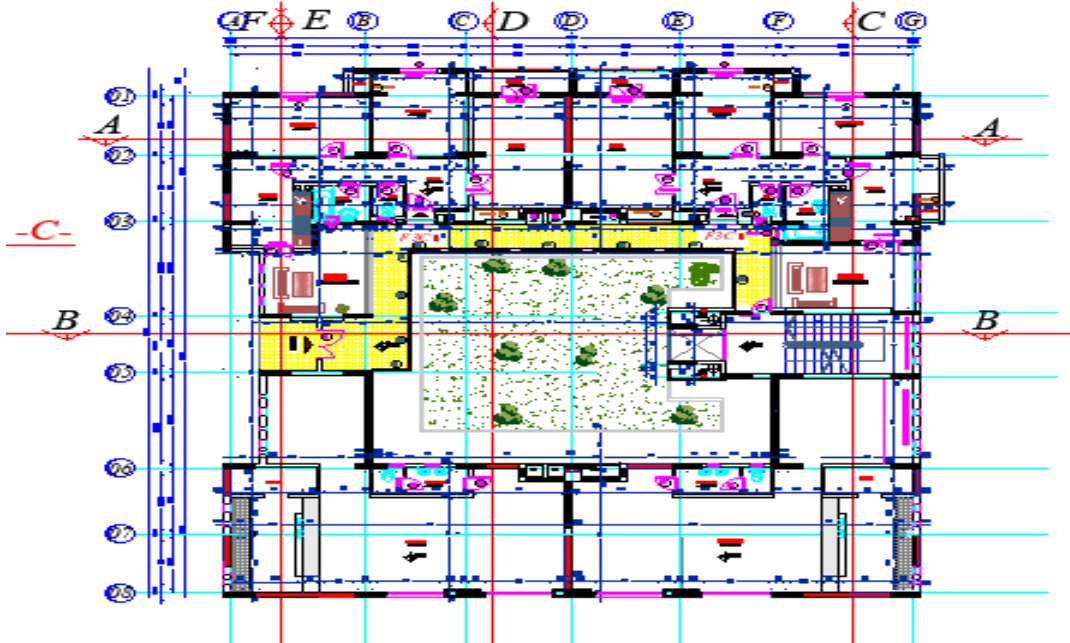


Figure 88: Plan RDC

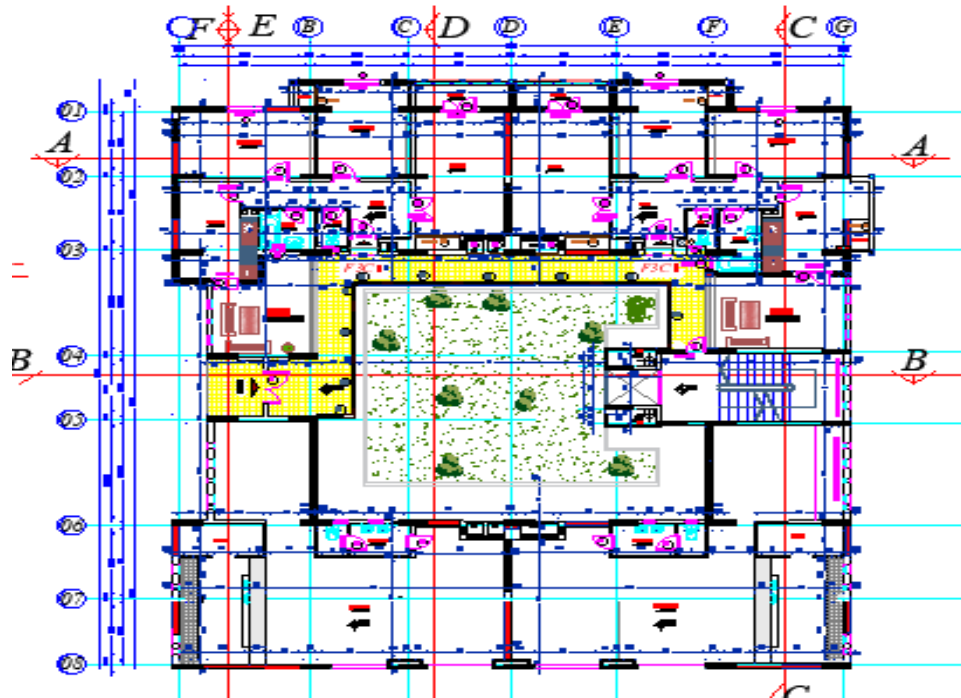


Figure 89: Plan des étage courant

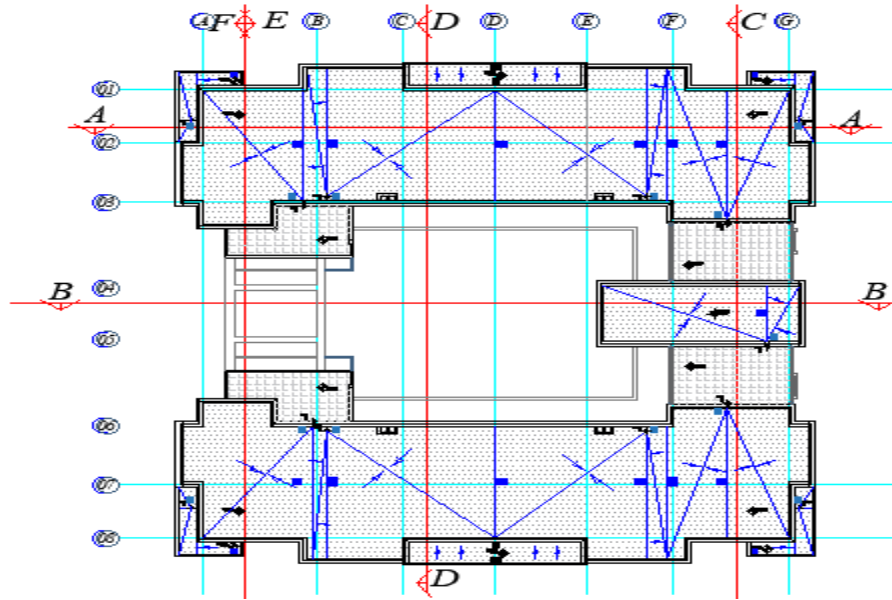


Figure 90:Plan de toiture

Tableau 63: Zonage sismique selon RPA2024

La zone	Wilaya
0	ADRAR – TAMANRASSET – OUARGLA – ILLIZI – TINDOUF - EL OUED - TIMIMOUN - BORJ BADJI MOKHTAR - BENI ABBES - IN SALAH - IN GUEZZAM – DJANET - EL MENIAA.
I	LAGHOUAT – BECHAR – TIARET – DJELFA - SAÏDA - SIDI BEL ABBES - EL BAYADH - EL OUED - GHARDAÏA – NAAMA - TOUGGOURT-EL M’GHAIR.
II	LAGHOUAT – OUMELBOUAGHI – BATNA – BISKRA – TEBESSA – TLEMCEN – TIARET - DJELFA – SAÏDA - SIDI BEL ABBES – MEDEA - M’SILA - EL BAYADH – TISSEMSILT - EL OUED – KHENCHELA – NAAMA - OULEDDJELLAL.
III	OUMELBOUAGHI – BATNA – BISKRA – TEBESSA – TLEMCEN – TIARET – DJELFA - SIDI BEL ABBES – MEDEA - M’SILA – MASCARA – TISSEMSILT – KHENCHELA – SOUKAHRAS.
IV	OUMELBOUAGHI – TLEMCEN - TIZI OUZOU – JIJEL – SETIF – SKIKDA - SIDI BEL ABBES - ANNABA-MEDEA-M’SILA-MASCARA-BORDJBOUARRERIDJ-BOUMERDES-EL TARF-TISSEMSILT – SOUKAHRAS – MILA - AÏN DEFLA - AIN TEMOUCHENT – RELIZANE.
V	CHLEF – BEJAÏA – BOUIRA - TIZI OUZOU - JIJEL – SETIF – SKIKDA – GUELMA - CONSTANTINE – MEDEA – MOSTAGANEM – MASCARA – ORAN – BORDJBOUARRERIDJ - BOUMERDES - EL TARF – SOUKAHRAS – MILA - AÏN DEFLA - AIN TEMOUCHENT - RELIZANE.
VI	CHLEF – BEJAÏA – BLIDA – BOUIRA – ALGER – JIJEL – SETIF – MOSTAGANEM – MASCARA – ORAN – BOUMERDES – TIPAZA - AÏN DEFLA – RELIZANE.

Tableau 64: Zonage sismique selon RPA2024

La zone	Wilaya
0	ADRAR – BECHAR – TAMENRASSET - OUARGLA – ILLIZI – TINDOUF - EL OUED – GHARDAIA.
I	LAGHOUAT - OUM EL BOUAGHI – BATNA – BISKRA – TEBESSA – TLEMCCEN – TIARET – DJELFA - SAIDA - SIDI BEL - ABBES – MEDEA - M’SILA – MASCARA - EL BAYADH – KHENCHELA - SOUK AHRAS – NAAMA.
IIa	CHLEF – BEJAIA – BOUIRA - TIZI-OUZOU – JIJEL – SETIF – SKIKDA - ANNABA - GUELMA – CONSTANTINE - MEDEA - MOSTAGANEM - M’SILA – MASCARA – ORAN - BORDJ BOU ARRERIDJ – BOUMERDES - EL TARF – TISSEMSILT – MILA - AIN DEFLA - AIN TEMOUCHENT – RELIZANE.
IIb	CHLEF – BLIDA - TIZI-OUZOU – MEDEA – MOSTAGANEM – BOUMERDES - AIN DEFLA - RELIZANE.
III	CHLEF - BLIDA – ALGER – MOSTAGANEM – BOUMERDES – TIPAZA - AIN DEFLA - RELIZANE.

Référance

[1]: <https://www.lemagit.fe>

[2]: Règlement parasismique algérienne RPA99/Version 2003

[3]: Règlement parasismique algérienne RPA2024

[4]: **CBA93**

[5]: MAIGA Fatoumata Agassoumane, *Etude technique et technico-commerciale d'un bâtiment en "RDC+18 étages+03 sous-sols et un étage mezzanine" avec un système de contreventement "murs porteurs"* Mémoire de fin d'études Master Structures. Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, 2023

[6]: MEKHERBECHE Mohamed et MOHAMED BENKOIBICHE Noureddine, *Etude Comparative Technique Et Technico-Commercial D'une Structure En Béton Arme Et Autre En Charpente Métallique* Mémoire de fin d'études Master Structures. Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, 2024

