



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
Republique Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement supérieure et de la recherche scientifique  
جامعة عبد الحميد ابن باديس مرندعلم  
Université Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
قسم الهنسة المدنية  
Département Génie Civil



N° d'ordre : M ...../GC/2025

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE  
MASTER ACADEMIQUE**

**Filière :** Génie civil

**Spécialité :** Structures

*Thème*

**Etude d'une tour RDC + 10 étages + sous-sol  
avec planchers en dalle pleine et voiles porteurs**

**Présenté par :**

Bedreddine Loubna Nesrine

**Soutenu le 24/06/2025 devant le jury composé de :**

- **Président :** Mr. Maliki Mustapha Pr UMAB
- **Examineur :** Mr. Sadki Nizar M.A.A UMAB
- **Encadrant :** Mr. Belhouari Fethi M.C.A UMAB

**Année Universitaire : 2024/2025**

## *Dédicaces*

À tous ceux qui sont chers, ceux à qui je dois mon succès :

À notre « Seigneur, Dieu tout puissant », merci dieu de m'avoir donné la vie, la foi, les prières exaucées pour m'y arriver.

À celui qui voyait dans mon plus simple succès la plus grande réalisation, à l'homme qui a fait de moi ce que je suis aujourd'hui car il est **mon Père**, celui dans les yeux duquel je vois la fierté de moi, mon model de respect et d'amour d'un père, de la compréhension et de la générosité. Grace à toi j'ai appris à être la fille qui ne cesse pas de faire tout pour te rendre heureux et fier.

À celle dont ses paroles m'accompagnent depuis que j'étais petite, la première Femme Forte, courageuse qui a souffert sans nous laisser souffrir, celle qui m'a appris à être une fille forte et qui cherche toujours à achever ses objectifs à tout prix, celle qui m'a encouragé à poursuivre mes rêves même les obstacles semblaient insurmontables. Mon ange gardien ton amour et ta présence dans ma vie et le fait d'être **ma Mère** continueront d'éclairer mon chemin.

À ma soeur, mon épaule solide, celle qui m'a apporté le véritable sens de fraternité et les moments de bonheur, mes pensées les plus profondes s'adressent aussi à toi **Nihed**.

À mon frère **Yacine**, dont l'absence ne diminue en rien l'affection que je lui porte. Que ces pages trouvent un écho jusqu'à toi.

À mes chers témoins des étapes de ma vie, dans mon succès, joie, tristesse, mes chers âme sœurs, **Rima, Ferhanez, Atika, Louisa et Fatima** je n'oublierai jamais vos encouragements permanents et soutiens moraux, votre présence dans mon cœur est un trésor précieux.

À mes amies que j'ai rencontré tout au long mon cursus universitaire et qui m'ont toujours aidés **Lina et Ouafae** vous êtes les meilleurs..

À toute personne formidable que je connaisse, Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux allégués, et le fruit de votre soutien infaillible

Enfin je dédie ce travail à moi-même, c'est le temps D'y être !

## **Remerciements**

Mes remerciements à ALLAH le plus puissant qui m'a donné la force, le courage et la volonté pour mener à bien ce modeste travail de fin d'étude.

Je souhaite exprimer ma sincère gratitude à toutes les personnes qui m'ont soutenu durant ce projet de fin d'études.

Mes remerciements à mon encadrant, Mr. BELHOUARI Fethi, pour son accompagnement et ses conseils éclairés. Son expertise a été essentiels pour m'orienter tout au long de ce travail.

Je suis également très reconnaissante envers les membres du jury qui ont pris le temps d'évaluer mon travail. Leur expertise a enrichi ma présentation de manière significative.

Un grand merci à tous les enseignants du département de Génie Civil. Mr Mehala et Mr Bahar. Leur passion pour l'enseignement, la qualité de leurs cours et leur disponibilité ont été fondamentales pour ma formation académique.

Enfin, j'exprime ma reconnaissance à ma famille, mes amis, mes proches et mes camarades de promotion pour leur soutien indéfectible pendant cette période intense.

## Résumé

Le projet étudié présente une étude technique de réalisation d'un bâtiment de forme régulière à usage d'habitation, constitué d'un R+10 avec un sous-sols. Il est implanté dans la wilaya de Mostaganem, classée en zone sismique (V) sismicité élevée selon le RPA2024. La résistance de la structure aux charges horizontales et verticales est assurée par un système de voiles porteurs. Le dimensionnement et le calcul du ferrailage de tous les éléments résistants ont été établis conformément aux règlements algériens en vigueur (RPA2024 et CBA93).

L'analyse dynamique de la structure a été réalisée à l'aide du logiciel "Robot Structural Analysis Professionnel 2024". L'étude de l'infrastructure du bâtiment a abouti à une fondation de type Radier général suite à l'importance des charges transmis au sol d'assise.

**Mots clés :** analyse dynamique, béton armé, radier, voiles de contreventement.

## ملخص

المشروع المدروس يقدم دراسة تقنية لإنجاز مبنى سكني ذي شكل منتظم، يتكون من طابق أرضي زائد عشرة طوابق (R+10) مع طابق سفلي. يقع المبنى في ولاية مستغانم، المصنفة كمنطقة زلزالية ذات نشاط زلزالي مرتفع وفقاً لـ (الضوابط الجرائية المضادة للزلازل). يتم ضمان مقاومة الهيكل للأحمال الأفقية والعمودية بواسطة نظام الجدران الخرسانية. وقد تم تحديد أبعاد وحساب تسليح جميع العناصر المقاومة وفقاً للوائح الجرائية المعمول بها.

تم إجراء التحليل الديناميكي للهيكل باستخدام برنامج " Robot Structural Analysis Professional 2024 ". وقد أسفرت دراسة البنية التحتية للمبنى عن اختيار أساس من نوع "راديي عام"، وذلك نظراً لأهمية الأحمال المنقولة إلى تربة التأسيس.

**الكلمات المفتاحية:** التحليل الديناميكي خرسانة مسلحة أعمدة عوارض جدران مسلحة.

## **Abstract**

The studied project involves a technical design for a regular-shaped residential building, comprising a ground floor plus ten stories (RDC+10) and a basement. It's located in the Wilaya of Mostaganem, classified as seismic zone with high seismicity according to the RPA2024. The structure's resistance to horizontal and vertical loads is ensured by a shear wall system. The dimensioning and reinforcement calculations for all load-bearing elements were carried out in accordance with current Algerian regulations. The dynamic analysis of the structure was performed using "Robot Structural Analysis Professional 2024" software. The study of the building's infrastructure led to the adoption of a general raft foundation due to the significant loads transmitted to the bearing soil.

Key words: dynamic study, reinforced concrete, Raft foundation, beams, bracing sails

# SOMMAIRE

Introduction générale.....	.....
<b>Chapitre I – Présentation du projet</b>	
I.1.Introduction.....	2
I.2. Présentation de l’ouvrage.....	2
I.3 Caractéristiques géométriques.....	2
I.3.1 Dimensions en plan.....	2
I.3.2 Dimensions en élévation.....	2
I.4 Caractéristiques géométriques du sol .....	2
I.5. Description technique de la structure .....	3
I.5.1 Plancher.....	3
I.5.2 Escalier.....	3
I.5.3 Maçonnerie.....	3
I.5.4 Acrotère.....	3
I.6 Caractéristiques mécanique des matériaux.....	3
I.6.1 Béton.....	4
I.6.2 Acier.....	5
I.7 Logiciels utilisés.....	5
I.8 Règlements utilisés.....	5
I.9 Matériaux utilisés.....	6
I.10 Conclusion .....	6
<b>Chapitre II – Prédimensionnement</b>	
II.1 Introduction .....	10
II.2 Prédimensionnement de la dalle pleine.....	10
II.a Condition de résistance à la flexion.....	10
II.b Condition d’isolation acoustique.....	10
II.c Condition de sécurité en matière d’incendie.....	11
II.3 Prédimensionnement des poutres .....	11
II.3.1 Vérification des conditions imposées par le RPA2024.....	12
II.4 Prédimensionnement des voiles.....	13
II.5 Prédimensionnement de l’acrotère.....	13
II.6 Prédimensionnement des escaliers.....	14
II.6.1 Nombre de marches et contre marches.....	14
II.6.2 Angle d’inclinaison.....	14
II.6.3 Longueur de volée.....	14
II.6.4 Epaisseur de la paillasse.....	15
II.6.5 Vue en plan des escaliers.....	16
II.7 Calcul des charges.....	16
II.7.1 Plancher terrasse inaccessible.....	17
II.7.2 Plancher étage courant.....	17
II.7.3 Balcon .....	18
II.7.4 Paillasse.....	19
II.7.5 Palier.....	19

### **Chapitre III – Etude des éléments secondaires**

III.1 Balcon.....	23
III.1.1 Calcul des sollicitations.....	23
III.1.2 Calcul du ferrailage.....	26
III.1.3 Dessin de ferrailage.....	27
III.2 Escalier.....	28
III.2.1 Calcul des sollicitations.....	29
III.2.2 Calcul du ferrailage.....	35
III.2.3 Dessin de ferrailage.....	37
III.3 Acrotère.....	37
III.3.1 Calcul des sollicitations.....	40
III.3.2 Dessin de ferrailage.....	40

### **Chapitre IV – Etude sismique**

IV.1 Introduction.....	42
IV.2 Modélisation de la structure.....	43
IV.3 Méthode statique équivalente .....	43
IV.3.1 Principe de la méthode.....	43
IV.3.2 Condition d'application.....	44
IV.4 Méthode analyse spectrale modale .....	44
IV.4.1 Principe de la méthode.....	44
IV.4.2 Condition d'application.....	44
IV.4.3 Domaine d'application.....	44
IV.4.3.1 Facteur de qualité.....	45
IV.4.3.2 Spectre de réponse de calcul.....	47
IV.4.3.3 calcul de la force sismique par la MSQ.....	49
IV.4.3.4 Evaluation des excentricités.....	49

### **Chapitre V – Justification de la stabilité**

V.1 Introduction.....	52
V.2 Les vérifications nécessaires.....	52
V.3 Résultante des forces sismiques de calcul.....	52
V.4 Vérification des déplacements inter-étages.....	53
V.5 Vérification de P-delta.....	55
V.5 Conclusion.....	55

### **Chapitre VI – Etude des éléments structuraux**

VI.1 Etude du plancher.....	57
VI.1.1 Les moments.....	58
VI.1.2 Le ferrailage.....	59
VI.1.3 Les vérifications.....	60
VI.1.4 Dessin de ferrailage.....	60

VI.2 Etude de la poutre.....	61
VI.2.1 Les moments.....	62
VI.2.2 Le ferrailage.....	63
VI.2.3 Les vérifications.....	64
VI.2.4 Poutre secondaire.....	64
VI.2.5 Dessin de ferrailage.....	65
VI.3 Voiles périphériques.....	65
VI.3.1 Calcul des sollicitations.....	66
VI.3.2 Calcul des moments.....	67
VI.3.3 Calcul du ferrailage.....	68
VI.3.4 Dessin de ferrailage.....	69
VI.4 Etude des voiles.....	69
VI.4.1 Le ferrailage.....	70
VI.4.2 Dessin de ferrailage.....	70

## **Chapitre VII - Fondation**

VII.1 Introduction.....	71
VII.2 Choix du type de fondation.....	71
VII.3 Le radier.....	71
VII.4 Prédimensionnement.....	73
VII.4.1 Condition de rigidité.....	73
VII.4.2 Condition forfaitaire.....	73
VII.4.3 Vérification des contraintes.....	75
VII.4.4 Vérification des contraintes de cisaillement.....	76
VII.4.5 Vérification du poinçonnement.....	76
VII.5 Calcul du ferrailage.....	76
VII.6 Calcul du débord.....	77
VII.7 Dessin de ferrailage.....	78
Conclusion générale.....	80
Référence bibliographique.....	82

## Symboles

*ELU : Etat limite ultime de résistance*

*ELS : Etat limite de service*

*G : Charge permanents*

*Q ; P : Charge d'exploitation*

*Ez : Charge sismique*

*qu : Chargement ultime*

*qs : Chargement de service*

*M : Moment fléchissant*

*Mt : Moment de flexion en travée*

*Ma : Moment de flexion en appui*

*N : Effort normal*

*T : Effort tranchant*

*f<sub>c28</sub> : Résistance caractéristique du béton à la compression à 28 jours d'âge*

*f<sub>t28</sub> : Résistance caractéristique du béton à la traction à 28 jours d'âge*

*γ<sub>s</sub> : Coefficient de sécurité pour l'acier*

*γ<sub>b</sub> : Coefficient de sécurité pour le béton*

*h : Hauteur des éléments (poteaux, poutres)*

*b : Largeur des éléments*

*σ<sub>b</sub> : Contrainte de calcul dans le béton*

*σ̄<sub>b</sub> : Contrainte admissible limite dans le béton*

*σ<sub>s</sub> : Contrainte de calcul dans l'acier*

*σ̄<sub>s</sub> : Contrainte admissible limite dans l'acier*

*τ<sub>u</sub> : Contrainte tangentielle de calcul*

*τ̄<sub>u</sub> : Contrainte tangentielle limite*

*Φ<sub>t</sub> : Diamètre des armatures*

*e : Espacement entre armatures transversales*

*A : Armatures calculées à l'ELUR*

*A<sub>s</sub> : Armatures calculées à ELS*

*L<sub>x</sub> : La plus petite dimension d'un panneau de dalle pleine*

*L<sub>y</sub> : La plus grande dimension d'un panneau de dalle pleine*

*f : Flèche due à une charge considérée (g; j; p)*

$\Delta_{ft}$  : Flèche total

$\zeta$  : Rapport entre deux dimensions

$W$  : Poids total de la structure.

$\beta$  : Coefficient de pondération.

## Liste des figures

<b>FIGURE I.1:</b> Murs intérieurs et extérieurs.....	3
<b>FIGURE I.2:</b> Plan RDC.....	7
<b>FIGURE I.3:</b> Plan étage .....	8
<b>FIGURE II.1 :</b> Dimensions de la dalle pleine.....	10
<b>FIGURE II.2:</b> Dimensions du chaînage .....	12
<b>FIGURE II.3:</b> Dimensions du chaînage noyer.....	12
<b>FIGURE II.4 :</b> Coupe d'un voile .....	13
<b>FIGURE II.5 :</b> Section transversale de l'acrotère .....	13
<b>FIGURE II.6 :</b> Vue en plan escalier 1.....	15
<b>FIGURE II.7 :</b> Vue en plan escalier 2.....	15
<b>FIGURE II.8 :</b> Vue en plan escalier 3.....	16
<b>FIGURE II.9 :</b> Coupe transversale d'un plancher terrasse inaccessible .....	16
<b>FIGURE II.10 :</b> Coupe transversale d'une dalle pleine.....	17
<b>FIGURE II.11 :</b> Coupe transversale d'un balcon .....	18
<b>FIGURE III.1 :</b> Calcul du moment fléchissant par RDM6.....	23
<b>FIGURE III.2 :</b> Calcul de l'effort tranchant par RDM6.....	24
<b>FIGURE III.3 :</b> Calcul du moment fléchissant par RDM6.....	24
<b>FIGURE III.4:</b> Calcul de l'effort tranchant par RDM6.....	25
<b>FIGURE III.5 :</b> Ferrailage du balcon....	26
<b>FIGURE III.6 :</b> Schéma statique escalier 1.....	27
<b>FIGURE III.7 :</b> Résultats de RDM6 à ELU T1.....	29
<b>FIGURE III.8 :</b> Résultats de RDM6 à ELS T1.....	29
<b>FIGURE III.9 :</b> Schéma statique escalier 2.....	32
<b>FIGURE III.10 :</b> Résultats de RDM6 à ELU T2.....	33
<b>FIGURE III.11 :</b> Résultats de RDM6 à ELS T2.....	33
<b>FIGURE III.12 :</b> Schéma statique escalier 3.....	34
<b>FIGURE III.13 :</b> Résultats de RDM6 à ELU T3.....	35
<b>FIGURE III.14 :</b> Résultats de RDM6 à ELS T3.....	35
<b>FIGURE III.15 :</b> Ferrailage des escaliers T1.....	36
<b>FIGURE III.16 :</b> Ferrailage des escaliers T2.....	36
<b>FIGURE III.17 :</b> Ferrailage des escaliers T3.....	37
<b>FIGURE III.18 :</b> Les dimensions de l'acrotère.....	37
<b>FIGURE III.19 :</b> Ferrailage de l'acrotère .....	40
<b>FIGURE IV.1 :</b> Disposition des voiles.....	42
<b>FIGURE IV.2 :</b> Modélisation de la structure.....	43
<b>FIGURE IV.3 :</b> La déformée des 3 premiers modes.....	45
<b>FIGURE VI.1 :</b> Résultats de cartographie ELU.....	57
<b>FIGURE VI.2 :</b> Résultats de cartographie ELS.....	57
<b>FIGURE VI.3 :</b> Résultats de Robot Expert sens x.....	58
<b>FIGURE VI.4 :</b> Résultats de Robot Expert sens y.....	59
<b>FIGURE VI.5 :</b> Dessin de ferrailage de la dalle pour 1ml.....	60

<b>FIGURE VI.6</b> : Résultats de cartographie ELU.....	61
<b>FIGURE VI.7</b> : Résultats de cartographie ELS.....	61
<b>FIGURE VI.8</b> : Ferrailage en travée.....	62
<b>FIGURE VI.9</b> : Ferrailage en appui.....	63
<b>FIGURE VI.10</b> : Dessin de ferrailage PP.....	64
<b>FIGURE VI.11</b> : Dessin de ferrailage PS.....	65
<b>FIGURE VI.12</b> : Résultats de Robot Expert sens x.....	67
<b>FIGURE VI.13</b> : Résultats de Robot Expert sens y.....	68
<b>FIGURE VI.14</b> : Dessin de ferrailage des voiles périphériques pour 1ml.....	69
<b>FIGURE VI.15</b> : Résultats de cartographie.....	69
<b>FIGURE VI.16</b> : Dessin de ferrailage des voiles pour 1ml.....	70
<b>FIGURE VII.1</b> : Cartographie du contrainte du sol à l'ELU.....	74
<b>FIGURE VII.2</b> : Cartographie du contrainte du sol à l'ELS.....	75
<b>FIGURE VII.3</b> Cartographie du contrainte du sol ACC.....	75
<b>FIGURE VII.4</b> : Schéma statique du débord.....	77
<b>FIGURE VII.5</b> : Dessin de ferrailage du radier.....	78

## Liste des tableaux

<b>TABLEAU I.1:</b> caractéristiques des matériaux utilisés .....	5
<b>TABLEAU II.1 :</b> Prédimensionnement des voiles .....	13
<b>TABLEAU II.2 :</b> Les charges permanentes au niveau de la terrasse inaccessible .....	17
<b>TABLEAU II.3 :</b> Les charges permanentes au niveau de la dalle pleine.....	17
<b>TABLEAU II.4 :</b> Les charges permanentes au niveau du balcon.....	18
<b>TABLEAU II.5 :</b> Les charges permanentes de la paillasse.....	19
<b>TABLEAU II.6 :</b> Les charges permanentes du palier.....	19
<b>TABLEAU III.1 :</b> Les moments et efforts tranchant.....	25
<b>TABLEAU III.2 :</b> Charges des escaliers.....	27
<b>TABLEAU III.3 :</b> Les moments et efforts tranchant.....	27
<b>TABLEAU III.4 :</b> Les moments et efforts tranchant.....	32
<b>TABLEAU III.5 :</b> Les moments et efforts tranchant.....	34
<b>TABLEAU IV.1 :</b> Paramètres de calcul.....	44
<b>TABLEAU IV.2 :</b> Conditions du facteur de qualité.....	45
<b>TABLEAU IV.3 :</b> Les valeurs du coefficient d'accompagnement .....	47
<b>TABLEAU IV.4 :</b> Résultats dynamique.....	48
<b>TABLEAU IV.5 :</b> Evaluation des excentricités.....	50
<b>TABLEAU V.1 :</b> Résultante des forces sismiques.....	52
<b>TABLEAU V.2 :</b> Valeurs limites des déplacements inter-étages.....	53
<b>TABLEAU V.3 :</b> Vérifications des déplacements inter-étages.....	53
<b>TABLEAU V.4 :</b> Vérification effet du second ordre sens x-x.....	54
<b>TABLEAU V.5 :</b> Vérification effet du second ordre sens y-y.....	55
<b>TABLEAU VI .1 :</b> Les moments max de la dalle.....	58
<b>TABLEAU VI.2 :</b> Choix des armatures.....	59
<b>TABLEAU VI.3 :</b> Les moments et efforts tranchant PP.....	62
<b>TABLEAU VI.4 :</b> Choix des armatures.....	64
<b>TABLEAU VI.5 :</b> Les moments et efforts tranchant PS.....	64
<b>TABLEAU VI.6 :</b> Choix des armatures.....	64
<b>TABLEAU VI.7 :</b> Les moments en travée et en appui .....	67
<b>TABLEAU VI.8 :</b> Choix des armatures voiles périphérique.....	68
<b>TABLEAU VI.9 :</b> Choix des armatures voiles.....	68
<b>TABLEAU VII.1 :</b> Les moments en sens x-x.....	76
<b>TABLEAU VII.2 :</b> Les moments en sens y-y.....	77
<b>TABLEAU VII.3 :</b> Ferrailage du radier .....	77
<b>TABLEAU VII.4 :</b> Récapitulatif du ferrailage du débord.....	78

# **Introduction Générale**

Le génie civil est un domaine clé du développement urbain, permettant la conception et la réalisation de structures durables, sûres et adaptées aux besoins de la population. Dans ce cadre, l'étude des bâtiments d'habitation revêt une importance particulière, car elle associe des exigences techniques à des enjeux humains et sociaux.

L'Algérie, en particulier, est fortement exposée aux risques sismiques. Les récents tremblements de terre qui ont frappé le nord du pays ces trente dernières années ont malheureusement entraîné des pertes humaines considérables et des dégâts matériels importants.

Pour mieux se prémunir contre de futurs événements sismiques, il est essentiel de comprendre le phénomène des tremblements de terre et les mouvements intenses du sol qu'ils génèrent. Les ingénieurs en génie civil ont la responsabilité de concevoir des structures dotées d'une rigidité et d'une résistance suffisantes face aux effets sismiques. Leur travail doit intégrer non seulement les aspects structurels, mais aussi fonctionnels, économiques, esthétiques et la viabilité globale de l'ouvrage.

Le projet que nous allons étudier est un bâtiment Rez-de-chaussée avec dix étages (R+10) réalisé en dalle pleine et des voiles porteurs, implantée dans la wilaya de Mostaganem qui est une zone de sismicité élevée (zone V selon le RPA 2024)

La présente étude commence par une présentation du projet dans sa globalité en dressant dans un premier lieu, un état d'usage, la structure, et les matériaux composant cette structure. Le deuxième chapitre aborde le prédimensionnement de la structure, puis le troisième chapitre sera consacré à l'étude des éléments secondaires (escalier, balcon et acrotère).

L'étude dynamique de la structure a été entamée dans la quatrième et le cinquième chapitre à l'aide du logiciel de calcul Robot Structural Analysis Professional 2024 pour l'analyse du modèle de la structure en 3D, c'est l'étape la plus importante dans l'étude d'un projet.

Le sixième chapitre comprend le ferrailage des différents éléments résistants de la structure (voiles, plancher et poutres) et ceci, en tenant compte des recommandations du BAEL91 et du règlement parasismique Algériens RPA 2024 et le septième chapitre est dédié au calcul et dimensionnement de l'infrastructure pour la détermination du type de fondation qui va être adopté dans le cadre de cette étude et pour finaliser notre travail sera achevé par une conclusion générale

# CHAPITRE I

## PRESENTATION DE L'OUVRAGE

**I.1 Introduction :**

La conception d'un bâtiment en béton armé est un exercice d'ingénierie complexe qui nécessite une solide maîtrise des principes fondamentaux. Ce premier chapitre met en lumière les connaissances de base indispensables à la compréhension de l'ouvrage, en détaillant ses composants, leurs propriétés mécaniques et leur rôle dans la structure globale.

**I.2 Présentation de l'ouvrage :**

Le projet concerne la construction d'un bâtiment à usage mixte, situé à Mostaganem. Ce bâtiment comprendra un rez-de-chaussée, dix étages et un de sous-sol, dont la répartition sera détaillée ci-après.

Le sous-sol est un parking, le RDC est à usage de locaux commerciaux et les autres étages sont à usage d'habitation.

**I.3 Caractéristiques géométriques :****I.3.1 Dimensions en plan :**

Longueur totale en plan .....30.60 m

Largueur totale en plan..... 21.10m

**I.3.2 Dimensions en élévation :**

Hauteur du rez-de-chaussée..... 3.06m

Hauteur des étages courants .....3.06m

Hauteur totale du bâtiment .....36.72m

**I.4 Caractéristiques géotechniques du sol :**

- Zone sismique : élevée (V) selon le RPA 2024.
- Groupe d'usage 2.
- Type de site : meuble S3.
- La contrainte admissible du sol : 3 bars.

### I.5 Description technique de la structure :

La stabilité de notre structure face aux charges verticales sera assurée par des voiles.

#### I.5.1 Planchers :

Dans notre structure tous les niveaux seront en dalle pleine.

#### I.5.2 Escaliers :

La structure comporte trois cages d'escaliers droits.

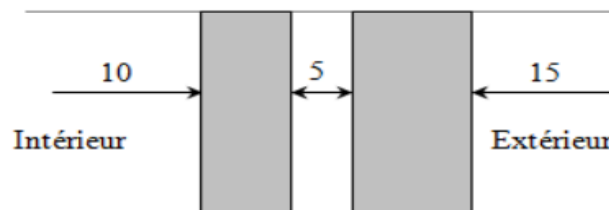
#### I.5.3 Maçonnerie :

**Murs extérieurs** : composés de deux parois séparées par une lame d'air.

- Parois extérieures en briques creuses de 15 cm d'épaisseur.
- L'âme d'air de 5 cm d'épaisseur pour l'isolation thermique et acoustique.
- Parois intérieures en briques creuses de 10 cm d'épaisseur.

**Murs intérieurs** : seront composés de murs en briques creuses de 10 cm d'épaisseur.

Les parois seront couvertes d'une couche d'enduit en mortier de ciment de 1.5 cm d'épaisseur.



**Figure I.1** : Murs intérieurs et murs extérieurs.

#### I.5.4 Acrotère :

Un muret, que l'on appelle acrotère, entoure la terrasse de notre bâtiment. Il joue un rôle essentiel dans l'étanchéité du toit plat ou à faible pente.

### I.6 Caractéristiques mécaniques des matériaux :

#### I.6.1 Béton :

Le béton est un matériau de construction composite constitué principalement de granulats (sable, gravier), d'un liant (ciment), d'eau et éventuellement d'adjuvants.

Le béton sera produit de manière mécanique selon sa composition standard, en conformité avec les normes et les réglementations en vigueur.

Ciment 350 kg / m<sup>3</sup>

Sable ⇒ 400 litres / m<sup>3</sup>

Gravier ⇒ 800 litres m<sup>3</sup>

L'eau de gâchage ⇒ 160 à 180 litres / m<sup>3</sup>

- La résistance du béton à la compression est de 25MPa ( $f_{c28} = 25\text{MPa}$ )
- La résistance béton à la traction est donnée par la formule :

$$f_{t28} = 0,6 + 0,06 f_{c28} \Rightarrow f_{t28} = 2.1$$

### I.6.2 Acier :

L'acier est un métallique composé principalement de fer et de carbone, auquel peuvent s'ajouter d'autres éléments pour améliorer ses propriétés. Il se distingue par sa résistance à la corrosion, ce qui en fait un matériau essentiel dans la construction. Les aciers utilisés sont de deux types :

- **Les aciers à hautes adhérences (HA) :** feE400 et feE500 correspondent à des limites garanties d'élasticité de 400 MPA et 500MPA respectivement.

Le module de déformation longitudinale de l'acier sera pris :  $E_s = 210000 \text{ MPa}$ . (C.B.A 93, A.2.2.1.)

### Contraintes limites :

- **Etat limite ultime (E.L.U) :**

La contrainte admissible de l'acier est définie par :

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} \leq \epsilon L \text{ (C.B.A 93 A.2.2.2).}$$

$$\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_s \rightarrow \varepsilon_s \geq \varepsilon_L$$

Avec :  $\varepsilon_s$  : Allongement relatif de l'acier, limité à 10

$f_e$  : Limite d'élasticité garantie.

$\gamma_s$  : Coefficient de sécurité.

1,15 → situation courante.

1 → situation accidentelle.

▪ **État limite de service (E.L.S) :**

Il est nécessaire de limiter l'ouverture des fissures (risque de corrosion des armatures), d'après les règles du **BAEL91**.

On distingue trois cas de fissuration :

- **Fissuration peu nuisible** : Cas des éléments situés dans les locaux couverts, dans ce cas, il n'y a pas de vérifications à effectuer.
- **Fissuration préjudiciable** :  $\sigma_s \leq \sigma_{st} = \min (2/3 f_e ; 110\sqrt{\eta f_c 28})$  MPa.
- **Fissuration très préjudiciable** :  $\sigma_s \leq \sigma_{st} = \min (0,5f_e ; 90\sqrt{\eta f_c 28})$  MPa.

Avec :  $\eta$  : Coefficient de fissuration.

$\eta = 1$  pour les ronds lisses (RL).

$\eta = 1.6$  pour les armatures à hautes adhérence (HA).

**I.7 Logiciels utilisés :**

- Robot Structural 2024.
- AutoCAD 2022.
- Office 2019.
- RDM6
- Robot expert 2010

**I.8 Règlements utilisés :**

- Règles parasismiques Algériennes : RPA 2024.
- Règles de calcul du béton armé aux états limites : BAEL 91.

- Document technique règlementaire : DTR B.C. 2.2.
- Règles d'exécution des travaux de fondations superficielles : DTR-BE 1.31.

### I.9 Matériaux utilisés :

Dans notre projet on utilise :

**Tableau I.1** : caractéristiques des matériaux utilisés

Matériaux	Poids surfacique/volumique [KN/m <sup>2</sup> ]
Sable	17-19
Gravier	17
Acier	78.5
Béton non armé	22
Béton armé	25
Ciment	18
Plâtre	10
Verre	25
Briques creuses	9
Étanchéité multicouche	6
Carrelage ou dallage collé	20
Enduit en ciment	18

### I.10 Conclusion :

Ce premier chapitre se focalise sur la présentation de la structure examinée en détaillant sa conception, sa classification et son système constructif. Par ailleurs, un aperçu a été fourni sur les matériaux qui composent le projet (béton et acier), ainsi que sur les logiciels et règlements employés dans le cadre de cette étude.

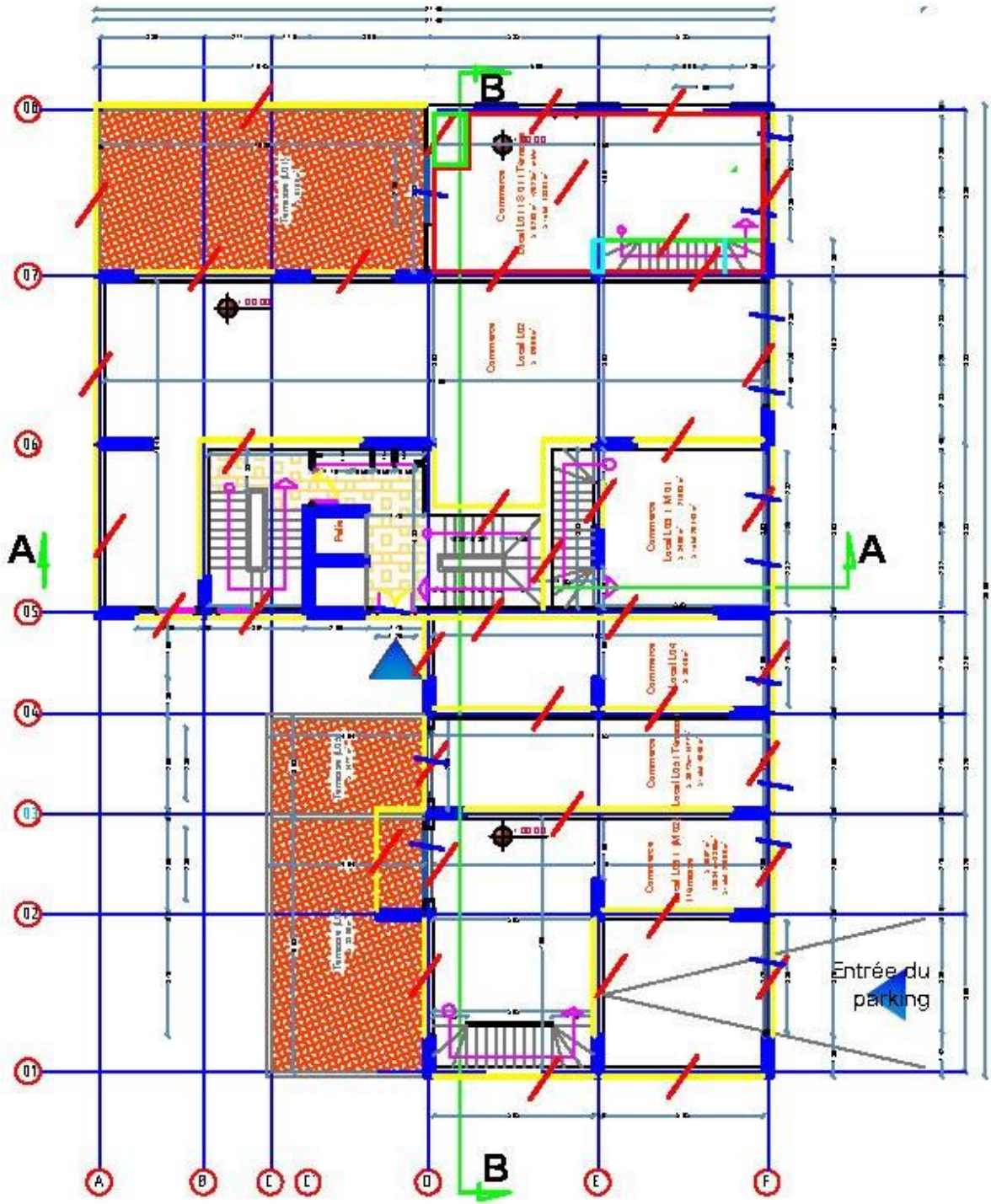


Figure I.2 : Plan RDC

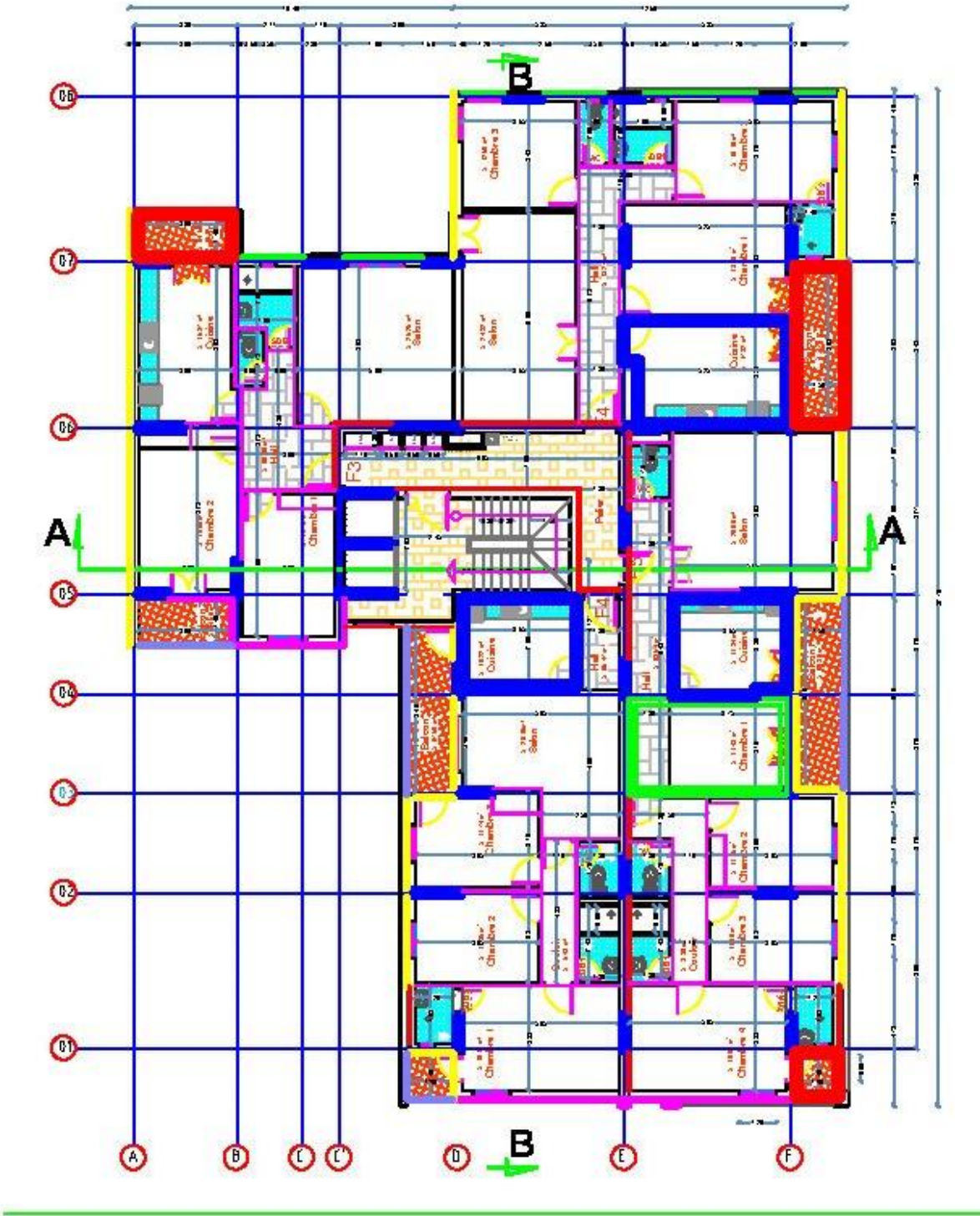


Figure I.3 : Plan de l'étage courant

# CHAPITRE II

## PRE - DIMENSIONNEMENT

## II.1 Introduction :

Le prédimensionnement constitue une phase initiale dans l'élaboration d'un projet de construction. Il s'agit d'évaluer de façon rapide et approximative les dimensions des composants structurels. Cela serait réalisé conformément aux normes techniques algériennes **BAEL.91** et **RPA 2024**.

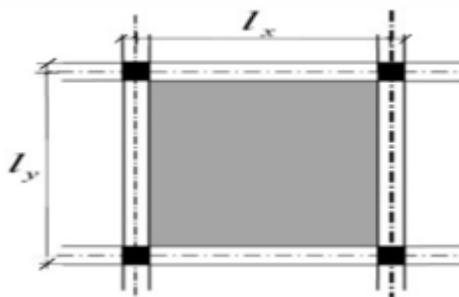
## II.2 Prédimensionnement de la dalle pleine :

Une dalle pleine est un élément de construction horizontal en béton armé, massive et uniforme, utilisée pour réaliser des planchers, des toitures terrasses ou des dalles de fondation.

### a. Condition de résistance à la flexion (BAEL) :

Pour le calcul des dalles pleines, on présente (02) cas :

- 1<sup>er</sup> cas : Dalle ne se porte que dans un seul sens si :  $\rho = \frac{L_x}{L_y} \leq 0.4$
- 2<sup>eme</sup> cas : Dalle se porte suivant deux sens si :  $0.4 \leq \rho = \frac{L_x}{L_y} \leq 1$



**Figure II.1** : dimensions de la dalle pleine.

Notre dalle travaille dans les deux sens car :  $0,4 \leq \rho = \frac{L_x}{L_y} = \frac{535}{535} \leq 1$

L'épaisseur de la dalle dans ce cas doit vérifier la condition suivante :

$$\frac{L_x}{50} = \frac{535}{50} = 10.70 \text{ cm} \leq h_{d1} \leq \frac{L_x}{40} = \frac{535}{40} = 13.37 \text{ cm}$$

On choisit  $h_{d1} = 12 \text{ cm}$

### b. Condition d'isolation acoustique :

Contre les bruits aériens :  $2500 \cdot h_d \geq 350 \text{ kg/m}^2 \Rightarrow h_{d2} = 14 \text{ cm}$

Contre les bruits impacts :  $2500 \cdot h_d \geq 400 \text{ kg/m}^2 \Rightarrow h_{d2} = 16 \text{ cm}$

**c. Condition de sécurité en matière d'incendie :**

$h_{d1} = 7 \text{ cm}$  pour 1 heure de coupe de feu.

$h_{d2} = 11 \text{ cm}$  pour 2 heures de coupe de feu.

$h_{d3} = 17,5 \text{ cm}$  pour 4 heures de coupe de feu.

Afin de répondre aux diverses conditions antérieures, nous optons pour une épaisseur de la dalle pleine qui équivaut à  $h_d = 20 \text{ cm}$ .

**II.3 Prédimensionnement des poutres :**

Pour un système voile porteur, la structure doit être entourée par une poutre périphérique.

- D'après le **RPA2024** les poutres doivent respecter les conditions ci-dessous :

$$b \geq 25 \text{ cm} ; h \geq 30 \text{ cm} ; \frac{h}{b} \leq 4 ; b_{max} \leq 1.5 h + b_1$$

- Critère de rigidité :

$$\frac{L}{15} \leq h \leq \frac{L}{10} \text{ et } 0,4h \leq b \leq 0,8h$$

Avec :

$b$  : Largeur de la poutre

$h$  : Hauteur de la poutre

$b_1$  : Largeur du poteau

$b_{max}$  : Largeur maximale de la poutre

**Pour notre structure :**

$$L_{max} = 535 \text{ cm} \Rightarrow \frac{535}{15} \leq h \leq \frac{535}{10} \Rightarrow 35.67 \text{ cm} \leq h \leq 53.5 \text{ cm}$$

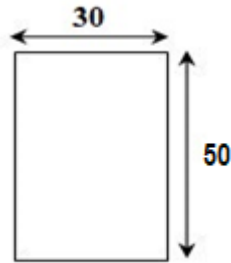
On prend :  $h = 40 \text{ cm}$  et  $b = 30 \text{ cm}$

**II.3.1 Vérification des conditions imposées par le RPA 2024 :**

$$b = 30 \text{ cm} > 25 \text{ cm} ; h = 40 \text{ cm} > 30 \text{ cm}$$

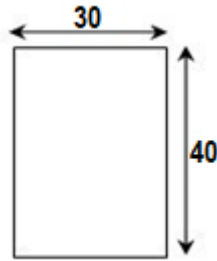
$$\frac{h}{b} = 1,33 < 4$$

Les conditions sont vérifiées. La section adoptée (Figure 2) pour la poutre principale (chainage) est (30x50) cm<sup>2</sup>.



**Figure II.2 :** dimensions du chainage.

La section adoptée (Figure 3) pour la poutre secondaire est (30x40) cm<sup>2</sup>.



**Figure II.3 :** dimensions du chainage secondaire

#### **.II.4 Prédimensionnement des voiles :**

Les voiles sont des éléments de contreventement verticaux minces et continus, faits en béton armé.

- D'après le **RPA 2024** : les voiles (Figure 4) sont considérés comme des éléments satisfaisant la condition  $L \geq 4e$ . Avec :

L : longueur de voile.

e : épaisseur du voile.

- L'épaisseur minimale est de 20 cm.

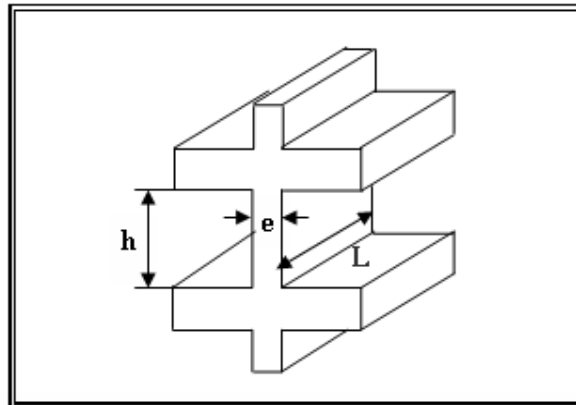


Figure II.4 : Coupe d'un voile.

La condition exigée par le **RPA 2024** :

$$a \geq \frac{h_e}{20}$$

Le prédimensionnement des voiles est donné dans le tableau suivant :

**Tableau II.1** : Prédimensionnement des voiles.

	h (cm)	h <sub>e</sub> (cm)	$\frac{h_e}{20}$ (cm)	a (cm)
<b>Etage courant</b>	306	306	15.3	40

### II.5 Prédimensionnement de l'acrotère :

Un mur d'acrotère est un muret en béton armé coulé sur place situé sur l'ensemble du périphérique de la terrasse dont la section transversale ci-dessous (Figure 5).

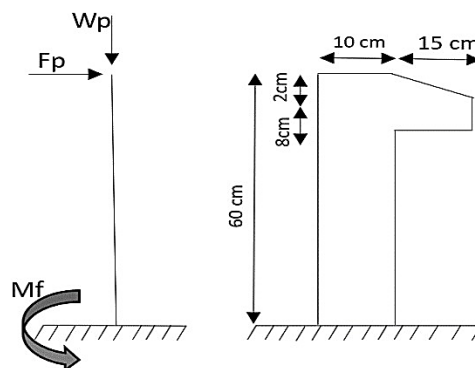


Figure II.5 : section transversale de l'acrotère.

## II.6 Prédimensionnement des escaliers :

Pour assurer la liaison entre les étages d'une construction, on utilise des escaliers, lesquels sont composés de divers éléments tels que la paillasse, les volées et les paliers...etc.

Pour assurer un escalier agréable ou à accessibilité maximum pour le public, on utilise la formule de BLONDEL.

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

h : hauteur de la marche

g : giron (largeur de la marche)

Pour les bâtiments d'habitation la hauteur idéale serait de 17cm, pour un giron entre 28cm et 30cm. On les fixe à h = 17cm et g = 30cm.

$$59\text{ cm} \leq 30 + 2 \times 17 = 64 \leq 66\text{ cm} \dots\dots\dots C.V$$

Étant donné que chaque étage présente une hauteur uniforme, nous allons nous en tenir à un calcul unique, le suivant :

### II.6.1 Nombre des marches et contre-marches :

$$N_c = \frac{H}{h} = \frac{306}{17} = 18; \quad n = \frac{N_c}{2} - 1 = \frac{18}{2} - 1 = 8$$

H : hauteur de chaque étage.

- On aura 18 contre-marches et 8 marches.

### II.6.2 Angle d'inclinaison :

$$\text{tg} \alpha = \frac{h}{g} = \frac{17}{30} \cong 0,56 \rightarrow \alpha = 29,53^\circ < 40 \dots\dots\dots C.V$$

### II.6.3 Longueur de volée :

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

### II.6.4 Epaisseur de la paillasse :

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

$$L = \sqrt{(L_v^2 + H^2)} = \sqrt{(240^2 + 153^2)} = 456,8\text{ cm}$$

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

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

II.6.5 Vue en plan des escaliers :

- Pour 1<sup>er</sup> type :

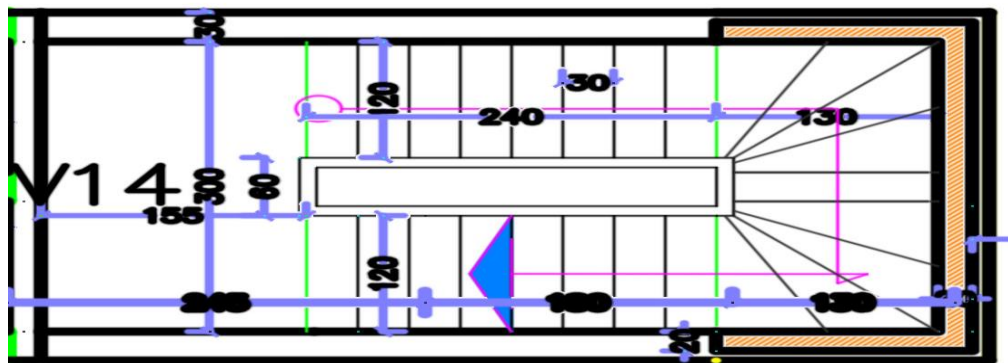


Figure II.6 : Vue en plan escalier 1.

- Pour le 2<sup>ème</sup> type :

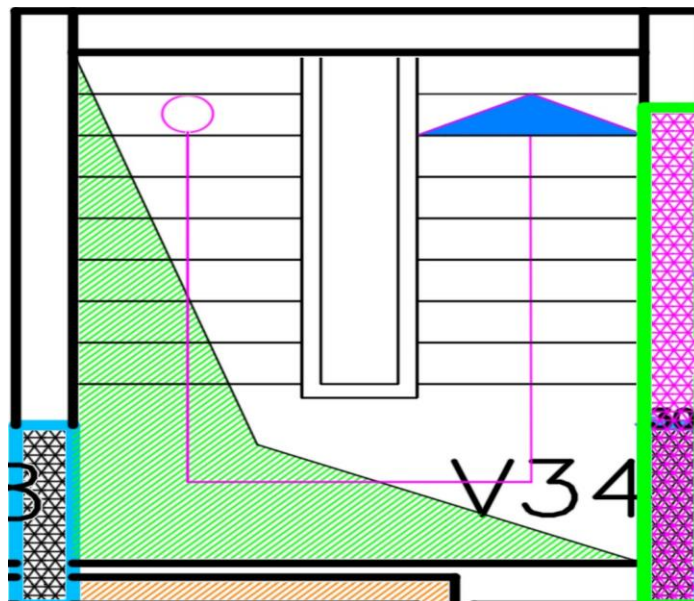


Figure II.7 : Vue en plan escalier 2.

- Pour le 3<sup>ème</sup> type :

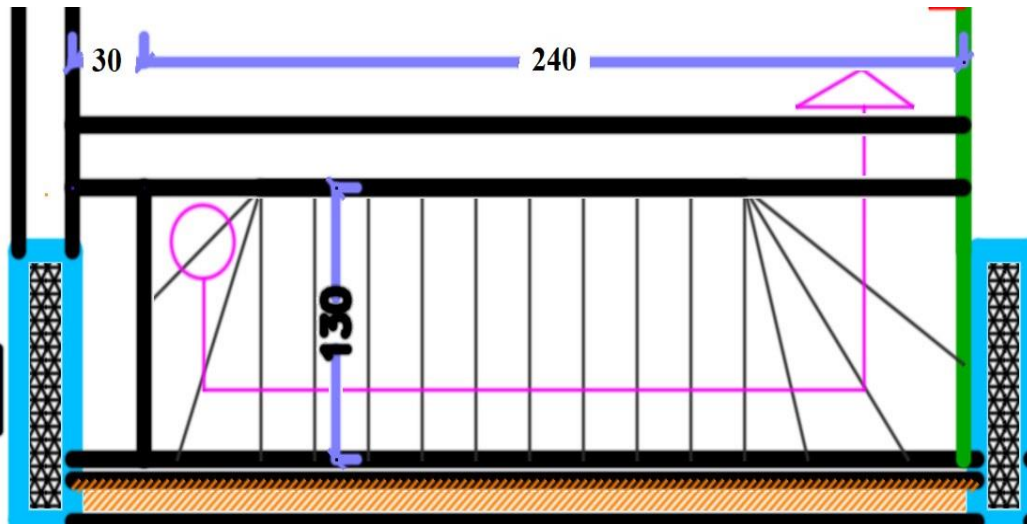


Figure II.8 : Vue en plan escalier 3.

## II.7 Calcul des charges :

### II.7.1 Plancher terrasse inaccessible :

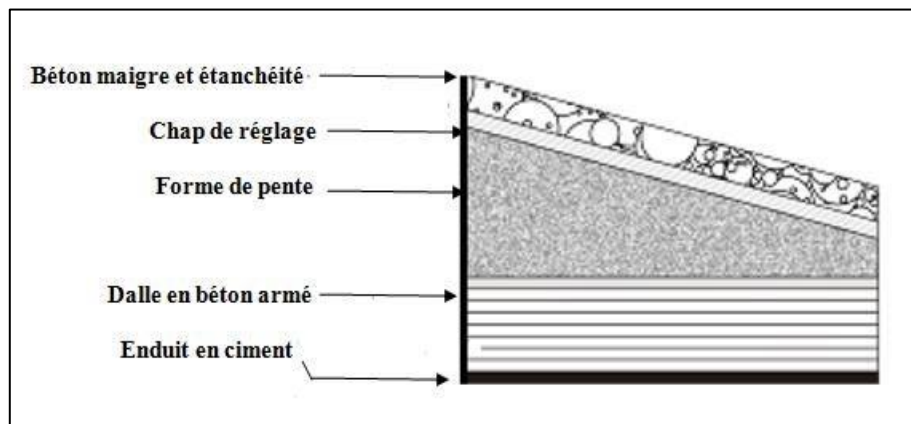


Figure II.9 : coupe transversale d'un plancher terrasse inaccessible.

D'après la (figure 9) on définit les charges de notre terrasse (tableau 2).

**Tableau II.2** : les charges permanentes au niveau de la terrasse inaccessible.

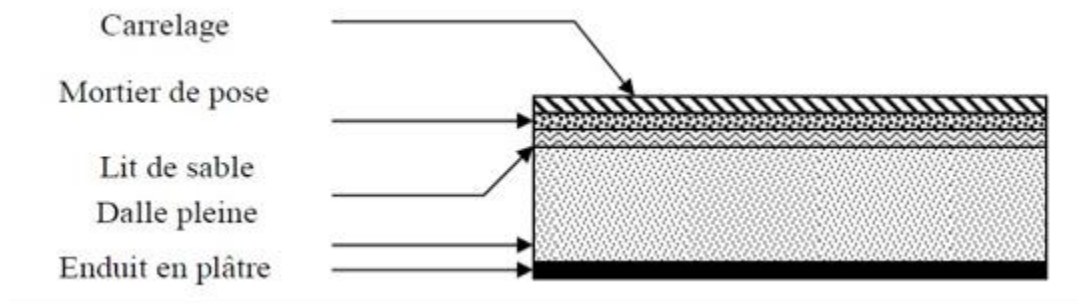
	Epaisseur	Masse volumique	Masse (kN/m <sup>2</sup> )
Protection gravillon	0.04	20	0.8
Etanchéité multicouche	0.02	6	0.12
Isolation thermique	0.02	5	0.1
Forme de pente	0.04	22	0.88
Dalle en béton armé	0.20	25	5
Enduit en ciment	0.015	18	0.27

$$G_1 = 7.17 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_1 = 1 \text{ kN/m}^2$$

### II.7.2 Plancher étage courant :

Les étages sont définis (figure 10), les charges sont définies dans le tableau suivant (tableau 3).

**Figure II.10** : coupe transversale d'une dalle pleine**Tableau II.3** : les charges permanentes au niveau de la dalle pleine.

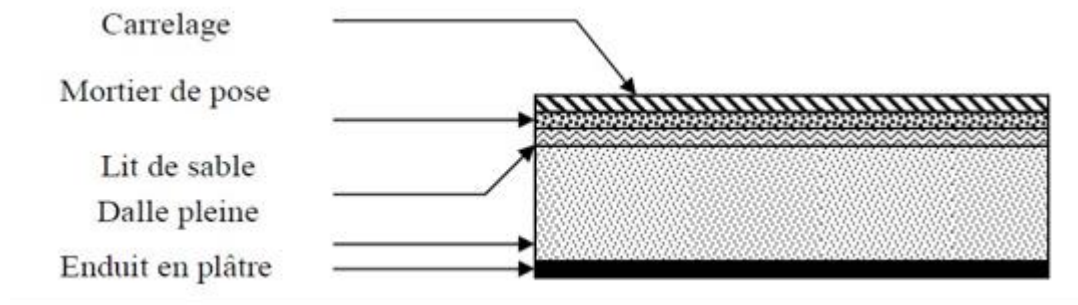
	Epaisseur	Masse volumique	Masse (kN/m <sup>2</sup> )
Carrelage + sable +mortier de pose	0.05	-	1.04
Dalle pleine en béton armé	0.20	25	5
Enduit en plâtre	0.015	18	0.27
Cloison légère	0.1	10	1

$$G_2 = 7.31 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_2 = 1.5 \text{ kN/m}^2 ; 5 \text{ kN/m}^2 \text{ (étages à usage commercial)}$$

### II.7.3 Balcon :

Notre balcon est présenté dans la figure suivante (figure.11) et les charges dans le tableau (tableau.4).



**Figure II.11** : coupe transversale d'un balcon.

**Tableau II.4** : les charges permanentes au niveau du balcon.

	Épaisseur	Masse volumique	Masse (Kg/m <sup>2</sup> )
<b>Carrelage + sable +mortier de pose</b>	0.05	-	1.04
<b>Dalle en béton armé</b>	0.20	25	5
<b>Enduit en ciment</b>	0.02	9	0.18

$$G_3 = 6.22 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_3 = 3.5 \text{ kN/m}^2$$

### II.7.4 Paillasse :

Les charges de notre paillasse sont présentées dans le tableau suivant (tableau.5).

**Tableau II.5** : les charges permanentes de la paillasse.

	<b>Formule</b>	<b>Poids surfacique (KN/mm)</b>
<b>Revêtement vertical</b>	-	104
<b>Revêtement horizontal</b>	$104 \times \frac{h}{g}$	55.47
<b>Brique creuse</b>	$2200 \times \frac{h}{2}$	176
<b>Enduit en plâtre</b>	$2500 \times \frac{e_p}{\cos\alpha}$	459.72
<b>Enduit en ciment</b>	$18 \times \frac{e_p}{\cos\alpha}$	331

$$G_4 = 11.26 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_4 = 2.5 \text{ kN/m}^2$$

**II.7.5 Palier :**

Notre palier est présenté avec les charges définies dans le tableau qui suit (tableau.6).

**Tableau II.6** : les charges permanentes du palier.

	<b>Formule</b>	<b>Poids surfacique (KN/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Revêtement horizontal</b>	-	104
<b>Poids propre du palier (e=16 cm)</b>	$2500 \times \frac{e_p}{\cos\alpha}$	459.72
<b>Enduit en ciment</b>	$18 \times \frac{e_p}{\cos\alpha}$	331
<b>Cloisons légères</b>	-	0.5

$$G_5 = 8.95 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_5 = 2.5 \text{ kN/m}^2$$

- Les surcharges d'exploitation du parking et des escaliers sont égales à 2.5 kN /m<sup>2</sup>

# **CHAPITRE III**

## **Etude des éléments secondaires**

**III.1 Balcon :**

Le balcon est soumis à une charge permanente uniformément répartie G, une charge concentrée P et une charge d'exploitation Q.

Le calcul se fera en flexion simple sur une bande de 1m et une section 100x15.

**III.1.1 Calcul des sollicitations :**

La charge concentrée  $P = P_{\text{enduit}} + P_{\text{brique}}$

$P_{\text{enduit}}$  ciment d'épaisseur 2 cm .....  $0.18 \times 2 = 0.36 \text{KN/m}^2$

$P_{\text{briques}}$  d'épaisseur 10 cm.....  $0.9 \text{KN/m}^2$

$\Rightarrow P = 1.26 \text{ KN/ml}$

$G = 6.22 \times 1.26 = 7.84 \text{KN/m}$

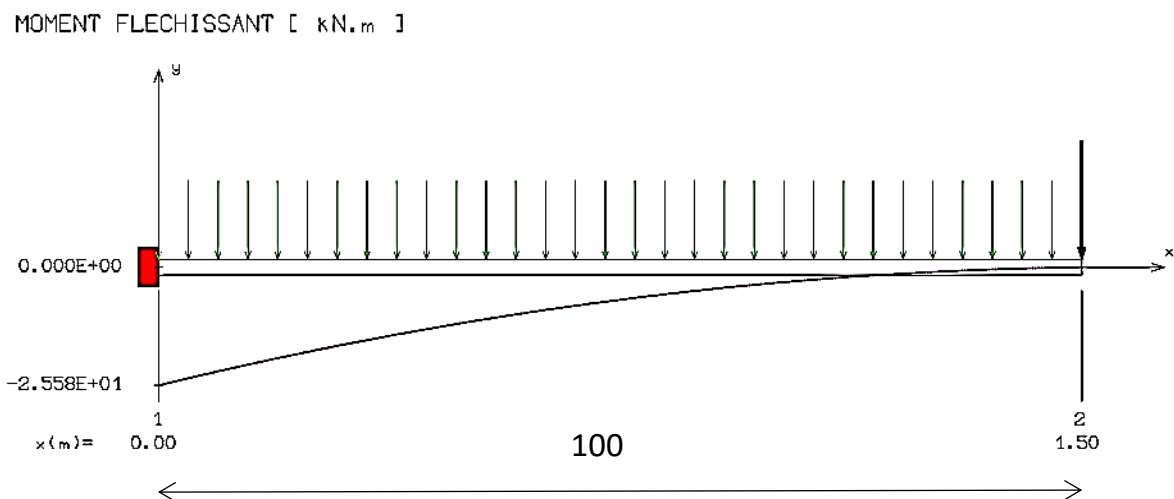
$Q = 3.5 \times 1.26 = 4.41 \text{KN/m}$

• **A L'ELU**

$G_u = 1.35G + 1.5Q = 1.35 \times 7.84 + 1.5 \times 4.41 = 10.58 \text{KN/m}$

$P_u = 1.35P = 1.35 \times 1.26 = 1.70 \text{KN}$

A l'aide du RDM6 on a tiré les moments fléchissant (figure 1) et les efforts tranchant (figure 2) de notre balcon à l'ELU.



**Figure III.1:** Calcul du moment fléchissant par RDM6.

EFFORT TRANCHANT [ kN ]

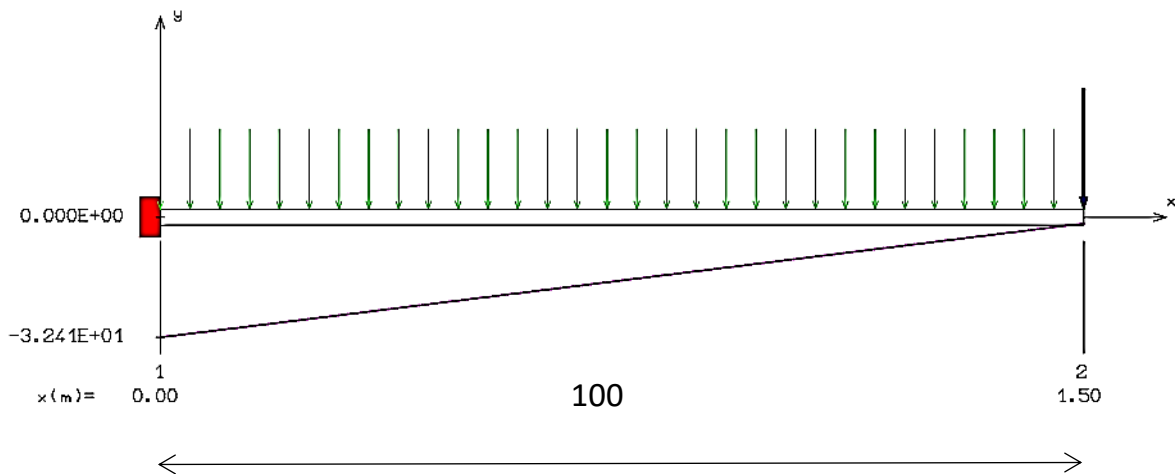


Figure III.2 : Calcul de l'effort tranchant par RDM6.

• AL'ELS :

$$G_s = G+Q = 7.48+4.41 = 11.89\text{KN/m} \quad P_s = P = 1.26\text{KN}$$

Les figures suivantes (figure 3) (figure 4) présentent le moment fléchissant et l'effort tranchant de notre balcon à l'ELS.

MOMENT FLECHISSANT [ kN.m ]

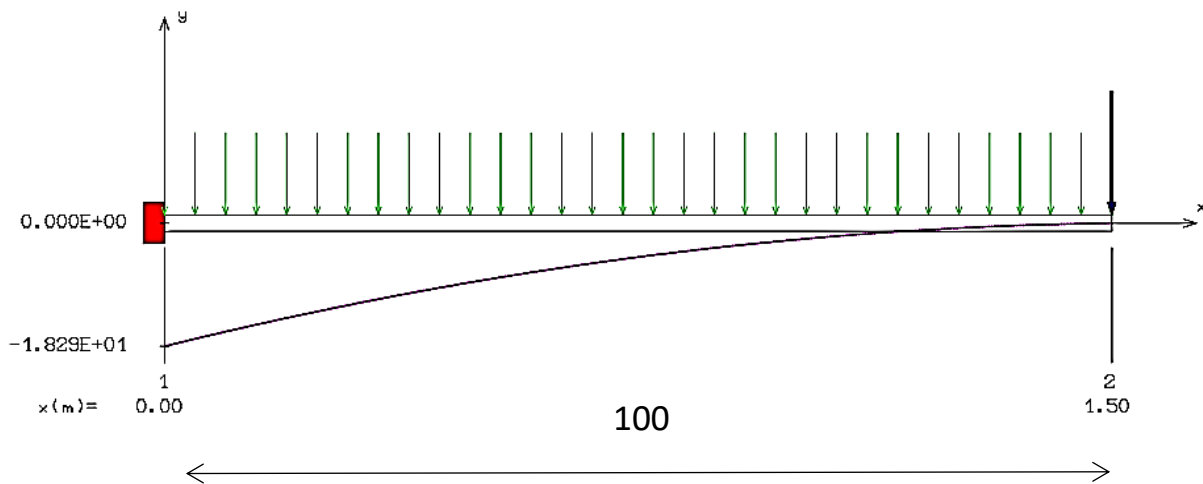


Figure III.3 : Calcul du moment fléchissant par RDM6.

EFFORT TRANCHANT [ kN ]

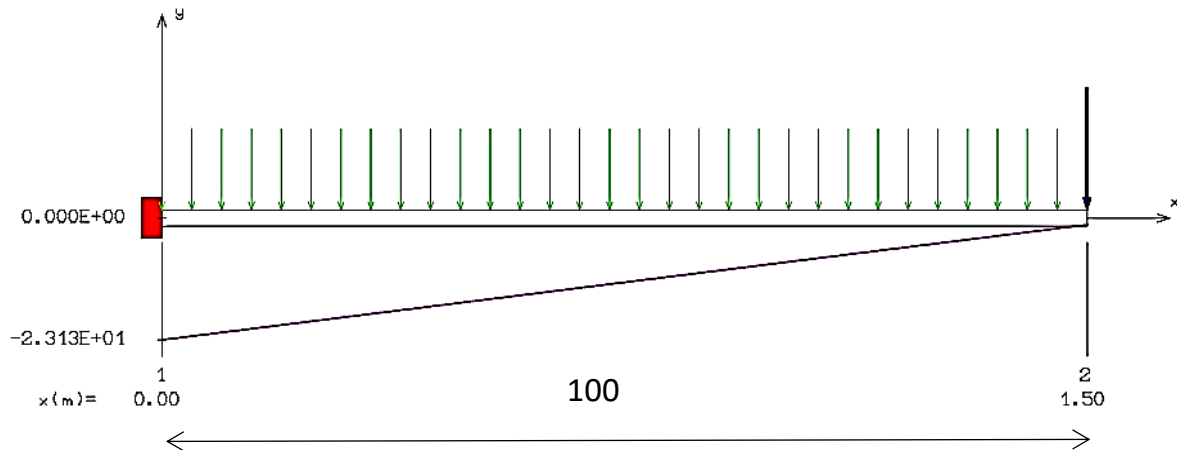


Figure III.4 : Calcul de l’effort tranchant par RDM6.

Le tableau suivant (figure 1) présente les moments et les efforts de notre balcon.

Tableau III.1: moments et efforts tranchants.

	Mu (KN.m)	T (KN)
ELU	25.58	32.41
ELS	18.29	23.13

III.1.2 Calcul du ferrillage :

Le balcon est exposé aux intempéries, donc la fissuration est préjudiciable avec  $b = 1\text{ m}$  ;  $h = 15\text{ cm}$  ;  $d=0.9h = 13.5\text{ cm}$

- A L’ELU :

$$\mu = \frac{M_u}{b \cdot d^2 \cdot \sigma_{bc}} = \frac{25580}{100 \times (13.5)^2 \times 14.2} = 0,100 < 0,392$$

$$\alpha = 1.25 (1 - \sqrt{1 - 2\mu}) \Rightarrow \alpha = 0.131$$

$$\beta = 1 - 0,4\alpha = 1 - 0,4 \times 0,131 = 0,95$$

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{400}{1,15} = 348 \text{ MPA}$$

$$A_{cal} = \frac{M_u}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{25580}{0.92 \times 10.8 \times 348} = 7.40 \text{ cm}^2 / \text{ml}$$

$$A_{min} = 0.0008 \text{ bd} = 1.08$$

$$A = \max (A_{cal} ; A_{min}) = 7.40 \text{ cm}^2 / \text{ml}$$

Choix : **7HA12** ( $A=7.92 \text{ cm}^2 / \text{ml}$ )  $\Rightarrow$  Espacement = 25 cm

**Armatures de répartitions :**  $A_r = \frac{A}{4} = 1.98 \text{ cm}^2 / \text{ml}$

Donc on adopte **4HA8**  $\Rightarrow A_r = 2.01 \text{ cm}^2 / \text{ml}$  Avec :  $e = 25 \text{ cm}$

• **A l'ELS :**

$$G_s = G + Q = 11.89 \text{ KN/m}$$

$$P_s = 1.26 \text{ KN}$$

On doit vérifier :

$$\begin{cases} \sigma_s \leq \bar{\sigma}_s \\ \sigma_b \leq \bar{\sigma}_b \end{cases}$$

Fissuration préjudiciable  $\Rightarrow \bar{\sigma}_s = \min\left(\frac{2 \times f_e}{3}; 110 \times \sqrt{\eta \cdot f_{t28}}\right); \bar{\sigma}_b = 0,6 \times F_{c28}$

$$\bar{\sigma}_s = \min(266.67; 201.63) \Rightarrow \bar{\sigma}_s = 201.63 \text{ MPA}; \bar{\sigma}_b = 0,6 \times 25 = 15 \text{ MPA}$$

$$D = \frac{15 \times A}{b} = \frac{15 \times 7.92}{b} = 1.19 \text{ cm}$$

$$E = 2 \times d \times D = 2 \times 13.5 \times 1.19 = 32.13 \text{ cm}^2$$

$$y_1 = -D + \sqrt{D^2 + E} = -1.19 + \sqrt{1.19^2 + 32.13} = 4.60 \text{ cm}$$

$$I = \frac{b \times y_1^3}{3} + 15 \times A \times (d - y_1)^2 \Rightarrow I = 8382.53 \text{ cm}^4$$

$$K = \frac{M_{ser}}{I} = \frac{18290}{8382.53} = 2.18$$

$$\sigma_b = K \cdot y_1 = 9.22 \text{ MPA}$$

$$\sigma_s = 15 \cdot K \cdot (d - y_1) = 214.84 \text{ MPA}$$

$$\begin{cases} \sigma_s = 214.84 \text{ MPA} \leq \bar{\sigma}_s = 201.63 \text{ MPA} \\ \sigma_b = 9.22 \text{ MPA} \leq \bar{\sigma}_b = 15 \text{ MPA} \end{cases} \text{ C.N.V}$$

On recalcule à l'ELS :

$$\mu_s = \frac{M_s}{b \cdot d^2 \cdot \sigma_s} = \frac{18290}{100 \times (13.5)^2 \times 214.84} = 0,0046 < 0,392$$

$$K_1 = 23.46 \quad ; \quad \beta_1 = 0.870$$

Choix : **7HA12** ( $A = 7.92 \text{ cm}^2 / \text{ml}$ )

**Vérification de l'effort tranchant :**

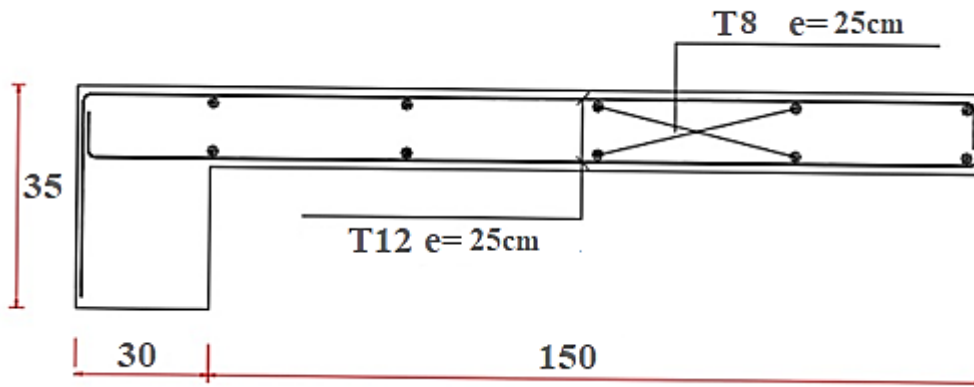
$$T = 32.41 \text{ KN}$$

$$\bar{r}_u = 0.05 F_{c28}$$

$$r_u = \frac{T}{bd} = \frac{32410}{1000 \times 135} = 0.24 \text{ MPA} < \bar{r}_u = 1.25 \text{ MPA} \quad \text{C.V}$$

**Vérification de la flèche :**

$$f = 0,02 \text{ cm} < \bar{f} = \frac{l}{400} = \frac{150}{400} = 0,3 \text{ cm} \quad C.V$$

**III.1.3 Dessin de ferrailage :****Figure III.5 :** Ferrailage du balcon.**III.2 Escalier :**

Dans notre structure on a 3 types différents des escaliers, avec la même hauteur dans chaque étage.

$$h = 17 \text{ cm}$$

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

$$ep = 16 \text{ cm}$$

**III.2.1 Calcul des sollicitations :**

On a utilisé le logiciel RDM6 pour déterminer les moments fléchissant et les efforts tranchants.

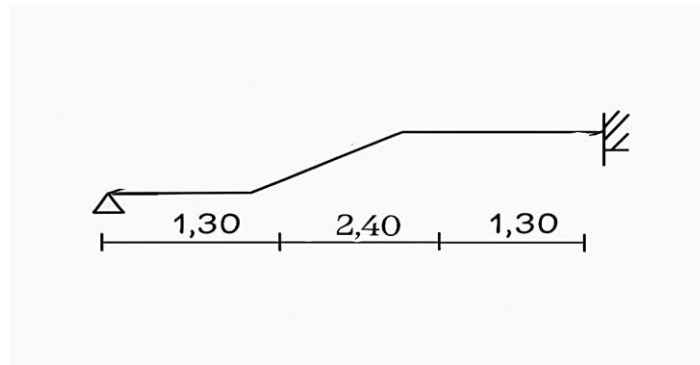
Le tableau suivant (tableau.2) présente les charges du palier et de la paillasse

**Tableau III.2 :** Les charges des escaliers.

Palier	Paillasse
$G = 8.95 \text{ KN/m}$	$G = 11.41 \text{ KN/m}$
$Q = 2.5 \text{ KN/m}$	$Q = 2.5 \text{ KN/m}$

- Pour le 1<sup>er</sup> type :

Le schéma statique du 1<sup>er</sup> type se présente dans la figure suivante (figure 6) :



**Figure III.6 :** Schéma statique escalier 1.

Les moments et efforts tirés du RDM6 sont présentés dans un tableau (tableau 3)

**Tableau III.3 :** Les moments et efforts tranchants.

	ELU	ELS	Choix
Mt (KN.m)	3.217	2.335	4T10
Ma (KN.m)	5.637	4.089	
T (KN)	5.483	3.976	

Les figures (figure 7) et (figure 8) présentent les résultats obtenus de RDM6.

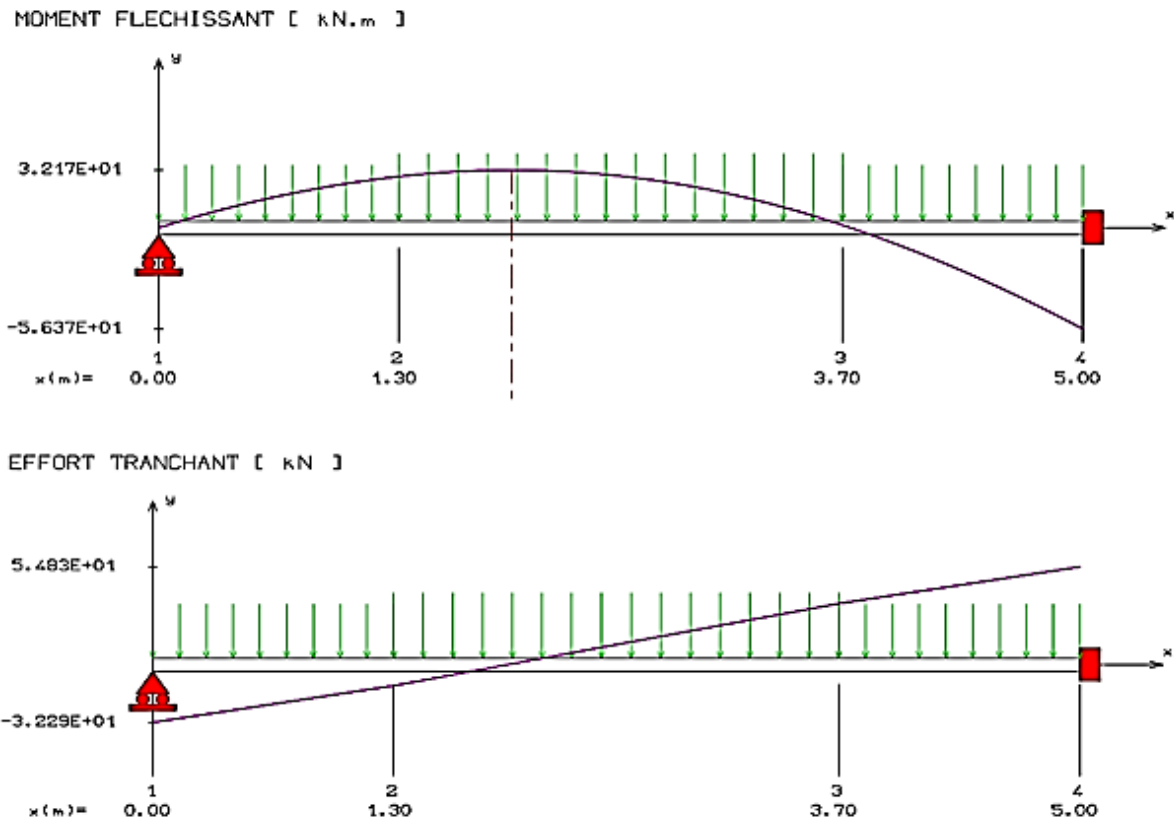


Figure III.7 : Résultats de RDM6 à l'ELU T1.

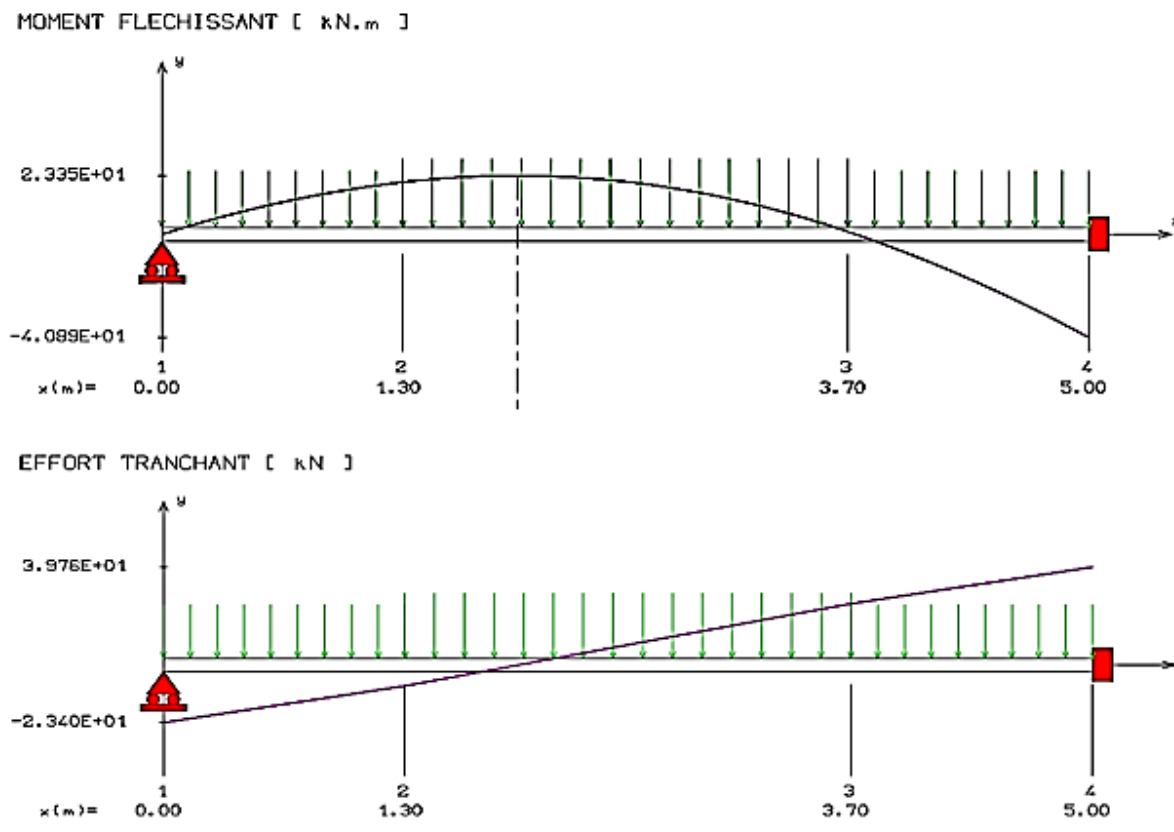


Figure III.8 : Résultats de RDM6 à l'ELS T1.

**III.2.2 Calcul du ferrailage :****En travée :**• **A'ELU :**

$$\mu = \frac{M_t}{b \times d^2 \times \sigma_{bc}} = \frac{3217}{100 \times 15.3^2 \times 14.2} \Rightarrow \mu = 0,009 < 0,392$$

Donc les armatures comprimées ne sont pas nécessaires.

$$\alpha = 1.25 (1 - \sqrt{1 - 2\mu}) \Rightarrow \alpha = 0.011$$

$$\beta = 1 - 0,4\alpha \Rightarrow \beta = 0,99$$

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{400}{1,15} = 348 \text{ MPA}$$

$$A = \frac{M_t}{b \times d \times \sigma_s} = 0.69 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

**Condition de non fragilité : (CBA91/A.4.2.1)**

$$A_{min} = 0.0008 \times b \times h = 0.0008 \times 100 \times 17 = 1.36 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

$$A_s = \max(A_{cal}; A_{min}) = 1.36 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Choix des armatures  $A_s = 4\text{HA}10 = 3.14 \text{ cm}^2/\text{ml}$ ; Espacement  $e=25 \text{ cm}$ **Armature de répartition :**

$$A_r = \frac{A}{4} = \frac{3.14}{4} = 0,79 \text{ cm}^2$$

Choix :  $4\text{T}8 = 2.01 \text{ cm}^2/\text{ml}$ 

$$e = 25 \text{ cm} \leq \min [3h ; 45] = \min [48 ; 45] \text{ cm} = 45 \text{ cm C.V}$$

• **A'ELS :**

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

$$E = 2 \times d \times D = 2 \times 14 \times 0.47 = 13.16 \text{ cm}^2$$

$$y_1 = -D + \sqrt{D^2 + E} = -0.47 + \sqrt{0.47^2 + 13.16} = 3.19 \text{ cm}$$

$$I = \frac{b \times y^3}{3} + 15 \times A \times (d - y_1)^2 \Rightarrow I = 6585.98 \text{ cm}^4$$

$$K = \frac{M_{ser}}{I} = \frac{3830}{6585.98} = 0.58$$

$$\sigma_b = K \cdot y_1 = 1.85 \text{ MPA} \leq \bar{\sigma}_b = 15 \text{ MPA} \Rightarrow \text{C.V}$$

$$\sigma_s = 15 \cdot K \cdot (d - y_1) = 94.05 \text{ MPA} \leq \bar{\sigma}_s = 201,6 \text{ MPA} \Rightarrow \text{C.V}$$

Les armatures à l'ELU seront maintenues.

En appui :

- **A'ELU :**

$$\mu = \frac{M_a}{b \times d^2 \times \sigma_b} = \frac{5637}{100 \times 15.3^2 \times 14.2} \Rightarrow \mu = 0,016 < 0,392$$

$$\alpha = 1.25 (1 - \sqrt{1 - 2\mu}) \Rightarrow \alpha = 0.020$$

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

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{400}{1,15} = 348 \text{ MPA}$$

$$A = \frac{M_t}{b \times d \times \sigma_s} = 1.17 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

**Condition de non fragilité : (CBA91/A.4.2.1)**

$$A_{min} = 0.0008 \times b \times h = 1.36 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Donc on prend :  $A_s = \max(A_{cal}; A_{min}) = 1.36 \text{ cm}^2/\text{ml}$

Choix **4T10** = 3.14 cm<sup>2</sup> /ml

$e = 25 \text{ cm} \leq \min[3h; 33\text{cm}] = \min[45; 33] \text{ cm} = 33 \text{ cm} \Rightarrow \text{C.V}$

**Armatures de répartition :**

$$A_r = \frac{A}{4} = \frac{3.14}{4} = 0.79 \text{ cm}^2$$

Choix : **4T8** = 2.01 cm<sup>2</sup>/ml

$e = 25 \text{ cm} \leq \min[3h; 45] = \min[48; 45] \text{ cm} = 45 \text{ cm} \Rightarrow \text{C.V}$

- **A'ELS :**

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

$$E = 2 \times d \times D = 2 \times 14 \times 0.47 = 13.16 \text{ cm}^2$$

$$y_1 = -D + \sqrt{D^2 + E} = -0.47 + \sqrt{0.47^2 + 13.16} = 3.19 \text{ cm}$$

$$I = \frac{b \times y^3}{3} + 15 \times A \times (d - y_1)^2 \Rightarrow I = 6585.98 \text{ cm}^4$$

$$K = \frac{M_{ser}}{I} = \frac{7570}{6585.98} = 1.15$$

$$\sigma_b = K \cdot y_1 = 3.67 \text{ MPA} \leq \bar{\sigma}_b = 15 \text{ MPA} \Rightarrow \text{C.V}$$

$$\sigma_s = 15 \cdot K \cdot (d - y_1) = 186.47 \text{ MPA} \leq \bar{\sigma}_s = 201,6 \text{ MPA} \Rightarrow \text{C.V}$$

**Vérification au cisaillement :**

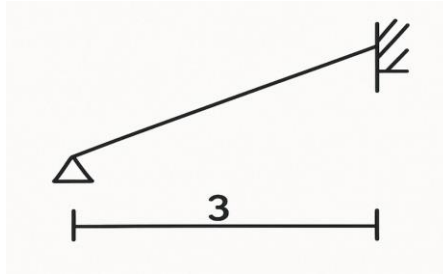
T=5.483 KN ; Fissuration préjudiciable

$$\bar{\tau}_u = 0.05 F_c c_{28}$$

$$\tau_u = \frac{T}{b \times d} = \frac{5483}{1000 \times 153} = 0.04 \text{ MPA} < \bar{\tau}_u = 1.25 \text{ MPA C.V}$$

- Pour le 2<sup>ème</sup> type :

Le schéma statique du 2<sup>ème</sup> type se présente dans la figure suivante (figure 9) :



**Figure III.9 :** Schéma statique escalier 2.

Les moments et efforts tirés du RDM6 sont présentés dans un tableau (tableau 4).

**Tableau III.4 :** Les moments et efforts tranchants.

	ELU	ELS	Choix
Mt (KN.m)	1.211	8.802	5T12
Ma (KN.m)	2.154	1.564	
T (KN)	3.591	2.608	

Les figures (figure 10) et (figure 11) présentent les résultats obtenus de RDM6.

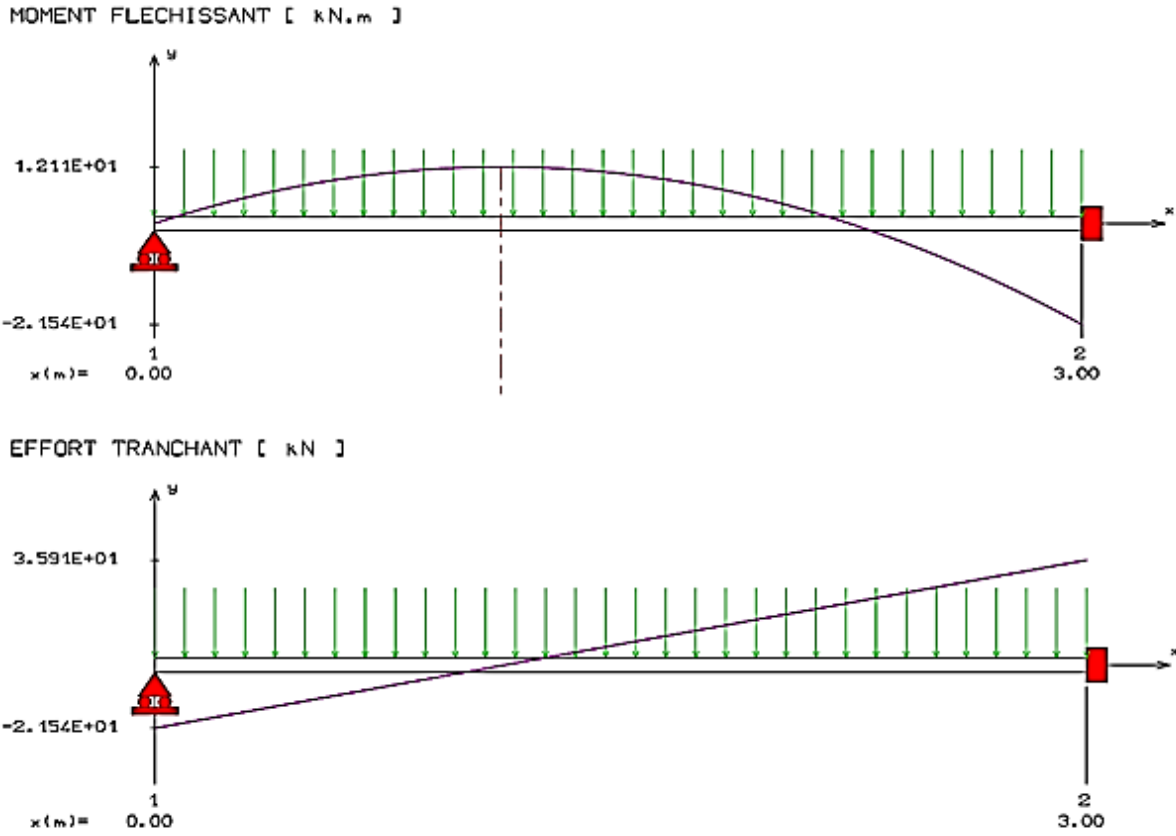


Figure III.10 : Résultats de RDM6 à l'ELU T2.

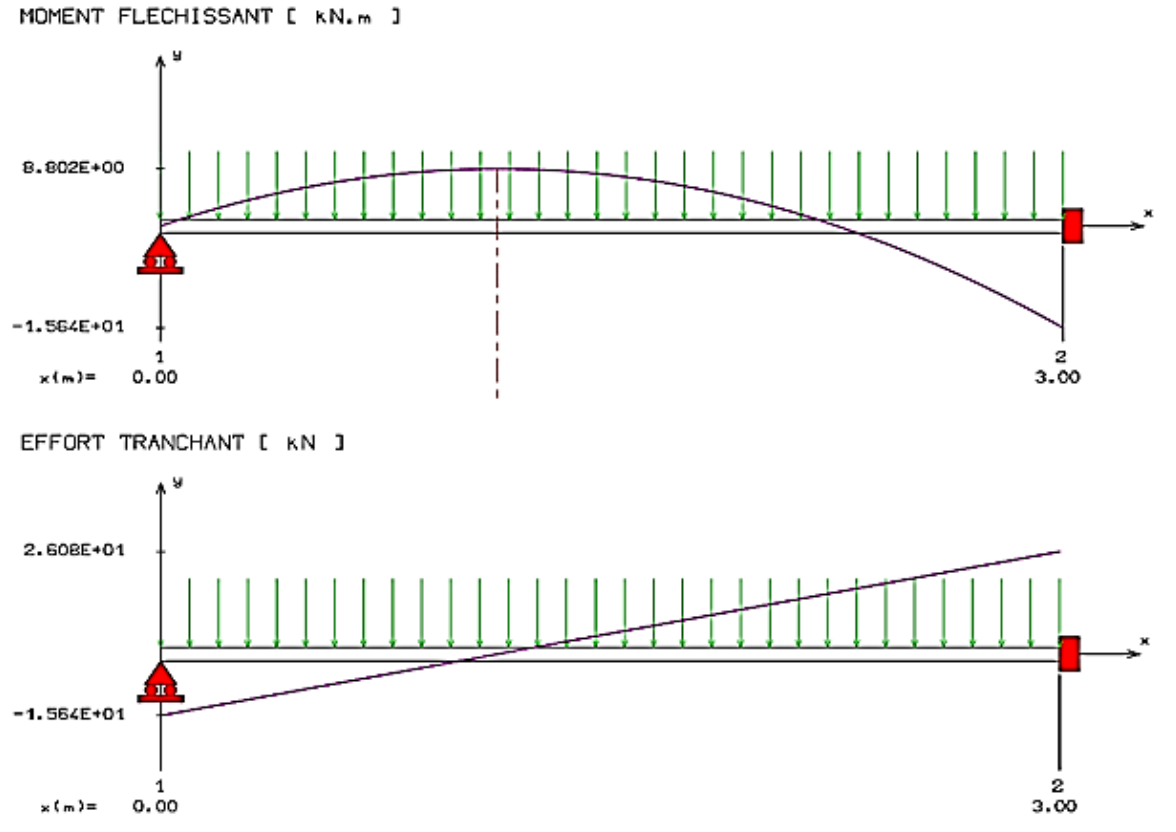
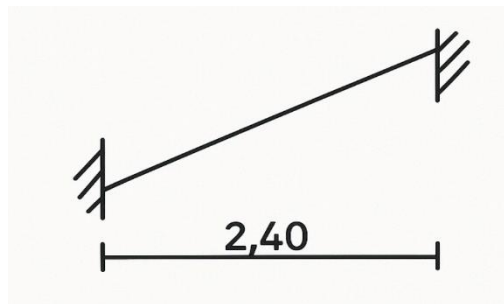


Figure III.11 : Résultats de RDM6 à l'ELS T2.

- Pour le 3<sup>ème</sup> type :

Le schéma statique du 3<sup>ème</sup> type se présente dans la figure suivante (figure 12) :



**Figure III.12** : Schéma statique escalier 3.

Les moments et efforts tirés du RDM6 sont présentés dans un tableau (tableau 5).

**Tableau III.5** : Les moments et efforts tranchants.

	ELU	ELS	Choix
Mt (KN.m)	4.596	3.338	4T10
Ma (KN.m)	9.192	6.677	
T (KN)	2.298	1.669	

Les figures (figure 13) et (figure 14) présentent les résultats obtenus de RDM6.

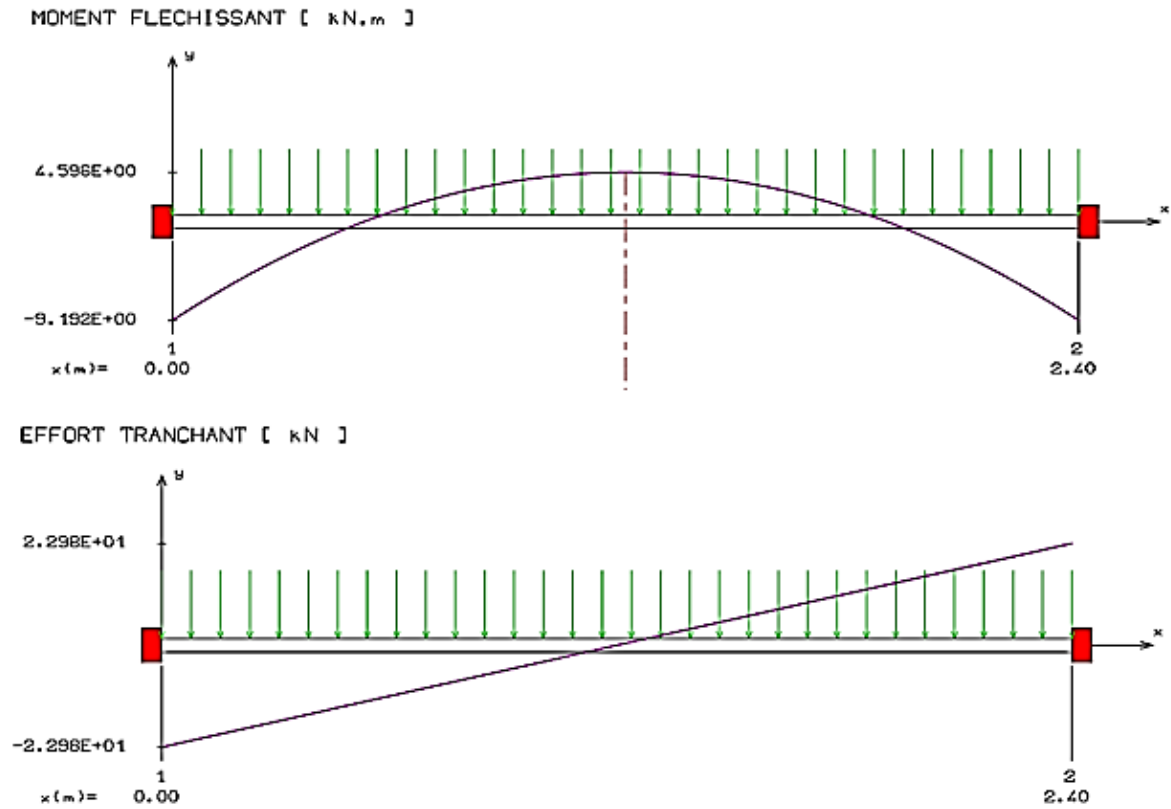


Figure III.13 : Résultats de RDM6 à l'ELU T3.

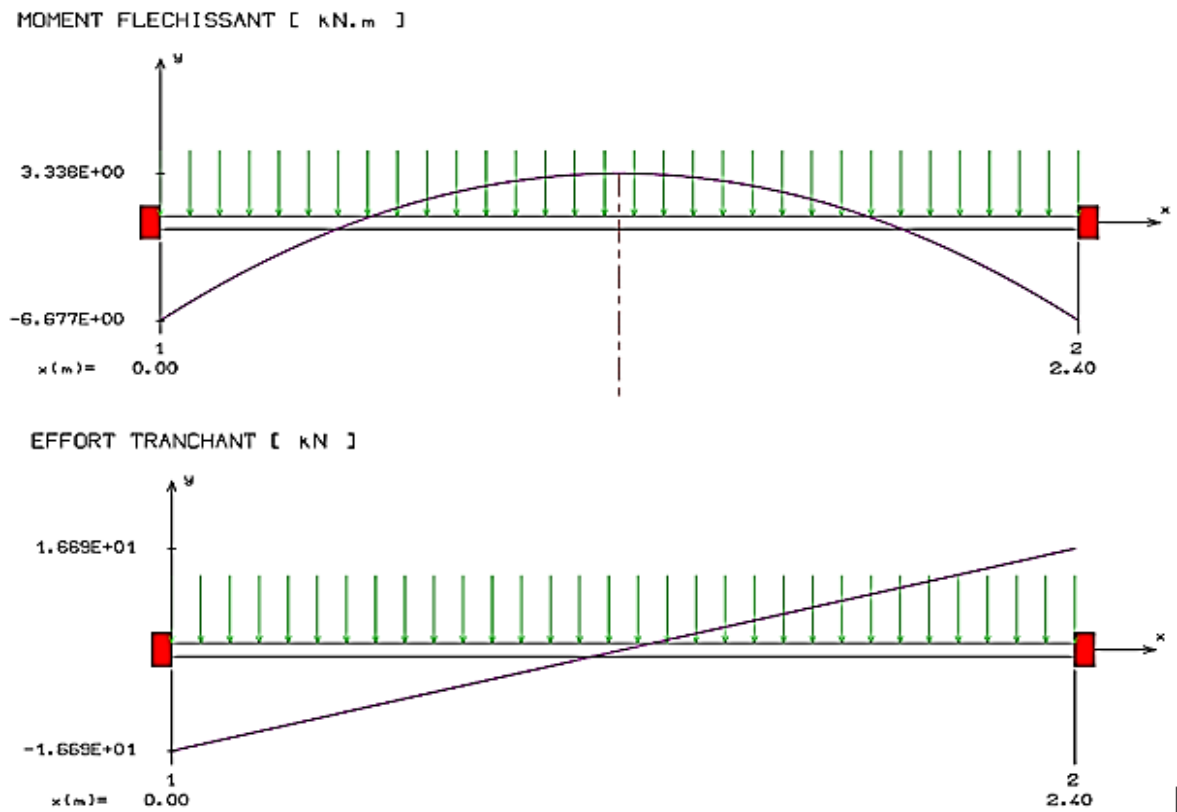


Figure III.14 : Résultats de RDM6 à l'ELS T3

III.2.3 Dessin de ferrailage :

- Pour le 1<sup>er</sup> type :

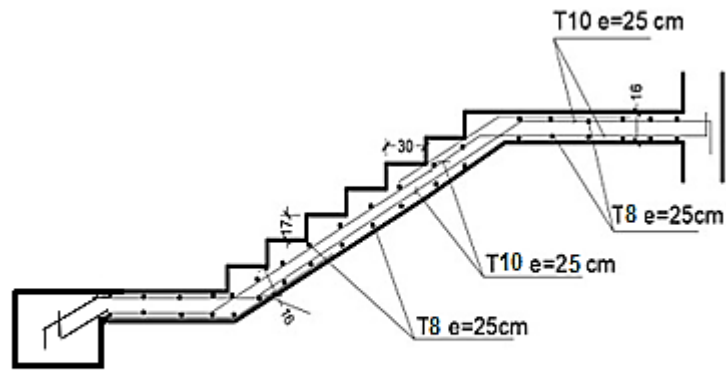


Figure III.15 : Ferrailage des escaliers T1

- Pour le 2<sup>ème</sup> type :

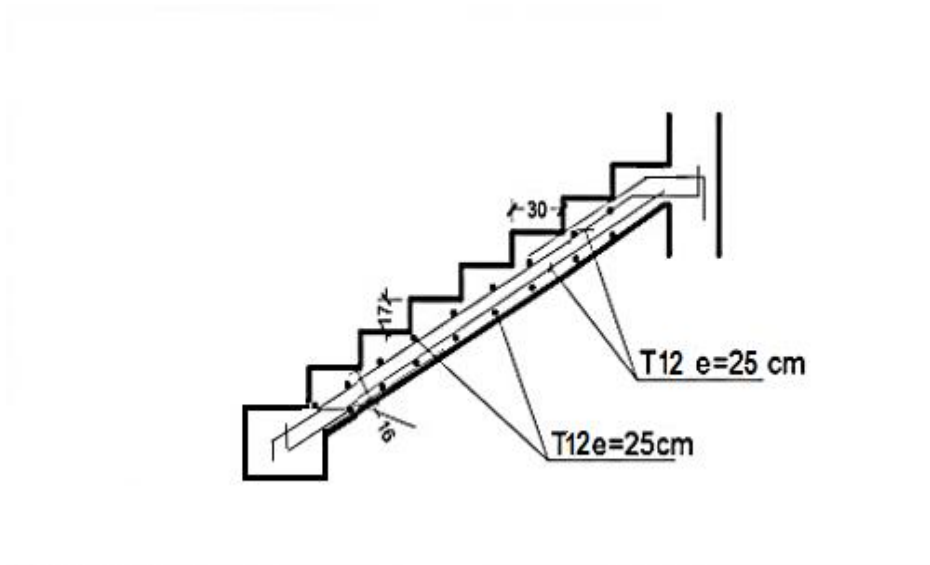


Figure III.16 : Ferrailage des escaliers T2.

- Pour le 3<sup>ème</sup> type :

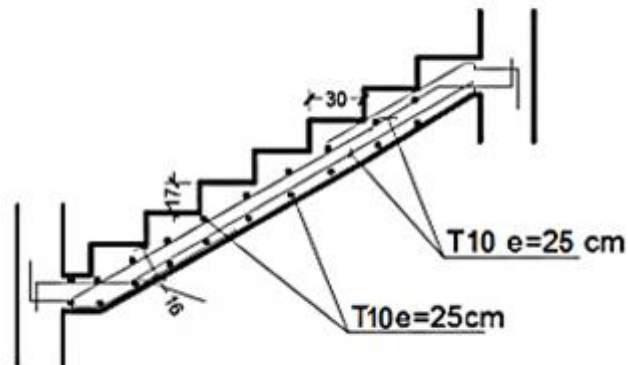


Figure III.17 : Ferrailage des escaliers T3.

### III.3. Acrotère :

L'acrotère sera encastré 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.

#### III.3.1 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  $F_p$ )

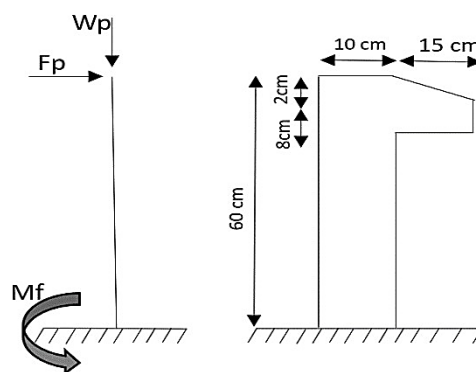


Figure III.18 : Les dimensions de l'acrotère.

**Charge permanente :**  $W_p = S \times l \times \gamma b$

$$S_1 = 0,6 \times 0,1 = 0.06 \text{ m}^2$$

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

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

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

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

$$\text{Charge d'exploitation : } F_p = 4 \times A \times C_p \times W_p$$

$A = 0.20$  coefficient d'accélération (Tableau 4.1 RPA2024)

$C_p = 0.8$  facteur des forces horizontales (Tableau 6.1 RPA2024)

$W_p = 1.712 \text{ KN}$  (Poids de l'élément considéré)

$$\Rightarrow F_p = 4 \times 0.2 \times 0.8 \times 1.712 \Rightarrow F_p = 1,1 \text{ KN}$$

$$\Rightarrow P = \max(1.1 \text{ KN} ; 1 \text{ KN}) \Rightarrow P = 1.1 \text{ KN}$$

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

$$Q = 1.1 \text{ KN}$$

- **A l'ELU :**

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

$$M_u = 1.5 \times F_p \times L = 1.5 \times 1.1 \times 1 = 1.65 \text{ KN.m}$$

$$T_u = 1.1 \times 1.5 = 1.65 \text{ KN}$$

- **A l'ELS :**

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

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

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

### III.3.2 Calcul du ferrailage :

- **A l'ELU :**

$$e_0 = \frac{M_u}{N_u} = \frac{1.65}{2.31} = 71,43 \text{ cm}$$

$$\frac{h}{2} - c' = 5 - 2 = 3 \text{ cm} < e_0$$

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

#### Vérification de la méthode forfaitaire :

On doit vérifier :

- $\frac{l_f}{h} \leq \max(15; \frac{20 e_1}{h})$
- $e_1 = \frac{M}{N} + ea = 71,43 + 2 = 73,43 \text{ cm}$
- $e_a = \max(2 \text{ cm}; \frac{l}{250}) = 2 \text{ cm}$

$$\frac{l_f}{h} = \frac{200}{10} = 20 \text{ cm} < 73,43 \text{ cm}$$

Le calcul se fait en flexion simple avec les sollicitations suivantes :

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

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

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

$$\mu = \frac{M_1}{b \times d^2 \times \sigma_{bc}} = \frac{2000}{100 \times 9^2 \times 14,2} \rightarrow \mu = 0,017 < 0,392 \text{ A' } \notin$$

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

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

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{400}{1,15} = 348 \text{ MPA}$$

$$A_1 = \frac{M_1}{\sigma_s \times \beta \times d} = \frac{2000}{348 \times 0,99 \times 9} = 0,65 \text{ cm}^2$$

$$A = A_1 - \frac{N'}{100 \times \sigma_s} = 0,65 - \frac{2310}{100 \times 348} = 0,58 \text{ cm}^2$$

**Condition de non fragilité :**

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

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

Choix des armatures  $A_s = 4\text{T}10 = 3,14 \text{ cm}^2$  espacement  $e = 18 \text{ cm}$

**Armature de répartition :**

$$A_r = \frac{A}{4} = 0,78 \text{ cm}^2$$

Choix :  $4\text{T}8 = 2,01 \text{ cm}^2$

• **A L'ELS :**

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

$$E = 2 \times d \times D = 2 \times 9 \times 0,47 = 8,46 \text{ cm}^2$$

$$y_1 = -D + \sqrt{D^2 + E} = -0,47 + \sqrt{0,47^2 + 8,46} = 2,48 \text{ cm}$$

$$I = \frac{b \times y^3}{3} + 15 \times A \times (d - y_1)^2 \Rightarrow I = 2510,67 \text{ cm}^4$$

$$K = \frac{M_{ser}}{I} = \frac{2000}{2510.67} = 0.80$$

$$\sigma_b = K \cdot y_1 = 1.98 \text{ MPA} \leq \bar{\sigma}_b = 15 \text{ MPA} \Rightarrow \text{C.V}$$

$$\sigma_s = 15 \cdot K \cdot (d - y_1) = 78.24 \text{ MPA} \leq \bar{\sigma}_s = 201.6 \text{ MPA} \Rightarrow \text{C.V}$$

Les armatures à l'ELU seront maintenues.

### Vérification au cisaillement :

$$T = 1.73 \text{ KN}$$

$$\tau_u = \min \left\{ \begin{array}{l} 0.15 \times \frac{f_{cj}}{\gamma_b} = 2.5 \text{ MPA} \rightarrow \bar{\tau}_u = 2.50 \text{ MPA} \\ 4 \text{ MPA} \end{array} \right.$$

$$\tau_u = \frac{T}{b \times d} = \frac{1730}{100 \times 90} = 0.19 \text{ MPA} < \bar{\tau}_u = 2.50 \text{ MPA}$$

### III.3.3 Dessin du ferrailage :

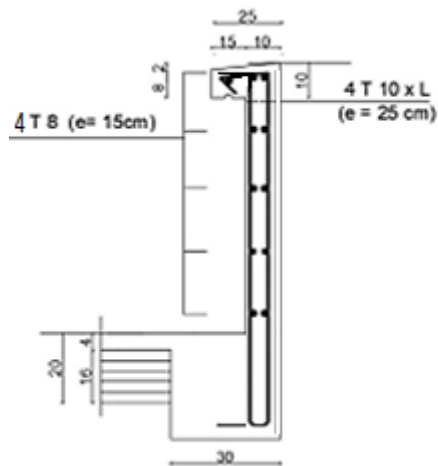


Figure III.19 : Ferrailage de l'acrotère.

# **CHAPITRE IV**

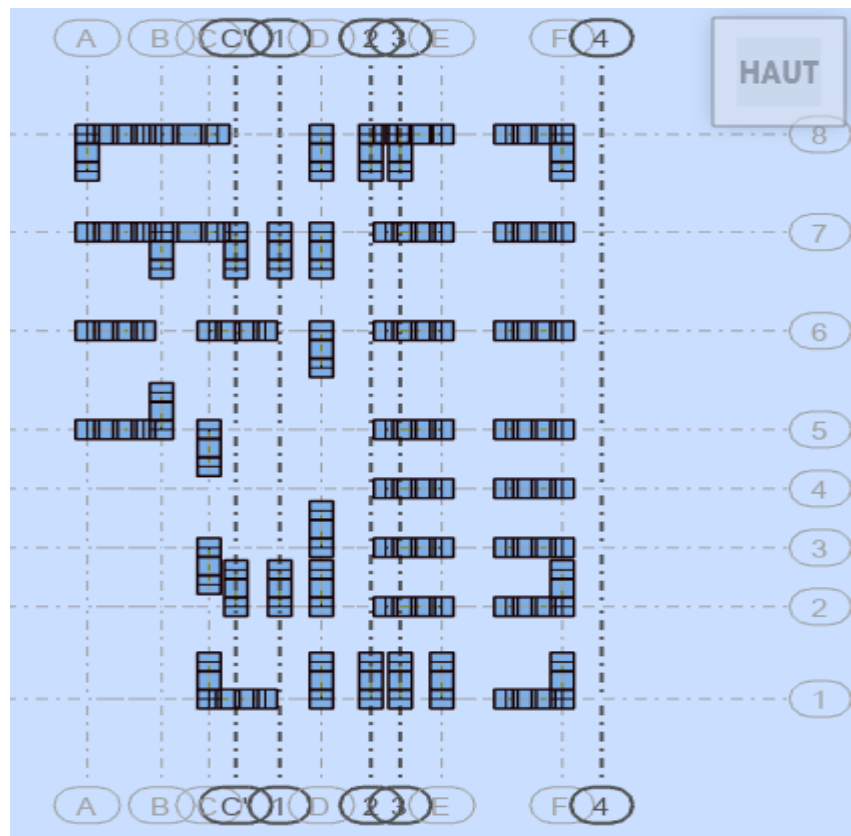
## **Etude sismique**

**IV.1 Introduction :**

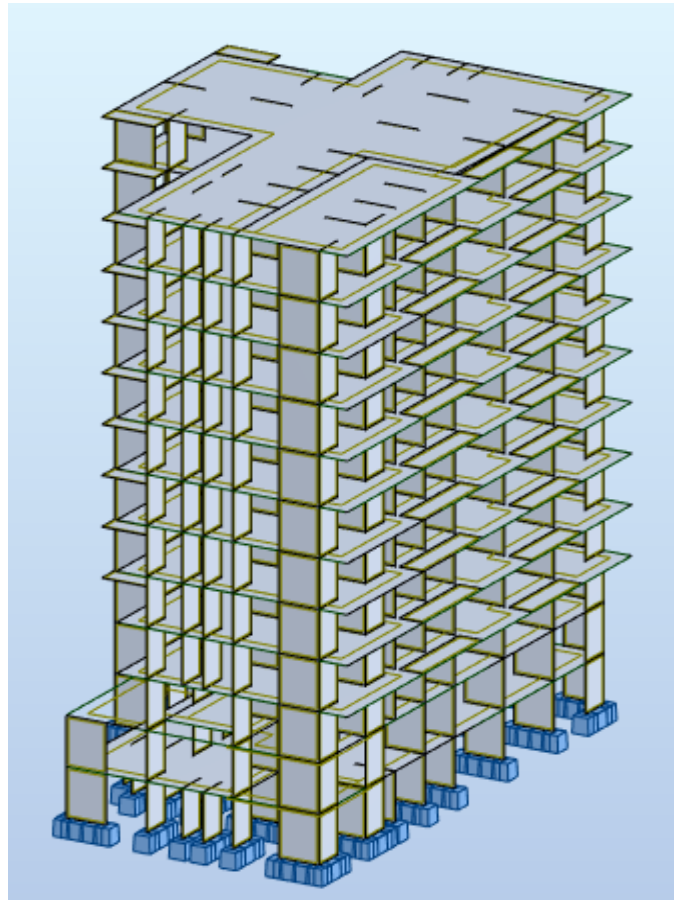
Devant le danger des tremblements de terre et l'incapacité de les anticiper, il est essentiel d'ériger des constructions capables de résister à ces événements, dans le but d'offrir un minimum de protection aux vies humaines, ce qui a conduit à l'émergence de la construction parasismique.

Selon le règlement parasismique algérien RPA2024, il est possible de calculer les forces sismiques globales en utilisant deux méthodes principales.

- a. Méthode statique équivalente.
- b. Méthode d'analyse modale spectrale.

**IV.2 Modélisation de la structure :****a) Disposition des voiles :**

**Figure IV.1 :** Disposition des voiles.

**b) Modélisation de la structure :**

**Figure IV.2 :** Modélisation de la structure.

**IV.3 Méthode statique équivalente :****IV.3.1 Principe de la méthode :**

Cette méthode revient à remplacer les forces dynamiques que subit une structure lors d'un tremblement de terre par un ensemble de forces statiques équivalentes. L'idée est que ces forces statiques fictives produisent les mêmes effets sur la construction que l'action sismique réelle.

**IV.3.2 Condition d'application :**

La méthode statique équivalente peut être utilisée dans les cas où :

- Le bâtiment satisfait aux conditions de régularité en plan et en élévation, avec une hauteur égale à 65m en zones (I, II et III) et à 32m en zones (IV, V et VI).
- Le bâtiment présente une configuration irrégulière tout en respectant les conditions de hauteur citées dans la condition précédente.

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

#### IV.4 Méthode d'analyse modale spectrale :

##### IV.4.1 Principe de la méthode :

Cette approche vise à déterminer l'impact maximal des forces sismiques sur la structure pour chaque mode de vibration. Ces forces sont représentées par un spectre de réponse de calcul. Ensuite, les effets de chaque mode sont combinés pour obtenir la réponse globale de la structure au séisme.

##### IV.4.2 Condition d'application :

D'après le **RPA2024**, on tire les conditions d'application suivantes :

- 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.

##### IV.4.3 Domaine d'application :

La méthode dynamique est une approche polyvalente, particulièrement utile lorsque la méthode statique équivalente ne peut pas être appliquée.

**Tableau IV :** paramètres de calcul.

<b>Coefficient d'accélération</b>	A = 0,25
<b>Coefficient de comportement</b>	R = 4,5
<b>Facteur de qualité</b>	Q = 1.25
<b>Période</b>	T1 = 0,15s T2 = 0,60s T3 = 2,0s
<b>Poids total de la structure</b>	W = 113787.52 KN
<b>Force sismique V</b>	$V=V_x = V_y = 17506.21$ KN

### IV.4.3.1 Facteur de qualité :

#### 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 **C.V**
- La forme du bâtiment est compacte avec un rapport longueur/largeur du plancher inférieur ou égal 4  $\Rightarrow \frac{30.60}{21.10} = 1,45 < 4$  **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  $\Rightarrow \frac{l_x}{L_x} = \frac{5.41}{21.10} = 0.26 < 0.25$  **C.N.V**
- La surface totale des ouvertures de plancher doit rester inférieure à 15% de celle de ce dernier. **C.V**

Donc le critère n'est pas observé **pq = 0.05**

#### Régularité en élévation :

La structure n'est pas classée régulière en élévation **pq = 0.20**

**Tableau IV.2 :** Les conditions du facteur de qualité.

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

$$Q = 1 \pm \Sigma pq \Rightarrow Q = 1.25$$

**IV.4.3.2 Spectre de réponse de calcul :**

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

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

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

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

• **Détermination des paramètres des combinaisons d'actions :**

ELU=1,35 G + 1,5 Q

ELS= G + Q

$$\begin{cases} G + \psi \cdot Q + E1 \\ G + \psi \cdot Q + E2 \end{cases} \quad \text{Où} \quad \begin{cases} E1 = \pm Ex \pm 0.3Ey \\ E2 = \pm 0.3Ex \pm Ey \end{cases}$$

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 :**

$$T = \min \begin{cases} 0,09 \frac{h_N}{\sqrt{D}} \\ C_T \cdot h_N \end{cases}$$

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 déterminé en fonction du système de contreventement, du type de remplissage et donné par Tableau (4.4) RPA2024  $\Rightarrow C_T = 0.05$  pour notre structure qui est contreventée par des voiles en BA.

• **Poids total de la structure :**

$$w = \sum_{i=1}^n w_i \Rightarrow W = 113787.52 \text{KN}$$

W : Poids sismique total du bâtiment

$w_i = w_{Gi} + \psi \cdot w_{Qi}$  Pour tout niveau  $i$  de la structure

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

$w_{Qi}$  : Charges d'exploitation.

$\psi$  : Coefficient d'accompagnement, fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation et donné au Tableau.

**Tableau IV.3 :** Les valeurs du coefficient d'accompagnement

Cas	Type d'ouvrage	$\psi$
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

**IV.4.4 Calcul de la force sismique par la méthode statique équivalente :**

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

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

$\lambda$  : Coefficient de correction

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

W: Poids sismique total du bâtiment

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

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

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

$$Temp = C_T \cdot (H_N)^{3/4} = 0.05 \times (36.72)^{3/4} = 0.75$$

On a site S3 et zone V alors  $T_2 = 0.60$  ;  $T_3 = 2$  ;  $S = 1.30$  ;  $I = 1$

Donc :  $\frac{S_{ad}}{g}(T) = A.I.S. \left( 2,5 \frac{Q_F}{R} \right) \cdot \left( \frac{T_2}{T} \right) = 0.138$

Avec :  $\lambda = 0.85$  ;  $\frac{S_{ad}}{g}(T) = 0.181$  ;  $W = 113787.52$

$$V = 0.85 \times 0.181 \times 113787.52 = 17506.21 \text{ KN}$$

Les résultats dynamiques sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau IV.4 : Résultats dynamique.**

Cas/Mode	Période [sec]	Masses Cumulées UX [%]	Masses Cumulées UY [%]	Masse Modale UX [%]	Masse Modale UY [%]	Tot.mas.UX [kg]	Tot.mas.UY [kg]
10/ 1	1,26	1,00	69,91	1,00	69,91	11378752,25	11378752,25
10/ 2	1,01	57,65	71,03	56,65	1,12	11378752,25	11378752,25
10/ 3	0,86	69,16	71,04	11,51	0,01	11378752,25	11378752,25
10/ 4	0,33	69,42	82,99	0,26	11,95	11378752,25	11378752,25
10/ 5	0,25	80,26	83,35	10,84	0,36	11378752,25	11378752,25
10/ 6	0,22	83,48	83,37	3,21	0,03	11378752,25	11378752,25
10/ 7	0,15	83,53	88,17	0,06	4,80	11378752,25	11378752,25
10/ 8	0,11	83,53	88,17	0,00	0,00	11378752,25	11378752,25
10/ 9	0,11	87,70	88,33	4,17	0,16	11378752,25	11378752,25
10/ 10	0,10	88,82	88,35	1,12	0,02	11378752,25	11378752,25
10/ 11	0,09	88,85	91,14	0,03	2,78	11378752,25	11378752,25
10/ 12	0,08	88,86	91,14	0,01	0,00	11378752,25	11378752,25
10/ 13	0,06	91,24	91,24	2,38	0,11	11378752,25	11378752,25

Après avoir terminer les calculs, nous avons ces résultats :

- $Temp < T_{dyn} < 1,3Temp$
- Le premier mode : une translation suivante y.
- Le deuxième mode : une translation suivante x.

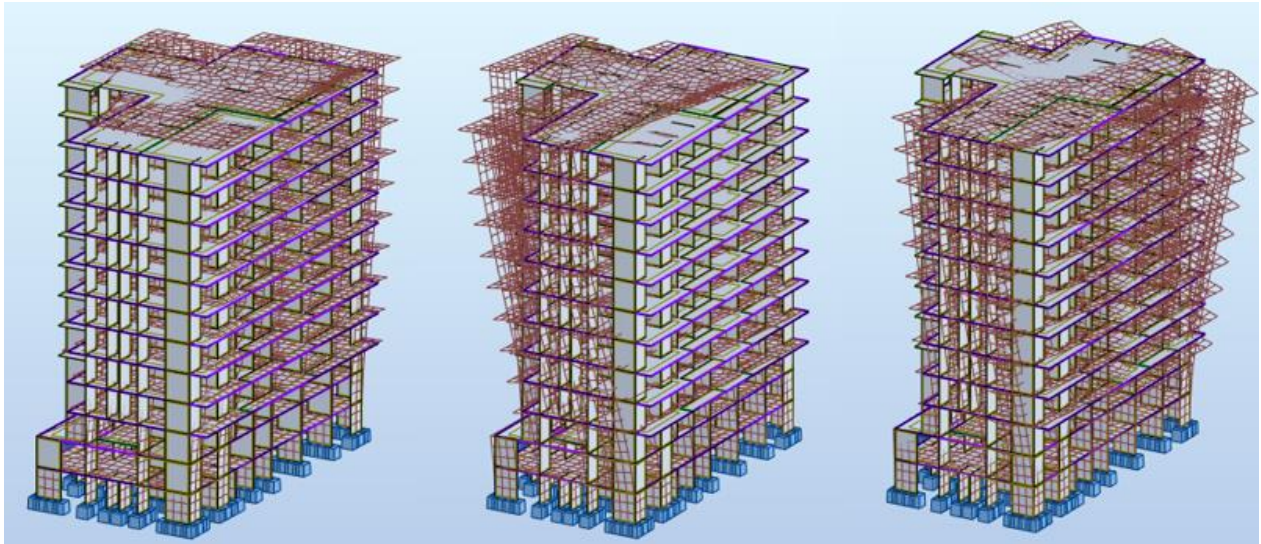
- Le troisième mode : une torsion.
- Les facteurs de participation massiques dépassent les 90% au 13ème mode pour les deux sens x et y

Les résultats sont présentés dans la figure suivante :

**Mode 1 : Translation X**

**Mode 2 : Translation Y**

**Mode 3 : Torsion**



**Figure IV.3** : La déformée des 3 premiers modes.

#### IV.4.5 Evaluation des excentricités :

Nous avons à calculer selon le **RPA2024** les excentricités théorique et accidentelle suivant les directions x et y puis procéder au calcul avec la plus grande des deux valeurs.

##### • Excentricité théorique :

$$E_x = X_m - X_t$$

$$E_y = Y_m - Y_t$$

$X_m$  ;  $Y_m$  : coordonnées du centre de masse.

$X_t$  ;  $Y_t$  : coordonnées du centre de torsion.

##### • Excentricité accidentelle :

$$E_{acc_x} = 0.05 \times \max(L_x, L_y) = 1.53 \text{ m}$$

$$E_{acc_y} = 0.05 \times \max(L_x, L_y) = 1.53 \text{ m}$$

$L_x$  ;  $L_y$  : dimensions de la structure en plan (21.10m ; 30.60m)

Le tableau suivant résume les résultats tirés du ROBOT :

Tableau III.5 : Evaluation des excentricités.

Cas/Etage	Nom	G (x,y,z) [m]	R (x,y,z) [m]	ex0 [m]	ey0 [m]
1/ 1	Etage 1	11,58 16,18 -0,5	10,42 17,17 -0,7	1,16	0,99
1/ 2	Etage 2	12,61 17,40 2,4	13,01 18,12 2,2	0,40	0,72
1/ 3	Etage 3	13,50 16,33 5,6	12,07 16,76 5,4	1,43	0,44
1/ 4	Etage 4	13,42 16,00 8,6	12,01 16,72 8,4	1,41	0,72
1/ 5	Etage 5	13,52 15,92 11,	12,31 16,71 11,	1,22	0,79
1/ 6	Etage 6	13,42 16,01 14,	12,01 16,72 14,	1,41	0,72
1/ 7	Etage 7	13,42 16,00 17,	12,01 16,72 17,	1,41	0,72
1/ 8	Etage 8	13,42 16,00 20,	12,01 16,72 20,	1,41	0,72
1/ 9	Etage 9	13,43 15,87 23,	11,97 16,71 23,	1,45	0,84
1/ 10	Etage 10	13,41 16,01 27,	12,01 16,72 26,	1,41	0,72
1/ 11	Etage 11	13,43 16,01 30,	12,01 16,72 29,	1,42	0,72
1/ 12	Etage 12	13,07 16,43 33,	12,49 16,71 32,	0,58	0,29

# **CHAPITRE V**

## **JUSTIFICATION DE LA STABILITE**

**V.1 Introduction :**

La stabilité d'un bâtiment est une exigence fondamentale pour sa sécurité et sa durabilité. Ce chapitre détaillera les analyses et calculs nécessaires pour garantir que la structure résiste aux diverses charges, sans défaillance ni déformation excessive. L'objectif est de s'assurer de l'équilibre statique et de l'intégrité de l'ouvrage, en conformité avec les normes et réglementations en vigueur.

**V.2 Les vérifications nécessaires :**

- La force sismique
- Le déplacement inter-étages
- P-delta

**V.3 Résultante des forces sismiques de calcul :**

Lorsque on utilise la méthode dynamique, la force sismique totale à la base ( $V_t$ ), obtenue en combinant les réponses modales, ne doit pas être inférieure à 80 % de la force sismique à la base ( $V$ ) déterminée par la méthode statique équivalente. Cette comparaison est faite pour une période fondamentale obtenue à partir de la formule empirique appropriée  $V_t > 0,8V$

Si  $V_t < 0,8V$ . Il faudra augmenter tous les paramètres de la réponse (forces, déplacements, moments...) dans le rapport  $r = \frac{0,8V}{V_t}$

Où :

$V_t$  : tiré du logiciel de calcul (modale spectrale)

$V$  : obtenu par la méthode statique équivalente

**Tableau V.1 :** résultante des forces sismique.

Sens	V (KN)	0,8V	$V_t$ (KN)	$0,8V \leq V_t$
X	17506.21	14004.97	14110.72	C.V
Y	17506.21	14004.97	14089.52	C.V

**V.4 Vérifications des déplacements inter-étages :**

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,  $\Delta k$ , données dans le Tableau (5.2) du RPA 2024 et  $V \cdot \Delta_K \leq \overline{\Delta_k}$

**Tableau V.2 :** Valeurs limites des déplacements inter-étages.

Type de Structure	Déplacement limite $\overline{\Delta_k}$
Bâtiments en Acier	0.0100 $h_K$
<b>Bâtiments en Béton Armé</b>	<b>0.0075 <math>h_K</math></b>
<b>Bâtiment en PAF</b>	<b>0.0050 <math>h_K</math></b>
<b>Bâtiments en Bois</b>	<b>0.0075 <math>h_K</math></b>
<b>Bâtiments en Maçonnerie Chainée</b>	<b>0.0050 <math>h_K</math></b>

$\Delta_K$ : 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

Notre structure est un bâtiment en béton armé donc le déplacement limite sera : 0.0075Hk

$$\Delta x \times V_A < 0.0075Hk$$

$$\Delta y \times V_A < 0.0075Hk$$

**Tableau V.3 :** vérification déplacement inter-étages.

Niveau	H Cm	$\Delta x$ cm	$\Delta y$ cm	$\Delta x \times V_A$ Cm	$\Delta y \times V_A$ cm	0.0075H	Observation pour x	Observation pour y
1	306	0,4248	0,5544	0,2124	0,2772	2,295	Vérifiée	Vérifiée
2	306	1,1376	2,1348	0,5688	1,0674	2,295	Vérifiée	Vérifiée
3	306	1,836	3,0744	0,918	1,5372	2,295	Vérifiée	Vérifiée
4	306	2,0664	3,3912	1,0332	1,6956	2,295	Vérifiée	Vérifiée
5	306	2,2428	3,492	1,1214	1,746	2,295	Vérifiée	Vérifiée
6	306	2,2896	3,4524	1,1448	1,7262	2,295	Vérifiée	Vérifiée
7	306	2,286	3,3192	1,143	1,6596	2,295	Vérifiée	Vérifiée
8	306	2,2212	3,1212	1,1106	1,5606	2,295	Vérifiée	Vérifiée
9	306	2,124	2,8764	1,062	1,4382	2,295	Vérifiée	Vérifiée
10	306	1,9728	2,61	0,9864	1,305	2,295	Vérifiée	Vérifiée
11	306	1,8504	2,3688	0,9252	1,1844	2,295	Vérifiée	Vérifiée
12	306	1,7136	2,1456	0,8568	1,0728	2,295	Vérifiée	Vérifiée

**V.5 Vérification de P-delta :**

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 :

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

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

Vk : effort tranchant d'étage au niveau k

$\Delta$  : déplacement relatif du niveau k par rapport au niveau k-1

hk : hauteur du niveau k.

Les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tableau V.4 :** vérification effets du second ordre sens x-x.

Etage	P	$\Delta$	V	H	$\theta$	Vérification
1	-110667	0,4248	14110,7	3,06	0,01089	OK
2	-99756	1,1376	13971,8	3,06	0,02654	OK
3	-92223	1,836	13695,4	3,06	0,0404	OK
4	-83109	2,0664	13095	3,06	0,04286	OK
5	-73850	2,2428	12338,7	3,06	0,04387	OK
6	-64659	2,2896	11462,3	3,06	0	OK
7	-55397	2,286	10467,8	3,06	0	OK
8	-46128	2,2212	9362,52	3,06	0	OK
9	-36869	2,124	8107,94	3,06	0	OK
10	-27662	1,9728	6649,99	3,06	0	OK
11	-18392	1,8504	4880,64	3,06	0,01423	OK
12	-9141	1,7136	2631,09	3,06	0,04988	OK

Tableau V.5 : vérification effets du second ordre sens y-y.

<b>Etage</b>	<b>P</b>	<b><math>\Delta</math></b>	<b>V</b>	<b>H</b>	<b><math>\theta</math></b>	<b>Vérification</b>
<b>1</b>	<b>-110667</b>	<b>0,5544</b>	<b>14089,6</b>	<b>3,06</b>	<b>0,01423</b>	<b>OK</b>
<b>2</b>	<b>-99756</b>	<b>2,1348</b>	<b>13951,2</b>	<b>3,06</b>	<b>0,04988</b>	<b>OK</b>
<b>3</b>	<b>-92223</b>	<b>3,0744</b>	<b>13616,1</b>	<b>3,06</b>	<b>0,06805</b>	<b>OK</b>
<b>4</b>	<b>-83109</b>	<b>3,3912</b>	<b>12932</b>	<b>3,06</b>	<b>0,07122</b>	<b>OK</b>
<b>5</b>	<b>-73850</b>	<b>3,492</b>	<b>12117,4</b>	<b>3,06</b>	<b>0,06955</b>	<b>OK</b>
<b>6</b>	<b>-64659</b>	<b>3,4524</b>	<b>11212,2</b>	<b>3,06</b>	<b>0</b>	<b>OK</b>
<b>7</b>	<b>-55397</b>	<b>3,3192</b>	<b>10238,4</b>	<b>3,06</b>	<b>0</b>	<b>OK</b>
<b>8</b>	<b>-46128</b>	<b>3,1212</b>	<b>9204,93</b>	<b>3,06</b>	<b>0</b>	<b>OK</b>
<b>9</b>	<b>-36869</b>	<b>2,8764</b>	<b>8039,24</b>	<b>3,06</b>	<b>0</b>	<b>OK</b>
<b>10</b>	<b>-27662</b>	<b>2,61</b>	<b>6669,48</b>	<b>3,06</b>	<b>0</b>	<b>OK</b>
<b>11</b>	<b>-18392</b>	<b>2,3688</b>	<b>4977,81</b>	<b>3,06</b>	<b>0</b>	<b>OK</b>
<b>12</b>	<b>-9141</b>	<b>2,1456</b>	<b>2745,23</b>	<b>3,06</b>	<b>0</b>	<b>OK</b>

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

#### **V.6 Conclusion :**

En conclusion, l'ensemble des calculs de stabilité menés a permis de vérifier que la structure du bâtiment répond aux exigences normatives les plus strictes. Les résultats confirment que l'ouvrage présente un équilibre statique satisfaisant et une intégrité structurelle robuste, garantissant ainsi sa stabilité et la sécurité des futurs occupants.

# **CHAPITRE VI**

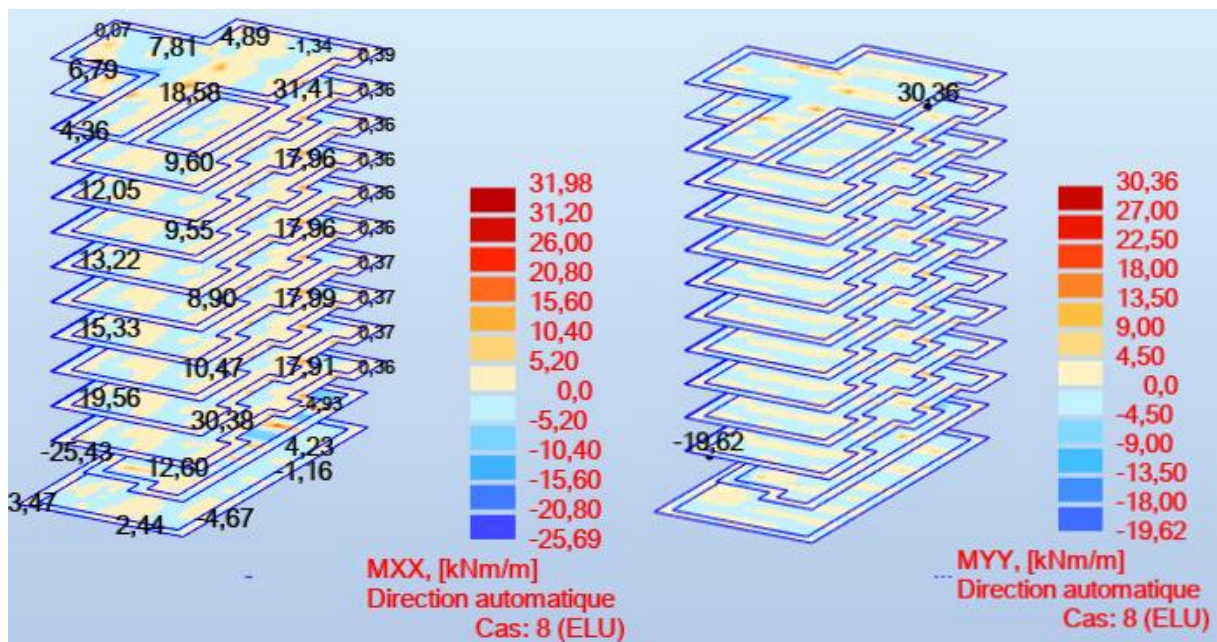
## **Etude des éléments structuraux**

**VI.1 Etude du plancher :**

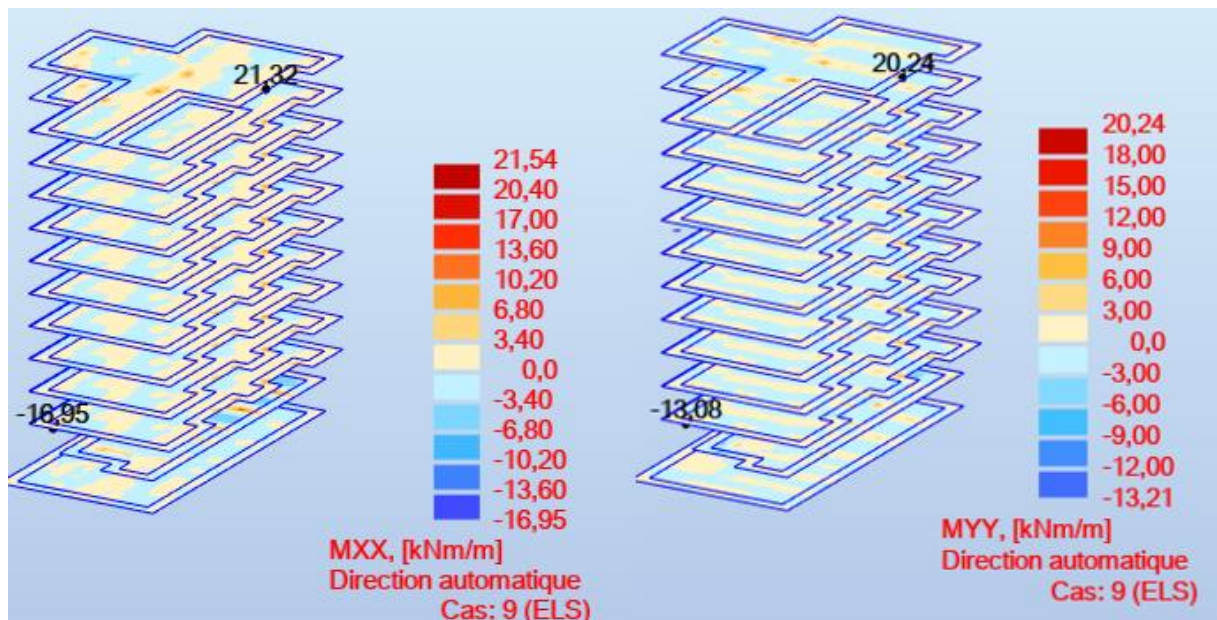
Le ferrailage de la dalle pleine de nos étages sera conçu à l'aide de Robot 2024 et Robot Expert 2010. Le principe de calcul est la flexion simple.

**VI.1.1 Les moments :**

Les moments de la dalle sont tirés à partir du Robot présentés dans les figures suivantes :



**Figure VI.1 :** Résultats de cartographie (ELU).



**Figure VI.2 :** Résultats de cartographie (ELS).

Les moments max sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tableau VI.1** : Les moments max de la dalle.

Sens	ELU (KN.m)	ELS (KN.m)
X-X	31.98	21.34
Y-Y	30.36	20.24

**VI.1.2 Le ferrailage :**

The screenshot shows the 'Calcul' tab of the Robot Expert software. Under 'Charges (kN\*m)', the following values are entered:

- ELU:  $M_{max} = 31.98$ ,  $M_{min} = -25.69$
- ELS:  $M_{max} = 21.34$ ,  $M_{min} = -16.95$
- ELA:  $M_{max} = 0.00$ ,  $M_{min} = 0.00$

The 'Prise en compte des armatures comprimées' checkbox is checked. The 'Résultats' section shows:

- $A_{s1} = 6.7$  cm<sup>2</sup>,  $A_{s2} = 5.3$  cm<sup>2</sup>
- % d'armatures  $\rho = 0.69$  %
- Valeurs réglementaires: % d'armatures minimum  $\rho_{min} = 0.13$  %, % d'armatures maximum  $\rho_{max} = N/A$
- The 'Dispositions sismiques' checkbox is unchecked.

The 'Section (cm)' section shows:

- $b = 100.0$  cm (checked 'Bloquée')
- $h = 20.0$  cm (checked 'Bloquée')
- $d_1 = 2.5$  cm,  $d_2 = 2.5$  cm

The status bar at the bottom indicates 'CALCUL TERMINE'. Buttons for 'CALCULER', 'Note', 'Quitter', 'Amatures ...', 'Préférences ...', 'Aide', and 'A propos...' are visible.

**Figure VI.3** : Résultats de Robot Expert sens x-x.

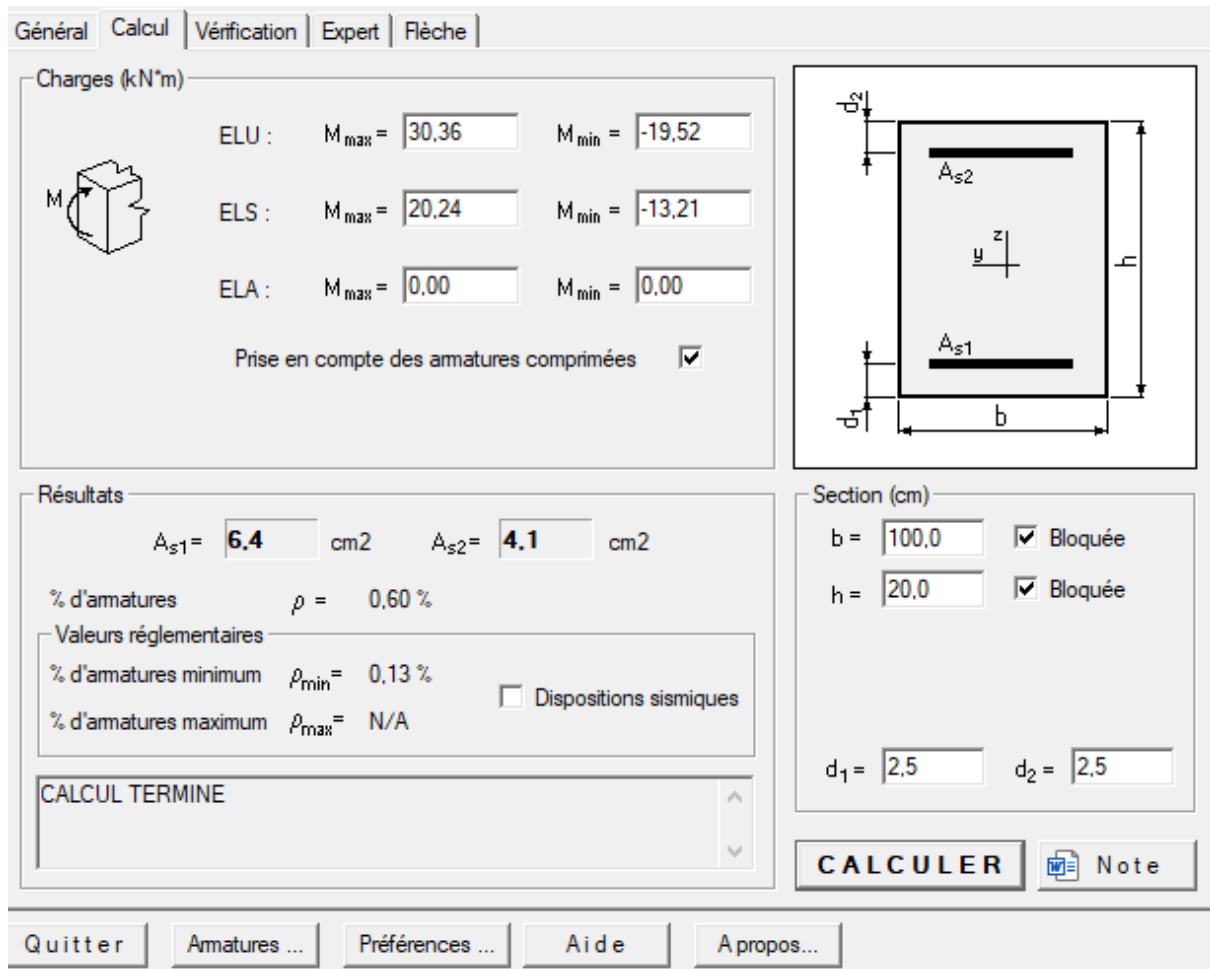


Figure VI.4 : Résultats de Robot Expert sens y-y.

Le tableau suivant résume le choix des armatures de la dalle :

Tableau VI.2 : Choix des armatures.

Sens	A calculé	A min	Choix	A choix
X-X	6.7	1.44	6HA12	6.79
Y-Y	6.4	1.44	6HA12	6.79

### VI.1.3 Les vérifications :

$$A_{min} = 0.0008 \times b \times d = 0.0008 \times 100 \times 18 = 1,44 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

$$A_{min} = 1.44 \text{ cm}^2/\text{ml} < A_{cal} = 6.7 \text{ cm}^2/\text{ml} \text{ C.V}$$

$$D = \frac{15 \times A}{b} = \frac{15 \times 6.79}{100} = 1.02 \text{ cm}$$

$$E = 2 \times d \times D = 2 \times 18 \times 1.02 = 36.72 \text{ cm}^2$$

$$y1 = -D + \sqrt{D^2 + E} = -1.02 + \sqrt{1.02^2 + 36.72} = 5.12 \text{ cm}$$

$$I = \frac{b \times y^3}{3} + 15 \times A \times (d - y1)^2 \Rightarrow I = 21370.27 \text{ cm}^4$$

$$K = \frac{M_{ser}}{I} = \frac{12340}{21370.27} = 0.58$$

$$\sigma_b = K \cdot y_1 = 2.97 \text{MPa} \leq \bar{\sigma}_b = 15 \text{MPa} \Rightarrow \text{C.V}$$

$$\sigma_s = 15 \cdot K \cdot (d - y_1) = 112.06 \text{MPa} \leq \bar{\sigma}_s = 201.6 \text{MPa} \Rightarrow \text{C.V}$$

### Espacement des barres :

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

$$St \leq \min (2h ; 25 \text{ cm})$$

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

$$St = 15 \text{ cm} \leq 25 \text{ cm}$$

### VI.1.4 Dessin de ferrailage :

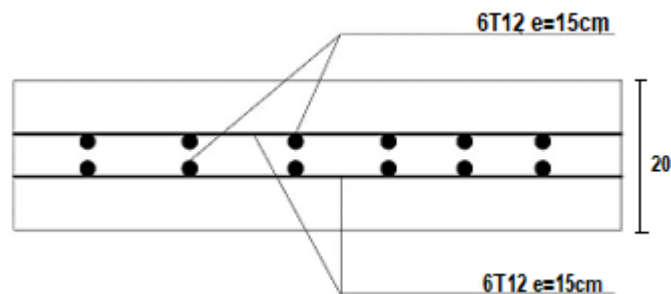


Figure VI.5 : Dessin de ferrailage de la dalle pour 1ml.

## VI.2 Etude de la poutre :

Le ferrailage de la poutre sera conçu à l'aide de Robot 2024 et Robot Expert 2010. Le principe de calcul est la flexion simple.

### VI.2.1 Les moments :

Les moments de la poutre principale sont tirés à partir du Robot présentés dans les figures suivantes :

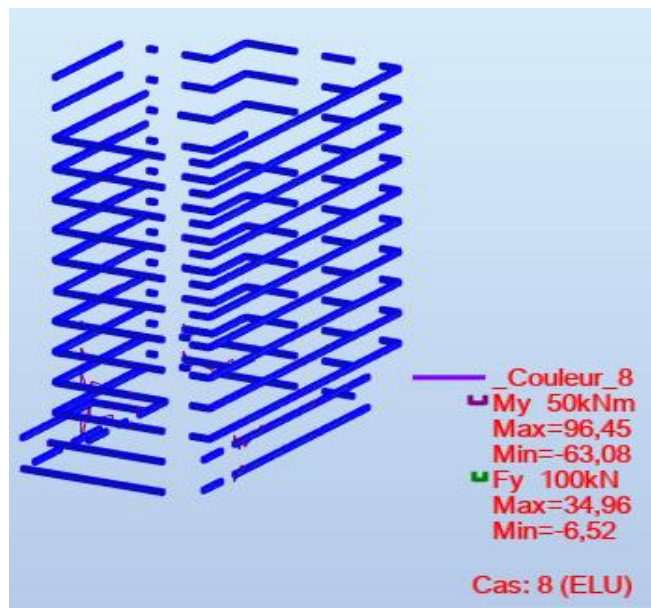


Figure VI.6 : Résultats de cartographie (ELU).

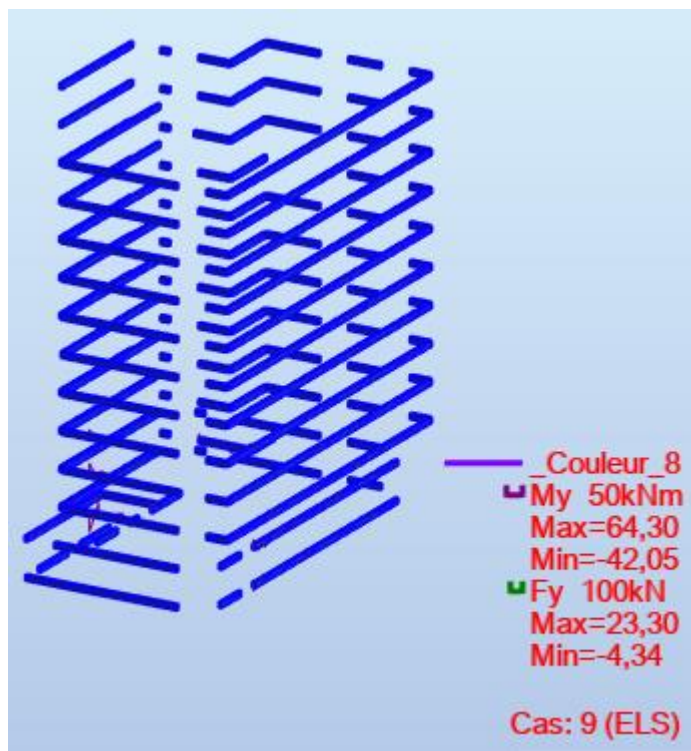


Figure VI.7 : Résultats de cartographie (ELS).

Les moments max sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tableau VI.3 : Les moments et efforts tranchants PP.**

Cas	Sollicitations	Moment (KN*m)	Effort tranchant (KN)
ELU	$M_t$	96.45	34.96
	$M_a$	-63.08	-
ELS	$M_t$	64.30	23.30
	$M_a$	-42.05	-

**VII.2.2 Le ferrailage :**

The screenshot shows a software interface for reinforced concrete design. It is divided into several sections:

- Charges (kN\*m):** This section contains input fields for maximum and minimum moments for different load cases. For ELU,  $M_{max} = 96.45$  and  $M_{min} = 0.00$ . For ELS,  $M_{max} = 64.30$  and  $M_{min} = 0.00$ . For ELA, both are 0.00. There is a checkbox for "Prise en compte des armatures comprimées" which is checked.
- Résultats:** This section displays the calculated reinforcement areas:  $A_{s1} = 8.0$  cm<sup>2</sup> and  $A_{s2} = 0.0$  cm<sup>2</sup>. It also shows the reinforcement ratio  $\rho = 0.59\%$ . Below this, there are "Valeurs réglementaires" (regulatory values) for minimum and maximum reinforcement percentages, with  $\rho_{min} = 0.12\%$  and  $\rho_{max} = N/A$ . A checkbox for "Dispositions sismiques" is present and unchecked. A status bar at the bottom of this section says "CALCUL TERMINE".
- Section (cm):** This section contains input fields for the width  $b = 30.0$  and height  $h = 50.0$ . Both fields have a "Bloquée" (locked) checkbox checked. There are also input fields for effective depths  $d_1 = 5.0$  and  $d_2 = 5.0$ .
- Diagram:** A schematic diagram of a rectangular cross-section with width  $b$  and height  $h$ . It shows reinforcement bars at the top ( $A_{s2}$ ) and bottom ( $A_{s1}$ ). A coordinate system with  $y$  and  $z$  axes is centered in the section.
- Buttons:** At the bottom right, there is a "CALCULER" button and a "Note" button with a document icon. At the very bottom, there are navigation buttons: "Quitter", "Amaturation...", "Préférences...", "Aide", and "A propos..."

**Figure VI.8:** ferrailage en travée.

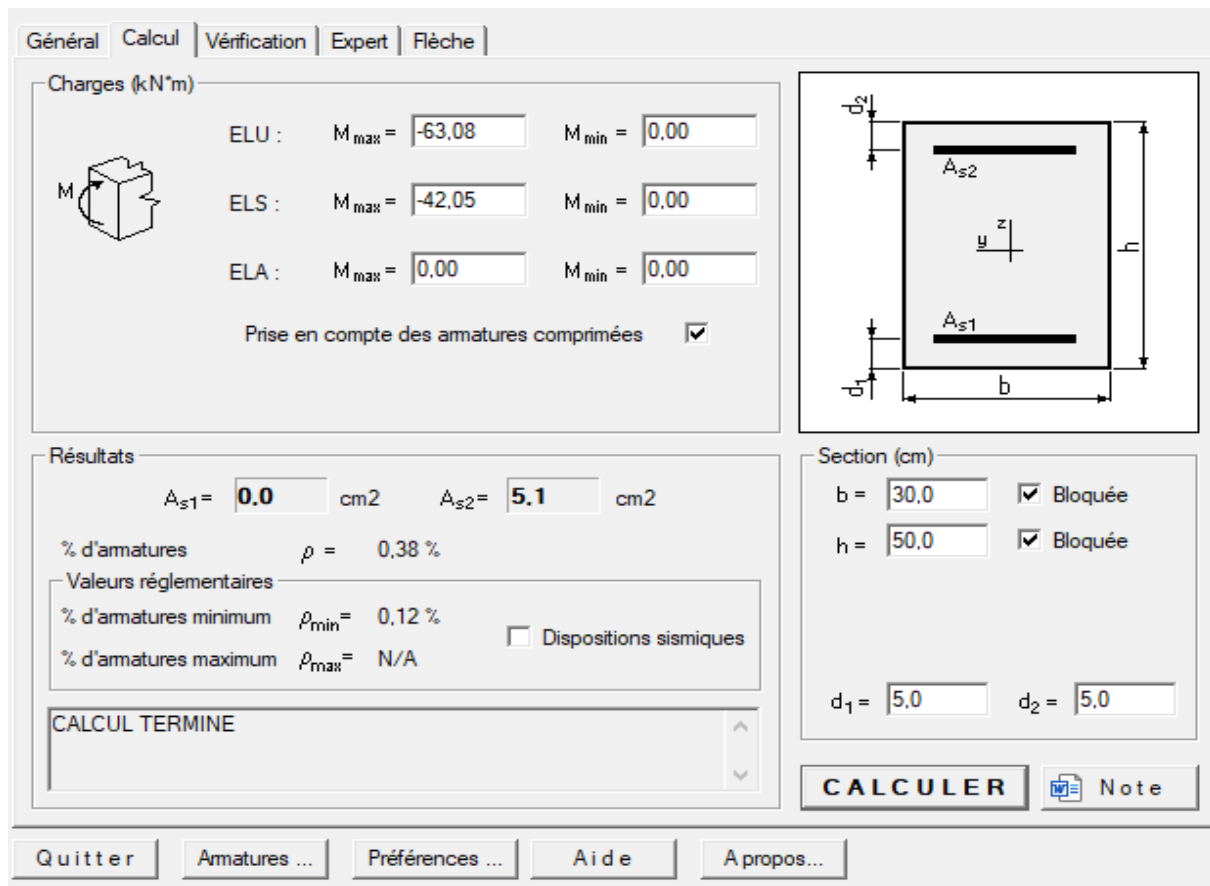


Figure VI.9 : ferrailage en appui.

VII.2.3 Les vérifications :

- **Condiotn de non fragilité : (BAEL.91)**

$$A_{min} = 0.23 \times \frac{f_{t28}}{f_e} \times b \times d = 1.63 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

$$A_{min} = 1.63 \text{ cm}^2/\text{ml} < A_{cal} = 8 \text{ cm}^2/\text{ml} \text{ C.V}$$

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

$$\tau_u = \frac{T_u}{bd} < \bar{\tau}_u = \min \left( \frac{0.15 f_{c28}}{\gamma_b} ; 4 \text{ MPa} \right) \text{ Fissuration préjudiciable}$$

$$\tau_u = 0.07 \text{ MPa} < 2.5 \text{ MPa} \quad \text{C.V}$$

- **Armature de peau :**

$$A_c \geq 0.002 \times b \times h$$

$$A_c \geq 3 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{On prend } A_c = 3 \text{ cm}^2 \text{ choix : 2HA14 (3.08 cm}^2)$$

Le tableau suivant présente le choix des armatures de notre poutre :

**Tableau VI.4 : Choix des armatures.**

Sens	A calculé	A min	Choix	A choix
Travée	8	1.63	6HA14	9.24
Appui	5.1	1.63	3HA16	6.03

#### VI.2.4 Poutre secondaire :

Les tableaux suivants (tableau 5), (tableau 6) résument les moments et le choix des armatures de la poutre secondaire.

**Tableau VI.5 : Les moments de la poutre secondaire**

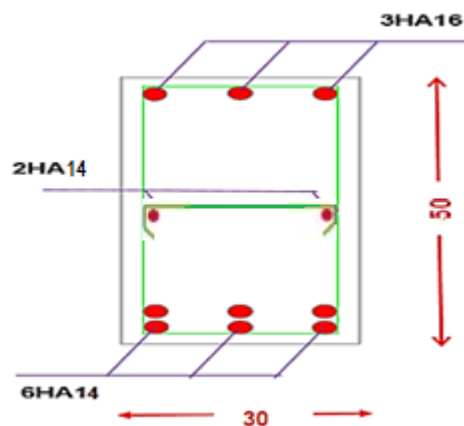
Cas	Sollicitations	Moment (KN*m)
ELU	$M_t$	11.21
	$M_a$	-22.30
ELS	$M_t$	7.47
	$M_a$	-14.80

**Tableau VI.6 : Choix des armatures.**

Sens	A calculé	A min	Choix	A choix
Travée	1.3	1.41	3HA14	4.62
Appui	2.3	1.41	3HA14	4.62

#### VI.2.5 Dessin de ferrailage :

- Poutre principale :



**Figure VI.10 : Dessin de ferrailage PP.**

- Poutre secondaire :

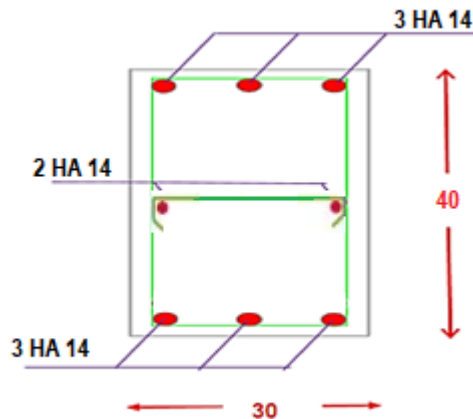


Figure VI.11 : Dessin de ferrailage PS.

### VI.3 Voiles périphériques :

Selon, Les ossatures au-dessous du niveau de base, avec une zone sismique élevée doivent comporter un voile périphérique continu entre le niveau des fondations et le niveau de base.

Ce voile doit avoir les caractéristiques minimales ci-dessous :

- Epaisseur  $\geq 15$  cm.
- Les armatures sont constituées de deux nappes.
- Le pourcentage minimum des armatures est de 0.10% dans les deux sens (horizontal et vertical).

Les ouvertures dans ce voile ne doivent pas réduire sa rigidité d'une manière importante.

#### VI.3.1 Calcul des sollicitations :

##### Calcul de l'effort :

$$P_{pr} = \rho_b \times h \times e \Rightarrow P_{pr} = 15.3 \text{ KN}$$

Avec :

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

$$h : \text{ Hauteur du voile} = 3.06\text{m}$$

$$e : \text{ Epaisseur de voile} = 20\text{cm}$$

- ELU :

$$N = 1,35 \times 15.3 = 22.95 \text{ KN}$$

- **ELS :**

$$N = P_{pr} = 15.3 \text{ KN}$$

**Calcul des contraintes :**

$$\sigma = K_P \times \gamma \times h$$

Avec :

$$K_P: \text{coefficient de poussée} : K_P = \text{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right);$$

$\gamma$ : Poids volumique des terres

$\varphi$  : Angle de frottement

$$h=3.06 \Rightarrow \sigma_1 = 0.333 \times 18 \times 3.06 = 18.34 \text{ kN/m}^2$$

$$h=0 \Rightarrow \sigma_1 = 0 \text{ kN/m}^2$$

**Combinaisons fondamentales :**

On va considérer le voile comme une dalle qui s'appuie sur 4 cotés avec une charge uniformément répartie  $q$ .

- **ELU :**

$$q_u = 1.35 \times 10 = 13.5 \text{ KN/m}^2$$

Pour une bande de 1m de largeur :

$$q_u = q_u \times 1.00 = 13.5 \text{ KN/ml}$$

- **ELS :**

$$q_s = 10 \text{ KN/m}^2$$

Pour une bande de 1m de largeur :

$$q_s = q_s \times 1.00 = 10 \text{ KN/ml}$$

**VI.3.2 Calcul des moments :**

$$M_x = \mu_x \times q \times l_x^2$$

$$M_y = \mu_y \times M_x$$

$$\rho = \frac{l_x}{l_y} = 0.65 \Rightarrow \text{ELU} : \mu_x = 0.0751 ; \mu_y = 0.3613$$

$$\text{ELS} : \mu_x = 0.0805 ; \mu_y = 0.5235$$

Les moments sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tableau VI.7 : Les moments en travée et en appui.**

Combinaisons	Sens x-x		Sens-y-y	
	E.L. U	E.L. S	E.L. U	E.L. S
$M_a$ [KN.m]*0.5	2.028	1.610	0.733	0.843
$M_t$ [KN.m]*0.75	3.041	2.415	1.098	1.265

**VI.3.3 Calcul de ferrailage :**

Les figures suivantes présentent le calcul de ferrailage du sens x et sens y à l'aide du Robot Expert :

The screenshot shows the 'Robot Expert' software interface for reinforcement calculation. It is divided into several sections:

- Charges (kN\*m):** A panel with a moment icon and input fields for maximum and minimum moments for three load cases:
  - ELU:  $M_{max} = 2.03$ ,  $M_{min} = -3.04$
  - ELS:  $M_{max} = 1.61$ ,  $M_{min} = -2.42$
  - ELA:  $M_{max} = 0.00$ ,  $M_{min} = 0.00$
 A checkbox 'Prise en compte des armatures comprimées' is checked.
- Section (cm):** A diagram of a rectangular section with width  $b$  and height  $h$ . Reinforcement areas  $A_{s1}$  and  $A_{s2}$  are indicated. Input fields show  $b = 100.0$  and  $h = 30.0$ , both marked as 'Bloquée' (locked). Effective depths  $d_1 = 2.0$  and  $d_2 = 2.0$  are also shown.
- Résultats:** A panel showing the calculated reinforcement area  $A_{s1} = 3.1$  cm<sup>2</sup> and  $A_{s2} = 3.1$  cm<sup>2</sup>. The percentage of reinforcement is  $\rho = 0.22\%$ . It also lists regulatory values: minimum  $\rho_{min} = 0.11\%$  and maximum  $\rho_{max} = N/A$ . A checkbox 'Dispositions sismiques' is unchecked. A status bar at the bottom of this panel shows  $A_s = 6,2 \text{ cm}^2 < A_s(\text{min}) = 6,2 \text{ cm}^2$  and 'CALCUL TERMINE'.
- Buttons:** At the bottom, there are buttons for 'CALCULER' and 'Note', and a footer with 'Quitter', 'Armatures ...', 'Préférences ...', 'Aide', and 'A propos...'.

**Figure VI.12 : Résultat de Robot Expert sens x-x.**

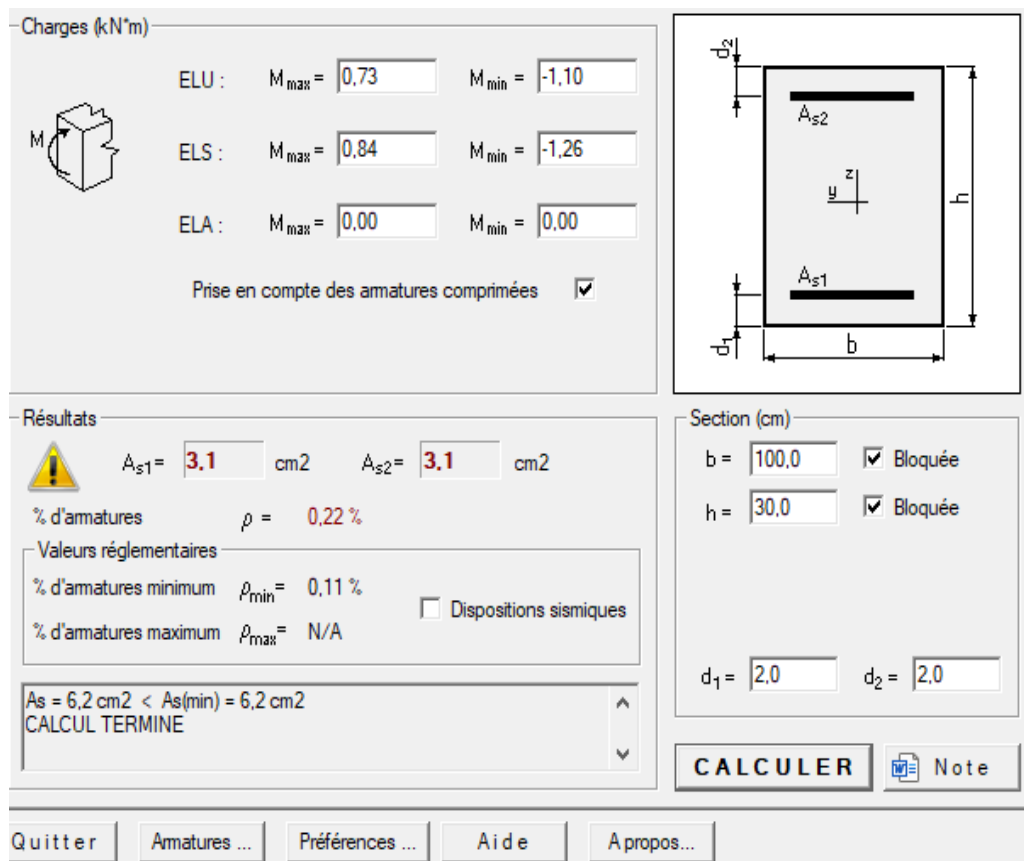


Figure VI.13 : Résultat de Robot Expert sens y-y.

**Condition de non fragilité : [CBA91/A4.2.1]**

$$A_{min} = 0,0008 \times b \times h = 0.0008 \times 100 \times 30 = 2.4 \text{ cm}^2 / \text{ml}$$

**Condition RPA2024 :**

$$ARPA = 0,1\% \times b \times h$$

$$ARPA = 0,0001 \times 100 \times 30 = 3 \text{ cm}^2 / \text{ml}$$

$$A = \max(A_{cal}; A_{min}; ARPA) \quad A = 3.1 \text{ cm}^2 / \text{ml}$$

**Choix :** 4T10 (A=3,14 cm²/ml) pour les deux sens puisque on a trouvé le même As.

Les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau VI.8 : choix des armatures voile périphérique.

Sens	A calculé	A min	Choix	A choix
x-x	3.1	2.4	4HA10	3.14
y-y	3.1	2.4	4HA10	3.14

VI.3.4 Dessin de ferrailage :

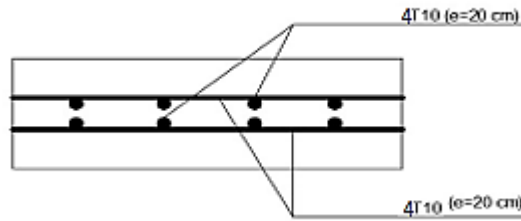


Figure VI.14 : Dessin de ferrailage du voile périphérique pour 1ml.

VI.4 Etude des voiles :

L'étude des voiles se fait selon le RPA2024 avec les combinaisons suivantes :

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

$$\begin{aligned} &G + \psi \cdot Q + E3 \\ &G + \psi \cdot Q + E4 \\ &G + \psi \cdot Q + E5 \end{aligned}$$

Avec la même méthode des voiles périphériques Nous allons procéder directement au ferrailage à l'aide du logiciel Robot 2024. Le calcul se fait en flexion composé.

Par cartographie on tire le ferrailage du sens x et sens y.

VI.4.1 Le ferrailage :

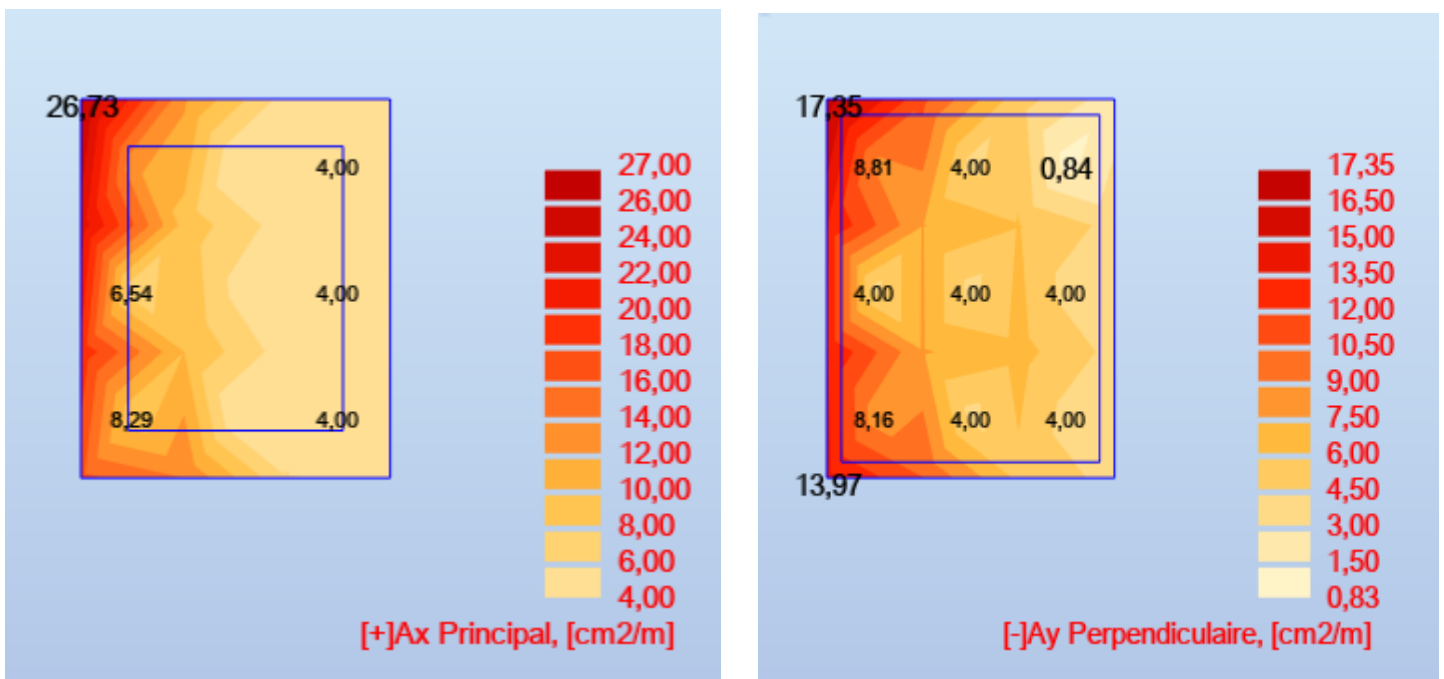


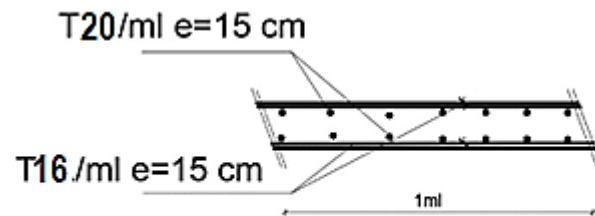
Figure VI.15 : Résultats de cartographie.

Le tableau suivant présente le choix des armatures de notre voile :

**Tableau VI.9:** Choix des armatures.

Epaisseur (cm)	$A_x$ ( $\text{cm}^2/\text{m}$ )	Choix	$A_y$ ( $\text{cm}^2/\text{m}$ )	Choix
40	27	9T20	17.35	9T16

#### VI.4.2 Dessin de ferrailage :



**Figure VI.16 :** Dessin de ferrailage du voile.

# **CHAPITRE VII**

## **Fondation**

### VII.1 Introduction :

Pour assurer la stabilité à long terme d'une structure, la conception et la construction de ses fondations sont primordiales. Ce chapitre a pour objectif de nous guider dans le choix du type de fondation approprié, la détermination de ses dimensions et le calcul de l'armature nécessaire.

Il existe trois catégories de fondations superficielles :

- Semelle isolée.
- Semelle filante.
- Radier général.

### VII.2 Choix du type de fondation :

Le choix des semelles isolées et filantes pour notre bâtiment pouvait être adopté si la condition **Surface des semelles / Surface du bâtiment  $\leq 50$  %** était vérifiée, ce qui n'est pas le cas pour notre structure et que le projet a une grande importance côté masse et hauteur. Donc pour éviter le chevauchement, on va opter pour un radier général qui est un type de fondation qui s'apparente à une dalle en béton armé. Coulé directement sur le sol, le radier peut être platou renforcé par des nervures. On le considère souvent comme un "plancher renversé" en raison de sa conception et de son fonctionnement.

### VII.3 Le radier :

Le radier présente plusieurs avantages significatifs. L'un des principaux est sa capacité à répartir le poids de la structure sur une vaste surface. Cette répartition permet de réduire la pression exercée sur le sol, ce qui minimise considérablement le risque d'affaissement de la structure.

En plus de ses bénéfices structurels, le radier offre une facilité d'exécution notable comparée à d'autres types de fondations. Il requiert moins de coffrage et ne nécessite pas une excavation aussi importante, ce qui peut simplifier et accélérer le processus de construction.

### VII.4 Prédimensionnement :

Le radier se comporte comme un plancher inversé où les murs voiles (ou murs de refend) servent d'appuis. Il est soumis à une pression du sol agissant uniformément du bas vers le haut, et est généralement considéré comme infiniment rigide pour des raisons de calcul. Il se comporte comme un plancher renversé et il se calcule de la même façon à la flexion simple avec les combinaisons d'action suivantes, selon **RPA (V.5.7/2024)** :

$$\left\{ \begin{array}{l} G + \psi_1 Q \pm 1.4 E_x \\ G + \psi_2 Q \pm 1.4 E_y \end{array} \right.$$

L'épaisseur du radier est une dimension cruciale qui doit satisfaire à plusieurs conditions, notamment :

- Rigidité.
- Forfaitaire.
- Non poinçonnement.
- Non cisaillement.

On commence par :

#### VII.4.1 Condition de rigidité :

- $L_e \geq \frac{2L_{max}}{\pi}$  et  $L_e = \sqrt[4]{\frac{4EI}{K \times b}}$
- $h \geq \sqrt[3]{\frac{3K}{E} \times \left(\frac{2b}{\pi}\right)^4} \Rightarrow h \geq \sqrt[3]{\frac{3 \times 20000}{3,2 \times 10^4} \times \left(\frac{2 \times 5,35}{\pi}\right)^4} \Rightarrow h \geq 63,19\text{cm}$
- $h_n \geq \frac{L}{10} \Rightarrow h_n \geq 53,5\text{cm}$

On prend :  $L_e = 4\text{m}$  ;  $h = 100\text{cm}$  ;  $h_n = 55\text{cm}$

Avec :

$L_e$  : longueur élastique

$L_{max}$  : longueur du panneau le plus sollicité = 5.35m

$E$  : module de Young =  $3,2 \cdot 10^4$  MPa

$I$  : moment d'inertie du radier

$K$  : coefficient d'élasticité du sol = 20 kN/m<sup>3</sup>

$B$  : largeur du panneau le plus sollicité = 5.35m

#### VII.4.2 Condition forfaitaire :

$$\frac{l_{max}}{8} \leq h \leq \frac{l_{max}}{5} \Rightarrow \frac{5,35}{8} \leq h \leq \frac{5,35}{5} \Rightarrow 66,88\text{cm} \leq h \leq 107\text{cm} \Rightarrow h=100\text{cm}$$

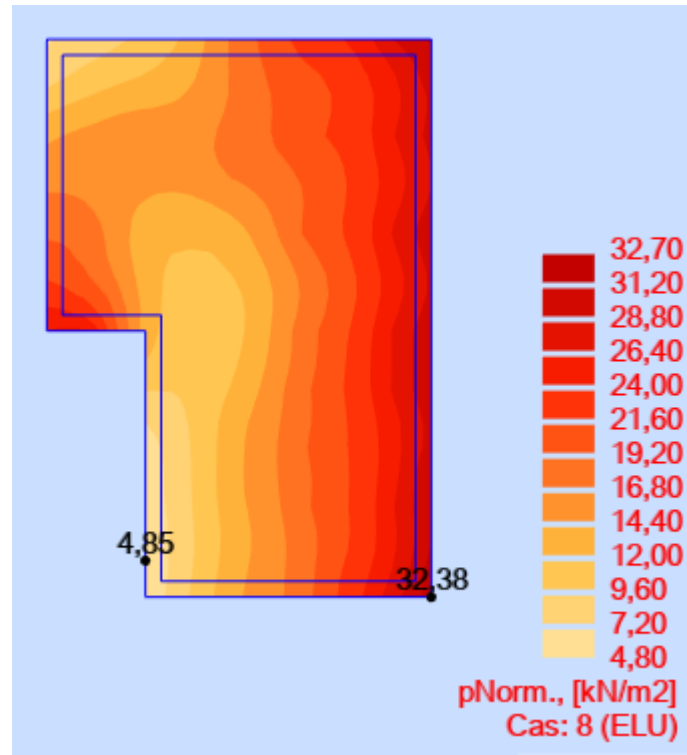
$$hr \geq \frac{L_{max}}{20} \Rightarrow hr=40\text{cm}$$

#### VII.4.3 Vérification des contraintes :

Après avoir modéliser le radier avec Robot 2024, on a eu les contraintes présentées dans les figures suivantes.

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

$$\sigma_{sol} = 3 \text{ Mpa} ; 1,5\sigma_{sol} = 4.50 \text{ Mpa}$$



**Figure VII.1 :** Cartographie de contrainte du sol à l'ELU.

$$\sigma_m = \frac{3\sigma_{max}}{4} = \frac{3 \times 0,32}{4} = 0,24 \text{ bars} < 4,50 \text{ bars} \quad \text{C.V}$$

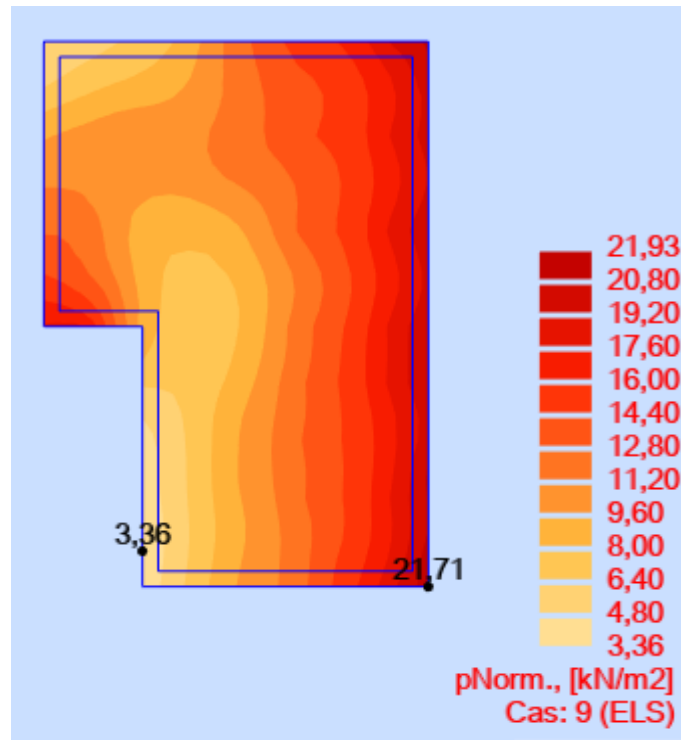


Figure VII.2 : Cartographie de contrainte du sol à l'ELS.

Les contraintes calculées sous le radier à l'ELS ne nécessitent pas de majoration.

$$\sigma_m = \frac{3\sigma_{max}}{4} = \frac{3 \times 0,22}{4} = 0,17 \text{ bars} < 3 \text{ bars} \quad \text{C.V}$$

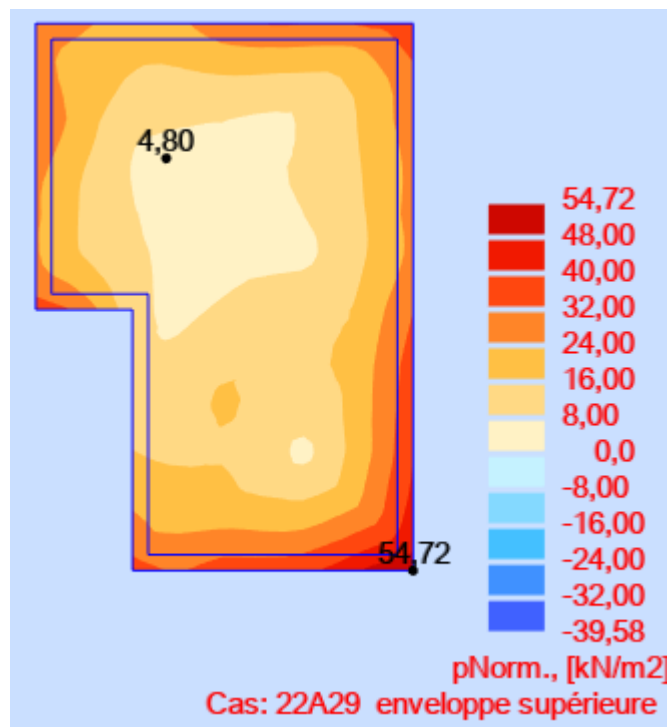


Figure VII.3 : Cartographie de contrainte du sol ACC.

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

$$\sigma_m = \frac{3\sigma_{max}}{4} = \frac{3 \times 0.55}{4} = 0.41 \text{ bars} < 4.50 \text{ bars} \quad \mathbf{C.V}$$

#### VII.4.4 Vérification des contraintes de cisaillement :

A l'aide du logiciel ROBOT, nous avons pu tirer l'effort tranchant de notre radier pour déterminer la contrainte de cisaillement, afin de la comparer avec la contrainte de cisaillement admissible calculée selon la condition du **BAEL91** suivante :

$$\tau \leq \bar{\tau}_u \quad \text{Avec :}$$

$$\tau_u = \frac{T_{max}}{bd} = \frac{T_{max}}{b \times 0.9h} \quad ; \quad \bar{\tau}_u = \min\left(\frac{0.15 f_{c28}}{\gamma_b} ; 4 \text{ MPa}\right)$$

$$T_{max} = 260.25 \text{ KN/m (tiré du robot)}$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$d = 0.9h = 90 \text{ cm}$$

$$f_{c28} = 25 \text{ MPa}$$

$$\gamma_b = 1.2 \text{ Selon RPA2024}$$

$$\tau = 0.3 \text{ MPa} \leq \bar{\tau}_u = 3.125 \text{ MPa} \quad \mathbf{C.V}$$

#### VII.4.5 Vérification du poinçonnement :

$$Q_u < 0,045 U_c \times h \times \frac{f_{c28}}{\gamma_b}$$

$Q_u$  : La charge de calcul à l'ELU.  $\Rightarrow Q_u = 500 \text{ KN}$

$U_c$  : Périmètre du contour cisailé.  $\Rightarrow U_c = 2(a+h) + 2(b+h) = 14.12 \text{ m}$

a,b : Dimensions du voile

h : hauteur du radier

$$\gamma_b = 1.5 \text{ à l'ELU}$$

$Q_u = 500 \text{ KN} < 10590 \text{ KN} \quad \mathbf{C.V}$  pas de risque de poinçonnement

#### VII.5 Calcul du ferrailage :

Les moments en appuis et en travées sont pris du logiciel **ROBOT**.

**Tableau VII.1** : Les moments en sens x-x

ELU		ELS	
Appui	Travée	Appui	Travée
-414.99	217.63	-276.66	145.09

Tableau VII.2 : Les moments en sens y-y

ELU		ELS	
Appui	Travée	Appui	Travée
-181.48	115.30	-119.79	76.87

Avec le logiciel **Robot Expert**, nous avons effectué le calcul du ferrailage du radier dans les deux sens qui est présenté dans le tableau suivant :

Tableau VII.3 : Ferrailage du radier

Sens	A calculé	Choix	A choisi	Espacement
x-x	As= 19.2 cm <sup>2</sup> /ml	7HA20	21.99	e=15cm
y-y	As= 9.8 cm <sup>2</sup> /ml	5HA16	10.05	

### VII.6 Calcul du débord :

Le débord présenté par le schéma statique dans la figure suivante doit justifier cette relation :

$$D \geq \text{Max} \left( \frac{h_r}{2}, 30 \text{ cm} \right)$$

$$D \geq \text{Max} \left( \frac{40}{2} = 20 \text{ cm}, 30 \text{ cm} \right) \quad \text{Le débord est pris égal à : } \mathbf{D=50 \text{ cm}}$$

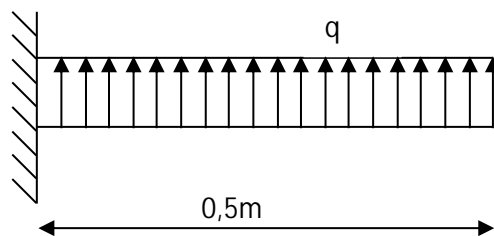


Figure VII.4 : Schéma statique du débord.

Avec :

$$h = 50 \text{ cm}$$

$$d = 45 \text{ cm}$$

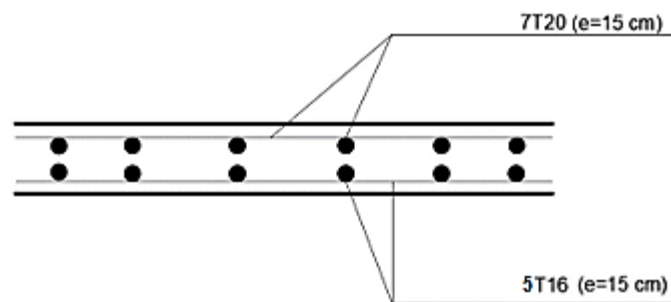
$$b = 100 \text{ cm}$$

Le ferrailage du débord est récapitulé dans le tableau suivant :

**Tableau VII.4** : Récapitulatif du ferrailage du débord.

Moment [KN.m]	$A_{cal}$ [cm <sup>2</sup> /ml]	$A_{min}$ [cm <sup>2</sup> /ml]	Armature principale [cm <sup>2</sup> /ml]	Armature de répartition [cm <sup>2</sup> /ml]	Espacement (cm)
15,6	1.01	4	6HA10 (4.71)	2HA12 (2.26)	15

### VII.7 Dessin de ferrailage :



**Figure VII.5** : Dessin de ferrailage du radier.

# **Conclusion Générale**

Ce mémoire a porté sur l'étude complète d'un bâtiment d'habitation de type R+10 avec sous-sol, conçu en dalle pleine et voiles porteurs. À travers ce travail,

Nous avons exploré en profondeur toutes les étapes de la conception et du calcul des bâtiments, incluant le choix des éléments structurels. Grâce à l'utilisation de logiciels tels que Robot Structural Analysis, RDM6, Robot Expert et Microsoft Office, l'analyse des structures est devenue à la fois rapide et très précise. Cela a marqué une transition significative de l'étude classique, basée sur des formules et des calculs manuels appris durant notre cursus, vers la modélisation automatique et l'analyse numérique des résultats.

Nous avons pu établir les bases de notre méthodologie et atteindre l'objectif défini dans l'introduction de ce mémoire. Ce document est structuré en plusieurs chapitres qui détaillent les objectifs principaux que nous nous sommes engagés à atteindre.

La démarche adoptée dans le premier chapitre s'est attachée à poser une présentation de l'édifice d'étude qui est un bâtiment à usage multiple (R+10 + Sous-Sol) situé à la ville de Mostaganem et le deuxième chapitre s'est intéressé au prédimensionnement des éléments du bâtiment, en respectant la théorie et la réglementation en vigueur, par contre le troisième chapitre est dédié à l'étude des éléments non structuraux pouvant contribuer considérablement dans réponse sismique du bâtiment et vu la sismicité non négligeable de la région, le chapitre quatre et cinq s'y été consacré au calcul parasismique de la structure avec le choix de la méthode spectrale modale en respectant la nouvelle réglementation parasismiques Algérienne (RPA2024), pour arriver au sixième chapitre où l'étude et le ferrailage des éléments structuraux a été réalisée et enfin clôturant par l'étude de l'infrastructure du bâtiment.

Durant l'élaboration de ce mémoire, j'ai rencontré quelques difficultés liées à la différence entre l'ancienne réglementation parasismique Algérienne RPA 99 version 2003 et la nouvelle version RPA 2024.

Au-delà des résultats présentés, cette étude ouvre des perspectives prometteuses pour l'intégration de nouvelles technologies et matériaux, afin d'optimiser davantage la performance et la durabilité des édifices de demain.

# **Références bibliographique**

- **BAEL91**, béton armé aux états limites.
- **CBA93**, règles de conception et de calcul des structures en béton arme.
- **RPA2024**, règlement parasismique algérienne.
- **DTR B.C.2.2**, Document technique réglementaire (charges et surcharges).
- **DTR-BC2.331**, Règles de Calculs des fondations Superficielles.
- **CBA 93**, Règle de Conception et de Calcul des Structures en Béton Armé.
- Dimensionnement et calcul d'une tour en Béton Armé R+9 SS, Bensekouma Yousra, mémoire de master, 2023