

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



جامعة سعد دحلب - البليدة  
UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA

كلية العلوم الهندسية - دائرة الهندسة المدنية  
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

**MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ÉTUDES**

POUR L'OBTENTION DU DIPLOME

DE MASTER 2 EN GENIE CIVIL

SPÉCIALITÉ : Structures

Thème

***Analyse Et Conception D'une Structure En Béton Armé  
(R+13) Avec 2 Sous-Sols***

***Comparaison Entre Les Règlements Parasismiques  
Algériens RPA2003 Et Le RPA2024***

***Réalisé par :***

**MELLAL Selsabil**

***Encadré par :***

**Pr. ABED Mohamed**

**Dr. AMELLAL Omar**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



## *Remerciements*

*Je rends grâce à Dieu pour la sagesse, la patience et le courage qu'il m'a accordé durant toute cette période d'étude et durant la réalisation de ce travail. Que sa bénédiction continue de m'accompagner pour atteindre mes objectifs . . . .*

*Les mots manquent parfois pour exprimer toute ma gratitude envers **Mr. Aichouche Haroun**, Pr. Abed Mohamed et Dr. Amellal Omar. Votre engagement envers ma réussite et votre soutien indéfectible ont dépassé mes attentes. Ce projet est aussi le vôtre.*

*Je porte avec une profonde reconnaissance pour l'ensemble des professeurs du département de Génie Civil qui ont contribué à ma formation d'Ingénieur en Génie Civil Structurale.*

*Je ne saurais oublier de remercier les honorables membres de jury qui m'ont fait l'immense honneur de présider et d'examiner ce modeste travail.*





## *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 m'a dit un jour que je suis la prunelle de ses yeux, et 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.*

*Abbi Sofiane*

*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.*

*Oummi Lamia*

*À mes épaules solides, ceux qui m'ont apporté le véritable sens de fraternité et les moments de bonheur, mes pensées les plus profondes s'adressent aussi à vous.*

*À mes chers témoins des étapes de ma vie, dans mon succès, joie, tristesse, mes chers âme sœurs : Feriel je n'oublierai jamais votre encouragement permanent et soutiens moraux, votre présence dans mon cœur est un trésor précieux.*

*À toute ma famille, merci pour vos encouragements et présence.*

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

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





## ملخص

يهدف هذا المشروع إلى الدراسة والتحليل الزلزالي لبناية ذات طابع سكني تتألف من طابق أرضي + 13 طابق + 2 طابق أرضي سفلي المشكلة بالخرسانة المسلحة , سيتم إنجازها بولاية الجزائر المصنفة ضمن المنطقة الزلزالية III حسب القواعد الجزائرية المضادة للزلازل RPA99/2003 والمنطقة الزلزالية VI حسب القواعد الجزائرية المضادة للزلازل RPA2024, والمقارنة بين نتائج التحليل الزلزالي وتسليح عناصر البناية . مقاومة واستقرار البناية لكل الحمولات العمودية والافقية مضمونة بواسطة العارضات , الأعمدة والجدران مشكلة من مادة الخرسانة المسلحة .

الدراسة والتحليل الديناميكي تمت باستعمال البرنامج الآلي Etabs V22.0.0  
تحديد أبعاد وتسليح كل العناصر المقاومة للبناية صمم طبق المعايير والقوانين المعمول بها في الجزائر (DTR B.C.2.2 (Charges permanentes et d'exploitation), BAEL 91 modifier 99 et le CBA93).  
للتحقق من نتائج التسليح استعملت برنامج آلي متطور SOCOTEC  
دراسة الطوابق تحت أرضية مرحلة من مراحل هذا المشروع.

## Résumé

Ce projet vise à étudier et analyser la sismicité un immeuble résidentiel composé d'un rez-de-chaussée +13 étages + 2 sous-sols en béton armé, il sera réalisé dans la Wilaya d'Alger, classé en zone sismique III selon le Règlement Parasismique Algérien RPA99/2003 et en zone sismique VI selon le Règlement Parasismique Algérien RPA2024, et la comparaison entre les résultats d'analyse sismique et le ferrailage des éléments du bâtiment.

La résistance et la stabilité du bâtiment par rapport à toutes les charges verticales et horizontales sont assurées par des poutres, des poteaux et des voiles en béton armé.

L'étude et l'analyse dynamique ont été réalisées à l'aide du programme numérique Etabs V22.0.0.

La détermination des dimensions et le ferrailage de tous les éléments de résistance du bâtiment était faite selon les normes et réglementation en vigueur en Algérie (DTR B.C.2.2 (Charges permanentes et d'exploitation), BAEL 91 modifier 99 et le CBA93).

Pour vérifier les résultats du ferrailage, On a utilisé le programme avancé SOCOTEC  
L'étude des sous-sols est l'une des étapes de ce projet.

## Summary

This project aims to study and analyze the seismicity of a residential building consisting of a ground floor + 13 floors + 2 basements made of reinforced concrete. It will be built in the Wilaya of Algiers, classified in seismic zone III according to the Algerian Seismic Regulation RPA99/2003 and in seismic zone VI according to the Algerian Seismic Regulation RPA2024.

The seismic analysis results will be compared with the reinforcement of the building elements.

The building's strength and stability with respect to all vertical and horizontal loads are ensured by reinforced concrete beams, columns, and walls.

The study and dynamic analysis were carried out using the Etabs V22.0.0 digital software.

The dimensions and reinforcement of all the building's strength elements were determined in accordance with the standards and regulations in force in Algeria (DTR B.C.2.2 (Permanent and Operating Loads), BAEL 91, amended 99, and CBA93).

To verify the reinforcement results, We used the advanced program SOCOTEC.

The study of the basements is one of the stages of this project.

# Sommaire

Liste des symbols

Liste des tableaux

Liste des figures

|                                                                                            |          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>Introduction Générale.....</b>                                                          | <b>1</b> |
| I.Chapitre 1 : Présentation de l'ouvrage et caractéristiques des matériaux .....           | 2        |
| I.1. Introduction .....                                                                    | 2        |
| I.2. Présentation du projet .....                                                          | 2        |
| I.3. Caractéristiques de l'ouvrage .....                                                   | 2        |
| I.4. Caractéristiques géométriques .....                                                   | 2        |
| I.4.1. Dimensions en élévation.....                                                        | 2        |
| I.4.2. Dimensions en plan .....                                                            | 3        |
| I.5. Les données de site :.....                                                            | 3        |
| I.6. Règlements et normes utilisé :.....                                                   | 3        |
| I.7. Conception de la structure : .....                                                    | 3        |
| I.8. Introduction générale sur les règles de BAEL :.....                                   | 6        |
| I.8.1. Définition de l'état ultime : .....                                                 | 6        |
| I.8.2. Hypothèse de calcul à l'ELU :.....                                                  | 6        |
| I.9. Introduction sur les caractéristiques mécaniques des matériaux :.....                 | 8        |
| I.9.1. Composants du béton : .....                                                         | 8        |
| I.10. Actions et sollicitations.....                                                       | 13       |
| I.10.1 Actions.....                                                                        | 13       |
| I.10.2. Sollicitations : .....                                                             | 13       |
| I.10.3. Convention de signes :.....                                                        | 13       |
| II. Chapitre 2 : Prédimensionnement des éléments résistant et évaluation des charges ..... | 15       |
| II.1. Introduction .....                                                                   | 20       |
| II.2 Pré dimensionnement des planchers .....                                               | 20       |
| II.2.1 Plancher à corps creux : .....                                                      | 22       |
| II.2.2 Plancher à dalle pleine : .....                                                     | 23       |
| II.2.3. Dimensionnement des poutrelles : .....                                             | 24       |
| II.3. Prédimensionnement des poutres :.....                                                | 25       |
| II.3.1 Poutres Principale : .....                                                          | 25       |
| II.3.2. Poutre secondaire : .....                                                          | 26       |
| II.4. Prédimensionnement des poteaux :.....                                                | 27       |
| II.5. Prédimensionnement des escaliers : .....                                             | 42       |

|                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| II.5.1. La formule de BLONDEL est : .....                                              | 42  |
| II.5.2. Vérification de la formule de BLONDEL .....                                    | 42  |
| II.6. Prédimensionnement des balcons.....                                              | 43  |
| II.7. Prédimensionnement des voiles .....                                              | 44  |
| III. Chapitre 3 : Etude des éléments secondaires .....                                 | 27  |
| III.1. Les poutrelles : .....                                                          | 46  |
| III.1.1. La méthode de Caquot : .....                                                  | 46  |
| III.1.2. Calcul des armatures longitudinales à l'E.L. U : .....                        | 51  |
| III.1.3. Calcul des armatures transversales : .....                                    | 53  |
| III.1.4. Détermination de l'axe neutre : .....                                         | 54  |
| III.1.5. Calcul des modules de déformation : .....                                     | 57  |
| III.1.6. Calcul des armatures transversales et l'espacement : .....                    | 58  |
| III.2. La dalle de compression : .....                                                 | 60  |
| III.2.1. Les armatures perpendiculaires aux nervures : .....                           | 60  |
| III.2.2. Les armatures parallèles aux nervures : .....                                 | 60  |
| III.2.3. Dalle pleine rectangulaire : .....                                            | 61  |
| III.3. Les balcons : .....                                                             | 67  |
| III.3.1. Etude des balcons : .....                                                     | 67  |
| III.4. Les escaliers : .....                                                           | 76  |
| III.4.1. Calcul des sollicitations : .....                                             | 77  |
| III.4.2. Calcul du ferrailage : .....                                                  | 78  |
| IV. Chapitre 4 : Etude au séismes .....                                                | 84  |
| IV.1. Introduction.....                                                                | 84  |
| IV.2. Objectif de l'étude aux séismes.....                                             | 84  |
| IV.3. Choix de la méthode de calcul .....                                              | 84  |
| IV.3.1. Méthode statique équivalente.....                                              | 84  |
| IV.3.2. Méthode dynamique modale spectrale.....                                        | 85  |
| IV.4. La modélisation.....                                                             | 85  |
| IV.4.1. Détermination des paramètres du spectre de réponse selon le RPA99/2003 : ..... | 86  |
| IV.4.2. Détermination des paramètres du spectre de réponse selon le RPA2024 : .....    | 103 |
| V. Chapitre 5 : Ferrailage des éléments résistant .....                                | 116 |
| V.1. Introduction : .....                                                              | 116 |
| V.2. Ferrailage des Poteaux : .....                                                    | 116 |
| V.2.1. Combinaisons d'action : .....                                                   | 117 |
| V.2.2. La méthode de calcul : .....                                                    | 118 |

|                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| V.2.3. Recommandation du RPA99/2003 : .....                                  | 119 |
| V.2.4. Recommandation du RPA 2024 : .....                                    | 135 |
| V.3. Ferrailage des poutres : .....                                          | 149 |
| V.3.1. Combinaisons d'action : .....                                         | 149 |
| V.3.2. Méthode de calcul : .....                                             | 151 |
| V.3.3. Recommandations de RPA99/2003 .....                                   | 152 |
| V.3.4. Recommandations de RPA 2024 .....                                     | 175 |
| V.4. Ferrailage des voiles : .....                                           | 198 |
| V.4.1. Procédure de ferrailage des trumeaux : .....                          | 199 |
| V.4.2. Procédure de ferrailage des linteaux : .....                          | 212 |
| VI Chapitre 6 : Comparaison des résultats sismiques.....                     | 231 |
| VI.1. Introduction.....                                                      | 231 |
| VI.1.1. La comparaison des résultats de l'étude au séisme .....              | 231 |
| VI.1.2. Comparaison des résultats de ferrailage des éléments résistants..... | 236 |
| VII. Chapitre 7 : Etude de l'infrastructure .....                            | 243 |
| VII.1. Introduction .....                                                    | 243 |
| VII.2. Fonctionnalités des fondations .....                                  | 243 |
| VII.3. Classification des fondations.....                                    | 243 |
| VII.4. Choix du type de fondation .....                                      | 243 |
| VII.4.1 Justification pour le choix de des fondations : .....                | 244 |
| VII.4.2. Confirmation de choix : .....                                       | 244 |
| VII.5. Etude du radier général : .....                                       | 245 |
| VII.5.1. Combinaison d'action.....                                           | 245 |
| VII.5.2. Prédimensionnement de radier .....                                  | 245 |
| VII.5.3. Résultats de de calcul selon le RPA99/2003 : .....                  | 246 |
| VII.5.3. Résultats de de calcul selon le RPA 2024.....                       | 256 |
| VII.6. Voile périphérique : .....                                            | 267 |
| VII.6.1. Prédimensionnement : .....                                          | 267 |
| VII.6.2. Evaluation des charges : .....                                      | 268 |
| VII.6.3. Effort dans le voile périphérique : .....                           | 269 |
| VII.6.4. Ferrailage du voile périphérique : .....                            | 269 |

## Liste des symboles

$A$  : Coefficient d'accélération de zone, Coefficient numérique en fonction de l'angle de frottement.

$A_s$  : Aire d'une section d'acier.

$A_t$  : Section d'armatures transversales.

$B$  : Aire d'une section de béton.

$\varnothing$  : Diamètre des armatures, mode propre.

$\varphi$  : Angle de frottement.

$C$  : Cohésion.

$Q_{adm}$  : Capacité portante admissible.

$Q$  : Charge d'exploitation.

$PC$  : Pression de consolidation.

$\gamma_s$  : Coefficient de sécurité dans l'acier.

$\gamma_{b,b}$  : Coefficient de sécurité dans le béton.

$\sigma_s$  : Contrainte de traction de l'acier.

$\sigma_b$  : Contrainte de compression du béton.

$\overline{\sigma_s}$  : Contrainte de traction admissible de l'acier.

$\overline{\sigma_b}$  : Contrainte de compression admissible du béton.

$\overline{\sigma}$  : Contrainte ultime de cisaillement.

$\tau_t$  : Contrainte tangentielle.

$g$  : Coefficient de pondération.

$\sigma_{sol}$  : Contrainte du sol.

$\sigma_m$  : Contrainte moyenne.

$G$  : Charge permanente.

$\varepsilon$  : Déformation relative.

$V$  : Effort tranchant a la base.

E.L.U : Etat limite ultime.

E.L.S : Etat limite service.

$N_{ser}$  : Effort normal pondéré aux états limites de service.

$N_u$  : Effort normal pondéré aux états limites ultime.

$T_u$  : Effort tranchant ultime.

$T$  : Période.

$S_t$  : Espacement.

$l$  : Elancement.

$F$  : Force concentrée.

$f$  : Flèche.

$f$  : Flèche admissible.

$D$  : Fiche d'ancrage.

$L$  : Longueur ou portée.

$L_f$  : Longueur de flambement.

$I_p$  : Indice de plasticité.

$I_c$  : Indice de consistance.

$d$  : Hauteur utile.

$F_e$  : Limite d'élasticité de l'acier.

$M_u$  : Moment à l'état limite ultime.

$M_{ser}$  : Moment à l'état limite de service.

$M_t$  : Moment en travée.

$M_a$  : Moment sur appuis.

$M_0$  : Moment en travée d'une poutre reposant sur deux appuis libres, Moment a la base.

$I$  : Moment d'inertie.

$f_i$  : Flèche due aux charges instantanées.

$f_v$  : Flèche due aux charges de longue durée.

$I_{fi}$  : Moment d'inertie fictif pour les déformations instantanées.

$I_{fv}$  : Moment d'inertie fictif pour les déformations différées.

$M$  : Moment, Masse.

$E_{ij}$  : Module d'élasticité instantané.

$E_{vj}$  : Module d'élasticité différé.

$E_s$  : Module d'élasticité de l'acier.

$f_{c28}$  : Résistance caractéristique à la compression du béton à 28 jours d'âge.

$f_{t28}$  : Résistance caractéristique à la traction du béton à 28 jours d'âge.

$F_{cj}$  : Résistance caractéristique à la compression du béton à j jours d'âge.

$K$  : Coefficient de raideur de sol.

$E_c$  : Rapport de l'aire d'acier à l'aire de béton.

$Y$  : Position de l'axe neutre.

$A_g$  : Section transversale brute du voile ou trumeau.

$I_0$  : Moment d'inertie de la section totale homogène

$\Delta_{ek}$  : déplacement dû aux forces sismiques (y compris l'effet de torsion).

$A_{cv}$  : section brute du béton par mètre linéaire limité par l'épaisseur de l'âme.

$\alpha_c$  : coefficient dépendant de l'élancement du mur.

$\rho_v$  : Pourcentage des armatures verticales dans lame du mur.

$\rho_h$  : Pourcentage des armatures horizontales dans lame du mur.

$\rho_n$  : Pourcentage nominale des armatures dans lame du mur.

$h_w$  : Hauteur totale du voile.

$l_w$  : Longueur du mur en plan.

$\delta_u$  : déplacement du voile au sommet.

$I_g$  : Moment d'inertie du voile.



## Liste des tableaux

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau I- 1: Valeurs de limite d'élasticité. ....                                                          | 11 |
| Tableau II- 1: Evaluation des charges au plancher terrasse inaccessible corps creux. ....                   | 27 |
| Tableau II- 2: Evaluation des charges au plancher étage courant corps creux.....                            | 27 |
| Tableau II- 3: Évaluation des charges au plancher étage courant dalle pleine.....                           | 27 |
| Tableau II- 4:Évaluation des charges aux murs extérieurs. ....                                              | 28 |
| Tableau II- 5: évaluation des charges aux cloison à double parois. ....                                     | 28 |
| Tableau II- 6: évaluation des surcharges au balcon. ....                                                    | 28 |
| Tableau II- 7: évaluation des charges au paillasse avec 31.5° ....                                          | 28 |
| Tableau II- 8: Evaluation des charges au palier. ....                                                       | 29 |
| Tableau II- 9: Evaluation des charges du poteau central. ....                                               | 30 |
| Tableau II- 10: Dimensionnement de des sections des poteaux. ....                                           | 33 |
| Tableau II- 11: Vérification vis-à-vis de flambement. ....                                                  | 34 |
| Tableau II- 12: Vérification des contraintes. ....                                                          | 35 |
| Tableau II- 13: Les sections finales des poteaux centraux.....                                              | 35 |
| Tableau II- 14: Evaluation des charges du poteau de rive. ....                                              | 37 |
| Tableau II- 15: Dimensionnement des sections du poteau de rive.....                                         | 39 |
| Tableau II- 16: Vérification vis-à-vis de flambement. ....                                                  | 40 |
| Tableau II- 17: Vérification des contraintes. ....                                                          | 41 |
| Tableau II- 18: Les sections finales des poteaux de rive.....                                               | 41 |
| Tableau III- 1: Charges supportées par les poutrelles à E.L.U. ....                                         | 48 |
| Tableau III- 2: Charges supportées par les poutrelles à E.L.S. ....                                         | 48 |
| Tableau III- 3: Calcul des moments et effort tranchant à E.L.U et E.L.S plancher terrasse (type 1). ....    | 49 |
| Tableau III- 4: Calcul des moments et effort tranchant E.L.U et E.L.S plancher terrasse (type 2). ....      | 49 |
| Tableau III- 5: Calcul des moments et effort tranchant E.L.U et E.L.S plancher étage courant (type 3). .... | 50 |
| Tableau III- 6: Calcul des moments et effort tranchant E.L.U et E.L.S plancher étage courant (type 4). .... | 50 |
| Tableau III- 7: Résultats de calcul de ferrailage plancher terrasse (type1). ....                           | 52 |
| Tableau III- 8: Résultats de calcul de ferrailage plancher étage courant (type2). ....                      | 52 |
| Tableau III- 9: Vérification de contrainte béton.....                                                       | 55 |
| Tableau III- 10: Les moments dans les dalles pleines.....                                                   | 62 |
| Tableau III- 11: Résultats de calcul de ferrailage des dalles pleines. ....                                 | 63 |
| Tableau III- 12: Vérification des contraintes des dalles pleines. ....                                      | 66 |
| Tableau III- 13: Résultat de ferrailage des balcons Type 2.....                                             | 71 |
| Tableau III- 14: Vérification des contraintes des balcons Type 2.....                                       | 74 |
| Tableau III- 15: combinaison des charges pour les escaliers. ....                                           | 76 |
| Tableau III- 16: Différents coefficients pour le calcul de ferrailage des escaliers.....                    | 78 |
| Tableau III- 17: resultat de ferrailage des escaliers. ....                                                 | 78 |
| Tableau III- 18: Les résultats du calcul de ferrailage des armatures de répartition des escaliers.....      | 78 |
| Tableau III- 19: Vérification de contrainte du béton des escaliers. ....                                    | 80 |

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau IV- 1: Classification des ouvrages RPA99/2003. ....                           | 86  |
| Tableau IV- 2: Coefficient de comportement R RPA99/2003.....                          | 87  |
| Tableau IV- 3: Les sections de poteaux adopté pour le modèle initial.....             | 89  |
| Tableau IV- 4: Périodes de l'analyse modale du modèle initial. ....                   | 90  |
| Tableau IV- 5: Les sections de poteaux adopté pour le modèle final 2003.....          | 91  |
| Tableau IV- 6: Périodes de l'analyse modale du modèle final 2003. ....                | 92  |
| Tableau IV- 7: Les déplacements inter étage RPA99/2003.....                           | 97  |
| Tableau IV- 8: Les efforts normaux réduits des poteaux RPA99/2003. ....               | 98  |
| Tableau IV- 9: L'effet P- $\Delta$ sens x selon le RPA99/2003. ....                   | 99  |
| Tableau IV- 10: L'effet P- $\Delta$ sens y selon le RPA99/2003.....                   | 100 |
| Tableau IV- 11: Renversement sens x selon le RPA99/2003. ....                         | 101 |
| Tableau IV- 12: Renversement sens y selon le RPA99/2003. ....                         | 102 |
| Tableau IV- 13: Le spectre selon la zone VI est de type 1 RPA2024.....                | 103 |
| Tableau IV- 14: Les sections de poteaux adopté pour le modèle final 2024.....         | 105 |
| Tableau IV- 15: Périodes de l'analyse modale du modèle final 2024. ....               | 105 |
| Tableau IV- 16: Les déplacements inter étage RPA2024. ....                            | 109 |
| Tableau IV- 17: Les efforts normaux réduits des poteaux RPA2024. ....                 | 110 |
| Tableau IV- 18: L'effet P- $\Delta$ sens x selon le RPA2024.....                      | 111 |
| Tableau IV- 19: L'effet P- $\Delta$ sens y selon le RPA2024.....                      | 112 |
| Tableau IV- 20: Renversementsens x selon le RPA2024. ....                             | 113 |
| Tableau IV- 21: Renversementsens y selon le RPA2024. ....                             | 114 |
| Tableau IV- 22: h. Justification limitation de dommages RPA2024. ....                 | 115 |
| Tableau IV- 23: Justification du choix du coefficient de comportement RPA2024. ....   | 115 |
| Tableau V- 1: Caractéristiques du béton et de l'acier RPA99/2003. ....                | 116 |
| Tableau V- 2: Caractéristiques du béton et de l'acier RPA2024. ....                   | 116 |
| Tableau V- 3: Les efforts des poteaux à l'ELU selon RPA99/2003.....                   | 120 |
| Tableau V- 4: Les efforts des poteaux à l'ELU selon RPA99/2003.....                   | 120 |
| Tableau V- 5: Les efforts des poteaux à l'ELU selon RPA99/2003.....                   | 121 |
| Tableau V- 6: Les efforts des poteaux à l'ELA selon RPA99/2003.....                   | 121 |
| Tableau V- 7: Les efforts des poteaux à l'ELA selon RPA99/2003.....                   | 122 |
| Tableau V- 8: Les efforts des poteaux à l'ELA selon RPA99/2003.....                   | 122 |
| Tableau V- 9: Les efforts des poteaux à l'ELA selon RPA99/2003.....                   | 123 |
| Tableau V- 10: Les efforts des poteaux à l'ELA selon RPA99/2003.....                  | 123 |
| Tableau V- 11: Les efforts des poteaux à l'ELA selon RPA99/2003.....                  | 124 |
| Tableau V- 12: Choix d'armatures des poteaux selon le RPA99/2003. ....                | 124 |
| Tableau V- 13: Les sollicitations à l'ELS RPA99/2003.....                             | 126 |
| Tableau V- 14: Vérification des contraintes à l'ELS RPA99/2003. ....                  | 127 |
| Tableau V- 15: Vérification de l'effort tranchant RPA99/2003. ....                    | 128 |
| Tableau V- 16: Espacements et choix de ferrailage des poteaux selon RPA99/2003. ....  | 130 |
| Tableau V- 17: Choix des armatures transversales des poteaux selon le RPA99/2003..... | 131 |
| Tableau V- 18: Les efforts des poteaux à l'ELU selon RPA2024.....                     | 136 |
| Tableau V- 19: Les efforts des poteaux à l'ELU selon RPA2024.....                     | 136 |
| Tableau V- 20: Les efforts des poteaux à l'ELU selon RPA2024.....                     | 137 |
| Tableau V- 21: Les efforts des poteaux à l'ELA selon RPA2024. ....                    | 137 |
| Tableau V- 22: Les efforts des poteaux à l'ELA selon RPA2024. ....                    | 138 |
| Tableau V- 23: Les efforts des poteaux à l'ELA selon RPA2024. ....                    | 138 |

|                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau V- 24: Choix d'armatures des poteaux selon le RPA2024. ....                                  | 139 |
| Tableau V- 25: Les sollicitations à l'ELS RPA2024. ....                                              | 140 |
| Tableau V- 26: Vérification des contraintes à l'ELS RPA2024. ....                                    | 141 |
| Tableau V- 27: Vérification de l'effort tranchant RPA2024. ....                                      | 142 |
| Tableau V- 28: Espacements et choix de ferrailage des poteaux selon RPA2024. ....                    | 144 |
| Tableau V- 29: Choix des armatures transversales des poteaux selon le RPA2024. ....                  | 145 |
| Tableau V- 30: Caractéristiques du béton et de l'acier RPA99/2003. ....                              | 149 |
| Tableau V- 31: Caractéristiques du béton et de l'acier RPA2024. ....                                 | 150 |
| Tableau V- 32 : Les efforts de la poutre PP à l'ELU selon RPA99/2003. ....                           | 153 |
| Tableau V- 33: Les efforts de la poutre PP à l'ELA selon RPA99/2003. ....                            | 153 |
| Tableau V- 34: Les efforts de la poutre PP V à l'ELU selon RPA99/2003. ....                          | 153 |
| Tableau V- 35: Les efforts de la poutre PP V à l'ELA selon RPA99/2003. ....                          | 153 |
| Tableau V- 36: Les efforts de la poutre PS à l'ELU selon RPA99/2003. ....                            | 154 |
| Tableau V- 37: Les efforts de la poutre PS à l'ELA selon RPA99/2003. ....                            | 154 |
| Tableau V- 38: Les efforts de la poutre PS V à l'ELU selon RPA99/2003. ....                          | 154 |
| Tableau V- 39: Les efforts de la poutre PS V à l'ELA selon RPA99/2003. ....                          | 154 |
| Tableau V- 40: Les efforts de la poutre PS centrale à l'ELU selon RPA99/2003. ....                   | 155 |
| Tableau V- 41: Les efforts de la poutre PS centrale à l'ELA selon RPA99/2003. ....                   | 155 |
| Tableau V- 42: Les efforts de la poutre de chaînage à l'ELU selon RPA99/2003. ....                   | 155 |
| Tableau V- 43: Les efforts de la poutre de chaînage à l'ELA selon RPA99/2003. ....                   | 155 |
| Tableau V- 44: Les efforts de la poutre de palier à l'ELU selon RPA99/2003. ....                     | 156 |
| Tableau V- 45: Les efforts de la poutre de palier à l'ELA selon RPA99/2003. ....                     | 156 |
| Tableau V- 46: Ferrailage longitudinal de la poutre PP selon le RPA99/2003. ....                     | 156 |
| Tableau V- 47: Ferrailage longitudinal de la poutre PP V selon le RPA99/2003. ....                   | 157 |
| Tableau V- 48: Ferrailage longitudinal de la poutre PS selon le RPA99/2003. ....                     | 157 |
| Tableau V- 49: Ferrailage longitudinal de la poutre PS V selon le RPA99/2003. ....                   | 157 |
| Tableau V- 50: Ferrailage longitudinal de la poutre PS centrale selon le RPA99/2003. ....            | 158 |
| Tableau V- 51: Ferrailage longitudinal de la poutre de chaînage selon le RPA99/2003. ....            | 158 |
| Tableau V- 52: Ferrailage longitudinal de la poutre palier selon le RPA99/2003. ....                 | 158 |
| Tableau V- 53: Les sections d'acier minimales des poutres selon le RPA99/2003. ....                  | 159 |
| Tableau V- 54: Vérification de l'ELS de la poutre PP selon le RPA99/2003. ....                       | 159 |
| Tableau V- 55: Vérification de l'ELS de la poutre PP V selon le RPA99/2003. ....                     | 160 |
| Tableau V- 56: Vérification de l'ELS de la poutre PS selon le RPA99/2003. ....                       | 160 |
| Tableau V- 57: Vérification de l'ELS de la poutre PS V selon le RPA99/2003. ....                     | 160 |
| Tableau V- 58: Vérification de l'ELS de la poutre PS centrale selon le RPA99/2003. ....              | 160 |
| Tableau V- 59: Vérification de l'ELS de la poutre PCH selon le RPA99/2003. ....                      | 160 |
| Tableau V- 60: Vérification de l'ELS de la poutre PPal selon le RPA99/2003. ....                     | 161 |
| Tableau V- 61: Vérification de l'effort tranchant de la poutre PP selon le RPA99/2003. ....          | 161 |
| Tableau V- 62: Vérification de l'effort tranchant de la poutre PP V selon le RPA99/2003. ....        | 161 |
| Tableau V- 63: Vérification de l'effort tranchant de la poutre PS selon le RPA99/2003. ....          | 161 |
| Tableau V- 64: Vérification de l'effort tranchant de la poutre PS V selon le RPA99/2003. ....        | 162 |
| Tableau V- 65: Vérification de l'effort tranchant de la poutre PS centrale selon le RPA99/2003. .... | 162 |
| Tableau V- 66: Vérification de l'effort tranchant de la poutre PCH selon le RPA99/2003. ....         | 162 |
| Tableau V- 67: Vérification de l'effort tranchant de la poutre PPal selon le RPA99/2003. ....        | 162 |
| Tableau V- 68: Ferrailage transversal des poutres selon le RPA99/2003. ....                          | 164 |

|                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau V- 69: Vérification de la flèche des poutres selon le RPA99/2003. ....                        | 167 |
| Tableau V- 70: Les efforts de la poutre PP à l'ELU selon RPA2024. ....                                | 176 |
| Tableau V- 71: Les efforts de la poutre PP à l'ELA selon RPA2024.....                                 | 176 |
| Tableau V- 72: Les efforts de la poutre PP V à l'ELU selon RPA2024.....                               | 176 |
| Tableau V- 73: Les efforts de la poutre PP V à l'ELA selon RPA2024. ....                              | 176 |
| Tableau V- 74: Les efforts de la poutre PS à l'ELU selon RPA2024. ....                                | 177 |
| Tableau V- 75 : Les efforts de la poutre PS à l'ELA selon RPA2024.....                                | 177 |
| Tableau V- 76: Les efforts de la poutre PS V à l'ELU selon RPA2024.....                               | 177 |
| Tableau V- 77: Les efforts de la poutre PS à l'ELA selon RPA2024.....                                 | 177 |
| Tableau V- 78: Les efforts de la poutre PS centrale à l'ELU selon RPA2024.....                        | 178 |
| Tableau V- 79: Les efforts de la poutre PS centrale à l'ELA selon RPA2024.....                        | 178 |
| Tableau V- 80: Les efforts de la poutre PCH à l'ELU selon RPA2024. ....                               | 178 |
| Tableau V- 81: Les efforts de la poutre PCH à l'ELA selon RPA2024. ....                               | 178 |
| Tableau V- 82: Les efforts de la poutre PPal à l'ELU selon RPA2024. ....                              | 179 |
| Tableau V- 83: Les efforts de la poutre PPal à l'ELA selon RPA2024.....                               | 179 |
| Tableau V- 84: Ferrailage longitudinal de le poutre PP selon le RPA2024. ....                         | 179 |
| Tableau V- 85: Ferrailage longitudinal de le poutre PP V selon le RPA2024.....                        | 180 |
| Tableau V- 86: Ferrailage longitudinal de le poutre PS selon le RPA2024. ....                         | 180 |
| Tableau V- 87: Ferrailage longitudinal de le poutre PS V selon le RPA2024.....                        | 180 |
| Tableau V- 88: Ferrailage longitudinal de le poutre PS centrale selon le RPA2024.....                 | 181 |
| Tableau V- 89: Ferrailage longitudinal de le poutre PCH selon le RPA2024. ....                        | 181 |
| Tableau V- 90: Ferrailage longitudinal de le poutre PPal selon le RPA2024. ....                       | 181 |
| Tableau V- 91: Les sections d'acier minimales des poutres selon le RPA2024. ....                      | 182 |
| Tableau V- 92: Vérification de l'ELS de la poutre PP selon le RPA2024. ....                           | 183 |
| Tableau V- 93: Vérification de l'ELS de la poutre PP V selon le RPA2024. ....                         | 183 |
| Tableau V- 94: Vérification de l'ELS de la poutre PS selon le RPA2024. ....                           | 183 |
| Tableau V- 95: Vérification de l'ELS de la poutre PS V selon le RPA2024. ....                         | 183 |
| Tableau V- 96: Vérification de l'ELS de la poutre PS centrale selon le RPA2024. ....                  | 184 |
| Tableau V- 97: Vérification de l'ELS de la poutre PCH selon le RPA2024.....                           | 184 |
| Tableau V- 98: Vérification de l'ELS de la poutre PPal selon le RPA2024. ....                         | 184 |
| Tableau V- 99: Vérification de l'effort tranchat de la poutre PP selon le RPA2024.....                | 184 |
| Tableau V- 100: Vérification de l'effort tranchat de la poutre PP V selon le RPA2024.....             | 185 |
| Tableau V- 101: Vérification de l'effort tranchat de la poutre PS selon le RPA2024. ....              | 185 |
| Tableau V- 102: Vérification de l'effort tranchat de la poutre PS V selon le RPA2024.....             | 185 |
| Tableau V- 103: Vérification de l'effort tranchat de la poutre PS centrale selon le RPA2024.<br>..... | 185 |
| Tableau V- 104: Vérification de l'effort tranchat de la poutre PCH selon le RPA2024. ....             | 185 |
| Tableau V- 105: Vérification de l'effort tranchat de la poutre PPal selon le RPA2024.....             | 186 |
| Tableau V- 106: Ferrailage transversal des poutres selon le RPA2024.....                              | 187 |
| Tableau V- 107: Vérification de la flèche des poutres selon le RPA2024. ....                          | 190 |
| Tableau V- 108: Valeurs de $l_{fl}$ . ....                                                            | 201 |
| Tableau V- 109: Calcule de $\sigma_{lim}$ .....                                                       | 202 |
| Tableau V- 110: Aciers verticaux et horizontaux. ....                                                 | 203 |
| Tableau V- 111: Aciers transversaux.....                                                              | 204 |
| Tableau V- 112 : Armatures de peau des voiles RPA99/2003.....                                         | 205 |
| Tableau V- 113 : Calcul de $\sigma_{bna}$ et $\sigma_{ba}$ pour l'exemple de voile RPA99/2003. ....   | 208 |

|                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau V- 114: Les effortz et contraintes du voile P1 selon le RPA99/2003. ....           | 209 |
| Tableau V- 115: Ferrailage du voile P1 selon le RPA99/2003.....                            | 209 |
| Tableau V- 116: Les effortz et contraintes du voile P2 selon le RPA99/2003. ....           | 210 |
| Tableau V- 117: : Ferrailage du voile P2 selon le RPA99/2003.....                          | 210 |
| Tableau V- 118: Les effortz et contraintes du voile P12 selon le RPA99/2003. ....          | 211 |
| Tableau V- 119: Ferrailage du voile P12 selon le RPA99/2003.....                           | 211 |
| Tableau V- 120: Les efforts du linteau S1.....                                             | 215 |
| Tableau V- 121: Choix de ferrailage du linteau S1.....                                     | 216 |
| Tableau V- 122: Calcul des armatures de confinement du voile.....                          | 221 |
| Tableau V- 123 : Ferrailage longitudinal du voile P1 selon le RPA2024. ....                | 226 |
| Tableau V- 124: Ferrailage transversal du voile P1 selon le RPA2024. ....                  | 226 |
| Tableau V- 125: Ferrailage longitudinal du voile P2 selon le RPA2024. ....                 | 227 |
| Tableau V- 126: Ferrailage longitudinal du voile P2 selon le RPA2024. ....                 | 227 |
| Tableau V- 127 : Ferrailage longitudinal du voile P12 selon le RPA2024. ....               | 228 |
| Tableau V- 128: Ferrailage transversal du voile P12 selon le RPA2024. ....                 | 228 |
| Tableau V- 129: Les efforts du linteau S1.....                                             | 229 |
| Tableau V- 130: Choix de ferrailage du linteau S1.....                                     | 229 |
| Tableau VI- 1: Résultats de l'analyse modale RPA99/2003. 231                               |     |
| Tableau VI- 2: Résultats de l'analyse modale RPA2024.....                                  | 232 |
| Tableau VI- 3: Les efforts tranchants a le base RPA99/2003. ....                           | 232 |
| Tableau VI- 4: Les efforts tranchants a le base RPA2024.....                               | 232 |
| Tableau VI- 5: Comparaison des déplacements inter étages. ....                             | 233 |
| Tableau VI- 6: Comparaison des sollicitations normales.....                                | 234 |
| Tableau VI- 7: Comparaison des justifications vis-à-vis de l'effet P- $\Delta$ . ....      | 235 |
| Tableau VI- 8: Comparaison des vérifications du renversement. ....                         | 236 |
| Tableau VI- 9: Comparaison des résultats de ferrailage longitudinal des poteaux.....       | 236 |
| Tableau VI- 10: Comparaison des résultats de ferrailage transversal des poteaux.....       | 237 |
| Tableau VI- 11: Comparaison des résultats de ferrailage longitudinal des poutres.....      | 238 |
| Tableau VI- 12: Comparaison des résultats de ferrailage transversal des poutres.....       | 239 |
| Tableau VI- 13: Comparaison du ferrailage du voile P1. ....                                | 240 |
| Tableau VI- 14 : Comparaison du ferrailage du voile P2. ....                               | 241 |
| Tableau VI- 15: Comparaison du ferrailage du voile P12. ....                               | 241 |
| Tableau VI- 16: Comparaison du ferrailage du linteau.....                                  | 242 |
| Tableau VII- 1: Les dimensions qui vérifié l e RPA99/2003. ....                            | 246 |
| Tableau VII- 2: Les donnees du modele pour la verification des contraintes RPA99/2003. ... | 247 |
| Tableau VII- 3: Verification des contraintes RPA99/2003.....                               | 248 |
| Tableau VII- 4: Verification des contrainte tangentielle RPA99/2003.....                   | 249 |
| Tableau VII- 5: Verification de poinçonnement RPA99/2003. ....                             | 252 |
| Tableau VII- 6 : : Les dimensions qui vérifié l e RPA2024. ....                            | 256 |
| Tableau VII- 7: Les donnees du modele pour la verification des contraintes RPA2024. ....   | 257 |
| Tableau VII- 8: Verification des contraintes RPA2024. ....                                 | 258 |
| Tableau VII- 9: Verification des contrainte tangentielle RPA2024.....                      | 259 |
| Tableau VII- 10: Verification de poinçonnement RPA2024. ....                               | 262 |

## Liste des figures

|                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure I- 1: Site du projet.....                                           | 2   |
| Figure I- 2: Plancher à corps creux. ....                                  | 4   |
| Figure I- 3: Coupe transversale d'un mur extérieure. ....                  | 4   |
| Figure I- 4: Diagramme des déformation limites.....                        | 7   |
| Figure I- 5: Diagramme parabole-rectangle.....                             | 10  |
| Figure I- 6: Diagramme linéaire de contrainte-déformation.....             | 10  |
| Figure I- 7: Diagramme de contrainte-déformation de l'acier. ....          | 12  |
|                                                                            |     |
| Figure II- 1: Coupe 3D de la dalle pleine. ....                            | 20  |
| Figure II- 2: Coupe transversale d'un plancher à corps creux. ....         | 22  |
| Figure II- 3: Poteau central. ....                                         | 29  |
| Figure II- 4: Vue en 3D de l'escalier deux volées.....                     | 42  |
| Figure II- 5: Coupe de voile en élévation. ....                            | 44  |
| Figure II- 6: Coupe de voile en plan. ....                                 | 44  |
|                                                                            |     |
| Figure III- 1: Type 1 : Terrasse avec 5 travées.....                       | 47  |
| Figure III- 2: Type 2 : Terrasse avec 3 travées.....                       | 47  |
| Figure III- 3: Type 3 : Etage avec 7 travées.....                          | 47  |
| Figure III- 4: Type 4 : Etage avec 3 travées.....                          | 47  |
| Figure III- 5: Schéma de ferrailage des poutrelles.....                    | 59  |
| Figure III- 6: Disposition des armatures de la dalle de compression.....   | 61  |
| Figure III- 7: Dimensions de dalle pleine rectangulaire (Panneau 9 ). .... | 62  |
| Figure III- 8: Schéma de ferrailage des dalles. ....                       | 67  |
| Figure III- 9: Dimension de balcon Type 1.....                             | 67  |
| Figure III- 10: Schéma de ferrailage des balcons Type 1. ....              | 70  |
| Figure III- 11: Dimension de balcon Type 2.....                            | 70  |
| Figure III- 12: Schéma de ferrailage des balcons Type 2. ....              | 75  |
| Figure III- 13: Schéma statique de l'escalier. ....                        | 76  |
| Figure III- 14: Distribution des charges des escaliers.....                | 76  |
| Figure III- 15: La charge équivalente des escaliers. ....                  | 77  |
| Figure III- 16: Schéma ferrailage de l'escalier.....                       | 83  |
|                                                                            |     |
| Figure IV- 1: Modèle Etabs 3D de la superstructure. ....                   | 85  |
| Figure IV- 2: Modèle Etabs 3D de l'infrastructure.....                     | 86  |
| Figure IV- 3: Vue en plan du modèle initial.....                           | 88  |
| Figure IV- 4: Paramètres du spectre de réponse du Modèle initial.....      | 89  |
| Figure IV- 5: Diagramme du spectre intégré dans le modèle initial. ....    | 89  |
| Figure IV- 6: Vue en plan du modèle final 2003.....                        | 91  |
| Figure IV- 7: Paramètres du spectre de réponse du Modèle final 2003.....   | 92  |
| Figure IV- 8: Diagramme du spectre intégré dans le modèle final 2003l..... | 92  |
| Figure IV- 9: Vue en plan de la disposition des poteaux.....               | 98  |
| Figure IV- 10: Vue en plan du modèle final 2024.....                       | 104 |

|                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure IV- 11: Vue en plan de la disposition des poteaux.....                          | 110 |
| Figure V- 1: Vue en plan de la disposition des poteaux. ....                           | 117 |
| Figure V- 2 : La disposition des poutres. ....                                         | 150 |
| Figure V- 3: les arrêts de barres. ....                                                | 165 |
| Figure V- 4: Arrêt de barre.....                                                       | 188 |
| Figure V- 5: Disposition des voiles dans la structure.....                             | 198 |
| Figure V- 6: Section rectangulaire, soumise à la flexion composée. ....                | 199 |
| Figure V- 7: Schema d'un voile plein et disponible du ferrailage. ....                 | 200 |
| Figure V- 8: Définition de l'élément murs.....                                         | 200 |
| Figure V- 9: Mur encastré. ....                                                        | 201 |
| Figure V- 10 : Discrétisation d'un voile en élément (maille) coque. ....               | 205 |
| Figure V- 11 "disposition des armatures verticales dans les voiles.....                | 206 |
| Figure V- 12: Diagramme et enveloppe des moments de calcul du voile.....               | 219 |
| Figure V- 13: diagramme du moment de calcul du voile.....                              | 220 |
| Figure V- 14: Longueur confinée $L_c$ d'un voile avec deux éléments de rive.....       | 220 |
| Figure VII- 1: Coupe 3D d'un radier nervuré.....                                       | 245 |
| Figure VII- 2: Contrainte sous le radier. ....                                         | 248 |
| Figure VII- 3: Verification des contraintes sous radier avec L'Etabs RPA99/2003. ....  | 248 |
| Figure VII- 4: Donnee de la verification des contraintes avec l'Etabs RPA99/2003. .... | 249 |
| Figure VII- 5: Verification du sens S12-TOP selon le RPA99/2003.....                   | 250 |
| Figure VII- 6: : Verification du sens S12-BOT selon le RPA99/2003.....                 | 250 |
| Figure VII- 7: Verification du sens S13-TOP selon le RPA99/2003.....                   | 251 |
| Figure VII- 8/ Verification du sens S13-BOT selon le RPA99/2003. ....                  | 251 |
| Figure VII- 9: Ferrailage du radier sens y - face TOP RPA99/2003.....                  | 253 |
| Figure VII- 10: Ferrailage du radier sens y - face BOT RPA99/2003. ....                | 253 |
| Figure VII- 11: Ferrailage du radier sens x - face TOP RPA99/2003. ....                | 254 |
| Figure VII- 12: Ferrailage du radier sens x - face <b>BOT</b> RPA99/2003.....          | 254 |
| Figure VII- 13: Verification des contraintes sous radier avec L'Etabs RPA2024. ....    | 258 |
| Figure VII- 14:Donnee de la verification des contraintes avec l'Etabs RPA2024. ....    | 259 |
| Figure VII- 15: Verification du sens S12-TOP selon le RPA2024.....                     | 260 |
| Figure VII- 16: Verification du sens S12-BOT selon le RPA2024. ....                    | 260 |
| Figure VII- 17: Verification du sens S13-TOP selon le RPA2024.....                     | 261 |
| Figure VII- 18: Verification du sens S13-BOT selon le RPA2024. ....                    | 261 |

## *Introduction générale*

L'Algérie, de par sa position géographique au carrefour de plaques tectoniques actives, est une région sujette à une activité sismique significative. Cette réalité géologique a historiquement façonné les pratiques de construction et a conduit à l'établissement de réglementations parasismiques visant à minimiser les risques pour les vies humaines et les biens matériels. Parmi ces réglementations, le Règlement Parasismique Algérien (RPA) a constitué pendant plusieurs années le socle normatif pour la conception et la réalisation des structures résistantes aux séismes.

Conscient des avancées scientifiques et techniques dans le domaine l'ingénierie sismique, ainsi que des leçons tirées des événements sismiques nationaux et internationaux, le législateur algérien après 20 années de pratique la réglementation algérienne dans le domaine parasismique a actualisé la réglementation en 2024. Cette révision significative ambitionne de moderniser les pratiques est survenue pour une intégration des avancées récentes des normes parasismiques mondiales sur l'aléa sismique et de renforcer la résilience du parc immobilier face aux sollicitations telluriques aussi bien que l'alignement de ces nouvelles règles du RPA avec les autres DTR complémentaires dans une rédaction détaillée.

Le présent projet de fin d'études s'inscrit dans cette dynamique d'évolution normative. Il se propose de mener une étude comparative approfondie entre l'ancienne version du Règlement Parasismique Algérien **RPA99/2003** et la nouvelle mouture de **2024**, en se focalisant sur leur application spécifique aux bâtiments d'habitation de grande hauteur (R+13) avec deux niveaux de sous-sol. L'objectif principal de cette analyse est d'identifier les changements majeurs introduits par la nouvelle réglementation, d'évaluer leurs implications sur les méthodes de conception et de dimensionnement de ce type de structure, et d'apprécier les potentielles améliorations en termes de sécurité et de performance sous sollicitations sismiques.

A travers une analyse détaillée des aspects clés tels que la définition de l'aléa sismique, les méthodes d'analyse structurale, les exigences spécifiques pour les bâtiments de grande hauteur et les structures enterrées, ainsi que les critères de vérification, cette étude comparative ambitionne de fournir un éclairage précis sur les évolutions normatives et leurs enjeux pour la pratique de l'ingénierie civile dans le contexte des bâtiments d'habitation en Algérie. Contribuant ainsi à une meilleure compréhension et application des nouvelles exigences parasismiques.

Pour se faire, je vais répartir le travail en sept chapitres :

- Le 1<sup>er</sup> chapitre consiste à la présentation complète du projet, la définition des différents éléments et le choix des matériaux à utiliser.
- Le 2<sup>ème</sup> chapitre est consacré au pré dimensionnement des éléments structuraux et l'évaluation des charges.
- Le 3<sup>ème</sup> chapitre comporte la modélisation et l'étude dynamique du bâtiment réalisé par le logiciel **Etabs V22.0.0**.
- Le 4<sup>ème</sup> chapitre contient les résultats de ferrailage des éléments résistants fondé sur les résultats du logiciel **Etabs V22.0.0**.
- Le 5<sup>ème</sup> chapitre traite la comparaison des résultats sismiques.
- Le 6<sup>ème</sup> et dernier chapitre aborde l'étude de l'infrastructure suivie par une conclusion.



# *CHAPITRE I*

## *Présentation De L'ouvrage Et Caractéristiques Des Matériaux*



## I.1. Introduction

L'étude d'un bâtiment en béton armé nécessite des connaissances de base sur les quelles prend appuis, et cela pour obtenir une structure à la fois sécuritaire et économique. La stabilité de l'ouvrage est en fonction de la résistance des différents éléments structuraux (poteaux, poutres, voiles ...) aux différentes sollicitations (compression, flexion...) et la résistance de ces éléments est en fonction du type des matériaux utilisés et de leurs dimensions et caractéristiques. Donc pour le calcul des éléments constituant un ouvrage, on se base sur des règlements et des méthodes connues (RPA99/2003, RPA 2024 et le BAEL91) s'appuie sur la connaissance des matériaux (Béton et Aciers), le dimensionnement et le ferrailage des éléments résistants de la structure.

L'étude comporte trois grandes parties :

- Le prédimensionnement et le calcul de tous les éléments.
- L'étude au séisme du bâtiment.
- Le ferrailage des éléments. (Poutres, poteaux, voiles et fondations)

## I.2. Présentation du projet

L'objectif de ce projet consiste à étudier et analyser un bâtiment en béton armé de R+13+2 sous-sols, à usage habitation dont le contreventement est assuré par un système de voiles portiques.

Cet ouvrage, sera implanté à la wilaya d'ALGER, commune de Belcourt, Rue Mohamed Belouizdad.



Figure I- 1: Site du projet.

### I.3. Caractéristiques de l'ouvrage

Ce bâtiment est composé de :

- Parking en deux sous-sols.
- Habitation en 14 niveaux.
- Terrasse inaccessible avec une pente de 7%.

## I.4. Caractéristiques géométriques

### I.4.1. Dimensions en élévation

Les dimensions du bâtiment sont données comme suit :

- Hauteur totale du bloc est de : 45.22 m.
- Hauteur du rez-de-chaussée est de : 3.23 m.
- Hauteur d'étage courant est de : 3.23 m.
- Hauteur du 1<sup>er</sup> sous-sol : 3.23 m.
- Hauteur du 2<sup>eme</sup> sous-sol : 3.23 m.

#### I.4.2. Dimensions en plan

- Longueur totale (sens longitudinal) :  $L = 30.8\text{m}$ .
- Longueur totale (sens transversal) :  $L = 30.6\text{m}$ .

#### I.5. Les données de site :

D'après la classification du RPA99/2003 :

- L'ouvrage est classé en zone III comme étant une zone de forte sismicité.
- L'ouvrage est classé comme ouvrage courant d'importance moyenne groupe d'usage 2, car sa hauteur ne dépasse pas 48m.
- Le site est considéré comme meuble (S3).
- Contrainte admissible de sol  $\bar{\sigma} = 2.2\text{MPa}$  pour une profondeur de 14m.

D'après la classification du RPA 2024 :

- L'ouvrage est classé en zone VI aussi une zone de forte sismicité.
- L'ouvrage est classé comme ouvrage courant d'importance moyenne groupe d'usage 2, car sa hauteur ne dépasse pas 48m.
- Le site est considéré comme meuble (S3).
- Contrainte admissible de sol  $\bar{\sigma} = 2.2\text{MPa}$  pour une profondeur de 14m..

#### I.6. Règlements et normes utilisé :

L'étude sera faite conformément aux règlements suivants :

- RPA99 version 2003.
- RPA version 2024.
- CBA 93 (Code du béton armé).
- DTR BC 2.2 (Charges permanentes et surcharges d'exploitations).
- BAEL 91 modifiée 99.

#### I.7. Conception de la structure :

**Ossature de l'ouvrage:** l'ouvrage rentre dans le cadre de l'application du RPA99/2003 d'après de l'article 3.4.a et du RPA version 2024 d'après de l'article 3.6.a pour les structures en béton armé, on ne peut pas adopter un contreventement par portique auto stable dans les zones de forte sismicité selon les RPA, par conséquent, on a opté pour un système de contreventement constitué par des voiles porteur (sys 2) selon l'RPA 2003 et un système de contreventement constitué par des voiles (sys 5) RPA 2024, pour assurer la stabilité de l'ensemble sous l'effet des actions verticaux et des actions horizontaux (forces sismique).

Pour exécuter ce genre de contreventements, il y a lieu également pour vérifier les conditions suivantes :

- Les voiles de contreventement doivent reprendre au plus 65% des sollicitations dues aux charges verticales.
- Les portiques doivent reprendre, outre les sollicitations.

**Les planchers :** sont des ouvrages horizontaux constituant une séparation entre deux niveaux. Ils sont considérés comme des diaphragme rigide d'épaisseur relativement faible par rapport aux autres dimensions de la structure. On distingue :

- Plancher à corps creux pour tous les niveaux de la superstructure.
- Plancher à dalles pleine pour les balcons et palier inter étage d'escalier avec deux volées.

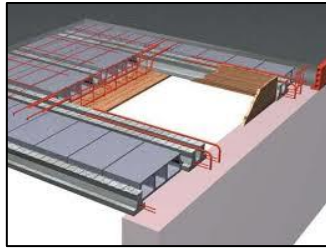


Figure I- 2: Plancher à corps creux.

**Les poteaux :** sont des éléments verticaux destinés à reprendre et à transmettre les sollicitations (efforts normaux, et moments fléchissant) à la base de la structure.

**Les poutres :** sont des éléments horizontaux destinés à reprendre et à transmettre les sollicitations, elles sollicitent à la flexion simple.

**Les voiles :** des éléments comme une dalle, est un élément de structure dont l'épaisseur a une dimension largement inférieure aux deux autres, lesquelles se trouvent sur un même plan. Constituent également les éléments de transmission des charges verticaux et horizontaux.

**La maçonnerie :** la plus utilisée en Algérie est en brique creuse, pour cet ouvrage nous avons deux types de murs :

Les murs extérieurs : réalisés en double paroi, voir la figure suivante :

- Une cloison en brique creuse de 15 cm
- L'âme d'air de 5cm d'épaisseur.
- Une cloison en briques creuse de 10 cm.

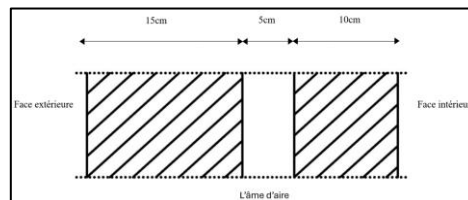


Figure I- 3: Coupe transversale d'un mur extérieur.

Les murs intérieurs : pour la séparation interne, on a opté pour des cloisons en briques creuses de 10 cm d'épaisseur.

**Isolations :** l'isolation acoustique au niveau des murs extérieurs est assurée par le vide d'air entre les deux parois qui compose le dernier, et par la minimisation des ponts thermiques en cours de réalisation, à noter que l'isolation thermique est assurée par les couches de liège pour le plancher terrasse

**Les escaliers :** sont des éléments non structuraux, permettant le passage d'un niveau à un autre. Ils servent à relier les niveaux successifs et à faciliter les déplacements entre étages, notre structure comporte un type d'escalier :

- Escaliers à deux volées.

**Revêtement :** le revêtement de la structure est constitué par :

- Enduit en plâtre pour les plafonds.
- Enduit en ciment pour les murs extérieurs et les cloisons.
- Revêtement à carrelage pour les planchers.
- Le plancher terrasse sera recouvert par une étanchéité multicouche imperméable évitant la pénétration des eaux pluviales.

**Gaine d'ascenseur :** Vu la hauteur importante de ce bâtiment, la conception d'un ascenseur est indispensable pour faciliter le déplacement entre les différents étages, il est composé essentiellement de la cabine et de sa machinerie.

**Terrasse :** dans notre projet la terrasse inaccessible avec une pente de 7%.

**Les balcons :** seront réalisés en dalles pleine.

**Les façades :** sont réalisées en cloisons par des éléments des briques comportant des ouvertures pour fenêtre à certains endroits.

**L'infrastructure :** fondation superficielle réalisée en béton armé en assurant :

- Transmission des charges verticales au sol d'assise de la structure.
- Limitation des tassement différentiels.
- Encastrement de la structure dans le sol.
- La profondeur d'ancrage de l'infrastructure est de **6.46 m** (sans fondation)
- La catégorie de site **S3** (meuble).

## I.8. Introduction générale sur les règles de BAEL :

### I.8.1. Définition de l'état ultime :

Un état-limite est l'état d'une structure (ou d'une partie de cette structure) dans lequel une condition requise de cette structure pour remplir son objet est strictement satisfaite et cesse de l'être en cas d'augmentation de la sollicitation. (BAEL 91/A.1.2)

On distingue les états limites ultimes (de résistance, de stabilité de forme) et les états limites de service (de compression de béton, d'ouverture de fissure, de déformation)

#### I.8.1.1. Etat limite ultime ELU:

Ils mettent en jeu la sécurité des biens et des personnes (droit pénal).

Ils correspondent au maximum de la capacité portante de l'ouvrage ou d'un de ses éléments par :

- Perte d'équilibre statique.
- Rupture de sections non ductiles ou déformations plastiques excessives.
- Instabilité de forme (flambement).
- Transformation de la structure en mécanisme.

Les critères de calculs sont :

- Déformations relatives limites (ou courbure limite).
- Calculs de type « rupture » lois réelles (idéalisées).

#### I.8.1.2. Etat limite de service ELS :

Ils sont liés aux conditions normales d'exploitation et de durabilité (droit civil).

- Ouverture excessive des fissures.
- Compression excessive du béton.
- Déformation excessive des éléments porteurs.
- Vibrations inconfortables pour les usagers, ou rendant la structure impropre à remplir sa fonction.
- Etanchéité, isolation, etc.

Les critères de calculs sont :

- Contraintes admissibles (ou déformations admissibles).
- Calcul de type « élastique ». Loi de Hooke, coefficient d'équivalence.

### I.8.2. Hypothèse de calcul à l'ELU :

Les hypothèses prises en compte sont les suivantes (BAEL 91/A.4.3.2) :

- Les sections droites restent planes et il n'y a pas de glissement relatif entre les armatures et le béton, le diagramme des déformations de la section est linéaire, les déformations normales (allongements et raccourcissement relatifs) sont donc, en chaque point, proportionnelles à la distance de ce point à l'axe neutre.
- La résistance à la traction du béton est négligée,
- Les positions du diagramme des déformations de la section correspondant à un état limite sont définies au paragraphe II. 2.
- Les diagrammes déformations-contraintes de calcul du béton et de l'acier sont définis aux chapitres I. 5 et I. 6 :

Le raccourcissement unitaire du béton est limité à :

$$\begin{cases} \text{En flexion} : \varepsilon_{bc} = 3,5\text{‰} \\ \text{En compression simple} : \varepsilon_{bc} = 2\text{‰} \end{cases}$$

L'allongement maximal de l'acier tendu est limité conventionnellement à 10‰.

- Un groupe de barres disposées en plusieurs lits est équivalent à une barre unique, située au centre de gravité du groupe, si l'erreur commise par les déformations, au niveau des différents lits, ne dépasse pas 15 %.

Dans le cas des sections partiellement comprimées, seul le diagramme rectangulaire simplifié du béton sera utilisé.

Le diagramme linéaire des déformations passe par l'un des trois pivots A, B, C (la règle des trois pivot).

### I.8.2.1. Règles des trois pivots :

La règle des trois pivots qui consiste à supposer que le domaine de sécurité est défini par un diagramme passant par l'un des trois pivots A, B, C, définis par la figure tel que :

- A : correspond à un allongement de 10‰ de l'armature la plus tendue : la section est soumise à la traction simple, flexion simple ou composée.
- B : correspond à un raccourcissement de 3,5‰ du béton de la fibre la plus comprimée : la section est soumise à la flexion simple ou composée.
- C : correspond à un raccourcissement de 2‰ du béton de la fibre située à  $\frac{3}{7}h$  de la fibre la plus comprimée : celle-ci entièrement comprimée et soumise à la compression simple.

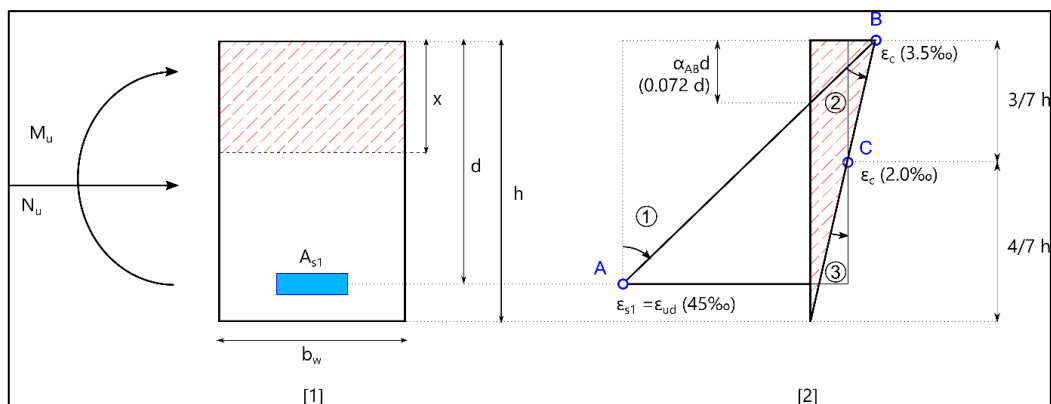


Figure I- 4: Diagramme des déformations limites.

### I.8.3. Hypothèse de calcul à l'ELS

Les calculs sont conduits moyennant les hypothèses suivantes : (BAEL 91/A.4.5.1)

- Les sections droites restent planes et il n'y a pas de glissement relatif entre les armatures et le béton en dehors du voisinage immédiat des fissures.
- Le béton tendu est négligé.
- Le béton et l'acier sont considérés comme des matériaux linéairement élastiques et il est fait abstraction du retrait et du fluage du béton, en vertu de la loi de Hooke, les contraintes sont proportionnelles aux déformations.
- Par convention, le rapport  $n$  du module d'élasticité longitudinale de l'acier à celui du béton, appelé coefficient d'équivalence, a pour valeur :

$$\eta = \frac{E_s}{E_b} = 15 \quad (\eta : \text{Coefficient d'équivalence})$$

- Conformément aux errements habituels, on ne déduit pas dans les calculs les aires des aciers de l'aire du béton comprimé, on peut en outre, supposer concentrée en son centre de gravité.
- L'aire d'acier de la section transversale d'un groupe de plusieurs armatures, pourvu que l'erreur ainsi commise ne dépasse pas 15%.

## I.9. Introduction sur les caractéristiques mécaniques des matériaux :

Le béton est le matériau de construction le plus répandu à l'époque actuelle, à cause de sa résistance en donnant un monolithisme à la construction, il est destiné à réaliser des éléments structuraux dans le domaine du bâtiment et du génie civil. Il est composé de plusieurs constituants élémentaires tel que : le ciment, les Agrégats et l'eau. Pour répondre aux besoins de certains usages des ajouts peuvent être envisagés tels que : les adjuvants, les fines, les additions...etc.

### I.9.1. Composants du béton :

#### I.9.1.1. Le béton :

Le béton est un matériau constitué par le mélange du ciment granulats (sable, gravillons) et d'eau de gâche, Le béton armé est obtenu en introduisant dans le béton des aciers (armatures) disposés de manière à équilibrer les efforts de traction. La fabrication des bétons est en fonction de l'importance du chantier, elle peut se forme soit par une simple bétonnière de chantier, soit par l'installation d'une centrale à béton. La centrale à béton est utilisée lorsque les volumes et les cadences deviennent Élevés, et la durée de la production sur un site donné est suffisamment longue.

#### a. Caractéristiques mécaniques du béton :

##### • Résistance à la compression :

Le béton est caractérisé par sa bonne résistance ( $f_{cj}$ ) à la compression, cette résistance est mesurée par la compression axiale des éprouvettes cylindriques après une conservation dans les conditions définies par les normes : âge aux 28 jours, les dimensions de 16cm de diamètre et de 32cm de hauteur et une température ambiante.

Les règles BAEL donnent les formules ou les expressions de variation de la contrainte du béton en fonction de son âge :

$$f_{cj} = \frac{j}{1,4+0,95j} \times f_{c28} \quad \text{pour } f_{c28} > 40\text{MPa}$$

$$f_{cj} = \frac{j}{4,76+0,83j} \times f_{c28} \quad \text{pour } f_{c28} \leq 40\text{MPa}$$

$$\text{Pour } j > 28 \text{ jours : } f_{cj} = 1,10 \times f_{c28}$$

Pour notre étude on prend  $f_{c28}=25\text{MPa}$ .

##### • Résistance à la traction :

La résistance caractéristique du béton à la traction à (j) jours, notée  $f_{tj}$ , est définie conventionnellement par la relation : (BAEL 91-A.21-12-)

$$f_{tj} = 0,6 + 0,06f_{cj} \quad \text{pour } f_{cj} \leq 60\text{MPa}$$

$$f_{tj} = f_{cj}^{\frac{2}{3}} \quad \text{pour } f_{cj} > 60\text{MPa}$$

Dans laquelle  $f_{tj}$  et  $f_{cj}$  sont exprimées en MPa, On aura donc pour  $f_{c28} = 25\text{MPa}$

$$f_{t28} = 2,1 \text{ MPa}$$



- **Module de déformation longitudinale du béton**

- **Déformations instantanées**

Sous des contraintes normales d'une durée d'application inférieure à 24 heures, on admet à défaut de mesures qu'à l'âge de (j) jours, le module de déformation longitudinale instantanée du béton  $E_{ij}$  est égale à :

$$E_{ij} = 11000 \sqrt[3]{f_{cj}} \quad (E_{ij} \text{ et } f_{cj} \text{ en MPa})$$

Dans ce projet  $E_{i28} = 32164,19 \text{ MPa}$  pour la superstructure.

- **Déformations différées**

Sous des contraintes de longue durée d'application, les déformations longitudinales complémentaires dues au fluage du béton sont doubles de celles dues aux mêmes contraintes supposées de courte durée et appliquées au même âge. Alors le module de déformation longitudinale différée est donné par la formule :

$$E_{vj} = 3700 \sqrt[3]{f_{cj}} \quad (E_{vj} \text{ et } f_{cj} \text{ en MPa})$$

Dans ce projet  $E_{v28} = 10818,86 \text{ MPa}$  pour l'infrastructure.

- **Coefficient de poisson :**

On appelle coefficient de poisson le rapport de la déformation transversale relative à la déformation longitudinale relative :

$$\nu = \frac{\text{Déformation relative transversale}}{\text{Déformation relative longitudinale}}$$

D'après CBA93 Article A.2.1.3, le coefficient de Poisson  $\nu$  prends les valeurs suivantes :

$$\nu = 0,2 \quad (\text{ELS})$$

$$\nu = 0 \quad (\text{ELU})$$

- b. Contraintes limites du béton :**

Les sollicitations de calcul ne doivent pas dépasser dans le sens défavorable les sollicitations limites ultimes.

- **Contrainte à l'état limite ultime :**

La contrainte ultime du béton en compression est donnée par la relation :

$$f_{bu} = \frac{0,85 f_{c28}}{\gamma_b \times \theta}$$

La constante 0.85, coefficient de sécurité, tient compte de fait que l'éprouvette de béton est écrasé sous une charge instantanée, tandis que l'ouvrage est soumis à des charges de longue durée d'application.

**Selon l'RPA99/2003 :**

$$\begin{cases} \gamma_b = 1,5 & \text{pour le cas d'actions courantes.} \\ \gamma_b = 1,15 & \text{pour le cas d'actions accidentelles.} \end{cases}$$

**Selon l'RPA 2024 :**

$$\begin{cases} \gamma_b = 1.5 & \text{pour le cas d'actions courantes.} \\ \gamma_b = 1.2 & \text{pour le cas d'actions accidentelles.} \end{cases}$$

$\gamma_b$  : coefficient de sécurité du béton.

$$\begin{cases} \theta = 1 & \text{pour durée d'application des sollicitations supérieure à 24h.} \\ \theta = 0,9 & \text{pour durée d'application des sollicitations entre 1 et 24h.} \\ \theta = 0,85 & \text{pour durée d'application des sollicitation inférieure à 1h.} \end{cases}$$

$\theta$  : Coefficient dépendant de la durée d'application des actions.

Dans notre étude on utilisera :

$$f_{c28} = 25 \text{ MPa} \begin{cases} f_{bu} = 14,16 \text{ MPa} & \text{cas courant.} \\ f_{bu} = 18,48 \text{ MPa} & \text{cas accidentelle.} \end{cases}$$

Pour le calcul à l'ELU, on adopte le diagramme :

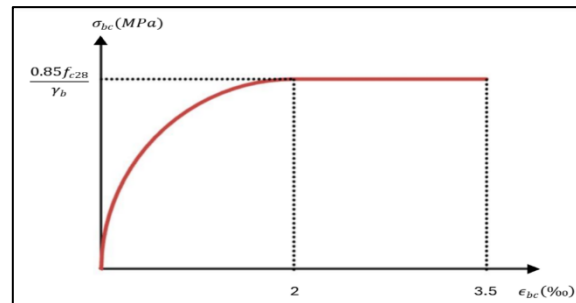


Figure I- 5: Diagramme parabole-rectangle.

Le diagramme (parabole-rectangle) ci-dessus est utilisé dans le calcul relatif à l'état limite ultime de résistance, le raccourcissement relatif à la fibre la plus comprimée est limité à :

- 2‰ en compression simple ou flexion composée avec compression.
- 3,5‰ en flexion simple ou composée.

- **Contrainte limite à l'état service :**

La contrainte admissible de compression à l'état limite de service (ELS) est donnée par :

$$\bar{\sigma}_{bc} = 0,6 f_{c28}$$

On a  $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$  donc  $\bar{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa}$

Dans le cas de l'ELS on suppose que le diagramme parabole-rectangle reste dans le domaine élastique linéaire, est défini par son module d'élasticité

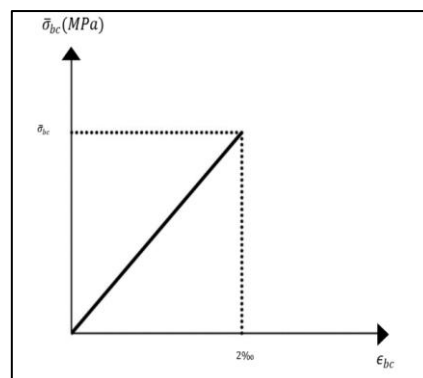


Figure I- 6: Diagramme linéaire de contrainte-déformation.

- **Contrainte limite de cisaillement :**

Cette contrainte est donnée par :

$$\tau_u = \frac{V_u}{b_0 \times d}$$

$V_u$  : effort tranchant.

$b_0$  : Largeur de la section de béton considérée.

$d$  : Hauteur utile de la section de béton considérée.

- **La contrainte admissible de cisaillement :**

Cas de fissuration peu nuisible :

$$\bar{\tau}_u = \min\left(\frac{0,20}{\gamma_b} \times f_{c28} ; 5MPa\right) \rightarrow \bar{\tau}_u = 3,33MPa$$

Cas de fissuration préjudiciable ou très préjudiciable :

$$\bar{\tau}_u = \min\left(\frac{0,15}{\gamma_b} \times f_{c28} ; 4MPa\right) \rightarrow \bar{\tau}_u = 2,50 MPa$$

### I.9.1.2. L'acier :

L'acier est un alliage fer carbone en faible pourcentage, ce matériau caractérise par une bonne résistance aussi bien en traction qu'en compression, sa bonne adhérence au béton, en constitue un matériau homogène, leur rôle est d'absorbé les efforts de traction, de cisaillement et de torsion.

#### a. Caractéristiques mécaniques de l'acier :

Les désignations conventionnelles, les nuances et les limites d'élasticité Correspondantes sont données par le tableau suivant :

Tableau I- 1: Valeurs de limite d'élasticité.

| Type                                        | Nuance           | F <sub>e</sub><br>(MPa) | Emploi                                                      |
|---------------------------------------------|------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------|
| <b>Ronds lisse</b>                          | FeE22<br>FeE24   | 215<br>235              | Emploi courant. Epingles de levage des pièces préfabriquées |
| <b>Barres HA<br/>Type 1 &amp; 2</b>         | FeE40<br>FeE50   | 400<br>500              | Emploi courant.                                             |
| <b>Fils tréfile HA<br/>Type 3</b>           | FeTE40<br>FeTE50 | 400<br>500              | Emploi sous forme de barres droites ou de treillis.         |
| <b>Treillis soudés<br/>lisse<br/>Type 4</b> | TSL<br>TSHA      | 500<br>520              | Emploi courant.                                             |

Limite d'élasticité garantie f<sub>e</sub>.

L'acier choisi pour les armatures longitudinales est un acier à haute adhérence HA FeE500 type 2 avec une limite d'élasticité f<sub>e</sub> = 500 MPa, et pour les armatures transversales est un rond lisse FeE24 avec f<sub>e</sub> = 235 MPa.

- **Le module d'élasticité :**

Pour notre projet on a pris :  $E_s = 2 \times 10^5 MPa$ .

#### b. Diagramme contrainte-déformation :

- **Contrainte limite ultime :**

La contrainte limite de traction des aciers en service n'est limité qu'en cas de fissuration peu préjudiciable, préjudiciable ou très préjudiciable :

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s}$$

$\sigma_s$  : Contrainte limite de l'acier.

f<sub>e</sub> : limite élastique de l'acier.

$\gamma_s$  : Coefficient de sécurité de l'acier dépendant de la nature des actions.

$$\begin{cases} \gamma_s = 1,15 & \text{action courant} \\ \gamma_s = 1 & \text{action accidentelle} \end{cases}$$

Dans notre cas :  $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$

$\frac{\Delta L}{L}$ : allongement unitaire de l'acier.

- **Contrainte limite de service**

- Fissuration peu nuisible

Aucune vérification n'est demandée dans ce cas, sauf qu'il faut vérifier la contrainte dans le béton.

- Fissuration préjudiciable :

$$\bar{\sigma}_s \leq \min \left( \frac{2}{3} f_e ; \max \left( \frac{1}{2} f_e ; 110 \sqrt{\eta \times f_{tj}} \right) \right) \text{ MPa}$$

- Fissuration très préjudiciable :

$$\bar{\sigma}_s \leq 0.8 \sigma_s \text{ MPa}$$

Avec  $\eta$  est le coefficient de fissuration dont la valeur est :

$$\begin{cases} \eta = 1 & \text{pour les aciers ronds lisses.} \\ \eta = 1,6 & \text{pour les aciers haute adhérence.} \end{cases}$$

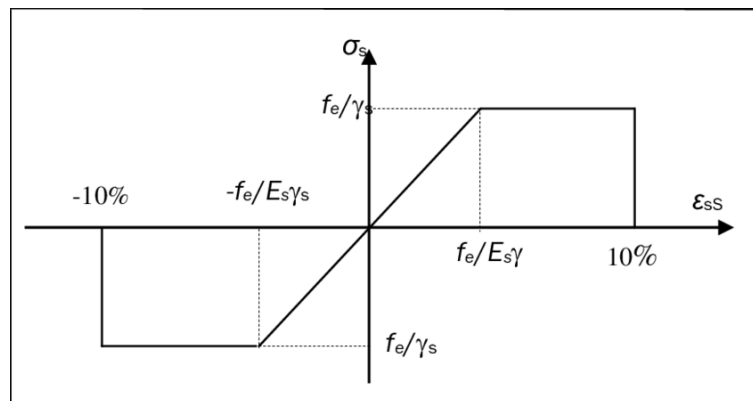


Figure I- 7: Diagramme de contrainte-déformation de l'acier.

## I.10. Actions et sollicitations

### I.10.1 Actions

Les actions sont des forces et couples de forces dues aux charges appliquées (Permanentes, climatiques, d'exploitations) et aux déformations imposées (Variations de température, tassements d'appuis). On notera :

- G : Charges permanentes (poids propre de la structure + les équipements fixe).
- Q : Charges variables (exploitations + climatiques).
- E : Action accidentelle (séisme).

### I.10.2. Sollicitations :

Les sollicitations sont des efforts (efforts normaux, efforts tranchants) et des moments (moments de flexion, moment de torsion) calculés à partir des actions. On les appelle des combinaisons d'actions.

Les combinaisons utilisées dans notre étude :

A l'état limite ultime ELU on a :

- $1,35G + 1,5Q$ .

A l'état limite de service ELS on a :

- $G + Q$ .

Les combinaisons sismiques utilisées dans notre étude selon le RPA99 version 2003 sont :

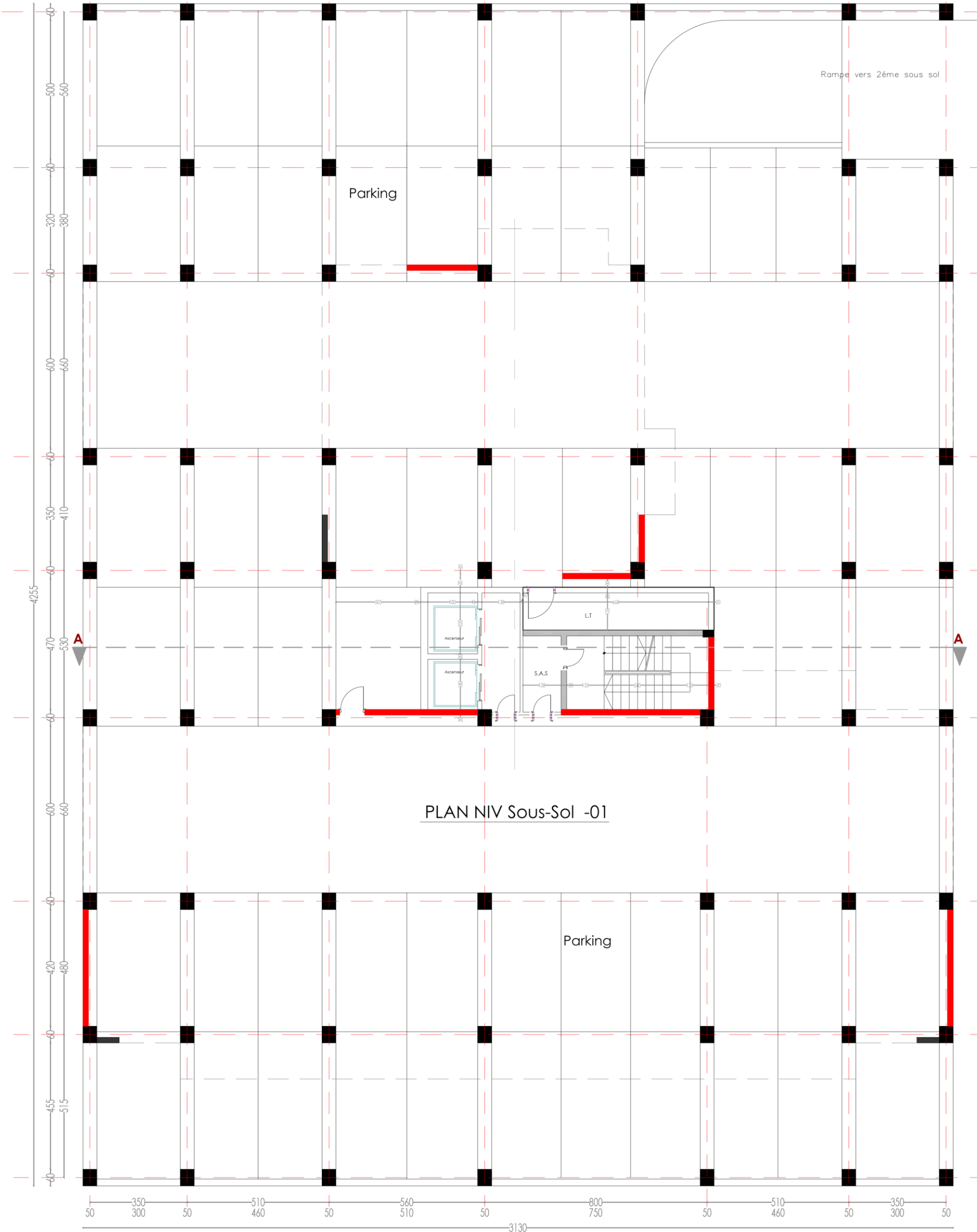
- $G + Q \pm E$
- $G + \beta Q$
- $0,8G \pm E$
- $G + Q + 1,2E$

Les combinaisons sismiques utilisées dans notre étude selon le RPA 2024 sont :

- $G + \beta Q$
- $E1 = \pm E_x \pm 0.3E_y$
- $E2 = \pm 0.3E_x \pm E_y$
- $G + \Psi Q + E1$
- $G + \Psi Q + E2$
- $G + Q \pm 1,2E$

### I.10.3. Convention de signes :

- **Etabs** : Traction (+) et la compression (-).
- **Socotec** : Traction (-) et la compression (+).



PLAN NIV R.D.C

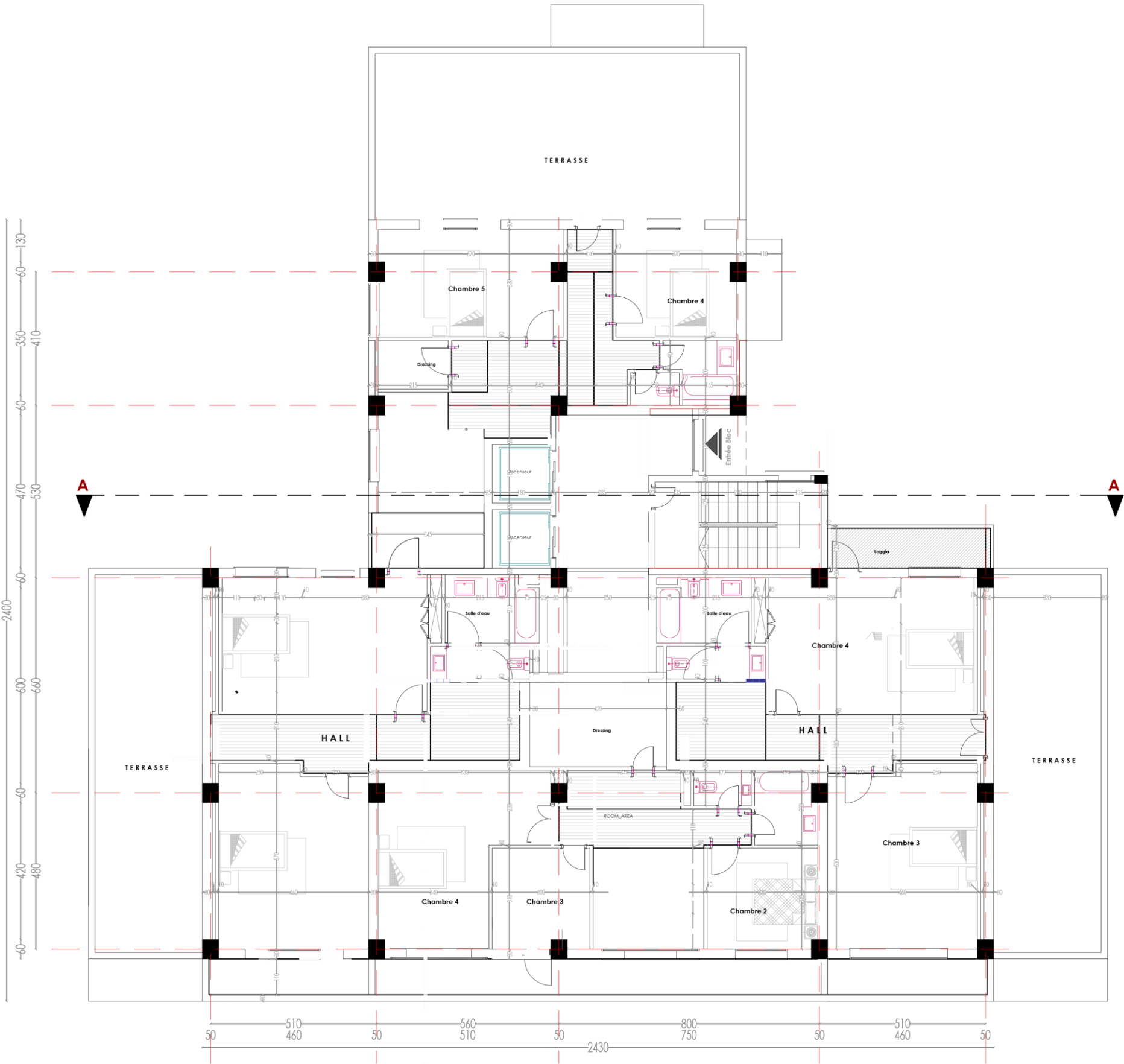


PLAN NIV ETAGE COURANT  
DE R+1 à R+12

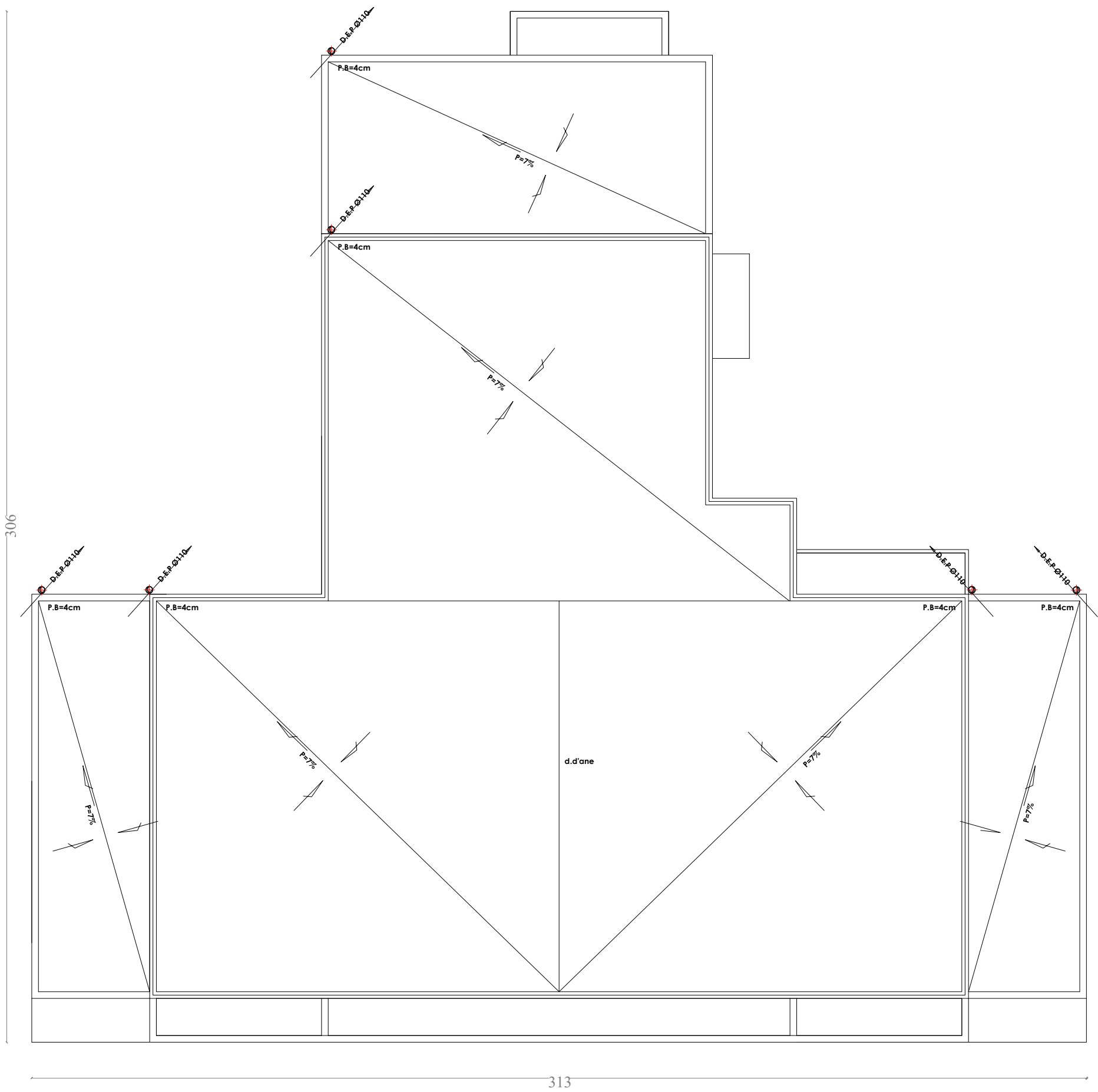




PLAN NIV R+13

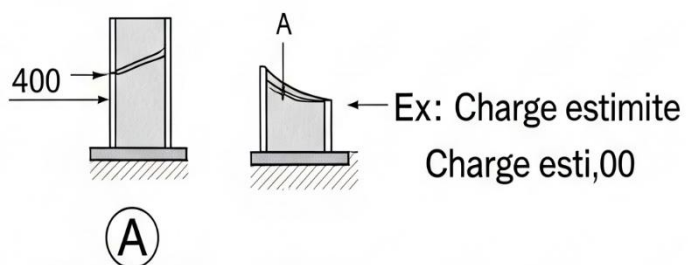
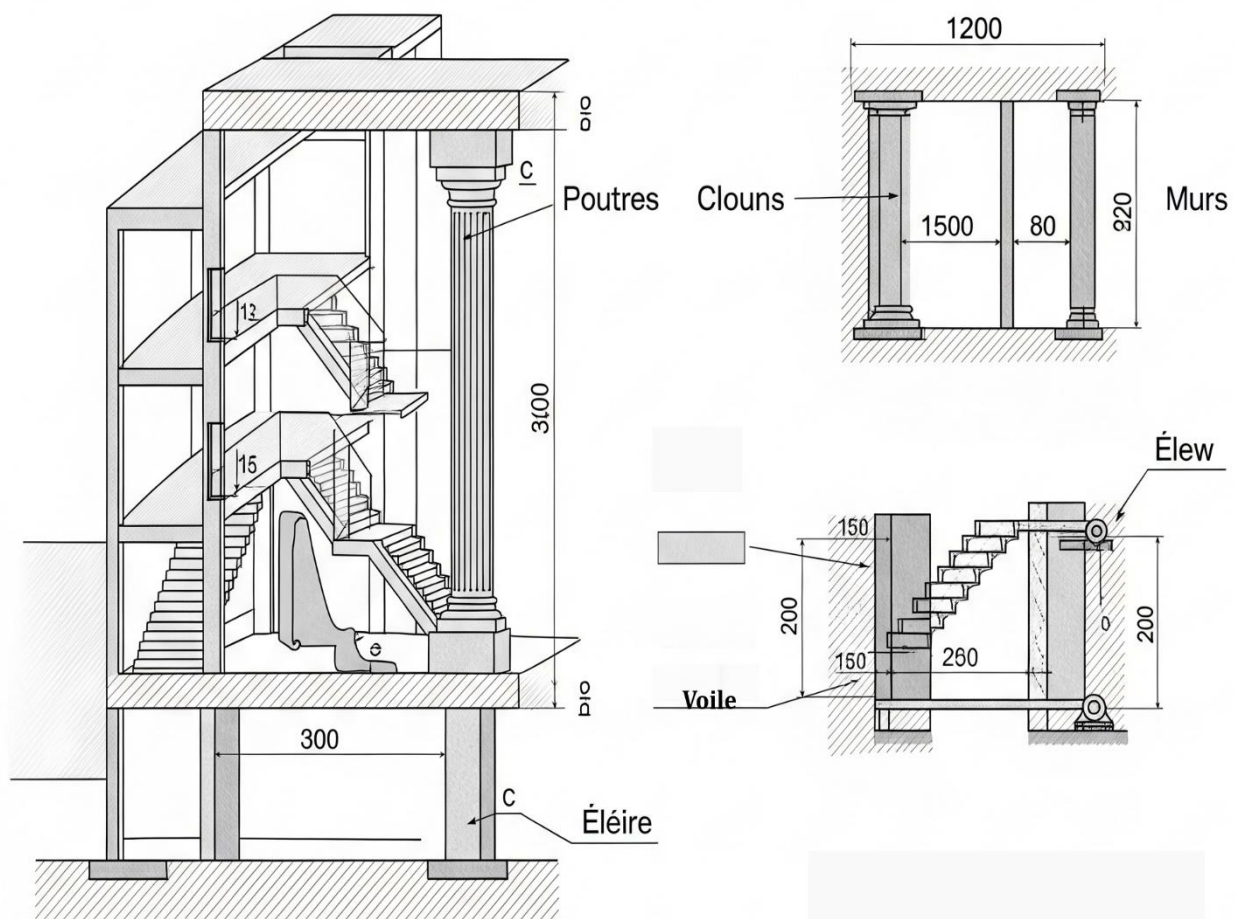


PLAN NIV TERRASSE



# CHAPITRE II

## Prédimensionnement Et Evaluations Des Charges

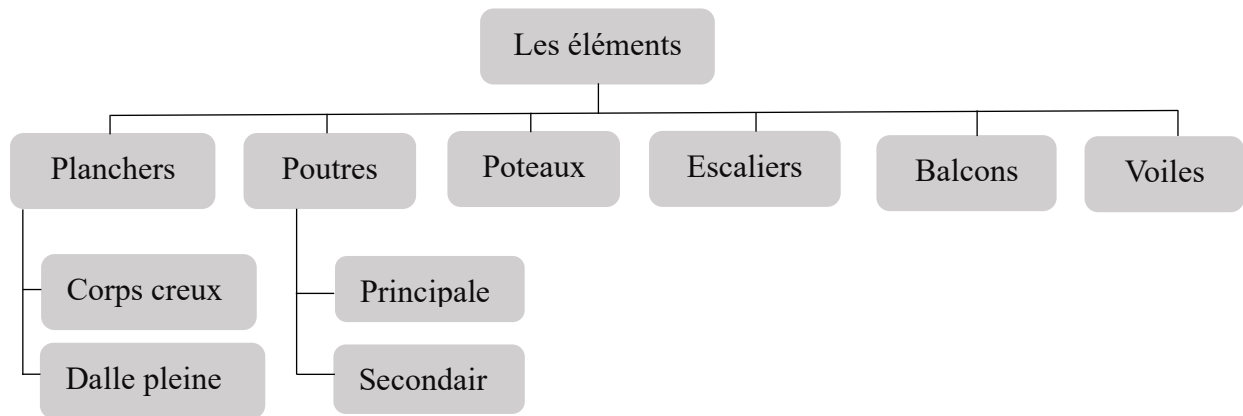


## II.1. Introduction

Le prédimensionnement des éléments a pour but de déterminer l'ordre de grandeur des différents éléments constituant notre bâtiment conformément aux règlements et normes en vigueur à savoir :

- BAEI91.
- RPA99/2003.
- RPA2024.

Après la détermination des différentes épaisseurs, et surfaces revenant à chaque élément porteur on pourra évaluer les charges (Poids propre) et surcharges (Application de la règle de dégression). Une fois les sollicitations dans les sections dangereuses déterminées on fera les calculs exacts.



## II.2 Pré dimensionnement des planchers

Les planchers ont un rôle très important dans la structure. Ils supportent les charges verticales puis les transmettent aux éléments porteurs. Ils isolent aussi, les différents étages du point de vue thermique et acoustique. La structure étudiée compte deux type de planchers :

Corps creux pour les étages, RDC.

Dalle pleine pour les balcons.

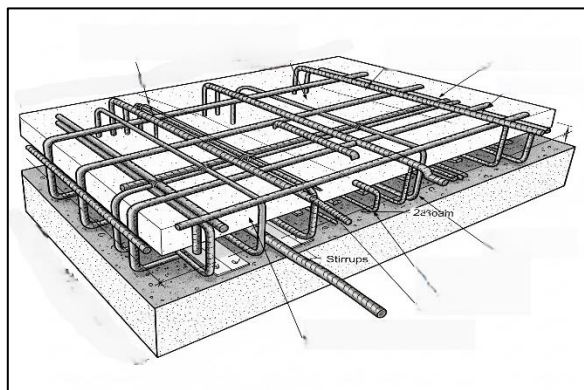


Figure II- 1: Coupe 3D de la dalle pleine.

### II.2.1 Plancher à corps creux :

Ce type de plancher est constitué par des éléments porteur (poutrelle), et des éléments de remplissage (corps creux), avec une table de compression.

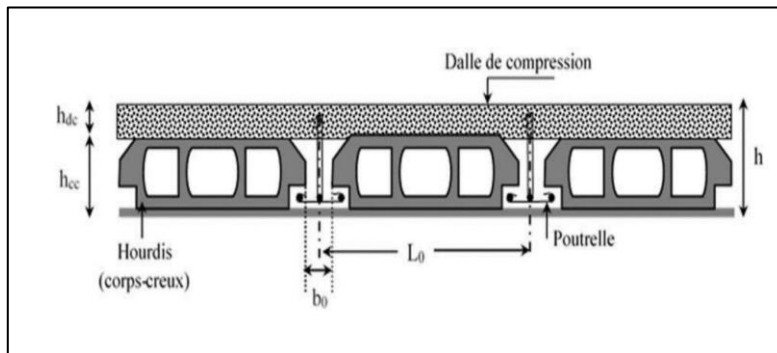


Figure II- 2: Coupe transversale d'un plancher à corps creux.

Avec :

$h_{cc}$  : hauteur de corps creux.

$h_{dc}$  : hauteur de la dalle de compression.

$b_0$  : largeur de la nervure de 8 à 12 cm

$L_0$  : distance entre axe de poutrelle.

$h$  : hauteur total du plancher.

Les planchers sont des plaques minces dont l'épaisseur est faible par rapport aux autres dimensions, elles reposent sur 4 appuis, on adopte dans notre projet des planchers à corps creux.

On déduira l'épaisseur des planchers à partir de la condition ci-après :

$$\frac{L}{25} \leq h \leq \frac{L}{20}$$

Avec :

$L_x$  : est la plus grande portée dans le sens de disposition des nervures entre nus.

$M_t$  : le moment en travée :  $M_t \geq 0,75M_0$ .

$M_0$  : le moment isostatique correspondant.

On a :  $L_x = 3,50 \text{ m}$  donc :

$$L = L_x - 30 \text{ cm} = 350 - 30 = 320 \text{ cm}$$

$$\frac{L}{25} \leq h \leq \frac{L}{20} \rightarrow \frac{320}{25} \leq h \leq \frac{320}{20}$$

$$12.8 \text{ cm} \leq h_t \leq 16 \text{ cm}$$

On prend :  $h = 21 \text{ cm}$

On utilise un plancher à corps creux de type **(16 + 5) cm**.

- 16 cm pour la hauteur du corps creux.
- 5 cm pour la hauteur de la dalle de compression.

### II.2.2 Plancher à dalle pleine :

C'est un plancher en béton armé de 15 à 20 cm d'épaisseur coulé sur un coffrage plat, le plancher à dalle pleine est utilisé notamment pour les constructions industriels et commerciales car ces derniers subissent des surcharges d'exploitations importantes.

Le dimensionnement au feu, isolation et résistance à la flexion.

#### 1<sup>ère</sup> Condition : Résistance au feu :

- $e = 7$  cm pour une heure de coupe-feu.
- $e = 11$  cm pour deux heures de coupe-feu.

On admet :  $e = 11$  cm.

#### 2<sup>ème</sup> Condition : Isolation phonique :

Selon les règles de CBA 93 [3], l'épaisseur du plancher doit être supérieure ou égale à 15 cm pour obtenir une bonne isolation acoustique.

On prend donc  $e = 16$  cm.

#### 3<sup>ème</sup> Condition : Isolation phonique :

Les conditions qui doivent être vérifiées selon le nombre des appuis sont les suivantes :

- Dalle reposant sur deux appuis :  $\frac{L_x}{35} \leq e \leq \frac{L_x}{30}$
- Dalle reposant sur trois ou quatre appuis :  $\frac{L_x}{50} \leq e \leq \frac{L_x}{40}$

Avec :

$e$  : épaisseur de la dalle pleine.

$L_x$  : la portée mesurée du panneau le plus sollicité.

On a pour l'étage RDC :

$$\begin{aligned} L_x &= 8 \text{ m} \\ \frac{L_x}{50} &\leq e_{RDC} \leq \frac{L_x}{40} \\ \frac{800}{50} &\leq e_{RDC} \leq \frac{800}{40} \\ \mathbf{16 \text{ cm} \leq e_{RDC} \leq 20 \text{ cm}} \end{aligned}$$

On prend  $e_{RDC} = 20$  cm

Pour les escaliers :

$$\begin{aligned} L_x &= 5.30 \text{ m} \\ \frac{L_x}{50} &\leq e_{esc} \leq \frac{L_x}{40} \\ \frac{530}{50} &\leq e_{esc} \leq \frac{530}{40} \\ \mathbf{10.6 \text{ cm} \leq e_{RDC} \leq 13.25 \text{ cm}} \end{aligned}$$

D'après la 2<sup>ème</sup> condition on prend  $e_{esc} = 17$  cm

#### Conclusion :

On a adopté des épaisseurs de :

- Corps creux de 21cm pour les planchers des étages courants.
- Dalles pleines de 20cm pour planchers des sous-sols.
- Dalles pleines de 17cm pour les balcons et l'escaliers.

### II.2.3. Dimensionnement des poutrelles :

Les poutrelles sont des éléments secondaires, coulées sur place en même temps que le plancher, leurs armatures permettent au béton de résister à la flexion, elles supportent le plancher et transmettent ses charges à la structure porteuse.

$$\frac{1}{25} \leq \frac{h}{L} \leq \frac{1}{20} \quad \text{art 2.1.1}$$

$$0.4h_t \leq b_0 \leq 0.6h_t$$

$h_t = 21 \text{ cm}$  (hauteur totale du plancher)

$h_0 = 5 \text{ cm}$  (hauteur de la dalle de compression)

$b = 60 \text{ cm}$  (longueur de corps creux)

$$0.4 \times 21 \leq b_0 \leq 0.6 \times 21$$

$$8.4 \leq b_0 \leq 12.6 \text{ cm}$$

$$\mathbf{8.4 \text{ cm} \leq b_0 \leq 12.6 \text{ cm}}$$

On prend  $\mathbf{b_0 = 12 \text{ cm}}$ .

La largeur de la table de compression est déterminée à partir des conditions suivantes :

$$b_1 \leq \frac{530}{10}$$

$$b_1 \leq \frac{530}{10} = 53 \text{ cm}$$

$$b_1 \leq \frac{L_{\text{hourdi}}}{2}$$

$$b_1 \leq \frac{60}{2} = 30 \text{ cm}$$

$$6h_0 \leq b_1 \leq 8h_0$$

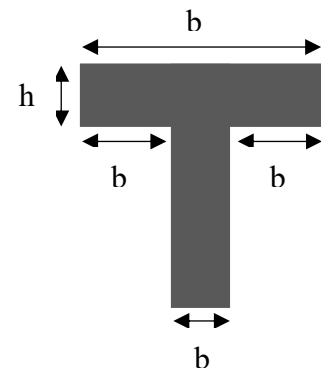
$$24 \text{ cm} \leq b_1 \leq 32 \text{ cm}$$

On prend :  $\mathbf{b_1 = 26.5 \text{ cm}}$ .

$$b = 2b_1 + b_0 = 2(26.5) + 12 = 65 \text{ cm}$$

Le calcul sera fait pour les deux éléments :

- Poutrelles.
- La dalle de compression.



### Conclusion :

On a opté pour un hourdi de 53cm et des poutrelles de 12cm.

### II.3. Prédimensionnement des poutres :

Les poutres sont des éléments horizontaux supportent les charges et surcharges, leur prédimensionnement s'effectue par des formules données par le BAEL91 et vérifier suivant le Règlement Parasismique Algérien RPA99/2003 et RPA 2024.

La condition de la flèche :

Selon le BAEL 91 on a :

$$\frac{L}{15} \leq h \leq \frac{L}{10}$$

$$0,3 \leq b \leq 0,5h$$

Selon le RPA99/2003 en zone III :

$$h \geq 30 \text{ cm}$$

$$b \geq 20 \text{ cm}$$

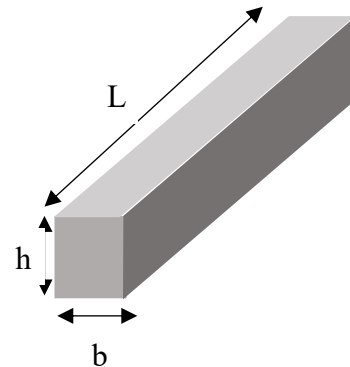
$$\frac{h}{b} \geq 4$$

Selon le RPA 2024 en zone VI :

$$h \geq 30 \text{ cm}$$

$$b \geq 25 \text{ cm}$$

$$\frac{h}{b} \geq 4$$



#### II.3.1 Poutres Principale :

$$L_{max} = 8.00 \text{ m}$$

$$\frac{L}{15} \leq h \leq \frac{L}{10}$$

$$\frac{800-30}{15} \leq h \leq \frac{800-30}{10}$$

$$51.33 \text{ cm} \leq h \leq 77 \text{ cm}$$

On prend : **h = 55 cm**

$$0,4h \leq b \leq 0,7h$$

$$0,4 \times 55 \leq b \leq 0,7 \times 55$$

$$22 \text{ cm} \leq b \leq 38.5 \text{ cm}$$

On prend : **b = 30 cm**

- **Vérifications suivant le RPA99/2003 on a :**

$$h = 55 \text{ cm} \geq 30 \text{ cm} \text{ Condition vérifiée.}$$

$$b = 30 \text{ cm} \geq 20 \text{ cm} \text{ Condition vérifiée.}$$

$$\frac{h}{b} = 1,83 \text{ cm} \leq 4 \text{ cm} \text{ Condition vérifiée.}$$

- **Vérifications suivant le RPA 2024 on a :**

$$h = 55 \text{ cm} \geq 30 \text{ cm} \text{ Condition vérifiée.}$$

$$b = 30 \text{ cm} \geq 25 \text{ cm} \text{ Condition vérifiée.}$$

$$\frac{h}{b} = 1,83 \text{ cm} \leq 4 \text{ cm} \text{ Condition vérifiée.}$$



**II.3.2. Poutre secondaire :**

$$L_{max} = 6.6 \text{ m}$$

$$\frac{L}{15} \leq h \leq \frac{L}{10}$$

$$\frac{660-30}{15} \leq h \leq \frac{660-30}{10}$$

$$42 \text{ cm} \leq h \leq 63 \text{ cm}$$

On prend : **h = 55 cm**

$$0,4h \leq b \leq 0,7h$$

$$0,4 \times 55 \leq b \leq 0,7 \times 55$$

$$22 \text{ cm} \leq b \leq 38.5 \text{ cm}$$

On prend : **b = 30 cm**

- **Vérifications suivant le RPA99/2003 on a :**

$$h = 55 \text{ cm} \geq 30 \text{ cm} \text{ Condition vérifiée.}$$

$$b = 30 \text{ cm} \geq 20 \text{ cm} \text{ Condition vérifiée.}$$

$$\frac{h}{b} = 1,83 \text{ cm} \leq 4 \text{ cm} \text{ Condition vérifiée.}$$

- **Vérifications suivant le RPA 2024 on a :**

$$h = 55 \text{ cm} \geq 30 \text{ cm} \text{ Condition vérifiée.}$$

$$b = 30 \text{ cm} \geq 25 \text{ cm} \text{ Condition vérifiée.}$$

$$\frac{h}{b} = \mathbf{1,83 \text{ cm}} \leq \mathbf{4 \text{ cm}} \text{ Condition vérifiée.}$$

**Conclusion :**

On a opté pour :

- Des poutres principales de 65x35cm.
- Des poutres secondaires de 65x35cm.

#### II.4. Prédimensionnement des poteaux :

Les poteaux sont des éléments porteurs chargés de reprendre les charges et surcharges issues des différents niveaux pour les transmettre au sol par l'intermédiaire des fonctions.

D'après le RPA99/2003 :

Les dimensions de la section transversale des poteaux en zone III doivent satisfaire les conditions suivantes :

$$\begin{cases} \text{Min}(a; b) \geq 25 \text{ cm} \\ \text{Min}(a; b) \geq \frac{h}{20} \text{ cm} \\ \frac{1}{4} \leq \frac{b}{h} \leq 4 \end{cases}$$

D'après le BAEL 91 :

$$B_r \geq \frac{\beta \times N_u}{\frac{f_{bu} + \frac{0,85 \times f_e}{\gamma_s \times \left(\frac{A_s}{B_r}\right)}}{0,9}}$$

Avec :

$B_r$  : section réduite du poteau  $B_r = (a - 0,02)(b - 0,02)$  en  $\text{m}^2$ .

$N_u$  : Effort normal maximal à l'ELU ( $N_u = 1,35 G + 1,5 Q$ ).

$A_s$  : Section d'armature comprimée prise en compte dans le calcul.

$f_e$  : contrainte limite élastique des aciers (ici on prend  $F_e = 400 \text{ MPa}$ ).

$\gamma_b$  : coefficient de sécurité du béton tel que  $\gamma_b = 1,5 / 1,2$  (situation durable).

$\gamma_s$  : coefficient de sécurité de l'acier tel que  $\gamma_s = 1,15$  (situation durable).

$\alpha$  : coefficient fonction de l'élancement du poteau calculé par :

$$\begin{cases} \text{pour } \lambda \leq 50 & \alpha = \frac{0,85}{1 + 0,2 \times \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2} \\ \text{pour } 50 \leq \lambda \leq 70 & \alpha = 0,6 \times \left(\frac{50}{\lambda}\right)^2 \end{cases}$$

Généralement le pourcentage de l'acier est de 1% de la section :

$$\frac{A_s}{B_r} = \frac{1}{100}$$

$$N_u \leq \alpha \times B_r \times \left[ \frac{f_{c28}}{0,9 \times \gamma_b} + \frac{f_e}{100 \times \gamma_s} \right] \rightarrow B_r \geq \frac{N_u}{\alpha \times \left[ \frac{f_{c28}}{0,9 \times \gamma_b} + \frac{f_e}{100 \times \gamma_s} \right]}$$

$$\text{Pour } \lambda = 35 \rightarrow \alpha = 0,708 \rightarrow B_r \geq 0,062 N_u$$

$$\text{Pour } \lambda = 50 \rightarrow \alpha = 0,603 \rightarrow B_r \geq 0,073 N_u$$

$N_u$  : est déterminé à partir de la descente des charges.

### II.4.1. Evaluation des charges et surcharges et descente des charges :

#### II.4.1.1. Evaluation des charges et surcharges :

La descente des charges a pour objectif d'étudier le transfert des charges dans la structure. L'objectif étant de connaître la répartition et les cheminements des charges sur l'ensemble des éléments porteurs de la structure depuis le haut jusqu'aux fondations.

##### a. Les planchers :

##### • Plancher terrasse inaccessible en corps creux :

Tableau II- 1: Evaluation des charges au plancher terrasse inaccessible corps creux.

|                                | Epaisseur<br>( m ) | Poids volumique<br>(KN/m <sup>3</sup> ) | Poids<br>( K N/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------|--------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|
| Protection en gravillon roulée | 0.05               | 17                                      | 0.85                            |
| Étanchéité multicouche         | 0.02               | 6                                       | 0.12                            |
| Béton forme de pente           | 0.06               | 22                                      | 1.32                            |
| Isolation thermique            | 0.04               | 4                                       | 0.16                            |
| Plancher à corps creux         | (16+5)             | 14                                      | 2.8                             |
| Enduit en plâtre               | 0.02               | 10                                      | 0.2                             |
| Feuille de polyrane            | -                  | -                                       | 0.01                            |
| Total                          |                    | G =                                     | 5.46                            |
| Surcharge d'exploitation       |                    | Q =                                     | 1                               |

##### • Plancher étage courant corps creux :

Tableau II- 2: Evaluation des charges au plancher étage courant corps creux.

| Matériaux                | Epaisseur ( m ) | Poids volumique<br>(KN/m <sup>3</sup> ) | Poids<br>(KN/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------|-----------------|-----------------------------------------|-------------------------------|
| Cloison                  | 0.1             | 9                                       | 0.9                           |
| Carrelage                | 0.02            | 22                                      | 0.44                          |
| Mortier de pose          | 0.02            | 20                                      | 0.40                          |
| Couche de sable fin      | 0.02            | 18                                      | 0.36                          |
| Plancher à corp creux    | 0.21            | 14                                      | 2.8                           |
| Enduit en plâtre         | 0.02            | 10                                      | 0.2                           |
| Total                    |                 | G =                                     | 5.1                           |
| Surcharge d'exploitation |                 | Q =                                     | 1.5                           |

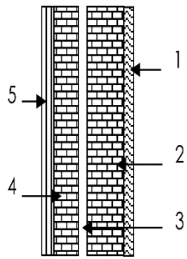
##### • Plancher étage courant dalle pleine :

Tableau II- 3: Évaluation des charges au plancher étage courant dalle pleine.

| Matériaux                | Epaisseur ( m ) | Poids volumique<br>(KN/m <sup>3</sup> ) | Poids<br>(KN/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------|-----------------|-----------------------------------------|-------------------------------|
| Carrelage                | 0.02            | 22                                      | 0.44                          |
| Mortier de pose          | 0.02            | 20                                      | 0.40                          |
| Couche de sable fin      | 0.02            | 18                                      | 0.36                          |
| Dalle pleine en béton    | 0.2             | 25                                      | 5                             |
| Enduit en plâtre         | 0.02            | 22                                      | 0.44                          |
| Total                    |                 | G =                                     | 6.64                          |
| Surcharge d'exploitation |                 | Q =                                     | 1.5                           |

**b. Les murs :****• Murs extérieurs : ( e = 30cm )**

Tableau II- 4:Évaluation des charges aux murs extérieurs.

| Matériaux        | Epaisseur<br>( m ) | Poids volumique<br>(KN/m <sup>3</sup> ) | Poids<br>(KN/m <sup>2</sup> ) |  |
|------------------|--------------------|-----------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Enduit en plâtre | 0.02               | 10                                      | 0.2                           |                                                                                     |
| Brique creux     | 0.1                | 9                                       | 0.9                           |                                                                                     |
| Lame d'air       | 0.05               | -                                       | -                             |                                                                                     |
| Brique creux     | 0.1                | 9                                       | 0.9                           |                                                                                     |
| Enduit en ciment | 0.02               | 22                                      | 0.44                          |                                                                                     |
| Total            |                    |                                         | G = 2.44                      |                                                                                     |

**• Cloison intérieure :**

Tableau II- 5: évaluation des charges aux cloison à double parois.

| Matériaux            | Epaisseur<br>( m ) | Poids volumique<br>( KN/m <sup>3</sup> ) | Poids<br>( KN/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|--------------------|------------------------------------------|--------------------------------|
| Enduit en plâtre     | 0.02               | 10                                       | 0.2                            |
| Murs en double paroi | 0.1                | 9                                        | 0.9                            |
| Enduit de plâtre     | 0.02               | 10                                       | 0.2                            |
| Total                |                    | G =                                      | 1.4                            |

**c. Les balcons :**

Tableau II- 6: évaluation des surcharges au balcon.

| Matériaux                | Epaisseur<br>( m ) | Poids volumique<br>(KN/m <sup>3</sup> ) | Poids<br>( KN/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------|--------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|
| Carrelage                | 0.02               | 22                                      | 0.44                           |
| Mortier de pose          | 0.02               | 20                                      | 0.4                            |
| Couche de sable          | 0.02               | 18                                      | 0.36                           |
| Plancher à dalle pleine  | 0.17               | 25                                      | 4.25                           |
| Enduit de ciment         | 0.02               | 22                                      | 0.44                           |
| Total                    |                    | G =                                     | 5.89                           |
| Surcharge d'exploitation |                    | Q =                                     | 3.5                            |

**d. Le volée :**

Tableau II- 7: évaluation des charges au paillasse avec 31.5°

| Matériaux                | Epaisseur<br>( m ) | Poids volumique<br>( KN/m <sup>3</sup> ) | Poids<br>( KN/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------|--------------------|------------------------------------------|--------------------------------|
| Carrelage                | 0.02               | 22                                       | 0.44                           |
| Mortier de pose          | 0.02               | 20                                       | 0.4                            |
| Poids des marches        | 0.17/2 = 0.085     | 25                                       | 2.125                          |
| Poids de la dalle pleine | 0.17               | 25                                       | 4.25                           |
| Enduit de ciment         | 0.02               | 22                                       | 0.44                           |
| Total                    |                    | G =                                      | 7.655                          |
| Surcharge d'exploitation |                    | Q =                                      | 2.5                            |

## e. Le palier :

Tableau II- 8: Evaluation des charges au palier.

| Matériaux                       | Epaisseur<br>( m ) | Poids volumique<br>( KN/m <sup>3</sup> ) | Poids<br>( KN/m <sup>2</sup> ) |
|---------------------------------|--------------------|------------------------------------------|--------------------------------|
| Carrelage                       | 0.02               | 22                                       | 0.44                           |
| Mortier de pose                 | 0.02               | 20                                       | 0.4                            |
| Poids des marches               | -                  | -                                        | -                              |
| Poids de la dalle pleine        | 0.17               | 25                                       | 4.25                           |
| Enduit de ciment                | 0.02               | 22                                       | 0.44                           |
| <b>Total</b>                    |                    | G =                                      | 5.53                           |
| <b>Surcharge d'exploitation</b> |                    | Q =                                      | 2.5                            |

## II.4.1.2. Descente des charges :

On appelle descente des charges l'opération qui consiste à calculer pour les poteaux de la construction, les charges qu'ils supportent au niveau de chaque étage jusqu'aux fondations.

D'après le RPA les poteaux de rive et d'angles, doivent avoir des sections comparables a celles des poteaux centraux pour des raisons techniques de réalisation, de rapidité d'exécution, et pour leurs conférés une meilleure résistance aux sollicitations sismiques.

On se limitera dans notre étude sur le calcul de la descente des charges du poteau le plus sollicité seulement.

## a. Le poteau central C18 :

Le poteau central le plus sollicité est :

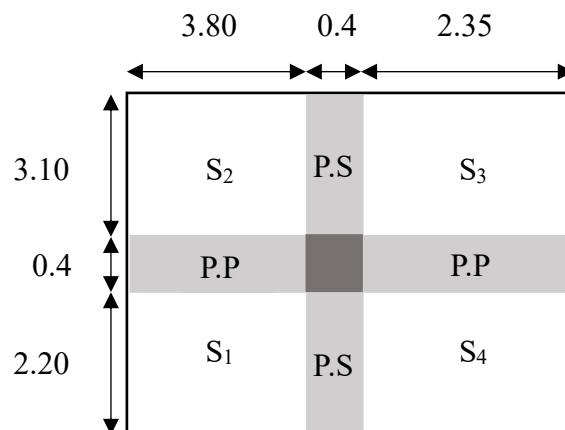


Figure II- 3: Poteau central.

## Calcul de la surface :

$$\begin{aligned}
 S_1 &= (3.8 \times 2.2) = 8.36 \, m^2 \\
 S_2 &= (3.8 \times 3.10) = 11.78 \, m^2 \\
 S_3 &= (2.35 \times 3.10) = 7.285 \, m^2 \\
 S_4 &= (2.35 \times 2.20) = 5.17 \, m^2 \\
 S_t &= S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = 32.6 \, m^2
 \end{aligned}$$

## Plancher terrasse :

$$\begin{aligned}
 P_t &= G_t \times S_t = 5.46 \times 32.6 = 178 \, KN \\
 Q &= Q_t \times S_t = 1 \times 32.6 = 32.6 \, KN
 \end{aligned}$$

**Plancher étage courant :**

$$P_e = G_e \times S_T = 5.1 \times 32.6 = 166.26 \text{ KN}$$

$$Q_e = Q_e \times S_T = 1.5 \times 32.6 = 48.9 \text{ KN}$$

**Plancher étage courant RDC :**

$$P_e = G_e \times S_T = 5.1 \times 32.6 = 166.26 \text{ KN}$$

$$Q_e = Q_e \times S_T = 3.5 \times 32.6 = 114.1 \text{ KN}$$

**Plancher étage Sous-Sol :**

$$P_e = G_e \times S_T = 5.1 \times 32.6 = 166.26 \text{ KN}$$

$$Q_e = Q_e \times S_T = 2.5 \times 32.6 = 81.5 \text{ KN}$$

**Poutre principale:**

$$P_{pp} = \rho_{\text{beton}} \times a \times h \times l_{pp} = 25 \times 0.4 \times 0.55 \times 6.55 = 36.025 \text{ KN}$$

**Poutre secondaire:**

$$G = \rho_{\text{beton}} \times a \times h \times l_{ps} = 25 \times 0.4 \times 0.55 \times 5.3 = 29.15 \text{ KN}$$

**Poteau :**

$$G = \rho \times a \times b \times h_{\text{étage}} = 25 \times 0.3 \times 0.3 \times (3.23 - 0.55) = 6.075 \text{ KN}$$

Tableau II- 9: Evaluation des charges du poteau central.

| Niveau         | Elément                        | Coefficient de dégression | Chargement après dégression |        |
|----------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------|
|                |                                |                           | G (KN)                      | Q (KN) |
| N <sub>0</sub> | Plancher terrasse inaccessible | /                         | 178                         | 32.6   |
|                | Poutre principale              |                           | 36.025                      |        |
|                | Poutre secondaire              |                           | 29.15                       |        |
| N <sub>1</sub> | Venant N <sub>0</sub>          |                           | 243.175                     |        |
|                | Plancher étage                 | 1                         | 166.26                      | 81.5   |
|                | Poutre principale              |                           | 36.025                      |        |
|                | Poutre secondaires             |                           | 29.15                       |        |
|                | Poteau étage                   |                           | 6.075                       |        |
| N <sub>2</sub> | Venant N <sub>1</sub>          |                           | 480.685                     | 125.51 |
|                | Plancher étage                 | 0.95                      | 166.26                      |        |
|                | Poutre principale              |                           | 36.025                      |        |
|                | Poutre secondaire              |                           | 29.15                       |        |
|                | Poteau étage                   |                           | 6.075                       |        |
| N <sub>3</sub> | Venant N <sub>2</sub>          |                           | 718.195                     |        |
|                | Plancher étage                 | 0.9                       | 166.26                      | 164.63 |
|                | Poutre principale              |                           | 36.025                      |        |
|                | Poutre secondaire              |                           | 29.15                       |        |
|                | Poteau étage                   |                           | 6.075                       |        |
| N <sub>4</sub> | Venant N <sub>3</sub>          |                           | 955.705                     |        |
|                | Plancher étage                 | 0.85                      | 166.26                      | 166.26 |
|                | Poutre principale              |                           | 36.025                      |        |
|                | Poutre secondaire              |                           | 29.15                       |        |
|                | Poteau étage                   |                           | 6.075                       |        |

|                 |                        |       |          |         |
|-----------------|------------------------|-------|----------|---------|
| N <sub>5</sub>  | Venant N <sub>4</sub>  |       | 1193.215 |         |
|                 | Plancher étage         | 0.80  | 166.26   | 228.2   |
|                 | Poutre principale      |       | 36.025   |         |
|                 | Poutre secondaire      |       | 29.15    |         |
|                 | Poteau étage           |       | 6.075    |         |
| N <sub>6</sub>  | Venant N <sub>5</sub>  |       | 1430.725 |         |
|                 | Plancher étage         | 0.75  | 166.26   | 252.65  |
|                 | Poutre principale      |       | 36.025   |         |
|                 | Poutre secondaire      |       | 29.15    |         |
|                 | Poteau étage           |       | 6.075    |         |
| N <sub>7</sub>  | Venant N <sub>6</sub>  |       | 1668.235 |         |
|                 | Plancher étage         | 0.714 | 166.26   | 276.937 |
|                 | Poutre principale      |       | 36.025   |         |
|                 | Poutre secondaire      |       | 29.15    |         |
|                 | Poteau étage           |       | 6.075    |         |
| N <sub>8</sub>  | Venant N <sub>7</sub>  |       | 1905.745 |         |
|                 | Plancher étage         | 0.687 | 166.26   | 301.354 |
|                 | Poutre principale      |       | 36.025   |         |
|                 | Poutre secondaire      |       | 29.15    |         |
|                 | Poteau étage           |       | 6.075    |         |
| N <sub>9</sub>  | Venant N <sub>8</sub>  |       | 2143.255 |         |
|                 | Plancher étage         | 0.67  | 166.26   | 327.467 |
|                 | Poutre principale      |       | 36.025   |         |
|                 | Poutre secondaire      |       | 29.15    |         |
|                 | Poteau étage           |       | 6.075    |         |
| N <sub>10</sub> | Venant N <sub>9</sub>  |       | 2380.765 |         |
|                 | Plancher étage         | 0.65  | 166.26   | 350.45  |
|                 | Poutre principale      |       | 36.025   |         |
|                 | Poutre secondaire      |       | 29.15    |         |
|                 | Poteau étage           |       | 6.075    |         |
| N <sub>11</sub> | Venant N <sub>10</sub> |       | 2618.275 |         |
|                 | Plancher étage         | 0.63  | 166.26   | 371.477 |
|                 | Poutre principale      |       | 36.025   |         |
|                 | Poutre secondaire      |       | 29.15    |         |
|                 | Poteau étage           |       | 6.075    |         |
| N <sub>12</sub> | Venant N <sub>11</sub> |       | 2855.785 |         |
|                 | Plancher étage         | 0.625 | 166.26   | 399.35  |
|                 | Poutre principale      |       | 36.025   |         |
|                 | Poutre secondaire      |       | 29.15    |         |
|                 | Poteau étage           |       | 6.075    |         |
| N <sub>13</sub> | Venant N <sub>12</sub> |       | 3093.295 |         |
|                 | Plancher étage         | 0.62  | 166.26   | 426.734 |
|                 | Poutre principale      |       | 36.025   |         |
|                 | Poutre secondaire      |       | 29.15    |         |
|                 | Poteau étage           |       | 6.075    |         |
| N <sub>14</sub> | Venant N <sub>13</sub> |       | 3330.805 |         |
|                 | Plancher étage         | 0.615 | 166.26   | 493.727 |
|                 | Poutre principale      |       | 36.025   |         |

|                 |                        |       |          |         |
|-----------------|------------------------|-------|----------|---------|
|                 | Poutre secondaire      |       | 29.15    |         |
|                 | Poteau étage           |       | 6.075    |         |
| N <sub>15</sub> | Venant N <sub>14</sub> |       | 3568.315 |         |
|                 | Plancher étage RDC     | 0.61  | 166.26   | 539.693 |
|                 | Poutre principale      |       | 36.025   |         |
|                 | Poutre secondaire      |       | 29.15    |         |
|                 | Poteau sous-sol 1      |       | 6.075    |         |
|                 | Venant N <sub>15</sub> |       | 3805.825 |         |
| N <sub>16</sub> | Plancher étage         | 0.605 | 166.26   | 584.844 |
|                 | Poutre principale      |       | 36.025   |         |
|                 | Poutre secondaire      |       | 29.15    |         |
|                 | Poteau sous-sol 2      |       | 6.075    |         |
|                 | Totale                 |       | 4043.335 | 584.844 |

• Vérification de la section du poteau :

Niveau 13 :

$$B_r \geq \frac{N_u}{\alpha} \left[ \frac{0,90 \times \gamma_b}{f_{c28}} + \frac{100 \times \gamma_s}{f_e} \right]$$

$$B_r \geq 0,062 N_u$$

$$B_r \geq 0,062 \times (1,35 \times 480,681 + 1,5 \times 114,1) \times 10$$

$$B_r \geq 508,44 \text{ cm}^2$$

$$B_r \leq (a - 2)(b - 2)$$

$$\text{On fixe } b = a$$

$$B_r \leq (a - 2)^2$$

$$a \geq \sqrt{508,44} + 2$$

$$a \geq 24,55 \text{ cm}$$

Condition RPA99/2003 :

$$\text{Min}(a ; b) \geq 30 \text{ cm}$$

On adopte **a= 30 cm**

$$B_r = (30 - 2)(30 - 2) = 784 \text{ cm}^2 \geq 508,44 \text{ cm}^2 \dots\dots\dots \text{C.V}$$

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :



Tableau II- 10: Dimensionnement de des sections des poteaux.

| Niveau                  | N <sub>u</sub> (KN) | B <sub>r</sub> (cm) | a (cm) | b (cm) |
|-------------------------|---------------------|---------------------|--------|--------|
| 13 <sup>eme</sup> étage | 820.069             | 508.44              | 30     | 30     |
| 12 <sup>eme</sup> étage | 1328.972            | 823.96              | 35     | 35     |
| 11 <sup>eme</sup> étage | 1896.556            | 1175.87             | 40     | 40     |
| 10 <sup>eme</sup> étage | 2515.485            | 1559.6              | 45     | 45     |
| 9 <sup>eme</sup> étage  | 3178.423            | 1970.62             | 50     | 50     |
| 8 <sup>eme</sup> étage  | 3878.036            | 2404.38             | 55     | 55     |
| 7 <sup>eme</sup> étage  | 4618.131            | 2863.24             | 60     | 60     |
| 6 <sup>eme</sup> étage  | 5386.75             | 3339.79             | 60     | 60     |
| 5 <sup>eme</sup> étage  | 6198.589            | 3843.13             | 65     | 65     |
| 4 <sup>eme</sup> étage  | 7044.903            | 4367.84             | 70     | 70     |
| 3 <sup>eme</sup> étage  | 7922.756            | 4912.11             | 75     | 75     |
| 2 <sup>eme</sup> étage  | 8842.42             | 5482.3              | 80     | 80     |
| 1 <sup>er</sup> étage   | 9803.159            | 6077.96             | 80     | 80     |
| R.D.C                   | 10864.388           | 6745.92             | 85     | 85     |
| SS1                     | 11994.572           | 7436.63             | 90     | 90     |
| SS2                     | 13092.471           | 8117.33             | 95     | 95     |

- Vérification vis-à-vis le flambement :**

D'après les règles BAEL91, l'élancement géométrique  $\lambda$  est donné par la relation suivante :

$$\lambda = \frac{l_f}{i}$$

Avec :

$L_f$ : la longueur de flambement ( $l_f = 0,7l_0$  : le poteau est encastré à ses deux extrémités).

$i$  : rayon de giration.

$$i = \sqrt{\frac{I}{B}}$$

Avec :

$I$  : moment d'inertie.

$B$  : section du béton.

$$I = \frac{ba^3}{12} \rightarrow i = \frac{a}{\sqrt{12}}$$

$$\lambda = \frac{l_f}{i} = \frac{l_f \sqrt{12}}{a} \leq 35$$

$$l_0 = 3.23 \text{ m}$$

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II- 11: Vérification vis-à-vis de flambement.

| Niveau                  | $l_f$ (cm) | B (cm <sup>2</sup> ) | I (cm <sup>4</sup> ) | i (cm) | $\lambda$ | $\lambda \leq 35$ |
|-------------------------|------------|----------------------|----------------------|--------|-----------|-------------------|
| 13 <sup>eme</sup> étage | 226        | 900                  | 67500                | 8.66   | 26.11     | Vérifie           |
| 12 <sup>eme</sup> étage |            | 1225                 | 125052.08            | 10.10  | 22.38     | Vérifie           |
| 11 <sup>eme</sup> étage |            | 1600                 | 213333.33            | 11.55  | 19.58     | Vérifie           |
| 10 <sup>eme</sup> étage |            | 2025                 | 341718.75            | 12.99  | 17.4      | Vérifie           |
| 9 <sup>eme</sup> étage  |            | 2500                 | 520833.33            | 14.43  | 15.66     | Vérifie           |
| 8 <sup>eme</sup> étage  |            | 3025                 | 762552.08            | 15.88  | 14.24     | Vérifie           |
| 7 <sup>eme</sup> étage  |            | 3600                 | 1080000              | 17.32  | 13.05     | Vérifie           |
| 6 <sup>eme</sup> étage  |            | 3600                 | 1080000              | 17.32  | 13.05     | Vérifie           |
| 5 <sup>eme</sup> étage  |            | 4225                 | 1487552.08           | 18.76  | 12.05     | Vérifie           |
| 4 <sup>eme</sup> étage  |            | 4900                 | 2000833.33           | 20.21  | 11.19     | Vérifie           |
| 3 <sup>eme</sup> étage  |            | 5625                 | 2636718.75           | 21.65  | 10.44     | Vérifie           |
| 2 <sup>eme</sup> étage  |            | 6400                 | 3413333.33           | 23.09  | 9.79      | Vérifie           |
| 1 <sup>er</sup> étage   |            | 6400                 | 3413333.33           | 23.09  | 9.79      | Vérifie           |
| R.D.C                   |            | 7225                 | 4350052.08           | 24.54  | 9.21      | Vérifie           |
| SS1                     |            | 8100                 | 5467500              | 25.98  | 8.7       | Vérifie           |
| SS2                     |            | 9025                 | 6787552.08           | 27.42  | 8.24      | Vérifié           |

- Vérification des conditions de RPA99/2003 :**

On doit vérifier les conditions suivantes de la zone III :

$$\text{Min} ( b ; a ) \geq 30 \text{ cm}$$

$$\text{Min}( b ; a ) \geq \frac{h}{20}$$

$$0,25 \leq \frac{b}{a} \leq 4$$

Les poteaux ont des sections carrées ( a = b ) d'une section minimale égale (30x30) cm<sup>2</sup>

$$\text{Min} ( b ; a ) = \text{Min} ( 30 \text{ cm} ; 30 \text{ cm} ) = 30 \text{ cm} \geq 30 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{C.V}$$

$$\text{Min}( b ; a ) = \text{Min} ( 30 \text{ cm} ; 30 \text{ cm} ) = 30 \text{ cm} \geq \frac{323}{20} = 16.15 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{C.V}$$

$$0,25 \leq \frac{b}{a} \leq 4 \rightarrow 0,25 \leq 1 \leq 4 \dots\dots\dots \text{C.V}$$

- Vérification des contraintes**

$$\sigma_s = \frac{N_{ser}}{1.15 B} \leq 15 \text{ MPa}$$

Avec :

B : section du béton

Tableau II- 12: Vérification des contraintes.

| Niveau                  | N <sub>ser</sub> (KN) | B (cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_s$ (MPa) | Vérification |
|-------------------------|-----------------------|----------------------|------------------|--------------|
| 13 <sup>eme</sup> étage | 594.781               | 900                  | 5.747            | Vérifie      |
| 12 <sup>eme</sup> étage | 957.801               | 1225                 | 6.799            | Vérifie      |
| 11 <sup>eme</sup> étage | 1359.941              | 1600                 | 7.391            | Vérifie      |
| 10 <sup>eme</sup> étage | 1796.311              | 2025                 | 7.714            | Vérifie      |
| 9 <sup>eme</sup> étage  | 2262.021              | 2500                 | 7.868            | Vérifie      |
| 8 <sup>eme</sup> étage  | 2752.181              | 3025                 | 7.911            | Vérifie      |
| 7 <sup>eme</sup> étage  | 3269.628              | 3600                 | 7.898            | Vérifie      |
| 6 <sup>eme</sup> étage  | 3805.492              | 3600                 | 9.192            | Vérifie      |
| 5 <sup>eme</sup> étage  | 4370.469              | 4225                 | 8.995            | Vérifie      |
| 4 <sup>eme</sup> étage  | 4958.429              | 4900                 | 8.799            | Vérifie      |
| 3 <sup>eme</sup> étage  | 5567.416              | 5625                 | 8.607            | Vérifie      |
| 2 <sup>eme</sup> étage  | 6204.276              | 6400                 | 8.43             | Vérifie      |
| 1 <sup>er</sup> étage   | 6868.52               | 6400                 | 9.332            | Vérifie      |
| R.D.C                   | 7599.757              | 7225                 | 9.147            | Vérifie      |
| SS1                     | 8376.96               | 8100                 | 8.993            | Vérifie      |
| SS2                     | 9199.316              | 9025                 | 8.864            | Vérifié      |

**Conclusion :**

La descente de charge nous a donnée les sections de poteaux suivantes :

Tableau II- 13: Les sections finales des poteaux centraux.

| Niveau                  | a (cm) | b (cm) |
|-------------------------|--------|--------|
| 13 <sup>eme</sup> étage | 30     | 30     |
| 12 <sup>eme</sup> étage | 35     | 35     |
| 11 <sup>eme</sup> étage | 40     | 40     |
| 10 <sup>eme</sup> étage | 45     | 45     |
| 9 <sup>eme</sup> étage  | 50     | 50     |
| 8 <sup>eme</sup> étage  | 55     | 55     |
| 7 <sup>eme</sup> étage  | 60     | 60     |
| 6 <sup>eme</sup> étage  | 60     | 60     |
| 5 <sup>eme</sup> étage  | 65     | 65     |
| 4 <sup>eme</sup> étage  | 70     | 70     |
| 3 <sup>eme</sup> étage  | 75     | 75     |
| 2 <sup>eme</sup> étage  | 80     | 80     |
| 1 <sup>er</sup> étage   | 80     | 80     |
| R.D.C                   | 85     | 85     |
| SS1                     | 90     | 90     |
| SS2                     | 95     | 95     |

**b. Le poteau de rive :**

Le poteau de rive le plus sollicité est :

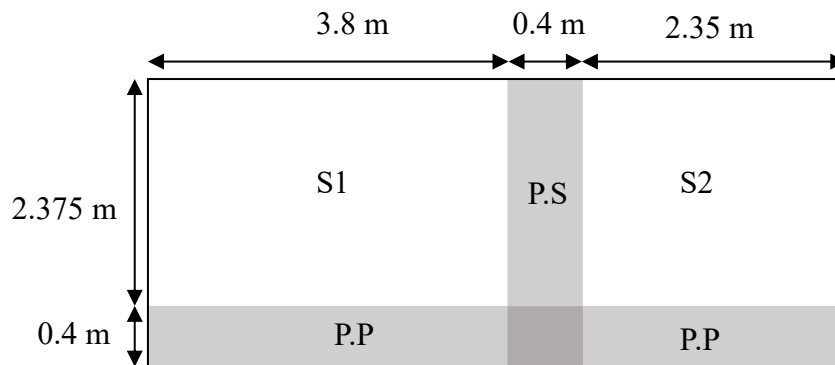


Figure II.2 Poteau central

**Calcul de la surface :**

$$S_1 = (3.8 \times 2.375) = 9.03 \text{ m}^2$$

$$S_2 = (2.35 \times 2.375) = 5.58 \text{ m}^2$$

$$S_t = S_1 + S_2 = 14.61 \text{ m}^2$$

**Poids de Plancher terrasse :**

$$P_t = G_t \times S_t = 5.46 \times 14.61 = 79.77 \text{ KN}$$

$$Q = Q_t \times S_t = 1 \times 14.61 = 14.61 \text{ KN}$$

**Plancher étage courant :**

$$P_e = G_e \times S_T = 5.1 \times 14.61 = 74.51 \text{ KN}$$

$$Q_e = Q_e \times S_T = 1.5 \times 14.61 = 21.92 \text{ KN}$$

**Plancher étage courant RDC :**

$$P_e = G_e \times S_T = 5.1 \times 14.61 = 74.51 \text{ KN}$$

$$Q_e = Q_e \times S_T = 3.5 \times 14.61 = 51.14 \text{ KN}$$

**Plancher étage Sous-Sol :**

$$P_e = G_e \times S_T = 5.1 \times 14.61 = 74.51 \text{ KN}$$

$$Q_e = Q_e \times S_T = 2.5 \times 14.61 = 36.53 \text{ KN}$$

**Poutre principale:**

$$P_{pp} = \rho_{\text{beton}} \times a \times h \times l_{pp} = 25 \times 0.4 \times 0.55 \times 6.55 = 36.025 \text{ KN}$$

**Poutre secondaire:**

$$G = \rho_{\text{beton}} \times a \times h \times l_{ps} = 25 \times 0.4 \times 0.55 \times 2.775 = 15.26 \text{ KN}$$

**Poteau :**

$$G = \rho \times a \times b \times h_{\text{étage}} = 25 \times 0.3 \times 0.3 \times (3.23 - 0.55) = 6.075 \text{ KN}$$

Tableau II- 14: Evaluation des charges du poteau de rive.

| Niveau         | Elément                        | Coefficient de dégression | Chargement après dégression |          |
|----------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------|
|                |                                |                           | G ( KN )                    | Q ( KN ) |
| N <sub>0</sub> | Plancher terrasse inaccessible | /                         | 79.77                       | 14.61    |
|                | Poutre principale              |                           | 36.025                      |          |
|                | Poutre secondaire              |                           | 15.26                       |          |
| N <sub>1</sub> | Venant N <sub>0</sub>          |                           | 131.06                      |          |
|                | Plancher étage                 | 1                         | 74.51                       | 36.53    |
|                | Poutre principale              |                           | 36.025                      |          |
|                | Poutre secondaires             |                           | 15.26                       |          |
|                | Poteau étage                   |                           | 6.075                       |          |
| N <sub>2</sub> | Venant N <sub>1</sub>          |                           | 262.93                      | 57.35    |
|                | Plancher étage                 | 0.95                      | 74.51                       |          |
|                | Poutre principale              |                           | 36.025                      |          |
|                | Poutre secondaire              |                           | 15.26                       |          |
|                | Poteau étage                   |                           | 6.075                       |          |
| N <sub>3</sub> | Venant N <sub>2</sub>          |                           | 394.8                       |          |
|                | Plancher étage                 | 0.9                       | 74.51                       | 77.07    |
|                | Poutre principale              |                           | 36.025                      |          |
|                | Poutre secondaire              |                           | 15.26                       |          |
|                | Poteau étage                   |                           | 6.075                       |          |
| N <sub>4</sub> | Venant N <sub>3</sub>          |                           | 526.67                      |          |
|                | Plancher étage                 | 0.85                      | 74.51                       | 95.7     |
|                | Poutre principale              |                           | 36.025                      |          |
|                | Poutre secondaire              |                           | 15.26                       |          |
|                | Poteau étage                   |                           | 6.075                       |          |
| N <sub>5</sub> | Venant N <sub>4</sub>          |                           | 658.54                      |          |
|                | Plancher étage                 | 0.80                      | 74.51                       | 113.23   |
|                | Poutre principale              |                           | 36.025                      |          |
|                | Poutre secondaire              |                           | 15.26                       |          |
|                | Poteau étage                   |                           | 6.075                       |          |
| N <sub>6</sub> | Venant N <sub>5</sub>          |                           | 790.41                      |          |
|                | Plancher étage                 | 0.75                      | 74.51                       | 129.67   |
|                | Poutre principale              |                           | 36.025                      |          |
|                | Poutre secondaire              |                           | 15.26                       |          |
|                | Poteau étage                   |                           | 6.075                       |          |
| N <sub>7</sub> | Venant N <sub>6</sub>          |                           | 922.28                      |          |
|                | Plancher étage                 | 0.714                     | 74.51                       | 145.32   |
|                | Poutre principale              |                           | 36.025                      |          |
|                | Poutre secondaire              |                           | 15.26                       |          |
|                | Poteau étage                   |                           | 6.075                       |          |
| N <sub>8</sub> | Venant N <sub>7</sub>          |                           | 1054.15                     |          |
|                | Plancher étage                 | 0.687                     | 74.51                       | 160.38   |
|                | Poutre principale              |                           | 36.025                      |          |
|                | Poutre secondaire              |                           | 15.26                       |          |
|                | Poteau étage                   |                           | 6.075                       |          |

|                 |                        |       |         |        |
|-----------------|------------------------|-------|---------|--------|
| N <sub>9</sub>  | Venant N <sub>8</sub>  |       | 1186.02 |        |
|                 | Plancher étage         | 0.67  | 74.51   | 175.06 |
|                 | Poutre principale      |       | 36.025  |        |
|                 | Poutre secondaire      |       | 15.26   |        |
|                 | Poteau étage           |       | 6.075   |        |
| N <sub>10</sub> | Venant N <sub>9</sub>  |       | 1317.89 |        |
|                 | Plancher étage         | 0.65  | 74.51   | 189.3  |
|                 | Poutre principale      |       | 36.025  |        |
|                 | Poutre secondaire      |       | 15.26   |        |
|                 | Poteau étage           |       | 6.075   |        |
| N <sub>11</sub> | Venant N <sub>10</sub> |       | 1449.76 |        |
|                 | Plancher étage         | 0.63  | 74.51   | 203.11 |
|                 | Poutre principale      |       | 36.025  |        |
|                 | Poutre secondaire      |       | 15.26   |        |
|                 | Poteau étage           |       | 6.075   |        |
| N <sub>12</sub> | Venant N <sub>11</sub> |       | 1581.63 |        |
|                 | Plancher étage         | 0.625 | 74.51   | 216.81 |
|                 | Poutre principale      |       | 36.025  |        |
|                 | Poutre secondaire      |       | 15.26   |        |
|                 | Poteau étage           |       | 6.075   |        |
| N <sub>13</sub> | Venant N <sub>12</sub> |       | 1713.5  |        |
|                 | Plancher étage         | 0.62  | 74.51   | 230.4  |
|                 | Poutre principale      |       | 36.025  |        |
|                 | Poutre secondaire      |       | 15.26   |        |
|                 | Poteau étage           |       | 6.075   |        |
| N <sub>14</sub> | Venant N <sub>13</sub> |       | 1845.37 |        |
|                 | Plancher étage         | 0.615 | 74.51   | 243.88 |
|                 | Poutre principale      |       | 36.025  |        |
|                 | Poutre secondaire      |       | 15.26   |        |
|                 | Poteau étage           |       | 6.075   |        |
| N <sub>15</sub> | Venant N <sub>14</sub> |       | 1977.24 |        |
|                 | Plancher étage RDC     | 0.61  | 74.51   | 257.25 |
|                 | Poutre principale      |       | 36.025  |        |
|                 | Poutre secondaire      |       | 15.26   |        |
|                 | Poteau sous-sol 1      |       | 6.075   |        |
| N <sub>16</sub> | Venant N <sub>15</sub> |       | 2109.11 |        |
|                 | Plancher étage         | 0.605 | 74.51   | 274.82 |
|                 | Poutre principale      |       | 36.025  |        |
|                 | Poutre secondaire      |       | 15.26   |        |
|                 | Poteau sous-sol 2      |       | 6.075   |        |
| Totale          |                        |       | 2240.98 | 296.85 |

- **Vérification de la section du poteau :**

**Niveau 13 :**

$$B_r \geq \frac{N_u}{\alpha} \left[ \frac{0,90 \times \gamma_b}{f_{c28}} + \frac{100 \times \gamma_s}{f_e} \right]$$

$$B_r \geq 0,062 N_u$$

$$B_r \geq 0,062 \times (1,35 \times 262,93 + 1,5 \times 57,35) \times 10$$

$$B_r \geq 273,41 \text{ cm}^2$$

$$B_r \leq (a - 2)(b - 2)$$

On fixe **b = a**

$$B_r \leq (a - 2)^2$$

$$a \geq \sqrt{273,41} + 2$$

$$a \geq 18,54 \text{ cm}$$

**Condition RPA99/2003 :**

$$\text{Min}(a ; b) \geq 30 \text{ cm}$$

On adopte **a = 30 cm**

$$B_r = (30 - 2)(30 - 2) = 784 \text{ cm}^2 \geq 273,41 \text{ cm}^2 \dots\dots\dots \text{C.V}$$

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II- 15: Dimensionnement des sections du poteau de rive.

| Niveau                  | N <sub>u</sub> (KN) | B <sub>r</sub> (cm) | a (cm) | b (cm) |
|-------------------------|---------------------|---------------------|--------|--------|
| 13 <sup>eme</sup> étage | 440.98              | 273.41              | 30     | 30     |
| 12 <sup>eme</sup> étage | 648.59              | 402.13              | 30     | 30     |
| 11 <sup>eme</sup> étage | 854.55              | 529.82              | 30     | 30     |
| 10 <sup>eme</sup> étage | 1058.87             | 656.5               | 30     | 30     |
| 9 <sup>eme</sup> étage  | 1261.56             | 782.17              | 30     | 30     |
| 8 <sup>eme</sup> étage  | 1463.06             | 907.09              | 35     | 35     |
| 7 <sup>eme</sup> étage  | 1663.67             | 1031.48             | 35     | 35     |
| 6 <sup>eme</sup> étage  | 1863.72             | 1155.51             | 40     | 40     |
| 5 <sup>eme</sup> étage  | 2063.22             | 1279.2              | 40     | 40     |
| 4 <sup>eme</sup> étage  | 2261.84             | 1402.34             | 40     | 40     |
| 3 <sup>eme</sup> étage  | 2460.42             | 1525.46             | 45     | 45     |
| 2 <sup>eme</sup> étage  | 2658.83             | 1648.48             | 45     | 45     |
| 1 <sup>er</sup> étage   | 2857.07             | 1771.38             | 45     | 45     |
| R.D.C                   | 3055.15             | 1894.19             | 50     | 50     |
| SS1                     | 3259.53             | 2020.91             | 50     | 50     |
| SS2                     | 3470.6              | 2151.77             | 50     | 50     |

- **Vérification vis-à-vis le flambement :**

D'après les règles BAEL91, l'élanement géométrique  $\lambda$  est donné par la relation suivante :

$$\lambda = \frac{l_f}{i}$$

Avec :

L<sub>f</sub>: la longueur de flambement (l<sub>f</sub> = 0,7l<sub>0</sub> : le poteau est encastré à ses deux extrémités).

i : rayon de giration.

$$i = \sqrt{\frac{I}{B}}$$

Avec :

I : moment d'inertie.

B : section du béton.

$$I = \frac{ba^3}{12} \rightarrow i = \frac{a}{\sqrt{12}}$$

$$\lambda = \frac{l_f}{i} = \frac{l_f \sqrt{12}}{a} \leq 35$$

$$l_0 = 3.23 \text{ m}$$

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II- 16: Vérification vis-à-vis de flambement.

| Niveau                  | $l_f$ (cm) | B (cm <sup>2</sup> ) | I (cm <sup>4</sup> ) | i (cm) | $\lambda$ | $\lambda \leq 35$ |
|-------------------------|------------|----------------------|----------------------|--------|-----------|-------------------|
| 13 <sup>eme</sup> étage | 226        | 900                  | 67500                | 8.66   | 26.11     | Vérifie           |
| 12 <sup>eme</sup> étage |            | 900                  | 67500                | 8.66   | 26.11     | Vérifie           |
| 11 <sup>eme</sup> étage |            | 900                  | 67500                | 8.66   | 26.11     | Vérifie           |
| 10 <sup>eme</sup> étage |            | 900                  | 67500                | 8.66   | 26.11     | Vérifie           |
| 9 <sup>eme</sup> étage  |            | 900                  | 67500                | 8.66   | 26.11     | Vérifie           |
| 8 <sup>eme</sup> étage  |            | 1225                 | 125052.08            | 10.1   | 22.38     | Vérifie           |
| 7 <sup>eme</sup> étage  |            | 1225                 | 125052.08            | 10.1   | 22.38     | Vérifie           |
| 6 <sup>eme</sup> étage  |            | 1600                 | 213333.33            | 11.55  | 19.58     | Vérifie           |
| 5 <sup>eme</sup> étage  |            | 1600                 | 213333.33            | 11.55  | 19.58     | Vérifie           |
| 4 <sup>eme</sup> étage  |            | 1600                 | 213333.33            | 11.55  | 19.58     | Vérifie           |
| 3 <sup>eme</sup> étage  |            | 2025                 | 341718.75            | 13     | 17.41     | Vérifie           |
| 2 <sup>eme</sup> étage  |            | 2025                 | 341718.75            | 13     | 17.41     | Vérifie           |
| 1 <sup>er</sup> étage   |            | 2025                 | 341718.75            | 13     | 17.41     | Vérifie           |
| R.D.C                   |            | 2500                 | 520833.33            | 14.43  | 15.66     | Vérifie           |
| SS1                     |            | 2500                 | 520833.33            | 14.43  | 15.66     | Vérifie           |
| SS2                     |            | 2500                 | 520833.33            | 14.43  | 15.66     | Vérifié           |

• **Vérification des conditions de RPA99/v2003 :**

On doit vérifier les conditions suivantes :

Zone III :

$$\text{Min} ( b ; a ) \geq 30 \text{ cm}$$

$$\text{Min}( b ; a ) \geq \frac{h}{20}$$

$$0,25 \leq \frac{b}{a} \leq 4$$

Les poteaux ont des sections carrés ( a = b ) d'une section minimale égale (30x30) cm<sup>2</sup>

$$\text{Min} ( b ; a ) = \text{Min} ( 30 \text{ cm} ; 30 \text{ cm} ) = 30 \text{ cm} \geq 30 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{C.V}$$

$$\text{Min}( b ; a ) = \text{Min} ( 30 \text{ cm} ; 30 \text{ cm} ) = 30 \text{ cm} \geq \frac{323}{20} = 16.15 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{C.V}$$

$$0,25 \leq \frac{b}{a} \leq 4 \rightarrow 0,25 \leq 1 \leq 4 \dots\dots\dots \text{C.V}$$



- **Vérification des contraintes**

$$\sigma_s = \frac{N_{ser}}{1.15 B} \leq 15 MPa$$

Avec :

B : section du béton

Tableau II- 17: Vérification des contraintes.

| Niveau                  | N <sub>ser</sub> (KN) | B (cm <sup>2</sup> ) | σ <sub>s</sub> (MPa) | Vérification |
|-------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|--------------|
| 13 <sup>eme</sup> étage | 320.28                | 900                  | 3.094                | Vérifie      |
| 12 <sup>eme</sup> étage | 471.81                | 900                  | 4.559                | Vérifie      |
| 11 <sup>eme</sup> étage | 622.37                | 900                  | 6.013                | Vérifie      |
| 10 <sup>eme</sup> étage | 771.77                | 900                  | 7.457                | Vérifie      |
| 9 <sup>eme</sup> étage  | 920.08                | 900                  | 8.89                 | Vérifie      |
| 8 <sup>eme</sup> étage  | 1067.6                | 1225                 | 7.578                | Vérifie      |
| 7 <sup>eme</sup> étage  | 1214.53               | 1225                 | 8.621                | Vérifie      |
| 6 <sup>eme</sup> étage  | 1361.08               | 1600                 | 7.397                | Vérifie      |
| 5 <sup>eme</sup> étage  | 1507.19               | 1600                 | 8.191                | Vérifie      |
| 4 <sup>eme</sup> étage  | 1652.87               | 1600                 | 8.983                | Vérifie      |
| 3 <sup>eme</sup> étage  | 1798.44               | 2025                 | 7.723                | Vérifie      |
| 2 <sup>eme</sup> étage  | 1943.9                | 2025                 | 8.347                | Vérifie      |
| 1 <sup>er</sup> étage   | 2089.25               | 2025                 | 8.972                | Vérifie      |
| R.D.C                   | 2.234.49              | 2500                 | 7.772                | Vérifie      |
| SS1                     | 2383.93               | 2500                 | 8.292                | Vérifie      |
| SS2                     | 2537.83               | 2500                 | 8.827                | Vérifié      |

**Conclusion :**

La descente de charge nous a donnée les sections de poteaux suivantes :

Tableau II- 18: Les sections finales des poteaux de rive.

| Niveau                  | a (cm) | b (cm) |
|-------------------------|--------|--------|
| 13 <sup>eme</sup> étage | 30     | 30     |
| 12 <sup>eme</sup> étage | 30     | 30     |
| 11 <sup>eme</sup> étage | 30     | 30     |
| 10 <sup>eme</sup> étage | 30     | 30     |
| 9 <sup>eme</sup> étage  | 30     | 30     |
| 8 <sup>eme</sup> étage  | 35     | 35     |
| 7 <sup>eme</sup> étage  | 35     | 35     |
| 6 <sup>eme</sup> étage  | 40     | 40     |
| 5 <sup>eme</sup> étage  | 40     | 40     |
| 4 <sup>eme</sup> étage  | 40     | 40     |
| 3 <sup>eme</sup> étage  | 45     | 45     |
| 2 <sup>eme</sup> étage  | 45     | 45     |
| 1 <sup>er</sup> étage   | 45     | 45     |
| R.D.C                   | 50     | 50     |
| SS1                     | 50     | 50     |
| SS2                     | 50     | 50     |

### II.5. Prédimensionnement des escaliers :

Les escaliers sont constitués de volées classiques en béton armé reposant sur des paliers coulés sur place, Pour le dimensionnement des marches (g) et contre marche (h), on utilise la formule de BLONDEL.

Les escaliers se composent de deux volées.

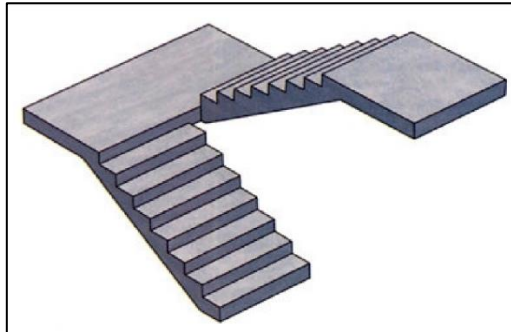


Figure II- 4: Vue en 3D de l'escalier deux volées.

#### II.5.1. La formule de BLONDEL est :

$$60 \text{ cm} \leq g + 2h \leq 65 \text{ cm}$$

h : Varié de 14 cm à 20 cm

g : Varié de 25 cm à 32 cm

On prend : h = 17 cm et g = 30 cm

#### II.5.2. Vérification de la formule de BLONDEL :

$$\begin{aligned} 60 &\leq g + 2h \leq 65 \\ 60 &\leq 30 + 2 \times 17 \leq 65 \\ 60 &\leq 64 \leq 65 \end{aligned}$$

Hauteur d'étage  $H_e = 3.23 \text{ m}$

Hauteur de volée (1) et (2)  $H_v = 1,615 \text{ m}$

Nombre de contre marche de volée (1) et (2) :

$$N_c = \frac{H_v}{h} = \frac{1.65}{17} = 9.5 \rightarrow N_c = 10$$

Nombre de marche de volée :

$$N_m = N_c - 1 = 10 - 1 = 9$$

La longueur de la ligne de foulé :

$$l_f = g \times N_m = 0,3 \times 9 = 2,7 \text{ m}$$

L'inclinaison de la paillasse :

$$\text{tg}(\alpha) = \frac{H_v}{l_f} = \frac{1.651}{2,7} = 0,6114 \rightarrow \alpha = 31.42^\circ$$

La longueur de la paillasse :

$$L = \frac{H_v}{\sin(\alpha)} = \frac{1.651}{\sin(31.42^\circ)} = 3.166 \text{ m}$$

Epaisseur de la paillasse est calculée par la condition suivante :

$$\frac{L}{30} \leq e \leq \frac{L}{20} \rightarrow \frac{3.16}{30} = 10.53 \text{ cm} \leq e \leq \frac{3.16}{20} = 15.8 \text{ cm}$$

Donc on prend pour des raisons constructives  $e = 17 \text{ cm}$

**Conclusion :**

Pour les escaliers de cette structure on opte pour :  $h = 17 \text{ cm}$  et  $g = 30 \text{ cm}$ .

**II.6. Prédimensionnement des balcons**

Les balcons sont des éléments des dalles pleines qui sont supposées des plaques horizontales minces en béton armé, dont l'épaisseur est relativement faible par rapports aux autres dimensions. Cette plaque repose sur 1 ou plusieurs appuis, comme elle peut porter dans une ou deux directions.

- Balcons encastrés sur deux côtés.
- Balcons encastrés sur trois côtés.

Les balcons sont des dalles pleines encastrées dans les poutres.

**Type 1 : Balcons encastrés sur trois côtés :**

- Condition de la flèche :

$$\frac{L}{15} \leq e \leq \frac{L}{20} + 7$$

L : la largeur du plus grand balcon.

On a **L = 1,40 m**

$$\frac{140}{15} \leq e \leq \frac{140}{20} + 7$$

$$9,33 \text{ cm} \leq e \leq 14 \text{ cm}$$

On prend : **e = 17 cm**

**Type 2 : Balcon encastrés sur deux côtés :**

- Condition de la flèche :

$$\frac{L}{15} \leq e \leq \frac{L}{20} + 7$$

L : la largeur du plus grand balcon.

On a **L = 1,5 m**

$$\frac{150}{15} \leq e \leq \frac{150}{20} + 7$$

$$10 \text{ cm} \leq e \leq 14,5 \text{ cm}$$

On prend : **e = 17 cm**

**Conclusion :**

Pour les dalles des balcons l'épaisseur est de **17cm**.



- **Vérification nécessaire:**

Pour le rez-de-chaussée jusqu'au 13<sup>ème</sup> étage la hauteur  $h_e = 3,23\text{m}$  et la rigidité aux extrémités on a :

$$e \geq \max\left(\frac{h_e}{20}; \frac{h_e}{22}; \frac{h_e}{25}; 15 \text{ cm}\right)$$

$$e \geq \max(16.15; 14.68; 12.92; 15) \text{ cm}$$

- **Vérification de la condition  $L \geq 4e$  :**

Pour notre projet la petite longueur du voile est  $L = 1.8\text{m}$

$$L_{min} = 180 \text{ cm} \geq 4e = 80 \text{ cm}$$

Donc on opte :  **$e = 20 \text{ cm}$**

**Selon le RPA2024 :**

Les voiles de contreventement sont considérés et pris en compte comme voiles de contreventement, au sens du présent document technique réglementaire, les éléments de contreventement satisfaisant la condition exprimée par :

$$I_w \geq \max(h_e/3; 4b_w; 1 \text{ m})$$

$$I_w \geq \max(1.07\text{m}; 80\text{cm}; 1 \text{ m})$$

$$I_w = 1.8\text{m} \geq 1.07\text{m} \quad \text{CV}$$

Où :  $I_w$  représente la longueur du voile. Dans le cas contraire, ces éléments sont considérés comme des éléments linéaires (poteaux).

L'épaisseur minimale ( $b_w$ ) doit respecter la condition suivante :

$$b_w = \max(15 \text{ cm}; h_e/20)$$

Donc on opte pour :  **$b_w = 20 \text{ cm}$**

**Conclusion :**

Pour les voiles on a la même épaisseur pour les deux versions de le RPA  **$e=20\text{cm}$** .

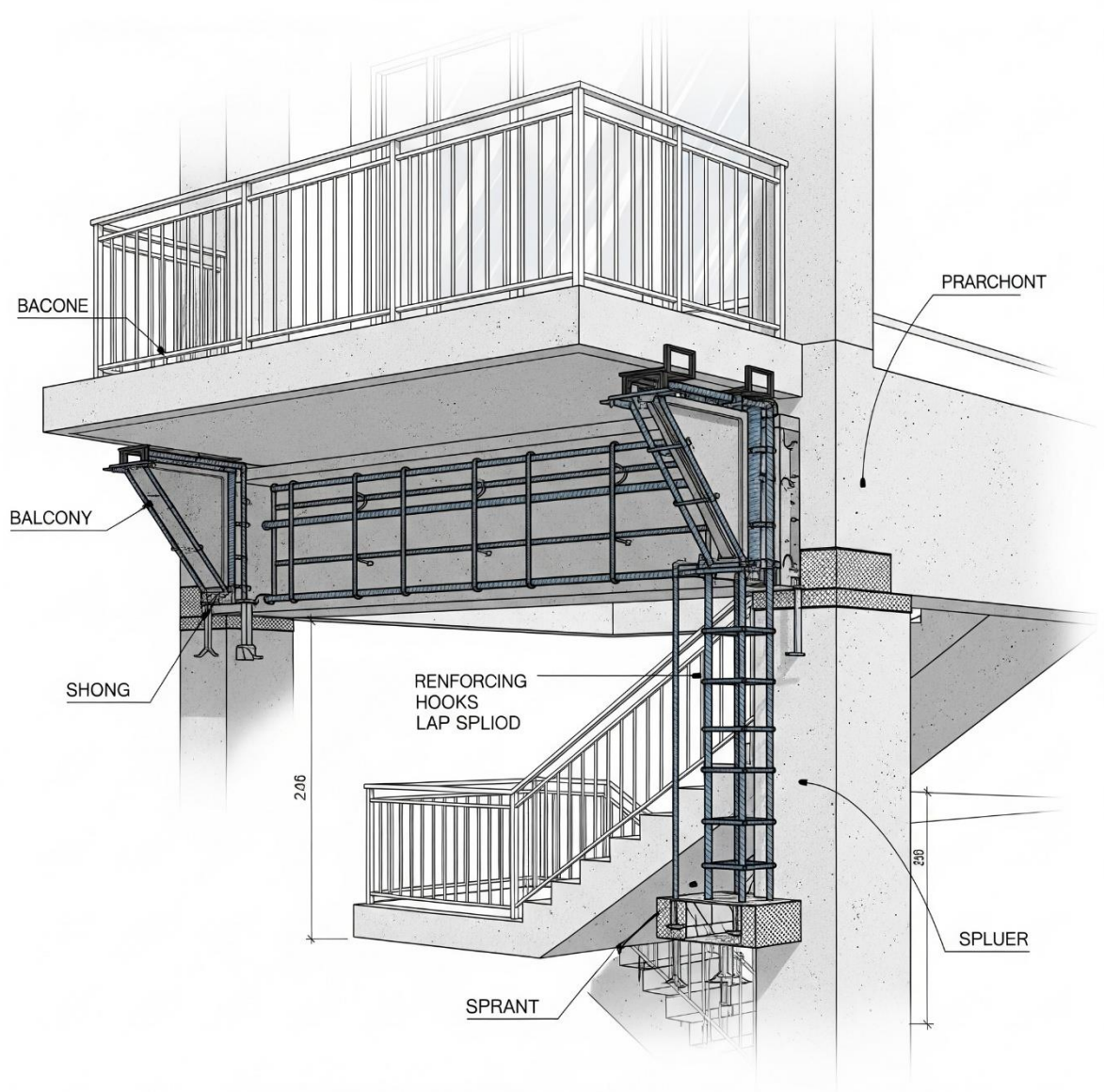
**Conclusion générale :**

Dans ce chapitre, on a calculé le prédimensionnement des différents éléments qui constituent notre structure, plancher, poutres, escaliers, voiles, ...etc, selon les deux règlements et de même selon le BAEL.

Ainsi nous avons adopté les différentes sections des poteaux selon la descente des charges.

# CHAPITRE III

## *Etude Des Eléments Secondaires*



### III.1. Les poutrelles :

Le calcul des poutrelles se fera selon le cas de charge en situation final (après le coulage du plancher), avant et après la prise du béton, pour tenir compte des cas de charges en situations intermédiaires.

Les poutrelles seront considérées comme des poutres reposant simplement sur leurs appuis, leur étude s'effectue selon les deux méthodes suivantes :

- Méthode forfaitaire.
- Méthode de Caquot.

On va utiliser la méthode de caquot

#### III.1.1. La méthode de Caquot :

##### III.1.1.1. Principe de la méthode (Caquot) :

Cette méthode est basée sur la théorie générale de la continuité, mais des corrections ont été rapportées pour tenir compte de la fissuration du béton due au fluage qui diminue les moments sur appuis et augmente les moments en travée.

Le principe de cette méthode consiste à prendre en considération une portée fictive ( $l'$ ) pour chaque variation de ( $E, I$ ) le long de la poutre.

La méthode de Caquot possède des formules pour les charges concentrées différentes à celles des charges uniformément réparties, dans notre cas on concerne pour les charges uniformément réparties.

##### a. Calcul des moments de Caquot :

$$M_{appuis} = \frac{(q_w \times l_w'^3) + (q_e \times l_e'^3)}{8,5(l_w' + l_e')} : \text{Expression du moment sur les appuis.}$$

$$M_t = M_0 + \frac{M_i + M_{i+1}}{2} + \frac{(M_i - M_{i+1})^2}{16 M_0} : \text{Expression du moment sur les travées.}$$

$$M_0 = \frac{ql^2}{8} : \text{Expression du moment isostatique.}$$

Avec :

$l'_{w,e} = l$  : pour la travée de rive.

$l'_{w,e} = 0,8l$  : pour la travée intermédiaire.

$M_i$  : moment sur appuis droite.

$M_{i+1}$  : moment sur appuis gauche.

##### b. Calcul des efforts tranchants :

$$\begin{cases} T_w = \frac{ql}{2} + \frac{(M_e - M_w)}{l} \\ T_e = -\frac{ql}{2} + \frac{(M_e - M_w)}{l} \end{cases}$$

Après le coulage et durcissement de la dalle de compression, la poutrelle travaille comme une poutre en « T »

**III.1.1.2. Les types de poutrelles à calculer :**

Dans notre projet, nous avons deux (4) types des poutrelles :

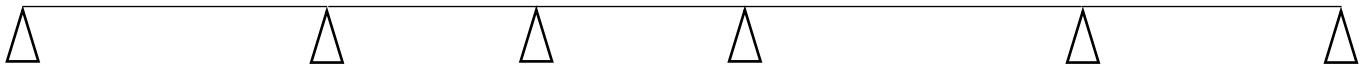


Figure III- 1: Type 1 : Terrasse avec 5 travées.



Figure III- 2: Type 2 : Terrasse avec 3 travées.

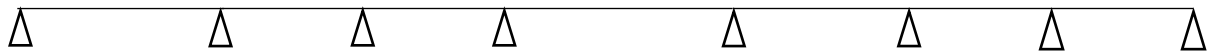


Figure III- 3: Type 3 : Etage avec 7 travées.



Figure III- 4: Type 4 : Etage avec 3 travées.

**a. Evaluation des charges :****Plancher terrasse :**

- Charge permanente :  $G = 5.46 \text{ KN/m}^2$
- Pour une bande de 0,65 :  $G = 3.55 \text{ KN/ml}$
- Surcharge d'exploitation :  $Q = 1 \text{ KN/m}^2$
- Pour une bande de 0,65 :  $Q_T = 0.65 \text{ KN/ml}$

**Plancher étage courant :**

- Charge permanente :  $G = 5.1 \text{ KN/m}^2$
- Pour une bande de 0,65 :  $G = 3.32 \text{ KN/ml}$
- Surcharge d'exploitation :  $Q = 1.5 \text{ KN/m}^2$
- Pour une bande de 0,65 :  $Q_T = 0.98 \text{ KN/ml}$

**b. Calcul des sollicitations :****Combinaisons des charges :**

À l'E.L.U :

- Chargé  $q_c = 1,35G_T + 1,5Q_T$
- Déchargé  $q_d = 1.35 G_T$



Tableau III- 1: Charges supportées par les poutrelles à E.L.U.

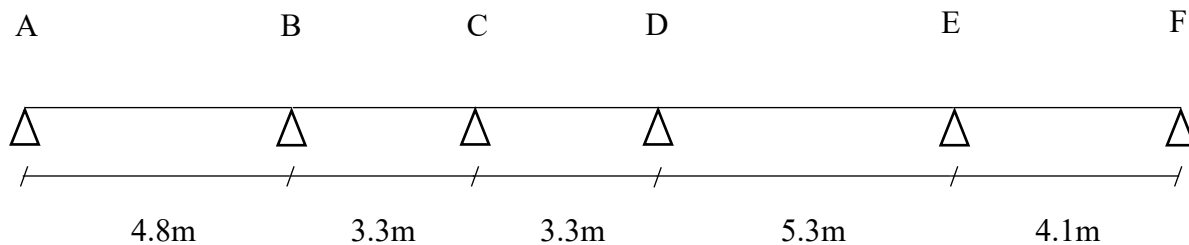
|                               | G ( KN/ml ) | Q (KN/ml ) | q <sub>c</sub> | q <sub>d</sub> |
|-------------------------------|-------------|------------|----------------|----------------|
| <b>Plancher terrasse</b>      | 3.55        | 0.65       | 5.77           | 4.79           |
| <b>Plancher étage courant</b> | 3.32        | 0.98       | 5.95           | 4.48           |

À l'E.L.S :

- Chargé q<sub>c</sub> = G<sub>T</sub> + Q<sub>T</sub>
- Déchargé q<sub>d</sub> = G<sub>T</sub>

Tableau III- 2: Charges supportées par les poutrelles à E.L.S.

|                               | G ( KN/ml ) | Q (KN/ml ) | q <sub>c</sub> | q <sub>d</sub> |
|-------------------------------|-------------|------------|----------------|----------------|
| <b>Plancher terrasse</b>      | 3.55        | 0.65       | 4.2            | 3.55           |
| <b>Plancher étage courant</b> | 3.32        | 0.98       | 4.3            | 3.32           |

**Type 1** : Terrasse avec 5 travées :**Calcul des moments :****A E.L.U :**

Les calculs des moments se fait pour les 3 cas :

- 1<sup>er</sup> cas : toutes les travées sont chargées
- 2<sup>eme</sup> cas : chargé ; déchargé ; chargé ; .....
- 3<sup>eme</sup> cas : déchargé ; chargé ; déchargé ; .....

1<sup>er</sup> cas (toutes les travées sont chargés)**Travée AB :**

$$M_{tAB} = M_{0AB} + \frac{M_B + M_A}{2} + \frac{(M_B - M_A)^2}{16 M_{0AB}}$$

$$M_B = - \frac{(q_w \times l'_w)^3 + (q_e \times l'_e)^3}{8,5(l'_w + l'_e)} = - \frac{(5.77 \times 4.8^3) + (5.77 \times (3.3 \times 0.8)^3)}{8,5(4.8 + 3.3 \times 0.8)}$$

$$M_B = -11.77 \text{ KN.m}$$

$$M_0 = \frac{ql^2}{8} = \frac{5.77 \times 4.8^2}{8} = 16.62 \text{ kN.m}$$

$$M_{tAB} = 16.62 + \frac{-11.77+0}{2} + \frac{(-11.77-0)^2}{16 \times 16.62} = 11.26 \text{ kN.m}$$

**Calcul de l'effort tranchant :**  
**Type 1 : terrasse avec 5 travées**  
**Travée AB**

$$\begin{cases} T_a = \frac{q_{AB}l_{AB}}{2} + \frac{(M_B - M_A)}{l_{AB}} = \frac{5.77 \times 4.8}{2} + \frac{(-11.77 - 0)}{4.8} = 11.4 \text{ KN} \\ T_b = -\frac{q_{AB}l_{AB}}{2} + \frac{(M_B - M_A)}{l_{AB}} = -\frac{7.51 \times 4.8}{2} + \frac{(-15.32 - 0)}{4.8} = -16.3 \text{ KN} \end{cases}$$

Le calcul des efforts tranchants se fait pour le 1<sup>er</sup> cas seulement (le cas le plus défavorable).

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III- 3: Calcul des moments et effort tranchant à E.L.U et E.L.S plancher terrasse (type 1).

| Appuis | Moment Max sur appuis (KN.m) |       | Travée | Portée réelle (m) | Moment max isostatique (KN) |       | Moment Max en travée (KN.m) |       | Effort tranchant Max (KN) |        |       |        |
|--------|------------------------------|-------|--------|-------------------|-----------------------------|-------|-----------------------------|-------|---------------------------|--------|-------|--------|
|        | E.L.U                        | E.L.S |        |                   | E.L.U                       | E.L.S | E.L.U                       | E.L.S | E.L.U                     |        | E.L.S |        |
|        |                              |       |        |                   |                             |       |                             |       | Tw                        | Te     | Tw    | Te     |
| A      | 0                            | 0     | AB     | 4.8               | 16.62                       | 12.1  | 11.38                       | 8.27  | 11.4                      | -16.3  | 12.06 | -15.63 |
| B      | -11.77                       | -8.57 | BC     | 3.3               | 7.85                        | 5.72  | -0.89                       | -0.6  | 11.65                     | -7.39  | 11.08 | -7.97  |
|        |                              |       |        |                   |                             |       | 0.92                        | 0.61  |                           |        |       |        |
| C      | -4.73                        | -3.44 | CD     | 3.3               | 7.85                        | 5.72  | 1.77                        | 1.24  | 8.12                      | -10.92 | 8.5   | -10.54 |
| D      | -9.34                        | -6.8  | DE     | 5.3               | 20.26                       | 14.75 | 10.33                       | 7.48  | 14.82                     | -15.76 | 14.95 | -15.63 |
| E      | -11.81                       | -8.6  | EF     | 4.1               | 12.12                       | 8.83  | 7.34                        | 5.32  | 14.71                     | -8.95  | 13.93 | -9.73  |
| F      | 0                            | 0     |        |                   |                             |       |                             |       |                           |        |       |        |

**Type 2 : Terrasse avec 3 travées :**  
**Calcul des moments :**

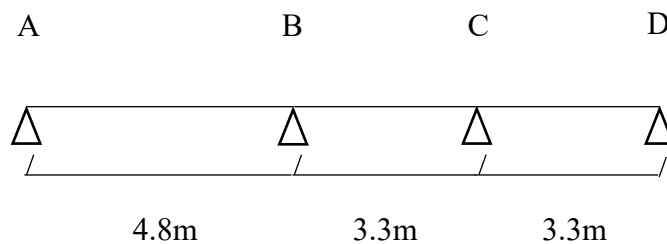


Tableau III- 4: Calcul des moments et effort tranchant E.L.U et E.L.S plancher terrasse (type 2).

| Appuis | Moment sur appuis (KN.m) |       | Travée | Portée réelle (m) | Moment isostatique (KN) |       | Moment en travée (KN.m) |              | Effort tranchant (KN) |       |       |        |
|--------|--------------------------|-------|--------|-------------------|-------------------------|-------|-------------------------|--------------|-----------------------|-------|-------|--------|
|        | E.L.U                    | E.L.S |        |                   | E.L.U                   | E.L.S | E.L.U                   | E.L.S        | E.L.U                 |       | E.L.S |        |
|        |                          |       |        |                   |                         |       |                         |              | Tw                    | Te    | Tw    | Te     |
| A      | 0                        | 0     | AB     | 4.8               | 16.62                   | 12.1  | 11.38                   | 8.27         | 11.4                  | -16.3 | 12.06 | -15.63 |
| B      | -11.77                   | -8.57 | BC     | 3.3               | 7.85                    | 5.72  | -1.84<br>0.23           | -1.28<br>0.1 | 11.21                 | -7.84 | 10.75 | -8.29  |
| C      | -6.21                    | -4.52 | CD     | 3.3               | 7.85                    | 5.72  | 5.2                     | 3.78         | 11.4                  | -7.64 | 10.89 | -8.15  |
| D      | 0                        | 0     |        |                   |                         |       |                         |              |                       |       |       |        |

**Type 3 :** Etage courant avec 7 travées :

**Calcul des moments :**

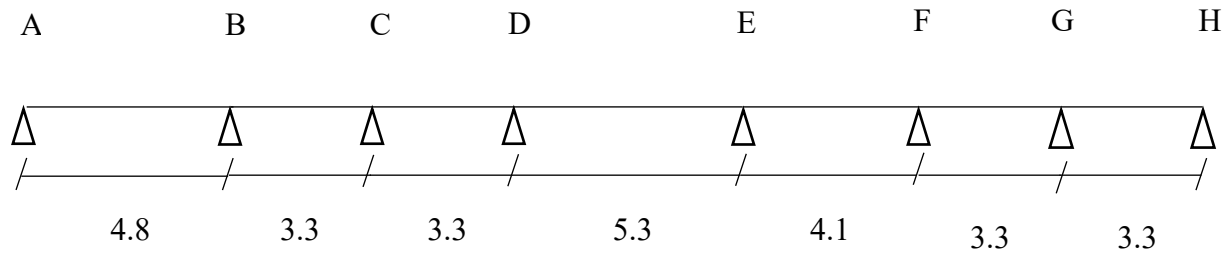


Tableau III- 5: Calcul des moments et effort tranchant E.L.U et E.L.S plancher étage courant (type 3).

| Appuis | Moment sur appuis (KN.m) |       | Travée | Portée réelle (m) | Moment isostatique (KN) |       | Moment en travée (KN.m) |       | Effort tranchant (KN) |            |       |            |
|--------|--------------------------|-------|--------|-------------------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|-----------------------|------------|-------|------------|
|        | E.L.U                    | E.L.S |        |                   | E.L.U                   | E.L.S | E.L.U                   | E.L.S | E.L.U                 |            | E.L.S |            |
|        |                          |       |        |                   |                         |       |                         |       | Tw                    | Te         | Tw    | Te         |
| A      | 0                        | 0     | AB     | 4.8               | 17.14                   | 12.38 | 11.79                   | 8.5   | 15.78                 | -<br>20.84 | 8.49  | -<br>12.15 |
| B      | -12.14                   | -8.77 | BC     | 3.3               | 8.1                     | 5.85  | -1.33                   | -0.89 | 14.79                 | -<br>10.39 | 8.68  | -5.51      |
|        |                          |       |        |                   |                         |       | 1.39                    | 0.93  |                       |            |       |            |
| C      | -4.88                    | -3.53 | CD     | 3.3               | 8.1                     | 5.85  | -0.38                   | -0.19 | 11.15                 | -<br>14.03 | 6.06  | -8.13      |
|        |                          |       |        |                   |                         |       | 2.2                     | 1.52  |                       |            |       |            |
| D      | -9.63                    | -6.96 | DE     | 5.3               | 20.89                   | 15.1  | 11.52                   | 8.3   | 20.08                 | -<br>20.36 | 11.29 | -11.5      |
| E      | -10.83                   | -7.5  | EF     | 4.1               | 12.5                    | 9.04  | 5.32                    | 3.79  | 16.62                 | -<br>14.66 | 9.25  | -8.11      |
| F      | -6.35                    | -4.59 | FG     | 3.3               | 8.1                     | 5.85  | 2.76                    | 1.94  | 10.65                 | -11.6      | 5.69  | -6.11      |
| G      | -6.4                     | -4.63 | GH     | 3.3               | 8.1                     | 5.85  | 5.43                    | 3.91  | 14.53                 | -<br>10.65 | 8.5   | -5.69      |
| H      | 0                        | 0     |        |                   |                         |       |                         |       |                       |            |       |            |

**Type 4 :** Etage courant avec 3 travées :

**Calcul des moments :**

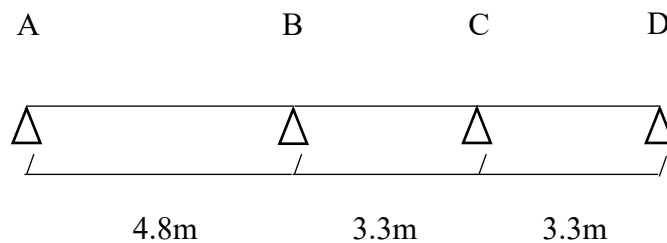


Tableau III- 6: Calcul des moments et effort tranchant E.L.U et E.L.S plancher étage courant (type 4).

| Appuis | Moment sur appuis (KN.m) |       | Travée | Portée réelle (m)<br>E.L.U | Moment isostatique (KN) |       | Moment en travée (KN.m) |       | Effort tranchant (KN) |            |       |            |
|--------|--------------------------|-------|--------|----------------------------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|-----------------------|------------|-------|------------|
|        | E.L.U                    | E.L.S |        |                            | E.L.U                   | E.L.S | E.L.U                   | E.L.S | E.L.U                 |            | E.L.S |            |
|        |                          |       |        |                            |                         |       |                         |       | Tw                    | Te         | Tw    | Te         |
| A      | 0                        | 0     | AB     | 4.8                        | 17.14                   | 12.38 | 11.79                   | 8.5   | 11.32                 | -<br>16.38 | 12.02 | -<br>15.68 |
| B      | -12.14                   | -8.77 | BC     | 3.3                        | 8.1                     | 5.85  | -2.34                   | -1.61 | 11.26                 | -7.78      | 10.78 | -8.27      |
|        |                          |       |        |                            |                         |       | 0.77                    | 0.46  |                       |            |       |            |
| C      | -6.4                     | -4.63 | CD     | 3.3                        | 8.1                     | 5.85  | 5.43                    | 3.91  | 11.46                 | -7.58      | 10.92 | -8.12      |
| D      | 0                        | 0     |        |                            |                         |       |                         |       |                       |            |       |            |

D'après les 4 tableaux de Calcul des moments et effort tranchant E.L.U et E.L.S on a :

#### A E.L.U :

Au niveau de plancher terrasse :

$$M_t^+ = 11.38 \text{ KN.m} ; M_t^- = 1.84 \text{ KN.m} ; M_a = 11.81 \text{ KN.m}$$

Au niveau de plancher étage courant :

$$M_t^+ = 11.79 \text{ KN.m} ; M_t^- = 2.34 \text{ KN.m} ; M_a = 12.14 \text{ KN.m}$$

#### A E.L.S :

Au niveau de plancher terrasse :

$$M_t^+ = 8.27 \text{ KN.m} ; M_t^- = 1.28 \text{ KN.m} ; M_a = 8.6 \text{ KN.m}$$

Au niveau de plancher étage courant :

$$M_t^+ = 8.5 \text{ KN.m} ; M_t^- = 1.61 \text{ KN.m} ; M_a = 8.77 \text{ KN.m}$$

### III.1.2. Calcul des armatures longitudinales à l'E.L. U :

Le calcul se fait à l'E.L. U en flexion simple, nous prenons les sollicitations les plus défavorables

D'après les calculs d'une section en T.

Si  $M_u < M_t$  : l'axe neutre se trouve dans la table de compression.

Si  $M_u > M_t$  : l'axe neutre se trouve dans la nervure.

$$M_t = b \times h_0 \times f_{bc} \left( d - \frac{h_0}{2} \right)$$

$$f_{bc} = \frac{0.85 f_{bc}}{\gamma_b} = \frac{0.85 \times 25}{1.5} = 14.2 \text{ MPa}$$

$$d = 0.9h = 0.9 \times 21 = 18.9 \text{ cm}$$

$$M_t = b \times h_0 \times f_{bc} \left( d - \frac{h_0}{2} \right) = 650 \times 50 \times 14.2 \times \left( 189 - \frac{50}{2} \right) \times 10^{-6}$$

$$M_t = 75.69 \text{ KN.m}$$

Les résultats de calcul sont regroupés dans le tableau suivant :

|                   | Moment max<br>(KN.m) | $M_u \leq M_t$                                 |
|-------------------|----------------------|------------------------------------------------|
| Plancher terrasse | $M_t^+ = 11.38$      | Vérifié<br>(Calcul comme<br>section rectangle) |
|                   | $M_t^- = 1.84$       |                                                |
|                   | $M_a = 11.81$        |                                                |
| Plancher etage    | $M_t^+ = 11.79$      | Vérifié<br>(Calcul comme<br>section rectangle) |
|                   | $M_t^- = 2.34$       |                                                |
|                   | $M_a = 12.14$        |                                                |

$$f_{bu} = 14,2 \text{ MPa} ; \gamma_s = 1.15 ; f_e = 500 \text{ MPa}$$

$$\mu = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{11.38 \times 10^6}{650 \times 189^2 \times 14.2} = 0.034$$

$$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.034}) = 0.043$$

$$Z = d(1 - 0,4 \alpha) = 18.9(1 - 0,4 \times 0.043) = 18.57 \text{ cm}$$

$$A_{min} = 0.23 \times b \times d \frac{f_{c28}}{Z \times \sigma_s} = 0.23 \times 65 \times 18.9 \frac{25}{185.7 \times \frac{500}{1.15}} = 0.1 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \frac{M_u}{Z \times \sigma_s} = \frac{11.38 \times 10^{-6}}{185.7 \times \frac{500}{1.15}} \times 10^{-2} = 1.41 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s}$$

- **Vérification de condition non fragilité :  $A_s \geq A_{min}$**

Au niveau de plancher terrasse :

Tableau III- 7: Résultats de calcul de ferrailage plancher terrasse (type1).

|        | $M_u$<br>KN.m | B<br>Cm | d<br>cm | $\mu$ | $\alpha$ | Z<br>cm | $A_s$<br>cm <sup>2</sup> | $A_{min}$<br>cm <sup>2</sup> | $A_{adp}$<br>cm <sup>2</sup> | Vérification |
|--------|---------------|---------|---------|-------|----------|---------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------|
| Travée | 11.38         | 65      | 18.9    | 0.034 | 0.043    | 18.57   | 1.41                     | 0.1                          | 2T10 = 1.57                  | Vérifié      |
|        | 1.84          |         |         | 0.006 | 0.008    | 18.84   | 0.23                     | 0.1                          | 2T10 = 1.57                  | Vérifié      |
| Appuis | 11.81         | 65      | 18.9    | 0.036 | 0.046    | 18.55   | 1.46                     | 0.1                          | 2T10 = 1.57                  | Vérifié      |

Au niveau de plancher étage courant :

Tableau III- 8: Résultats de calcul de ferrailage plancher étage courant (type2).

|        | $M_u$<br>KN.m | B<br>cm | d<br>cm | $\mu$ | $\alpha$ | Z<br>cm | $A_s$<br>cm <sup>2</sup> | $A_{min}$<br>cm <sup>2</sup> | $A_{adp}$<br>cm <sup>2</sup> | Vérification |
|--------|---------------|---------|---------|-------|----------|---------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------|
| Travée | 11.79         | 65      | 18.9    | 0.036 | 0.056    | 18.48   | 1.47                     | 0.1                          | 2T10 = 1.57                  | Vérifié      |
|        | 2.34          |         |         | 0.007 | 0.009    | 18.83   | 0.29                     | 0.1                          | 2T10 = 1.57                  | Vérifié      |
| Appuis | 12.14         | 65      | 18.9    | 0.037 | 0.047    | 18.54   | 1.51                     | 0.1                          | 2T10 = 1.57                  | Vérifié      |

- **Vérification de la contrainte tangentielle :**

- Au niveau terrasse :  $T_{terrasse}^{max} = 16.3 \text{ KN}$
- Au niveau plancher étage :  $T_{etage}^{max} = 20.84 \text{ KN}$

Pour l'effort tranchant, la vérification se fera dans le cas le plus défavorable, c'est à dire :

$$T_u^{max} = \max(T_{terrasse}^{max}; T_{etage}^{max})$$

$$T_u^{max} = 20.84 \text{ KN}$$

Condition à vérifier :  $\tau_u = \frac{T_u}{b_0 \times d} \leq \bar{\tau}_u$

Avec :

Tu : l'effort tranchant maximal sur appui.

- Si on a fissuration non préjudiciable :

$$\bar{\tau}_u = \min\left(0,2 \times \frac{f_{c28}}{\gamma_b}; 5 \text{ MPa}\right)$$

- Si on a fissuration préjudiciable où très préjudiciable :

$$\bar{\tau}_u = \min\left(0,15 \times \frac{f_{c28}}{\gamma_b}; 4 \text{ MPa}\right)$$

La fissuration est considérée préjudiciable, donc :

$$\bar{\tau}_u = \min\left(0,15 \times \frac{f_{c28}}{\gamma_b}; 4 \text{ MPa}\right) \rightarrow \bar{\tau}_u = \min\left(0,15 \times \frac{25}{1.5}; 4 \text{ MPa}\right) = 4 \text{ MPa}$$

$$\tau_u = \frac{T_u}{b_0 \times d} = \frac{20.84 \times 10^3}{120 \times 189} = 0.92 \text{ MPa} \leq \bar{\tau}_u = 4 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{C.V}$$

### III.1.3. Calcul des armatures transversales :

Selon le RPA99/v2003 :

Le diamètre  $\phi_t$  des armatures transversales d'âme d'une poutre est donné par l'inégalité suivante :

$$\phi_t \leq \min\left(\frac{h}{33}; \phi_l; \frac{b_0}{10}\right)$$

$$\phi_t \leq \min\left(\frac{21}{33}; 1; \frac{12}{10}\right) = \min(0.63; 1; 1.2) = 1 \text{ cm}$$

On adopte  $\phi_t = 10 \text{ mm}$

On choisit : 1 HA 8 = 0,50 cm<sup>2</sup>

- **Espacement des armatures transversales :**

On a suivant le BAEL91 :

$$S_t \leq \min(0,9 \times d; 40 \text{ cm}) = \min(0,9 \times 18.9; 40 \text{ cm}) = \min(17.01; 40 \text{ cm})$$

On adopte :  $S_t = 17 \text{ cm}$

- **Vérification de la compression du béton vis-à-vis de l'effort tranchant :**

**Appui de rive :**

$$\sigma_{bc} = \frac{T_u}{0,9 \times b_0 \times d} = \frac{20.84 \times 10^3}{0,9 \times 120 \times 189} = 1.02 \text{ MPa}$$

$$\overline{\sigma}_{bc} = 0,4 \times \frac{f_{c28}}{\gamma_b} = 0,4 \times \frac{25}{1.5} = 6.67 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bc} = 1.02 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma}_{bc} = 6.67 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{C.V}$$

- **Vérification des armatures longitudinales :**

$$A_s \geq \frac{T_u}{\frac{f_e}{\gamma_s}}$$

$$A_s = 3.14 \text{ cm}^2 \geq \frac{T_u}{\frac{f_e}{\gamma_s}} = \frac{20.84 \times 10^3}{\frac{500}{1.15}} \times 10^{-2} = 0.48 \text{ cm}^2 \dots\dots\dots \text{C.V}$$

**Appui intermédiaire :**

$$\sigma_{bc} = \frac{T_u}{0,9 \times b_0 \times d} = \frac{20.84 \times 10^{-3}}{0,9 \times 120 \times 189} = 1.02 \text{ MPa}$$

$$\overline{\sigma}_{bc} = 0,4 \times \frac{f_{c28}}{\gamma_b} = 0,4 \times \frac{25}{1.5} = 6.67 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bc} = 1.02 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma}_{bc} = 6.67 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{C.V}$$

- **Vérification des armatures longitudinales :**

$$A_s \geq \frac{T_u \frac{M_{ua}}{0.9d}}{\frac{f_e}{\gamma_s}}$$

$$A_s = 3.14 \text{ cm}^2 \geq \frac{T_u \frac{M_{ua}}{0.9d}}{\frac{f_e}{\gamma_s}} = \frac{20.84 \times 10^3 \frac{12.14 \times 10^6}{0.9 \times 189}}{\frac{500}{1.15}} \times 10^{-2} = -1.16 \text{ cm}^2 \dots\dots\dots \text{C.V}$$

- **Vérification des contraintes du béton à l'E.L.S :**

$$\sigma_{bc} \leq \overline{\sigma}_{bc}$$

Avec :

$$\overline{\sigma}_{bc} = 0.6 f_{c28}$$

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I} y$$

M<sub>ser</sub> : moment plus défavorable

I : moment d'inertie

#### III.1.4. Détermination de l'axe neutre :

On suppose que l'axe neutre se trouve à la table de compression :

$$\frac{b}{2} y^2 + \eta A'_s (y - c') - \eta A_s (d - y) = 0$$

Avec :  $\eta = \frac{E_s}{E_b} = 15$  ; b = 65 cm ; b<sub>0</sub> = 12 cm ; c=c' = 0.1h = 2.1 cm

y : est la solution de l'équation du deuxième degré suivante, puis on calcule le moment d'inertie :

$$\frac{b}{2} y^2 + \eta A'_s (y - c') - \eta A_s (d - y) = 0$$

$$I = \frac{b}{3}y^3 + 15A_s(d-y)^2 + 15A'_s(y-c)^2$$

- Si  $y \leq h_0$  : l'hypothèse est vérifiée
- Si  $y > h_0$  : la distance « y » et le moment d'inertie « I » se calculent par les formules qui suivent :

$$b_0y^2 + [2(b-b_0)h_0 + 30(A_s - A'_s)]y - [(b-b_0)h_0^2 + 30(dA_s + c'A'_s)] = 0$$

$$I = \frac{b_0}{3}y^3 + \frac{(b-b_0)h_0^3}{12} + h_0(b-b_0)\left(y - \frac{h_0}{2}\right)^2 + 15[A_s(d-y)^2 + A'_s(y-c)^2]$$

$$\overline{\sigma}_{bc} = 0.6f_{c28} = 0.6 \times 25 = 15 \text{ MPa}$$

Tableau III- 9: Vérification de contrainte béton.

|        | Mser<br>(KN.m) | A <sub>s</sub> '<br>(cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub><br>(cm <sup>2</sup> ) | y<br>(cm) | I<br>(cm <sup>4</sup> ) | σ <sub>bc</sub><br>(MPa) | Verification |
|--------|----------------|----------------------------------------|--------------------------------------|-----------|-------------------------|--------------------------|--------------|
| Travée | 8.5            | 1.57                                   | 3.14                                 | 4.4       | 11873.01                | 3.15                     | Vérifie      |
| Appuis | 8.77           | 1.57                                   | 3.14                                 | 4.4       | 11873.01                | 3.26                     | Vérifie      |

• **Vérification de contrainte des armatures :**

$$\sigma_s \leq \overline{\sigma}_s$$

Avec :

$$\sigma_s = \eta \frac{M_{ser}}{I} (d - x)$$

Pour le cas de fissuration préjudiciable

$$\overline{\sigma}_s^{F.P} = \min \left( \frac{2}{3} f_e ; \max \left( \frac{f_e}{2} ; 110 \sqrt{\eta \cdot f_{tj}} \right) \right)$$

η = 1.6 pour les barres H.A

η = 1.0 pour les rond lisses

$$f_{tj} = 0.6 + 0.06 f_{cj}$$

Pour le cas de fissuration très préjudiciable

$$\overline{\sigma}_s^{T.F.P} = 0.8 \overline{\sigma}_s^{F.P}$$

Dans notre cas on a des fissurations préjudiciables donc :  $\sigma_s \leq \overline{\sigma}_s^{F.T.P}$

$$\sigma_s = \eta \frac{M_{ser}}{I} (d - x) = \sigma_s = 15 \frac{8.5 \cdot 10^6}{11873.01 \cdot 10^4} (189 - 44) = 155.71 \text{ MPa}$$

$$\overline{\sigma}_s^{F.P} = 0.8 \min \left( \frac{2}{3} f_e ; \max \left( \frac{f_e}{2} ; 110 \sqrt{\eta \cdot f_{tj}} \right) \right)$$

$$\overline{\sigma}_s^{F.P} = 0.8 \min \left( \frac{2}{3} 500 ; \max \left( \frac{500}{2} ; 110 \sqrt{0.6 + 0.06 \times 25} \right) \right)$$

$$\overline{\sigma}_s^{F.P} = 0.8 \min (333.33 \text{ MPa} ; \max(250 \text{ MPa} ; 159.4 \text{ MPa}))$$

$$\overline{\sigma}_s^{F.P} = 201.6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 155.71 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma}_s = 201.6 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{C.V}$$



• **Vérification de flèche :**

La vérification de la flèche n'est pas nécessaire si les conditions suivantes sont vérifiées :

$$\frac{h}{l} \geq \frac{1}{22,5}$$

$$\frac{h}{l} \geq \frac{M_t}{M_0 \times 15}$$

$$\frac{A_{st \text{ adopt}}}{b \times d} \leq \frac{4,2}{f_e}$$

Avec :

h : hauteur totale du poutrelle

L : longueur su travée plus défavorable

Mt : moment de la travée plus défavorable

M0 : moment isostatique de la travée plus défavorable

b : largeur totale du poutrelle

fe = 500 MPa

$$A_{st \text{ adopt}} = 4T10 + 2T10 = 4.71 \text{ cm}^2$$

**Travée plus défavorable est :**

Travée AB de poutrelle type 4 (plancher etage avec 3 travées)

$$M_{tAB} = 11.79 \text{ KN.m} ; M_{0AB} = 17.14 \text{ KN.m}$$

$$\begin{aligned} \frac{h}{l} &\geq \frac{1}{22,5} \rightarrow \frac{210}{5300} = 0.039 \geq 0,044 \dots\dots\dots \text{C.N.V} \\ \frac{h}{l} &\geq \frac{M_t}{M_0 \times 15} \rightarrow \frac{210}{5300} = 0.039 \geq \frac{11.79}{15 \times 17.14} = 0.046 \dots\dots\dots \text{C.N.V} \\ \frac{A_{st \text{ adopt}}}{b \times d} &\leq \frac{4,2}{f_e} \rightarrow \frac{4.71}{650 \times 189} = 0.0038 \leq \frac{4.2}{500} = 0.009 \dots\dots\dots \text{C.V} \end{aligned}$$

Il y a des conditions qui ne sont pas vérifié, donc il est nécessaire de calculer la flèche

$$\Delta f = f_v - f_i \leq \bar{f}$$

Tel que :

$$\begin{aligned} \bar{f} &= 0.5 + \frac{L(cm)}{1000} \text{ si } L \geq 5.00 \text{ m} \\ \bar{f} &= \frac{L(cm)}{500} \text{ si } L < 5.00 \text{ m} \end{aligned}$$

L : travée plus longue

On a:

$$M_{ser}^{max} = 8.5 \text{ KN.m} ; L_{cor} = 5.3 \text{ m} > 5.00 \text{ m}$$

Donc :

$$\bar{f} = 0.5 + \frac{530}{1000} = 1.03 \text{ cm}$$

fi : la flèche due aux charge instantanée

fv : la flèche due aux charges de longue durée

Position de l'axe neutre  $y_1$  :

$$y_1 = \frac{\frac{bh_0^2}{2} + b_0(h-h_0)\left(\frac{h-h_0}{2} + h_0\right) + 15 A_s d}{bh_0 + b_0(h-h_0) + 15 A_s}$$

Moment d'inertie de la section homogène  $I_0$  :

$$I_0 = \frac{b}{3} y_1^3 + \frac{b_0}{3} (h - y_1)^3 - \frac{(b-b_0)}{3} (y_1 - h_0)^3 + 15 A_s (d - y_1)^2$$

Calcul des moments d'inertie fictifs :

$$I_{fi} = \frac{1.1 I_0}{1 + \lambda_i \mu} ; I_{fv} = \frac{I_0}{1 + \lambda_v \mu}$$

Avec :

- $\lambda_i = \frac{0.05 f_{t28}}{\delta \left(2 + 3 \frac{b_0}{b}\right)}$  Pour la déformation instantanée
- $\lambda_v = \frac{0.02 f_{t28}}{\delta \left(2 + 3 \frac{b_0}{b}\right)}$  Pour la déformation différée
- $\delta = \frac{A_s}{b_0 d}$  Pourcentage des armatures

$$\mu = 1 - \frac{1.7 e5 f_{t28}}{4 \delta \sigma_s + f_{t28}}$$

$\sigma_s = \frac{M_{ser}}{A_s d}$  Contrainte de traction dans l'armature correspondant au cas de charge étudiée

| Mser<br>(KN.m) | As<br>(cm <sup>2</sup> ) | y1<br>(cm) | δ      | σ <sub>s</sub><br>(MPa) | λ <sub>i</sub> | λ <sub>v</sub> | μ     | I <sub>0</sub><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>fi</sub><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>fv</sub><br>(cm <sup>4</sup> ) |
|----------------|--------------------------|------------|--------|-------------------------|----------------|----------------|-------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 8.5            | 3.14                     | 7.44       | 0.0138 | 143.23                  | 2.98           | 1.19           | 0.633 | 68874.14                             | 26248.31                              | 39283.25                              |

### III.1.5. Calcul des modules de déformation :

$$E_i = 11000 \sqrt[3]{f_{c28}} = 32164.19 \text{ MPa}$$

$$E_i = 3700 \sqrt[3]{f_{c28}} = 10818.87 \text{ MPa}$$

Calcul de la flèche due aux déformations instantanées :

$$f_i = \frac{M_{ser} L^2}{10 E_i I_{fi}} = \frac{8.5 \cdot 10^6 \times (5.3 \cdot 10^3)^2}{10 \times 32164.19 \times 26248.31 \cdot 10^4} = 2.83 \text{ mm}$$

Calcul de la flèche due aux déformations différées :

$$f_v = \frac{M_{ser} L^2}{10 E_v I_{fv}} = \frac{8.5 \cdot 10^6 \times (5.3 \cdot 10^3)^2}{10 \times 10818.87 \times 39283.25 \cdot 10^4} = 5.62 \text{ mm}$$

$$\Delta f = f_v - f_i = 5.62 - 2.83 = 2.69 \text{ mm} \leq \bar{f} = 10.3 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{C.V}$$

**III.1.6. Calcul des armatures transversales et l'espacement :**

L'acier choisi pour les armatures transversales est de rond lisse de nuance FeE24 (fe= 235MPa)

$$\frac{A_t}{b_0 S_t} \geq \frac{\tau_u - 0.3 f_{tj} K}{0.8 f_e} \quad K = 1$$

$$S_t \leq \text{Min}(0.9 d ; 40 \text{ cm})$$

$$\frac{A_t f_e}{b_0 S_t} \geq \text{Max}\left(\frac{\tau_u}{2} ; 0.4 \text{ MPa}\right)$$

Selon le RPA99/2003 :

$$\frac{A_t}{S_t} \geq 0.003 b_0$$

$$- S_t \leq \text{Min}\left(\frac{h}{4} ; 12\phi_l\right) \dots\dots\dots \text{Zone nodale}$$

$$- S_t \leq \frac{h}{2} \dots\dots\dots \text{Zone courante}$$

Avec  $\phi_t \leq \text{Min}\left(\frac{h}{35} ; \phi_l ; \frac{b_0}{10}\right)$

$\phi_l$  : Diamètre minimum des armatures longitudinales

$$\phi_t \leq \text{Min}\left(\frac{21}{35} ; 1 ; \frac{12}{10}\right) = \text{Min}(0.6 ; 1 ; 1.2) = 0.6 \text{ cm}$$

Donc on Adopte :

$$\phi_t = 6 \text{ mm}$$

**Choix des armatures :**

On adopte :  $A_t = 2\phi 6 = 0.57 \text{ cm}^2$

$$\frac{A_t}{12 S_t} \geq \frac{0.95 - 0.3 \times 2.1}{0.8 \times 235} \rightarrow A_t \geq 0.02 S_t$$

$$S_t \leq \text{Min}(0.9 d ; 40 \text{ cm}) = \text{Min}(0.9 \times 18.9 ; 40 \text{ cm}) = \text{Min}(17.01 \text{ cm} ; 40 \text{ cm})$$

$$S_t \leq 17.01 \text{ cm}$$

$$\frac{A_t f_e}{b_0 S_t} \geq \text{Max}\left(\frac{\tau_u}{2} ; 0.4 \text{ MPa}\right) \rightarrow \frac{A_t}{S_t} \geq \frac{b_0}{f_e} \text{Max}\left(\frac{0.95}{2} ; 0.4 \text{ MPa}\right) = \frac{12}{235} \times 0.475$$

$$\frac{A_t}{S_t} \geq 0.024 \text{ cm}$$

Selon RPA99/2003 :

$$\frac{A_t}{S_t} \geq 0.003 b_0 = 0.036 \text{ cm}^2$$

$$\text{Zone nodale} \quad S_t \leq \text{Min}\left(\frac{h}{4} ; 12\phi_l\right) = \text{min}\left(\frac{21}{4} ; 12 \times 1\right) = 5.25 \text{ cm}$$

$$\text{Zone courante} \quad S_t \leq \frac{h}{2} = \frac{21}{2} = 10.5 \text{ cm}$$

**Choix des espacements :**

$$\frac{A_t}{S_t} \geq 0.036 \rightarrow S_t \leq \frac{A_t}{0.036} \rightarrow S_t \leq \frac{0.57}{0.036} = 15.83 \text{ cm}$$

$$\text{Zone nodale} \quad S_t = 5 \text{ cm}$$

$$\text{Zone courante} \quad S_t = 10 \text{ cm}$$

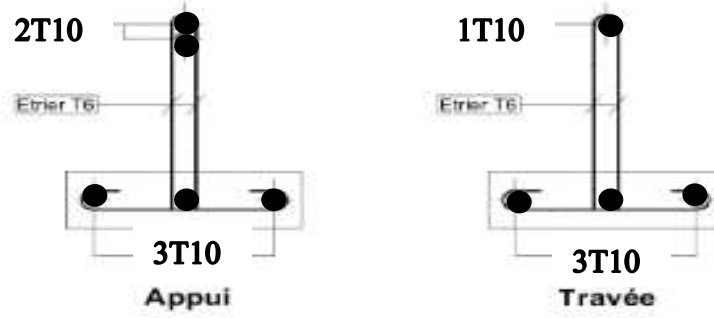


Figure III- 5: Schéma de ferrailage des poutrelles.

**III.2. La dalle de compression :**

La dalle de compression sera ferrillée suivant les deux sens par un quadrillage afin d'éviter les fissurations, les conditions suivantes doivent être respectées :

Résister aux efforts des charges appliquées sur des surfaces réduites.

Les dimensions des mailles sont normalisées (Art. B.68. BAEL91) comme suit :  
20 cm pour les armatures perpendiculaires aux nervures Si :

$$50 \text{ cm} \leq L_n \leq 80 \text{ cm} \rightarrow A \geq 4 \frac{L}{f_e}$$

30 cm pour les armatures parallèles aux nervures Si :

$$L_n \leq 50 \text{ cm} \rightarrow A \geq \frac{200}{f_e}$$

Avec :

A : la section des armatures perpendiculaires aux nervures (A : en  $\text{cm}^2$  pour mètre de nervures).

$L_n$  : la distance entre axe des nervures.

$f_e$  : 235 MPa

**III.2.1. Les armatures perpendiculaires aux nervures :**

Autres que les armatures supérieures des poutrelles, doivent avoir une section par mètre linéaire au moins égale à  $(\frac{A_{perp}}{2})$

Dans notre cas, on a une dalle de compression de 4 cm d'épaisseur :

Soit :

$$L_n = 65 \text{ cm} \rightarrow 50 \text{ cm} \leq L_n = 65 \text{ cm} \leq 80 \text{ cm}$$

D'où :

$$A_{perp} = 4 \frac{65}{235} = 1.11 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

On adopte : 6T6 = 1.70  $\text{cm}^2/\text{ml}$

$$S_t = \frac{100}{6-1} = 20 \text{ cm}$$

**III.2.2. Les armatures parallèles aux nervures :**

$$A_{paral} = \frac{A_{perp}}{2} = 0.85 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

On adopte : 6T6 = 1.70  $\text{cm}^2/\text{ml}$

$$S_t = \frac{100}{6-1} = 20 \text{ cm}$$

Pour le ferrailage de la dalle de compression, on adopte un treillis soudé de diamètre  $\phi 6$  dont la dimension des mailles est égale à 20 cm suivant les deux sens.

Schéma de ferrailage :

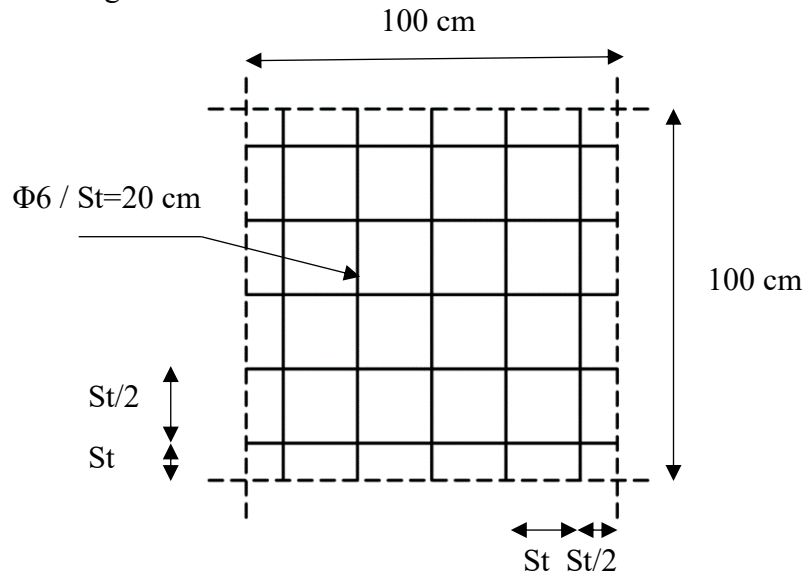


Figure III- 6: Disposition des armatures de la dalle de compression.

### III.2.3. Dalle pleine rectangulaire :

Pour faire des calculs sur les dalles pleines il faut déterminer le panneau le plus défavorable

Avec l'évaluation des charges :

- $G = 6.64 \text{ KN/m}^2$
- $Q = 1.5 \text{ KN/m}^2$

A E.L.U :

$$- q_u = 1.35G + 1.5Q = 11.21 \text{ KN/m}^2$$

A E.L.S :

$$- q_s = G + Q = 8.14 \text{ KN/m}^2$$

$$\rho = \frac{Lx}{Ly} = \frac{3.5}{4.8} = 0.73 > 0.4$$

Donc la dalle travaille dans les deux sens, les coefficient  $\mu_x$  et  $\mu_y$  sont en fonction de  $\rho$  et de  $\nu$

$$\nu : \text{coefficient de poisson} \begin{cases} 0 & \text{à E.L.U} \\ 0.2 & \text{à E.L.S} \end{cases}$$

$$M_x = \mu_x q_u l_x^2$$

$$M_y = \mu_y M_x$$

**Tableau II.1** Les moments dans les dalles pleines

Tableau III- 10: Les moments dans les dalles pleines.

| Panneaux | $L_x$ | $L_y$ | $\rho$ | $\mu_x$ | $\mu_y$ | $M_x$ | $M_y$ |
|----------|-------|-------|--------|---------|---------|-------|-------|
| 1        | 3.5   | 4.8   | 0.73   | 0.0646  | 0.478   | 8.87  | 4.24  |
| 2        | 4.8   | 5.1   | 0.94   | 0.0419  | 0.8661  | 10.82 | 9.37  |
| 3        | 4.8   | 8     | 0.6    | 0.0822  | 0.2948  | 21.23 | 6.26  |
| 4        | 4.8   | 5.6   | 0.86   | 0.0496  | 0.7052  | 12.81 | 9.03  |
| 5        | 4.8   | 5.1   | 0.94   | 0.0419  | 0.8661  | 10.82 | 9.37  |
| 6        | 3.5   | 4.8   | 0.73   | 0.0646  | 0.478   | 8.87  | 4.24  |
| 7        | 3.5   | 6.6   | 0.53   | 0.0922  | 0.25    | 12.66 | 3.17  |
| 8        | 5.1   | 6.6   | 0.77   | 0.0596  | 0.544   | 17.38 | 9.45  |
| 9        | 6.6   | 8     | 0.83   | 0.0528  | 0.6494  | 25.78 | 16.74 |
| 10       | 5.6   | 6.6   | 0.85   | 0.0506  | 0.6864  | 17.79 | 12.21 |
| 11       | 5.1   | 6.6   | 0.77   | 0.0596  | 0.544   | 17.38 | 9.45  |
| 12       | 3.5   | 6.6   | 0.53   | 0.0922  | 0.25    | 12.66 | 3.17  |
| 13       | 5.3   | 5.5   | 0.96   | 0.0401  | 0.9092  | 12.63 | 11.48 |
| 14       | 5.3   | 5.6   | 0.95   | 0.041   | 0.8875  | 12.91 | 11.46 |
| 15       | 4.1   | 5.5   | 0.75   | 0.0621  | 0.5105  | 11.70 | 5.97  |
| 16       | 4.1   | 5.6   | 0.73   | 0.0646  | 0.478   | 12.17 | 5.82  |
| 17       | 5.5   | 6.6   | 0.83   | 0.0528  | 0.6494  | 17.90 | 11.62 |
| 18       | 5.6   | 6.6   | 0.85   | 0.0506  | 0.6864  | 17.79 | 12.21 |

$\mu_x$  et  $\mu_y$  sont donnés par l'abaque de calcul des dalles rectangulaire 'BAEL91 modifié 99'

Les panneaux les plus défavorables :

- Suivant x-x : panneau 9 ( $M_x = 25.78 \text{ KN.m}$ )
- Suivant y-y : panneau 9 ( $M_y = 16.74 \text{ KN.m}$ )

Donc le panneau 9 est le plus défavorable dans les deux sens.

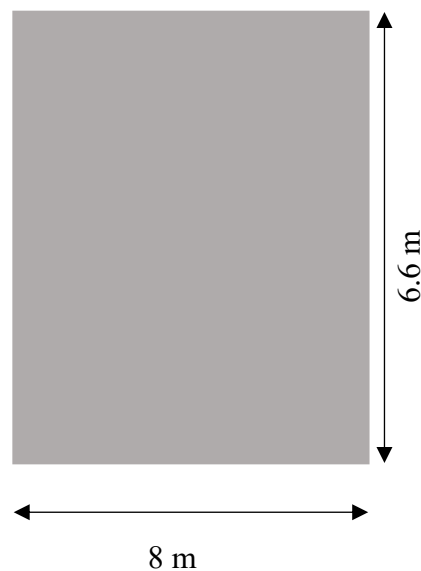


Figure III- 7: Dimensions de dalle pleine rectangulaire (Panneau 9 ).

$$\rho = 0.83 \begin{cases} \mu_x = 0.0528 \\ \mu_y = 0.6494 \end{cases}$$

$$M_x = \mu_x q_u l_x^2 = 0.0528 \times 11.21 \times 6.6^2 = 25.78 \text{ KN.m}$$

$$M_y = \mu_y M_x = 0.6494 \times 25.78 = 16.74 \text{ KN.m}$$

**Moment en travée :**

$$M_{tx} = 0.85 M_x = 0.85 \times 25.78 = 21.91 \text{ KN.m}$$

$$M_{ty} = 0.75 M_y = 0.75 \times 21.91 = 16.43 \text{ KN.m}$$

**Moment sur appuis :**

$$M_{ax} = M_{ay} = -0.5 M_x = -0.5 \times 25.78 = -12.89 \text{ KN.m}$$

### III.2.3.1. Ferrailage longitudinal de la dalle pleine :

$$B=100 \text{ cm} ; h=20 \text{ cm} ; c=c'=0.1h=2 \text{ cm} ; f_e=500\text{MPa} ; f_{c28}=25\text{MPa} ; f_{t28}=2.1\text{MPa} ;$$

$$f_{bc}=14.2\text{MPa}$$

$$dx = d = h - c = 18 \text{ cm}$$

$$d_y = d - \frac{\phi_x}{2} - \frac{\phi_y}{2}$$

$\phi_x$  : diamètre des armatures sens x-x

$\phi_y$  : diamètre des armatures sens y-y

On prend :

$$\phi_x = 12 \text{ mm}$$

$$\phi_y = 12 \text{ mm}$$

$$d_y = d - \frac{\phi_x}{2} - \frac{\phi_y}{2} = 16.8 \text{ cm}$$

Les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau III- 11: Résultats de calcul de ferrailage des dalles pleines.

|               | sens | M <sub>u</sub><br>(KN.m) | μ     | A <sub>s</sub> '<br>(cm <sup>2</sup> ) | α     | Z<br>(cm) | A <sub>s</sub> <sup>cal</sup><br>(cm <sup>2</sup> ) | Choix | A <sub>s</sub> <sup>adp</sup><br>(cm <sup>2</sup> ) |
|---------------|------|--------------------------|-------|----------------------------------------|-------|-----------|-----------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------------|
| <b>Travée</b> | x-x  | 21.91                    | 0.047 | 0                                      | 0.06  | 17.57     | 2.87                                                | 6T12  | 6.79                                                |
|               | y-y  | 16.43                    | 0.041 | 0                                      | 0.052 | 16.45     | 2.3                                                 | 6T12  | 6.79                                                |
| <b>Appuis</b> | x-x  | 12.89                    | 0.028 | 0                                      | 0.036 | 17.74     | 1.67                                                | 6T12  | 6.79                                                |
|               | y-y  |                          | 0.032 |                                        | 0.041 | 16.52     | 1.8                                                 | 6T12  | 6.79                                                |

**Espacement de la travée :**

Sens x-x :

$$esp = \frac{b}{n_{barres}-1} = \frac{100}{5} \leq \min(3h ; 33\text{cm}) = \min(60 \text{ cm} ; 33\text{cm})$$

$$esp = 20 \text{ cm} \leq 33 \text{ cm} \dots\dots\dots\text{C.V}$$

Sens y-y :

$$esp = \frac{b}{n_{barres}-1} = \frac{100}{5} \leq \min(4h ; 45 \text{ cm}) = \min(80 \text{ cm} ; 45 \text{ cm})$$

$$esp = 20 \text{ cm} \leq 45 \text{ cm} \dots\dots\dots\text{C.V}$$



**Espacement de l'appuis :**

Sens x-x :

$$esp = \frac{b}{n_{barres}-1} = \frac{100}{5} \leq \min(3h ; 33cm) = \min(60 cm ; 33cm)$$

$$esp = 20 cm \leq 33 cm \dots\dots\dots C.V$$

Sens y-y :

$$esp = \frac{b}{n_{barres}-1} = \frac{100}{5} \leq \min(4h ; 45 cm) = \min(80 cm ; 45 cm)$$

$$esp = 20 cm \leq 45 cm \dots\dots\dots C.V$$

- **Condition non fragilité :**

$$\begin{cases} A_x \geq \rho_0 \frac{(3-\rho)}{2} b h \\ A_y \geq \rho_0 b h \end{cases}$$

Avec :

$$\begin{cases} \rho_0 = 0.8\text{‰} & \text{por les barres à haute adhérence} \\ \rho = \frac{L_x}{L_y} = \frac{6.6}{8} = 0.83 \end{cases}$$

$$\begin{cases} A_x \geq \frac{0.8}{1000} \times \frac{(3-0.83)}{2} \times 100 \times 20 = 1.74 cm^2 \\ A_y \geq \frac{0.8}{1000} \times 100 \times 20 = 1.6 cm^2 \end{cases}$$

En travée :

$$\begin{cases} A_x = 6.79 cm^2 \geq 1.82 cm^2 \dots\dots\dots C.V \\ A_y = 6.79 cm^2 \geq 1.6 cm^2 \dots\dots\dots C.V \end{cases}$$

Aux appuis :

$$\begin{cases} A_x = 6.79 cm^2 \geq 1.82 cm^2 \dots\dots\dots C.V \\ A_y = 6.79 cm^2 \geq 1.6 cm^2 \dots\dots\dots C.V \end{cases}$$

**III.2.3.2. Ferrailage transversal de la dalle pleine :**

Les armatures transversales ne sont pas nécessaires si la condition suivante est vérifiée :

$$\tau_u = \frac{T_u^{max}}{b d} < \bar{\tau}_u = 0.05 f_{c28}$$

$$T_x = \frac{q_u L_x L_y}{2 L_x + L_y} = \frac{11.21 \times 6.6 \times 8}{2 \times 6.6 + 8} = 27.92 KN$$

$$T_y = \frac{q_u L_x}{3} = \frac{11.21 \times 6.6}{3} = 24.66 KN$$

$$T_u^{max} = \max(T_x ; T_y) = 27.92 kN$$

$$\tau_u = \frac{27.92 \times 10^3}{1000 \times 180} = 0.15 MPa < \bar{\tau}_u = 0.05 f_{c28} = 1.25 MPa \dots\dots\dots C.V$$

- **Verification à E.L.S :**

$$\rho = 0.83 \begin{cases} \mu_x = 0.0596 \\ \mu_y = 0.7518 \end{cases}$$

$$M_x = \mu_x q_s l_x^2 = 0.0596 \times 8.14 \times 6.6^2 = 21.13 \text{ KN.m}$$

$$M_y = \mu_y M_x = 0.7518 \times 21.13 = 15.89 \text{ KN.m}$$

Moment en travée :

$$M_{tx} = 0.85 M_x = 0.85 \times 21.13 = 17.96 \text{ KN.m}$$

$$M_{ty} = 0.75 M_y = 0.75 \times 17.96 = 13.47 \text{ KN.m}$$

Moment sur appuis :

$$M_{ax} = M_{ay} = -0.5 M_x = -0.5 \times 21.13 = 10.57 \text{ KN.m}$$

- **Verification des contraintes :**

D'après le **BAEL91 modifié 99** on doit vérifier que :

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I} y \leq \overline{\sigma}_{bc} = 0.6 f_{c28}$$

$$\sigma_s = \eta \frac{M_{ser}}{I} (d - y) \leq \overline{\sigma}_s$$

y : est la solution positive de l'équation suivante :

$$\frac{b}{2} y^2 + \eta A'_s (y - c') - \eta A_s (d - y) = 0$$

Moment d'inertie :

$$I = \frac{b}{3} y^3 + 15 A_s (d - y)^2 + 15 A'_s (y - c)^2$$

Avec :  $\eta = \frac{E_s}{E_b} = 15$  ; b= 100 cm ; c=c'= 0.1h= 2 cm : d=h-c= 18 cm

Pour le cas de fissuration préjudiciable

$$\overline{\sigma}_s^{F.P} = \min \left( \frac{2}{3} f_e ; \max \left( \frac{f_e}{2} ; 110 \sqrt{\eta \cdot f_{tj}} \right) \right)$$

$\eta = 1.6$  pour les barres H.A

$\eta = 1.0$  pour les rond lisses

$$f_{tj} = 0.6 + 0.06 f_{cj}$$

Pour le cas de fissuration très préjudiciable

$$\overline{\sigma}_s^{T.F.P} = 0.8 \overline{\sigma}_s^{F.P}$$

Dans notre cas on a des fissurations préjudiciables donc :  $\sigma_s \leq \overline{\sigma}_s^{F.T.P}$

$$\overline{\sigma}_s^{F.P} = 0.8 \min \left( \frac{2}{3} f_e ; \max \left( \frac{f_e}{2} ; 110 \sqrt{\eta \cdot f_{tj}} \right) \right)$$

$$\overline{\sigma}_s^{F.P} = 0.8 \min (333.33 \text{ MPa} ; \max(250 \text{ MPa} ; 201.63 \text{ MPa}))$$

$$\overline{\sigma}_s^{F.P} = 200 \text{ MPa}$$

$$\overline{\sigma}_{bc} = 0.6 f_{c28} = 0.6 \times 25$$

$$\overline{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa}$$

Tableau III- 12: Vérification des contraintes des dalles pleines.

|        | Sens | M <sub>ser</sub><br>(KN.m) | A <sub>s</sub><br>(cm <sup>2</sup> ) | y<br>(cm) | I<br>(cm <sup>4</sup> ) | σ <sub>bc</sub><br>(MPa) | σ <sub>bc</sub><br>≤ σ <sub>bc</sub> | σ <sub>s</sub><br>(MPa) | σ <sub>s</sub><br>≤ σ <sub>s</sub> |
|--------|------|----------------------------|--------------------------------------|-----------|-------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| Travée | x-x  | 17.96                      | 6.79                                 | 5.12      | 21370.27                | 4.3                      | Vérifie                              | 162.37                  | Vérifie                            |
|        | y-y  | 13.47                      | 6.79                                 | 4.92      | 21395                   | 3.1                      | Vérifie                              | 112.19                  | Vérifie                            |
| Appuis | x-x  | 10.57                      | 6.79                                 | 5.12      | 21370.27                | 2.53                     | Vérifie                              | 95.56                   | Vérifie                            |
|        | y-y  |                            | 6.79                                 | 4.92      | 21395                   | 2.43                     | Vérifie                              | 8.04                    | Vérifie                            |

- **Vérification de la flèche**

Selon la méthode de BAEL91 la flèche totale est donnée par :

$$\Delta f_t = f_v - f_i$$

f<sub>i</sub> : la flèche due aux charge instantanée

f<sub>v</sub> : la flèche due aux charges de longue durée

$$\text{Et on a : } \begin{cases} \bar{f} = \frac{L}{500} \dots \dots \dots \text{Si } L \leq 5 \text{ m} \\ \bar{f} = 0,5 + \frac{L}{1000} \dots \dots \dots \text{Si } L > 5 \text{ m} \end{cases}$$

Dans notre cas, cette flèche ne doit pas dépassée  $\bar{f} = 0,5 + \frac{800}{1000} = 1.32 \text{ cm}$

D'après le BAEL on à :

$$f_i = \frac{M_{ser} l^2}{10 E_i I_{fi}} \quad \text{et} \quad f_v = \frac{M_{ser} l^2}{10 E_v I_{fv}}$$

$$E_i = 11000 \sqrt[3]{f_{c28}} = 32164.19 \text{ MPa}$$

$$E_v = 3700 \sqrt[3]{f_{c28}} = 10818.87 \text{ MPa}$$

Moment d'inertie de la section homogène I<sub>0</sub> :

$$I_0 = \frac{bh^3}{12} + 15A_s \left(\frac{h}{2} - d\right)^2 + 15A'_s \left(\frac{h}{2} - c\right)^2$$

Calcul des moments d'inertie fictifs :

$$I_{fi} = \frac{1.1I_0}{1+\lambda_i\mu} \quad ; \quad I_{fv} = \frac{I_0}{1+\lambda_v\mu}$$

Avec :

$$\lambda_i = \frac{0.05f_{t28}}{5\delta} \quad \text{Pour la déformation instantanée}$$

$$\lambda_v = \frac{0.02f_{t28}}{5\delta} \quad \text{Pour la déformation différée}$$

$$\delta = \frac{A_s}{b_0 d} \quad \text{Pourcentage des armatures}$$

$$\mu = 1 - \frac{1.75 f_{t28}}{4\delta\sigma_s + f_{t28}}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{ser}}{A_s d} \quad \text{Contrainte de traction dans l'armature correspondant au cas de charge étudiée}$$

| Mser<br>(KN.m) | As<br>(cm <sup>2</sup> ) | δ      | σ <sub>s</sub><br>(MPa) | λ <sub>i</sub> | λ <sub>v</sub> | μ     | I <sub>0</sub><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>fi</sub><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>fv</sub><br>(cm <sup>4</sup> ) |
|----------------|--------------------------|--------|-------------------------|----------------|----------------|-------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 17.96          | 6.79                     | 0.0038 | 146.95                  | 5.53           | 2.21           | 0.152 | 73185.07                             | 43738.63                              | 54782.52                              |

$$f_i = \frac{M_{ser} l^2}{10 E_i I_{fi}} = \frac{17.96 \cdot 10^6 \times 6600^2}{10 \times 32164.19 \times 43738.63 \cdot 10^4} = 5.56 \text{ mm}$$

$$f_v = \frac{M_{ser} l^2}{10 E_v I_{fv}} = \frac{17.96 \cdot 10^6 \times 6600^2}{10 \times 10818.87 \times 54782.52 \cdot 10^4} = 13.2 \text{ mm}$$

$$\Delta f_t = f_v - f_i = 13.2 - 5.56 = 7.64 \text{ mm} \leq \bar{f} = 13.2 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{C.V}$$

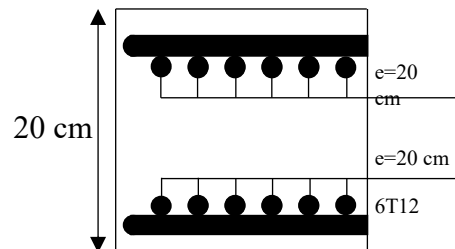


Figure III- 8: Schéma de ferrailage des dalles.

### III.3. Les balcons :

Les balcons sont des éléments des dalles pleines qui sont supposées des plaques horizontales minces en béton armé, dont l'épaisseur est relativement faible par rapport aux autres dimensions. Cette plaque repose sur 1 ou plusieurs appuis, comme elle peut porter dans une ou deux directions.

Dans notre cas les balcons sont réalisés :

- Balcons encastrés sur deux côtés.
- Balcons encastrés sur trois côtés.

#### III.3.1. Etude des balcons :

**Type 1 :** Balcon encastré sur deux côtés :

Le balcon est modélisé comme une dalle encastrée sur deux côtés, pour le calcul on a fait un calcul pour les sollicitations des balcons.

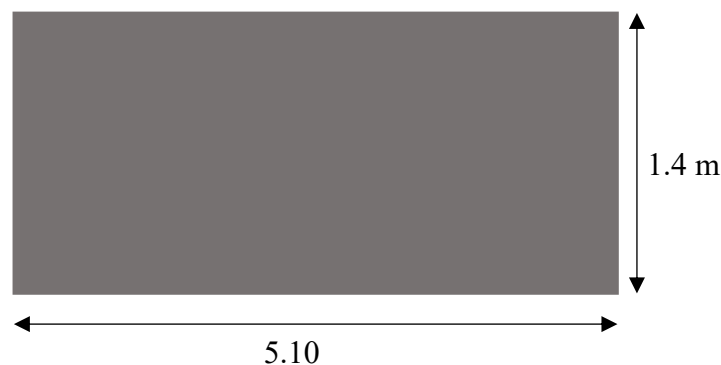


Figure III- 9: Dimension de balcon Type 1.

**a. Evaluation des charges:**

- Le calcul se fait sur une bande de 1 mètre de longueur.
- La charge permanente :  $G = 5.89 \text{ KN/m}^2$
- La charge d'exploitation :  $Q = 3.5 \text{ KN/m}^2$

A.E.L.U:

$$q_u = 1.35G + 1.5Q = 13.20 \text{ KN/ml}$$

$$q_s = G + Q = 9.39 \text{ KN/ml}$$

$$\rho = \frac{Lx}{Ly} = \frac{1.4}{5.1} = 0.27 < 0.4$$

Donc on va ferrailer avec  $A_s^{\min}$ **b. Ferrailage longitudinal des balcons :**

$$B=100 \text{ cm} ; h=17 \text{ cm} ; c=c'=0.1h=1.7 \text{ cm} ; f_e=500\text{MPa} ; f_{c28}=25\text{MPa} ; f_{t28}=2.1\text{MPa} ; f_{bc}=14.2\text{MPa}$$

$$dx = d = h - c = 15.3 \text{ cm}$$

$$d_y = d - \frac{\phi_x}{2} - \frac{\phi_y}{2}$$

 $\phi_x$  : diamètre des armatures sens x-x $\phi_y$  : diamètre des armatures sens y-y

Pour la travée et l'appui on prend :

$$A_{sx} \geq A_s^{\min} = 0.23 \frac{f_{t28}}{f_e} \cdot b \cdot d_x$$

$$A_{sx} \geq 0.23 \frac{2.1}{500} \cdot 100 \times 15.3$$

$$A_{sx} \geq 1.48 \text{ cm}^2$$

$$A_{sx}^{\text{choisie}}(6T14) = 9.24 \text{ cm}^2$$

Soit :  $\phi_y = 14 \text{ mm}$ 

$$d_y = d - \frac{\phi_x}{2} - \frac{\phi_y}{2} = 13.9 \text{ cm}$$

$$A_{sy} \geq A_s^{\min} = 0.23 \frac{f_{t28}}{f_e} \cdot b \cdot d_y$$

$$A_{sy} \geq 0.23 \frac{2.1}{500} \cdot 100 \times 13.9$$

$$A_{sy} \geq 1.34 \text{ cm}^2$$

$$A_{sy}^{\text{choisie}}(6T14) = 9.24 \text{ cm}^2$$

**Espacement en travée :**

Sens x-x :

$$esp = \frac{b}{n_{barres} - 1} = \frac{100}{5} \leq \min(3h ; 33cm) = \min(60 cm ; 33cm)$$

$$esp = 20 cm \leq 33 cm \dots\dots\dots C.V$$

Sens y-y :

$$esp = \frac{b}{n_{barres} - 1} = \frac{100}{5} \leq \min(4h ; 45 cm) = \min(80 cm ; 45 cm)$$

$$esp = 20 cm \leq 45 cm \dots\dots\dots C.V$$

**Espacement en appuis**

Sens x-x :

$$esp = \frac{b}{n_{barres} - 1} = \frac{100}{5} \leq \min(3h ; 33cm) = \min(60 cm ; 33cm)$$

$$esp = 20 cm \leq 33 cm \dots\dots\dots C.V$$

Sens y-y :

$$esp = \frac{b}{n_{barres} - 1} = \frac{100}{5} \leq \min(4h ; 45 cm) = \min(80 cm ; 45 cm)$$

$$esp = 20 cm \leq 45 cm \dots\dots\dots C.V$$

- **Condition non fragilité :**

$$\begin{cases} A_x \geq \rho_0 \frac{(3 - \rho)}{2} b h \\ A_y \geq \rho_0 b h \end{cases}$$

Avec :

$$\begin{cases} \rho_0 = 0.8\text{‰} & \text{por les barres à haute adhérence} \\ \rho = \frac{L_x}{L_y} = \frac{1.4}{5.1} = 0.27 \end{cases}$$

$$\begin{cases} A_x \geq \frac{0.8}{1000} \times \frac{(3 - 0.27)}{2} \times 100 \times 17 = 1.85 cm^2 \\ A_y \geq \frac{0.8}{1000} \times 100 \times 20 = 1.6 cm^2 \end{cases}$$

En travée :

$$\begin{cases} A_x = 9.24 cm^2 \geq 1.85 cm^2 \dots\dots\dots C.V \\ A_y = 9.24 cm^2 \geq 1.6 cm^2 \dots\dots\dots C.V \end{cases}$$

Aux appuis :

$$\begin{cases} A_x = 9.24 cm^2 \geq 1.85 cm^2 \dots\dots\dots C.V \\ A_y = 9.24 cm^2 \geq 1.6 cm^2 \dots\dots\dots C.V \end{cases}$$

**c. Ferrailage transversal des balcons :**

Les armatures transversales ne sont pas nécessaires si la condition suivante est vérifiée :

$$\tau_u = \frac{T_u^{max}}{b d} < \bar{\tau}_u = 0.05 f_{c28}$$

$$T_x = \frac{q_u L_x L_y}{2 L_x + L_y} = \frac{13.2 \times 1.4 \times 5.1}{2 \times 1.4 + 5.1} = 11.93 \text{ KN}$$

$$T_y = \frac{q_u L_x}{3} = \frac{13.2 \times 1.4}{3} = 6.16 \text{ KN}$$

$$T_u^{max} = \max(T_x ; T_y) = 11.93 \text{ kN}$$

$$\tau_u = \frac{11.93 \times 10^3}{1000 \times 153} = 0.08 \text{ MPa} < \bar{\tau}_u = 0.05 f_{c28} = 1.25 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{C.V}$$

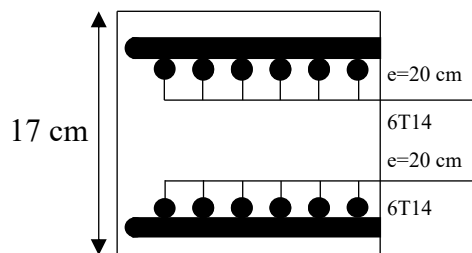


Figure III- 10: Schéma de ferrailage des balcons Type 1.

**Type 2 : Balcon encastré sur trois côtés :**

Le balcon est modélisé comme une dalle encastrée sur deux côtés, pour le calcul on a fait un calcul pour les sollicitations des balcons.

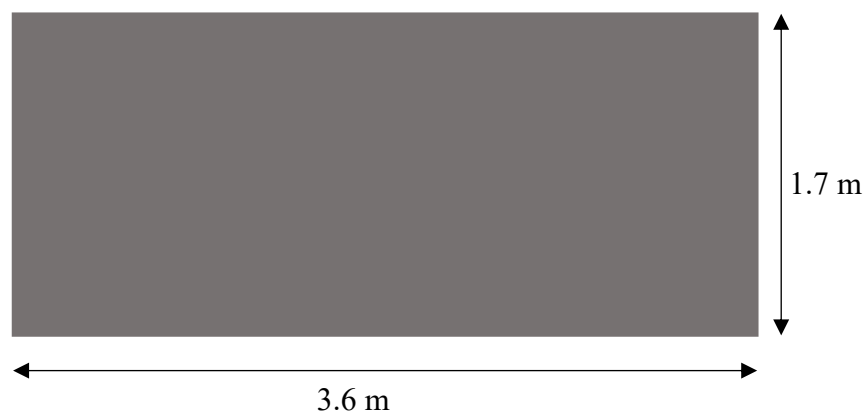


Figure III- 11: Dimension de balcon Type 2.

**a. Evaluation des charges :**

- Le calcul se fait sur une bande de 1 mètre de longueur.
- La charge permanente :  $G = 5.89 \text{ KN/m}^2$
- La charge d'exploitation :  $Q = 3.5 \text{ KN/m}^2$

A.E.L.U :

$$q_u = 1.35G + 1.5Q = 13.20 \text{ KN/ml}$$

$$q_s = G + Q = 9.39 \text{ KN/ml}$$

$$\rho = \frac{Lx}{Ly} = \frac{1.7}{3.6} = 0.47 > 0.4$$

$$\rho = 0.47 \begin{cases} \mu_x = 0.1008 \\ \mu_y = 0.2500 \end{cases}$$

$$M_x = \mu_x q_u l_x^2 = 0.1008 \times 13.2 \times 1.7^2 = 3.85 \text{ KN.m}$$

$$M_y = \mu_y M_x = 0.2500 \times 3.85 = 0.96 \text{ KN.m}$$

Moment en travée :

$$M_{tx} = 0.75M_x = 0.75 \times 3.85 = 2.89 \text{ KN.m}$$

$$M_{ty} = 0.75M_y = 0.75 \times 0.96 = 0.72 \text{ KN.m}$$

Moment sur appuis :

$$M_{ax} = M_{ay} = -0.5M_x = -0.5 \times 3.85 = -1.93 \text{ KN.m}$$

**b. Ferrailage longitudinal des balcons :**

B=100 cm ; h=17 cm ; c=c'=0.1h=1.7 cm ;  $f_{c28}=25\text{MPa}$  ;  $f_{t28}=2.1\text{MPa}$  ;  $f_{bc}=14.2\text{MPa}$   
 $f_e=500\text{MPa}$  [ $\alpha_R = 0.617$  ;  $\mu_R = 0.371$ ]

$$dx = d = h - c = 15.3 \text{ cm}$$

$$d_y = d - \frac{\phi_x}{2} - \frac{\phi_y}{2}$$

 $\phi_x$  : diamètre des armatures sens x-x $\phi_y$  : diamètre des armatures sens y-y

Pour la travée et l'appuis on prend :

$$\phi_x = 12 \text{ mm}$$

$$\phi_y = 12 \text{ mm}$$

$$d_y = d - \frac{\phi_x}{2} - \frac{\phi_y}{2} = 13.9 \text{ cm}$$

Les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau III- 13: Résultat de ferrailage des balcons Type 2.

|        | sens | $M_u$<br>(KN.m) | $\mu$ | $A_s'$<br>(cm <sup>2</sup> ) | $\alpha$ | Z<br>(cm) | $A_s^{cal}$<br>(cm <sup>2</sup> ) | Choix | $A_s^{adp}$<br>(cm <sup>2</sup> ) |
|--------|------|-----------------|-------|------------------------------|----------|-----------|-----------------------------------|-------|-----------------------------------|
| Travée | x-x  | 2.89            | 0.009 | 0                            | 0.011    | 15.23     | 0.44                              | 6T12  | 6.79                              |
|        | y-y  | 0.72            | 0.002 | 0                            | 0.003    | 13.89     | 0.12                              | 6T12  | 6.79                              |
| Appuis | x-x  | 1.93            | 0.006 | 0                            | 0.008    | 15.25     | 0.21                              | 6T12  | 6.79                              |
|        | y-y  |                 | 0.005 |                              | 0.006    | 13.87     | 0.32                              | 6T12  | 6.79                              |



**Espacement en travée**

Sens x-x :

$$esp = \frac{b}{n_{barres} - 1} = \frac{100}{5} \leq \min(3h ; 33cm) = \min(60 cm ; 33cm)$$

$$esp = 20 cm \leq 33 cm \dots\dots\dots C.V$$

Sens y-y :

$$esp = \frac{b}{n_{barres} - 1} = \frac{100}{5} \leq \min(4h ; 45 cm) = \min(80 cm ; 45 cm)$$

$$esp = 20 cm \leq 45 cm \dots\dots\dots C.V$$

**Espacement en appuis**

Sens x-x :

$$esp = \frac{b}{n_{barres} - 1} = \frac{100}{5} \leq \min(3h ; 33cm) = \min(60 cm ; 33cm)$$

$$esp = 20 cm \leq 33 cm \dots\dots\dots C.V$$

Sens y-y :

$$esp = \frac{b}{n_{barres} - 1} = \frac{100}{5} \leq \min(4h ; 45 cm) = \min(80 cm ; 45 cm)$$

$$esp = 20 cm \leq 45 cm \dots\dots\dots C.V$$

- **Condition non fragilité :**

$$\begin{cases} A_x \geq \rho_0 \frac{(3 - \rho)}{2} b h \\ A_y \geq \rho_0 b h \end{cases}$$

Avec :

$$\begin{cases} \rho_0 = 0.8\text{‰} & \text{por les barres à haute adhérence} \\ \rho = \frac{Lx}{Ly} = \frac{6.6}{8} = 0.83 \end{cases}$$

$$\begin{cases} A_x \geq \frac{0.8}{1000} \times \frac{(3 - 0.47)}{2} \times 100 \times 17 = 1.72 cm^2 \\ A_y \geq \frac{0.8}{1000} \times 100 \times 20 = 1.6 cm^2 \end{cases}$$

En travée :

$$\begin{cases} A_x = 6.79 cm^2 \geq 1.72 cm^2 \dots\dots\dots C.V \\ A_y = 6.79 cm^2 \geq 1.6 cm^2 \dots\dots\dots C.V \end{cases}$$

Aux appuis :

$$\begin{cases} A_x = 6.79 cm^2 \geq 1.72 cm^2 \dots\dots\dots C.V \\ A_y = 6.79 cm^2 \geq 1.6 cm^2 \dots\dots\dots C.V \end{cases}$$

**c. Ferrailage transversal des balcons :**

Les armatures transversales ne sont pas nécessaires si la condition suivante est vérifiée :

$$\tau_u = \frac{T_u^{max}}{b d} < \bar{\tau}_u = 0.05 f_{c28}$$

$$T_x = \frac{q_u L_x L_y}{2 L_x + L_y} = \frac{13.2 \times 1.7 \times 3.6}{2 \times 1.7 + 3.6} = 11.54 \text{ KN}$$

$$T_y = \frac{q_u L_x}{3} = \frac{13.2 \times 1.7}{3} = 7.48 \text{ KN}$$

$$T_u^{max} = \max(T_x ; T_y) = 11.54 \text{ kN}$$

$$\tau_u = \frac{11.54 \times 10^3}{1000 \times 153} = 0.08 \text{ MPa} < \bar{\tau}_u = 0.05 f_{c28} = 1.25 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{C.V}$$

**• Vérification à E.L.S :**

$$\rho = 0.47 \begin{cases} \mu_x = 0.1008 \\ \mu_y = 0.2500 \end{cases}$$

$$M_x = \mu_x q_s l_x^2 = 0.1008 \times 9.39 \times 1.7^2 = 2.74 \text{ KN.m}$$

$$M_y = \mu_y M_x = 0.2500 \times 2.74 = 0.69 \text{ KN.m}$$

Moment en travée :

$$M_{tx} = 0.75 M_x = 0.75 \times 2.74 = 2.06 \text{ KN.m}$$

$$M_{ty} = 0.75 M_y = 0.75 \times 0.69 = 0.52 \text{ KN.m}$$

Moment sur appuis :

$$M_{ax} = M_{ay} = -0.5 M_x = -0.5 \times 2.74 = -1.37 \text{ KN.m}$$

**• Vérification des contraintes :**

D'après le **BAEL91 modifié 99** on doit vérifier que :

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I} y \leq \bar{\sigma}_{bc} = 0.6 f_{c28}$$

$$\sigma_s = \eta \frac{M_{ser}}{I} (d - y) \leq \bar{\sigma}_s$$

y : est la solution positive de l'équation suivante :

$$\frac{b}{2} y^2 + \eta A'_s (y - c') - \eta A_s (d - y) = 0$$

Moment d'inertie :

$$I = \frac{b}{3} y^3 + 15 A_s (d - y)^2 + 15 A'_s (y - c)^2$$

Avec :  $\eta = \frac{E_s}{E_b} = 15$  ; b= 100 cm ; c=c'= 0.1h= 1.7 cm

$$d_x = h - c = 15.3 \text{ cm}$$

$$d_y = d_x - \frac{\phi_x}{2} - \frac{\phi_y}{2} = \text{cm}$$

Pour la travée et l'appuis on prend :

$$\phi_x = 12 \text{ mm}$$

$$\phi_y = 12 \text{ mm}$$

$$d_y = d - \frac{\phi_x}{2} - \frac{\phi_y}{2} = 13.9 \text{ cm}$$

Pour le cas de fissuration préjudiciable

$$\bar{\sigma}_s^{F.P} = \min \left( \frac{2}{3} f_e ; \max \left( \frac{f_e}{2} ; 110 \sqrt{\eta \cdot f_{tj}} \right) \right)$$

$\eta = 1.6$  pour les barres H.A

$\eta = 1.0$  pour les rond lisses

$$f_{tj} = 0.6 + 0.06 f_{cj}$$

Pour le cas de fissuration très préjudiciable

$$\bar{\sigma}_s^{T.F.P} = 0.8 \bar{\sigma}_s^{F.P}$$

Dans notre cas on a des fissurations très préjudiciable donc :  $\sigma_s \leq \bar{\sigma}_s^{F.T.P}$

$$\bar{\sigma}_s^{F.P} = 0.8 \min \left( \frac{2}{3} f_e ; \max \left( \frac{f_e}{2} ; 110 \sqrt{\eta \cdot f_{tj}} \right) \right)$$

$$\bar{\sigma}_s^{F.P} = 0.8 \min (333.33 \text{ MPa} ; \max(250 \text{ MPa} ; 201.63 \text{ MPa}))$$

$$\bar{\sigma}_s^{F.P} = 200 \text{ MPa}$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = 0.6 f_{c28} = 0.6 \times 25$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa}$$

Tableau III- 14: Vérification des contraintes des balcons Type 2.

|        | Sens | M <sub>ser</sub><br>(KN.m) | A <sub>s</sub><br>(cm <sup>2</sup> ) | y<br>(cm) | I<br>(cm <sup>4</sup> ) | σ <sub>bc</sub><br>(MPa) | σ <sub>bc</sub><br>≤ σ <sub>bc</sub> | σ <sub>s</sub><br>(MPa) | σ <sub>s</sub><br>≤ σ <sub>s</sub> |
|--------|------|----------------------------|--------------------------------------|-----------|-------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| Travée | x-x  | 2.06                       | 6.79                                 | 4.66      | 14903.55                | 0.64                     | Vérifie                              | 156.48                  | Vérifie                            |
|        | y-y  | 0.72                       | 6.79                                 | 4.4       | 12031.43                | 0.26                     | Vérifie                              | 54                      | Vérifie                            |
| Appuis | x-x  | 1.93                       | 6.79                                 | 4.66      | 14903.55                | 0.6                      | Vérifie                              | 146.61                  | Vérifie                            |
|        | y-y  |                            | 6.79                                 | 4.4       | 12031.43                | 0.71                     | Vérifie                              | 144.77                  | Vérifie                            |

### • Vérification de la flèche

Selon la méthode de BAEL91 la flèche totale est donnée par :

$$\Delta f_t = f_v - f_i$$

$f_i$  : la flèche due aux charge instantanée

$f_v$  : la flèche due aux charges de longue durée

$$\text{Et on a : } \begin{cases} \bar{f} = \frac{L}{500} \dots \dots \dots \text{Si } L \leq 5 \text{ m} \\ \bar{f} = 0,5 + \frac{L}{1000} \dots \dots \dots \text{Si } L > 5 \text{ m} \end{cases}$$

Dans notre cas, cette flèche ne doit pas dépassée  $\bar{f} = \frac{360}{500} = 0.72 \text{ cm}$

D'après le BAEL on a :

$$f_i = \frac{M_{ser} l^2}{10 E_i I_{fi}} \quad \text{et} \quad f_v = \frac{M_{ser} l^2}{10 E_v I_{fv}}$$

$$E_i = 11000 \sqrt[3]{f_{c28}} = 32164.19 \text{ MPa}$$

$$E_i = 3700 \sqrt[3]{f_{c28}} = 10818.87 \text{ MPa}$$

Moment d'inertie de la section homogène  $I_0$  :

$$I_0 = \frac{bh^3}{12} + 15A_s \left(\frac{h}{2} - d\right)^2 + 15A'_s \left(\frac{h}{2} - c\right)^2$$

Calcul des moments d'inertie fictifs :

$$I_{fi} = \frac{1.1I_0}{1+\lambda_i\mu} ; I_{fv} = \frac{I_0}{1+\lambda_v\mu}$$

Avec :

- $\lambda_i = \frac{0.05f_{t28}}{5\delta}$  Pour la déformation instantanée
- $\lambda_v = \frac{0.02f_{t28}}{5\delta}$  Pour la déformation différée
- $\delta = \frac{A_s}{b_0 d}$  Pourcentage des armatures
- $\mu = 1 - \frac{1.75 f_{t28}}{4\delta\sigma_s + f_{t28}}$
- $\sigma_s = \frac{M_{ser}}{A_s d}$  Contrainte de traction dans l'armature correspondant au cas de charge étudiée

| Mser<br>(KN.m) | As<br>(cm <sup>2</sup> ) | $\delta$ | $\sigma_s$<br>(MPa) | $\lambda_i$ | $\lambda_v$ | $\mu$ | $I_0$<br>(cm <sup>4</sup> ) | $I_{fi}$<br>(cm <sup>4</sup> ) | $I_{fv}$<br>(cm <sup>4</sup> ) |
|----------------|--------------------------|----------|---------------------|-------------|-------------|-------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 17.96          | 6.79                     | 0.0038   | 146.95              | 5.53        | 2.21        | 0.152 | 73185.07                    | 43738.63                       | 54782.52                       |

$$f_i = \frac{M_{ser} l^2}{10 E_i I_{fi}} = \frac{17.96 \cdot 10^6 \times 6600^2}{10 \times 32164.19 \times 43738.63 \cdot 10^4} = 5.56 \text{ mm}$$

$$f_v = \frac{M_{ser} l^2}{10 E_v I_{fv}} = \frac{17.96 \cdot 10^6 \times 6600^2}{10 \times 10818.87 \times 54782.52 \cdot 10^4} = 13.2 \text{ mm}$$

$$\Delta f_t = f_v - f_i = 13.2 - 5.56 = 7.64 \text{ mm} \leq \bar{f} = 13.2 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{C.V}$$

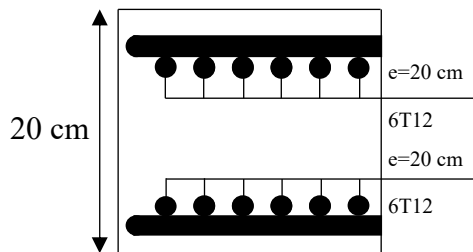


Figure III- 12: Schéma de ferrailage des balcons Type 2.

### III.4. Les escaliers :

Les escaliers sont des éléments secondaires permettant le passage d'un niveau à un autre, constitués d'une dalle inclinée (paillasse), avec des dalles horizontales (palier), ces dernières sont coulées sur place.

Pour notre cas, on a principalement un type d'escalier avec deux volées identiques.

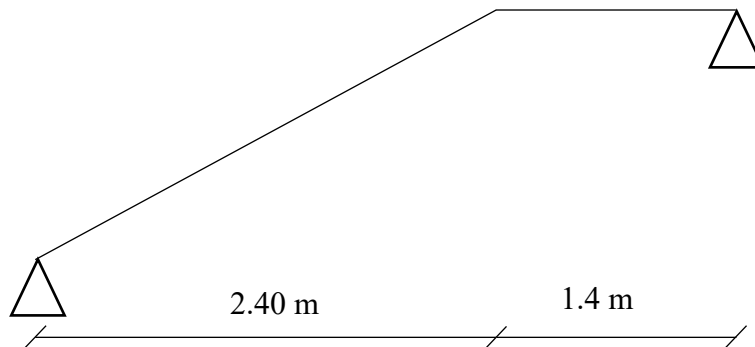


Figure III- 13: Schéma statique de l'escalier.

#### Remarque :

Les calculs sont faits pour une bande de 1 m.

Tableau III- 15: combinaison des charges pour les escaliers.

|                  | <b>G<br/>(KN/m<sup>2</sup>)</b> | <b>Q<br/>(KN/m<sup>2</sup>)</b> | <b>ELU<br/>1,35G+1,5Q</b> | <b>ELS<br/>G+Q</b> |
|------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------------|
| <b>Palier</b>    | 5.53                            | 2.5                             | 11.22                     | 8.03               |
| <b>Paillasse</b> | 7.655                           | 2.5                             | 14.08                     | 10.16              |

Calcul de  $L_p$  :  $L_p = \frac{2.40}{\sin(30)} = 2.77 \text{ m}$

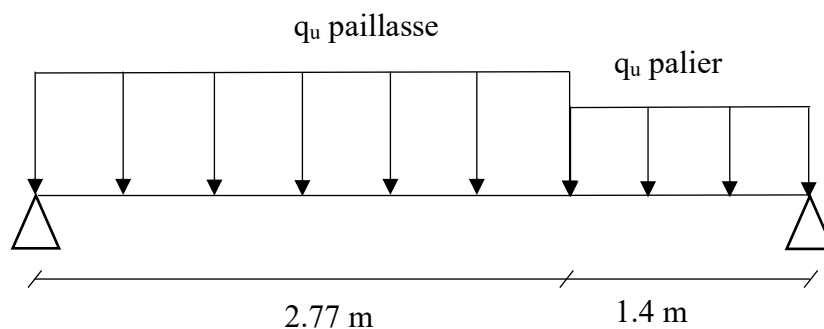


Figure III- 14: Distribution des charges des escaliers.

**III.4.1. Calcul des sollicitations :**

La charge équivalente :

$$G_{eq} = \frac{\Sigma G \times L_i}{\Sigma L_i}$$

$$G_{eq} = \frac{14.08 \times 2.77 + 11.22 \times 1.4}{2.77 + 1.4} = 13.11 \text{ KN/ml}$$

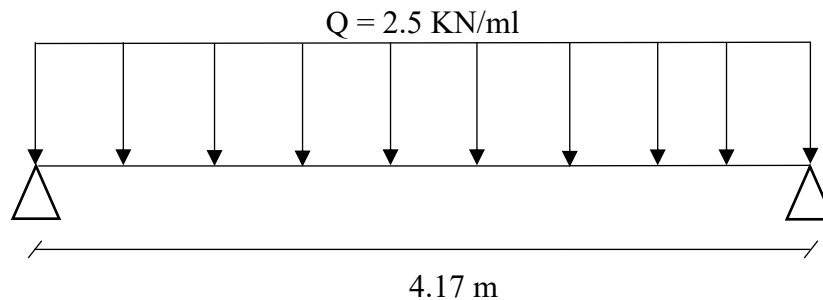


Figure III- 15: La charge équivalente des escaliers.

**III.4.1.1. Les combinaisons des charges :**

E.L.U :

$$q_u = 1,35G_{eq} + 1,5Q = 1,35 \times 13.11 + 1,5 \times 2.5 = 21.45 \text{ KN/ml}$$

E.L.S :

$$q_u = G_{eq} + Q = 13.11 + 2.5 = 15.61 \text{ KN/ml}$$

**III.4.1.2. Sollicitation de calcul de l'escalier :**

E.L.U :

$$\text{Moment isostatique : } M_{0u} = \frac{q_u l^2}{8} = \frac{21.45 \times 4.17^2}{8} = 46.62 \text{ KN.m}$$

$$\text{Moment sur appui : } M_{au} = 0,5M_{0u} = -0,5 \times 46.62 = -23.31 \text{ KN.m}$$

$$\text{Moment en travée : } M_{tu} = 0,85M_{0u} = 0,85 \times 46.62 = 39.63 \text{ KN.m}$$

E.L.S :

$$\text{Moment isostatique : } M_{0s} = \frac{q_s l^2}{8} = \frac{15.61 \times 4.17^2}{8} = 33.93 \text{ KN.m}$$

$$\text{Moment sur appui : } M_{as} = -0,5M_{0s} = -0,5 \times 33.93 = -16.97 \text{ KN.m}$$

$$\text{Moment en travée : } M_{ts} = 0,85M_{0s} = 0,85 \times 33.93 = 28.84 \text{ KN.m}$$

**III.4.2. Calcul du ferrailage :****III.4.2.1. Les armatures longitudinales :**

Le calcul des armatures se fera à la flexion simple pour une bande de 1 m, la section du béton est  $(b \times h) = (100 \times 17) \text{ cm}^2$

On a :  $d = 0,9h = 0,9 \times 17 = 15,3 \text{ cm}$

Tableau III- 16: Différents coefficients pour le calcul de ferrailage des escaliers.

| $f_{c28} \text{ (MPa)}$ | <b>B (cm)</b> | $f_{t28} \text{ (MPa)}$ | $\gamma_b$ | $\gamma_s$ | <b>d (cm)</b> | $f_{bc} \text{ (MPa)}$ | $f_e \text{ (MPa)}$ |
|-------------------------|---------------|-------------------------|------------|------------|---------------|------------------------|---------------------|
| 25                      | 100           | 2,1                     | 1,5        | 1,15       | 15,3          | 14,2                   | 500                 |

Pour le calcul on utilise les formules suivantes :

$$\mu_{bu} = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}} ; \quad \alpha = 1,25 \left( 1 - \sqrt{1 - 2\mu_{bu}} \right) ; \quad Z = d(1 - 0,4\alpha)$$

$$A_s = \frac{M_u}{Z \times \sigma_s} ; \quad \mu_R = 0,371$$

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III- 17: resultat de ferrailage des escaliers.

| Section       | $M_U \text{ (KN.m)}$ | $\mu_u$ | $\mu_u \leq \mu_R$ | $A_s' \text{ /ml (cm}^2\text{)}$ | $\alpha$ | <b>Z (cm)</b> | $A_s \text{ /ml (cm}^2\text{)}$ | $A_s^{adp} \text{ /ml (cm}^2\text{)}$ |
|---------------|----------------------|---------|--------------------|----------------------------------|----------|---------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Travée</b> | 39.63                | 0.119   | Oui                | 0                                | 0.159    | 14.33         | 6.36                            | 6T12 = 6.79                           |
| <b>Appuis</b> | 23.31                | 0.07    | Oui                | 0                                | 0.091    | 14.74         | 3.64                            | 6T12 = 6.79                           |

**III.4.2.2. Armatures de répartition :**

$$\frac{A_s}{4} \leq A_r \leq \frac{A_s}{2}$$

Tableau III- 18: Les résultats du calcul de ferrailage des armatures de répartition des escaliers.

| Section       | $\frac{A_s}{4} \text{ (cm}^2\text{)}$ | $A_r \text{ (cm}^2\text{)}$ | $\frac{A_s}{2} \text{ (cm}^2\text{)}$ |
|---------------|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| <b>Travée</b> | 3.01                                  | 4T12 = 4.52                 | 6.03                                  |
| <b>Appuis</b> | 2.01                                  | 3T10 = 2.36                 | 4.02                                  |

**Espacement maximal :**

$$S_t \leq \min \left( \frac{100}{n_{barres}-1}; 33 \text{ cm} \right)$$

En travée :

$$S_t \leq \min \left( \frac{100}{6-1}; 33 \text{ cm} \right) = \min(20 \text{ cm}; 33 \text{ cm})$$

$$S_t = 20 \text{ cm}$$

Sur appui :

$$S_t \leq \min\left(\frac{100}{4-1}; 33 \text{ cm}\right) = \min(33.33 \text{ cm}; 33 \text{ cm})$$

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

- **Vérification de la condition de non fragilité :**

$$A_s^{min} = 0,23 \times \frac{f_{t28}}{f_e} \times b \times d = 0,23 \times \frac{2,1}{500} \times 100 \times 15,3 = 1,48 \text{ cm}^2$$

En travée :

$$A_s^{min} = 1,48 \text{ cm}^2 \leq A_s = 9,24 \text{ cm}^2 \dots\dots\dots C.V$$

En appui :

$$A_s^{min} = 1,48 \text{ cm}^2 \leq A_s = 8,04 \text{ cm}^2 \dots\dots\dots C.V$$

- **Vérification de la contrainte tangentielle à l'E.L.U :**

Il faut que :

$$\tau_u \leq \bar{\tau}$$

La fissuration est considérée préjudiciable donc :

$$\bar{\tau} = \min\left(0,15 \frac{f_{c28}}{\gamma_b}; 4 \text{ MPa}\right) = \min\left(0,15 \times \frac{25}{1,5}; 4 \text{ MPa}\right) \Rightarrow \bar{\tau} = 2,5 \text{ MPa}$$

$$\tau_u = \frac{V_u}{b_0 \times d};$$

$V_u$  est l'effort tranchant maximal sur appui.

$$V_u = \frac{q_u l}{2} = \frac{21,45 \times 4,17}{2} = 44,72 \text{ KN}$$

$$\tau_u = \frac{V_u}{b_0 \times d} = \frac{44,72 \times 10^3}{1000 \times 153} = 0,29 \text{ MPa}$$

$$\tau_u = 0,29 \text{ MPa} \leq \bar{\tau} = 2,5 \text{ MPa} \dots\dots\dots C.V$$

- **Influence de l'effort tranchant au voisinage des appuis**

Les armatures longitudinales tendues inférieures doivent être encrée au-delà de l'appui, pour équilibrer l'effort de traction

$$- \text{ Si } T_u - \frac{M_u}{0,9 d} < 0 : \text{ les armatures ne sont soumises à aucun effort de traction}$$

$$- \text{ Si } T_u - \frac{M_u}{0,9 d} > 0 : \text{ il faut satisfaire la condition suivante : } A_s \geq \frac{T_u \frac{M_u}{0,9 d}}{\sigma_s}$$

$$- \quad T_u - \frac{M_u}{0,9 d} = 44,72 - \frac{39,63}{0,9 \times 0,153} = -243,08 \text{ KN} < 0$$

Donc les armatures ne sont soumises à aucun effort de traction

- **Vérification des armatures transversales :**

$$\tau_u = \frac{V_u}{b d} = \frac{44,72 \times 10^3}{1000 \times 153} = 0,29 \text{ MPa} < 0,05 f_{c28} = 0,05 \times 25 = 1,25 \text{ MPa} \dots\dots\dots C.V$$

Donc les armatures transversales ne sont pas nécessaires.



- **Vérification des contraintes de béton à E.L.S :**

Vérification des contraintes du béton :

$$\sigma_{bc} \leq \overline{\sigma}_{bc}$$

Avec :

$$\overline{\sigma}_{bc} = 0.6f_{c28}$$

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I} y$$

M<sub>ser</sub> : moment à E.L.S

I : moment d'inertie

Position de l'axe neutre :

$$\frac{b}{2}y^2 + \eta A'_s(y - c') - \eta A_s(d - y) = 0$$

$$\text{Avec : } \eta = \frac{E_s}{E_b} = 15 ; b = 100 \text{ cm} ; c = c' = 0.1h = 1.7 \text{ cm}$$

$$\frac{100}{2}y^2 + 0 - 15 \times 12.06 (15.3 - y) = 0$$

$$50y^2 + 180.9y - 2767.77 = 0$$

$$y^2 + 3.618y - 55.3554 = 0$$

$$y_1 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-3.618 - \sqrt{3.618^2 - 4(1)(-55.3554)}}{2} = -9.46 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{refusé}$$

$$y_2 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-3.618 + \sqrt{3.618^2 - 4(1)(-55.3554)}}{2} = 5.85 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{accepté}$$

Moment d'inertie :

$$I = \frac{b}{3}y^3 + 15A_s(d - y)^2 + 15A'_s(y - c)^2$$

$$I = \frac{100}{3} \times 5.85^3 + 15 \times 12.06(15.3 - 5.85)^2 + 0$$

$$I = 22828.21 \text{ cm}^4$$

$$\overline{\sigma}_{bc} = 0.6f_{c28} = 0.6 \times 25 = 15 \text{ MPa}$$

Tableau III- 19: Vérification de contrainte du béton des escaliers.

|        | M <sub>ser</sub><br>(KN.m) | y<br>(cm) | I<br>(cm <sup>4</sup> ) | σ <sub>bc</sub> | σ̄ <sub>bc</sub> | Vérification |
|--------|----------------------------|-----------|-------------------------|-----------------|------------------|--------------|
| Travée | 28.84                      | 5.85      | 22828.21                | 7.39            | 15               | Vérifie      |
| Appuis | 16.97                      | 5.85      | 22828.21                | 4.35            | 15               | Vérifie      |

Contraintes dans les aciers tendus :

$$\sigma_s \leq \overline{\sigma}_s$$

Avec :

$$\sigma_s = \eta \frac{M_{ser}}{I} (d - x)$$

Pour le cas de fissuration préjudiciable

$$\overline{\sigma}_s^{F.P} = \min \left( \frac{2}{3} f_e ; \max \left( \frac{f_e}{2} ; 110 \sqrt{\eta \cdot f_{tj}} \right) \right)$$

η = 1.6 pour les barres H.A

η = 1.0 pour les rond lisses

$$f_{tj} = 0.6 + 0.06f_{cj}$$

Pour le cas de fissuration très préjudiciable

$$\bar{\sigma}_s^{T.F.P} = 0.8 \bar{\sigma}_s^{F.P}$$

Dans notre cas on a des fissurations préjudiciables donc :  $\sigma_s \leq \bar{\sigma}_s^{F.T.P}$

$$\sigma_s = \eta \frac{M_{ser}}{I} (d - x) = \sigma_s = 15 \times \frac{28.84 \cdot 10^6}{22828.21 \cdot 10^4} (153 - 58.5) = 179.08 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_s^{F.T.P} &= 0.8 \min \left( \frac{2}{3} f_e ; \max \left( \frac{f_e}{2} ; 110 \sqrt{\eta \cdot f_{tj}} \right) \right) \\ \bar{\sigma}_s^{F.T.P} &= 0.8 \min \left( \frac{2}{3} 500 ; \max \left( \frac{500}{2} ; 110 \sqrt{1.6 \times (0.6 + 0.06 \times 25)} \right) \right) \\ \bar{\sigma}_s^{F.T.P} &= 0.8 \min (333.33 \text{ MPa} ; \max(250 \text{ MPa} ; 201.63 \text{ MPa})) \\ \bar{\sigma}_s^{F.P} &= 200 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sigma_s = 179.08 \text{ MPa} \leq \bar{\sigma}_s = 200 \text{ MPa} \dots\dots\dots C.V$$

• **Vérification de la flèche :**

Il faut vérifier que :

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{h}{l} &\geq \frac{1}{16} \rightarrow \frac{17}{402} = 0.042 \geq 0.0625 \dots\dots\dots C.N.V \\ \frac{h}{l} &\geq \frac{M_t}{10 M_0} \rightarrow \frac{17}{402} = 0.042 \geq \frac{26.94}{10 \times 31.69} = 0.085 \dots\dots\dots C.N.V \\ \frac{A_s}{b \cdot d} &\leq \frac{4.2}{f_e} \rightarrow \frac{924}{1000 \times 153} = 0.006 \leq \frac{4.2}{500} = 0.0084 \dots\dots\dots C.V \end{aligned} \right.$$

Les deux premières conditions ne sont pas vérifiées alors le calcul de la flèche s'imposera.

c. **Calcul de la flèche :**

Selon la méthode de BAEL91 la flèche totale est donnée par :

$$\Delta f_t = f_v - f_i$$

$f_i$  : la flèche due aux charge instantanée

$f_v$  : la flèche due aux charges de longue durée

$$\text{Et on à : } \begin{cases} \bar{f} = \frac{L}{500} \dots\dots\dots Si L \leq 5 \text{ m} \\ \bar{f} = 0.5 + \frac{L}{1000} \dots\dots\dots Si L > 5 \text{ m} \end{cases}$$

Dans notre cas, cette flèche ne doit pas dépassée  $\bar{f} = \frac{L}{500} = 0.804 \text{ cm}$

D'après le BAEL on à :

$$\begin{aligned} f_i &= \frac{M_{ser} l^2}{10 E_i I_{fi}} \quad \text{et} \quad f_v = \frac{M_{ser} l^2}{10 E_v I_{fv}} \\ E_i &= 11000 \sqrt[3]{f_{c28}} = 32164.19 \text{ MPa} \\ E_v &= 3700 \sqrt[3]{f_{c28}} = 10818.87 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Moment d'inertie de la section homogène  $I_0$  :

$$I_0 = \frac{b h^3}{12} + 15 A_s \left( \frac{h}{2} - d \right)^2 + 15 A'_s \left( \frac{h}{2} - d \right)^2$$

$$I_0 = \frac{100 \times 17^3}{12} + 15 \times 12.06 \times \left(\frac{17}{2} - 15.3\right)^2$$

$$I_0 = 57267.89 \text{ cm}^4$$

Avec :

Calcul des moments d'inertie fictifs :

$$I_{fi} = \frac{1.1I_0}{1+\lambda_i\mu} ; I_{fv} = \frac{I_0}{1+\lambda_v\mu}$$

Avec :

- $\lambda_i = \frac{0.05f_{t28}}{5\delta}$  Pour la déformation instantanée
- $\lambda_v = \frac{0.02f_{t28}}{5\delta}$  Pour la déformation différée
- $\delta = \frac{A_s}{b d}$  Pourcentage des armatures
- $\mu = 1 - \frac{1.75 f_{t28}}{4\delta\sigma_s + f_{t28}}$
- $\sigma_s = \frac{M_{ser}}{A_s d}$  Contrainte de traction dans l'armature correspondant au cas de charge étudiée

| Mser<br>(KN.m) | As<br>(cm <sup>2</sup> ) | δ      | σ <sub>s</sub><br>(MPa) | λ <sub>i</sub> | λ <sub>v</sub> | μ     | I <sub>0</sub><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>fi</sub><br>(cm <sup>4</sup> ) | I <sub>fv</sub><br>(cm <sup>4</sup> ) |
|----------------|--------------------------|--------|-------------------------|----------------|----------------|-------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 28.84          | 12.06                    | 0.0067 | 132.85                  | 3.13           | 1.25           | 0.351 | 57267.89                             | 30017.05                              | 39803.05                              |

**d. Calcul de la flèche due aux déformations instantanées :**

$$f_i = \frac{M_{ser} L^2}{10 E_i I_{fi}} = \frac{28.84 \cdot 10^6 \times (4.17 \cdot 10^3)^2}{10 \times 32164.19 \times 30017.05 \cdot 10^4} = 5.19 \text{ mm}$$

**e. Calcul de la flèche due aux déformations différées :**

$$f_v = \frac{M_{ser} L^2}{10 E_v I_{fv}} = \frac{28.84 \cdot 10^6 \times (4.17 \cdot 10^3)^2}{10 \times 10818.87 \times 39803.05 \cdot 10^4} = 11.65 \text{ mm}$$

On a  $L = 4.17 \text{ m} \leq 5 \text{ m} \rightarrow \bar{f} = \frac{417}{500} = 0.834 \text{ cm} = 8.34 \text{ mm}$

$$\Delta f = f_v - f_i = 11.65 - 5.19 = 6.46 \text{ mm} \leq \bar{f} = 8.34 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{C.V}$$

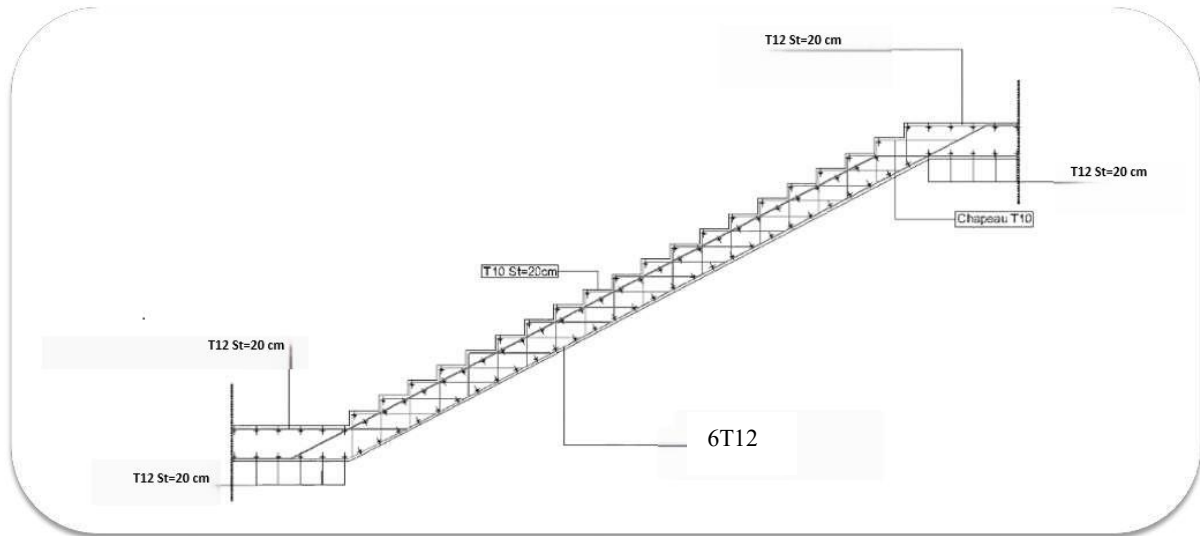


Figure III- 16: Schéma ferrailage de l'escalier.

**Remarque :**

Le ferrailage des poutres palières va être calculer avec les poutres dans le chapitre ferrailages des éléments résistants.

**Conclusion :**

Le but de cette partie est la détermination des sections d'acier nécessaire pour reprendre les charges revenant aux éléments secondaires. Avec toutes les vérifications nécessaires tout en respectant les règles données par le BAEL91/99, le RPA 2024 et le RPA99/2003.

# *CHAPITRE IV*

## *Etude aux séismes*





### IV.1. Introduction

Une fois les charges et surcharge sont connues, il est par conséquent possible de déterminer les sollicitations (efforts normaux, efforts tranchants et moments fléchissant) les plus défavorables agissant sur les différents éléments constituant cette structure (poteaux, poutres, voiles...) lors d'un séisme ceci implique de faire une étude parasismique pour essayer de mettre en exergue le comportement dynamique de la structure.

Une démarche globale de conception parasismique dans la construction doit être mise en place pour la détermination des forces sismiques qui peut se faire par trois méthodes de calcul dont le choix est en fonction à la fois du type de la structure et la nature de l'excitation dynamique :

- Méthode statique équivalente
- Méthode d'analyse modale spectrale
- Méthode d'analyse par accélérogrammes

Elles doivent respecter les points suivants :

- Conception architecturale parasismique
- Mise en œuvre soignée de la structure
- Respecter la réglementation parasismique

### IV.2. Objectif de l'étude aux séismes

Le calcul parasismique a pour but d'estimer des valeurs caractéristiques les plus défavorables de la réponse sismique et le dimensionnement des éléments résistants afin d'obtenir une sécurité jugée satisfaite pour l'ensemble de la structure.

L'étude dynamique d'une structure telle qu'elle se présente, est souvent très complexe à cause du nombre de fonctions et éléments existants dans une structure. C'est pour cela qu'on fait souvent appel à des méthodes de modélisation permettant de simplifier suffisamment le problème pour pouvoir l'étudier et l'analyser.

### IV.3. Choix de la méthode de calcul

L'analyse d'une structure peut se faire à l'aide de deux principales méthodes. Le choix de la méthode dépend du type de la structure et ses dimensions :

- La méthode statique équivalente.
- La méthode d'analyse modale spectrale.

#### IV.3.1. Méthode statique équivalente

L'utilisation de la méthode statique équivalente n'est pas possible que si l'ouvrage remplit les conditions de son application, présentées dans le RPA99/2003 et le RPA 2024 (l'article 4.1.2).

Concernant l'ouvrage faisant l'objet de cette étude, les conditions d'application de la méthode statique équivalente n'étant pas remplies vu l'irrégularité de la structure et la hauteur dépassant 30m selon les deux règlements, donc nous utiliserons la méthode d'analyse modale spectrale.

Cette dernière peut être utilisée dans tous les cas, et en particulier, dans le cas où la méthode statique équivalente n'est pas vérifiée.

**Remarque :**

Dans le cas où la méthode équivalente statique n'est pas applicable on fait l'analyse modale spectrale pour extraire les efforts et faire les vérifications modales ensuite vérifier avec la méthode statique équivalente et faut que les résultats dépassent le 80% de la valeur d'effort donné par la méthode statique équivalente.

**IV.3.2. Méthode dynamique modale spectrale**

Par cette méthode générale, il est recherché, pour chaque mode de vibration, le maximum des effets engendrés, dans la structure, par les forces sismiques représentées par un spectre de réponse de calcul. Ces effets sont, par la suite, combinés pour obtenir la réponse de la structure.

Il y a lieu de rappeler que la direction d'un séisme est aléatoire et que par conséquent il convient d'analyser une structure sous les deux composantes horizontales orthogonales d'un séisme agissant suivant les deux directions principales de celle-ci.

L'analyse spectrale permet d'avoir :

- Pour chaque mode propre : la période, les facteurs des participations massique.
- Pour chaque direction : déplacement, réactions et efforts correspondants à chacun des modes propres.

**IV.4. La modélisation**

Le modèle de la structure à utiliser doit représenter au mieux les distributions des rigidités et des masses de façon à prendre en compte tous les modes de déformations significatifs dans le calcul des forces d'inerties sismiques, donc la modélisation se base essentiellement sur quatre critères propres à la structure et au site d'implantation :

- La régularité en plan.
- La rigidité ou non des planchers.
- Le nombre de degrés de liberté des masses concentrées.
- La déformabilité du sol de fondation.

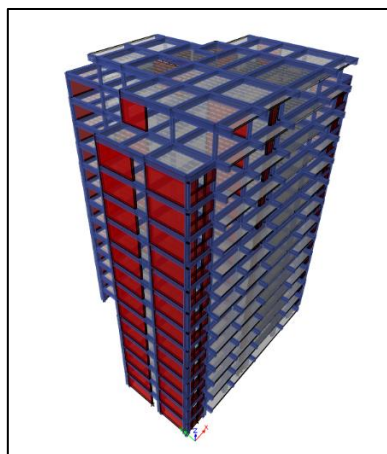


Figure IV- 1:Modèle Etabs 3D de la superstructure.

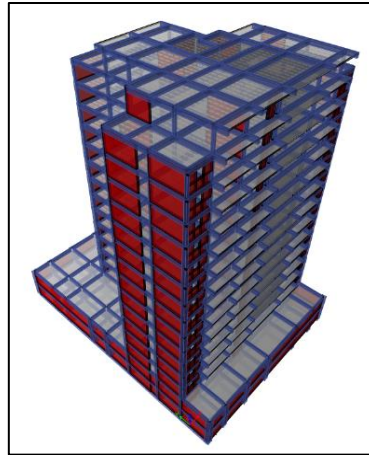


Figure IV- 2: Modèle Etabs 3D de l'infrastructure.

#### IV.4.1. Détermination des paramètres du spectre de réponse selon le RPA99/2003 :

##### IV.4.1.1. Etude dynamique

- Coefficient d'accélération de la zone A :

Classification des ouvrages selon leur importance

Tableau IV- 1: Classification des ouvrages RPA99/2003.

| Groupe | Classification des ouvrages selon leur importance                                                                     |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1A     | Ouvrage d'importance vitale : Centres de décisions stratégiques, Bâtiments de sécurité et les hôpitaux                |
| 1B     | Ouvrages de grande importance : Scolaire, culture, Bâtiments dont la hauteur dépasse 48 m.                            |
| 2      | Ouvrages courants ou d'importance moyenne : Bâtiments d'habitation et de bureaux dont la hauteur ne dépasse pas 48 m. |
| 3      | Ouvrages de faible importance : Bâtiments industriels ou agricoles                                                    |

| Groupe | Zone I | Zone IIa | Zone IIb | Zone III |
|--------|--------|----------|----------|----------|
| 1A     | 0.15   | 0.25     | 0.30     | 0.40     |
| 1B     | 0.12   | 0.20     | 0.25     | 0.30     |
| 2      | 0.10   | 0.15     | 0.20     | 0.25     |
| 3      | 0.07   | 0.10     | 0.14     | 0.18     |

La structure est implantée dans la zone sismique III et le groupe d'usage 2 donc : **A=0,25**



- **Coefficient de comportement R de la structure :**

Tableau IV- 2: Coefficient de comportement R RPA99/2003.

| Valeur du coefficient de comportement R |                                                              |             |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------|
| Catégorie                               | Description du système de contreventement                    | Valeur de R |
| <b>A. Béton Armé</b>                    |                                                              |             |
| <b>1A</b>                               | Portiques autostables sans remplissages en maçonnerie rigide | <b>5</b>    |
| <b>1B</b>                               | Portiques autostables avec remplissages en maçonnerie rigide | <b>3.5</b>  |
| <b>2</b>                                | Voiles porteurs                                              | <b>3.5</b>  |
| <b>3</b>                                | Noyau                                                        | <b>3.5</b>  |
| <b>4a</b>                               | Mixte portiques/voiles avec interaction                      | <b>5</b>    |
| <b>4B</b>                               | Portiques contreventés par des voiles                        | <b>4</b>    |
| <b>5</b>                                | Console verticale à masses réparties                         | <b>2</b>    |
| <b>6</b>                                | Pendule inverse                                              | <b>2</b>    |

Coefficient de comportement **R= 5**

| Valeur de % ) |            |       |                                                                    |
|---------------|------------|-------|--------------------------------------------------------------------|
| Remplissage   | Portique   |       | Voiles ou murs                                                     |
|               | Béton armé | Acier | Béton armé/Maçonnerie                                              |
| <b>Léger</b>  | 6          | 14    | Portiques autostables en béton armé sans remplissage en maçonnerie |
| <b>Dense</b>  | 7          | 5     |                                                                    |

**2**

Portiques autostables en acier sans remplissage en maçonnerie

- **Pourcentage d'amortissement critique  $\zeta = 7\%$**  Portiques autostables en béton armé ou en acier avec remplissage en maçonnerie
- **Facteur de correction d'amortissement  $\eta = \sqrt{7/(2+\zeta)}$   $\eta = 0,88$**

| Site            | S1   | S2   | Contreventement assuré partiellement ou totalement en béton armé, des palées triangulées et des murs en maçonnerie |      |
|-----------------|------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
|                 |      |      | S3                                                                                                                 | S4   |
| <b>T2 (sec)</b> | 0.30 | 0.40 | 0.50                                                                                                               | 0.70 |

Période caractéristique associée au site  $T_1 = 0.15\text{sec}$  et  $T_2 = 0,5\text{sec}$  (site 3).

| Groupe   | Système de contreventement                                                                                                        | Ct    |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>1</b> | Portiques autostables en béton armé sans remplissage en maçonnerie                                                                | 0.075 |
| <b>2</b> | Portiques autostables en acier sans remplissage en maçonnerie                                                                     | 0.085 |
| <b>3</b> | Portiques autostables en béton armé ou en acier avec remplissage en maçonnerie                                                    | 0.050 |
| <b>4</b> | Contreventement assuré partiellement ou totalement par des voiles en béton armé, des palées triangulées et des murs en maçonnerie | 0.050 |

Coefficient fonction du système de contreventement : **C<sub>T</sub>=0,05.**

- **Facteur de qualité Q**

Il est en fonction de :

| Critère q                                             | P <sub>q</sub> |             |           |             |
|-------------------------------------------------------|----------------|-------------|-----------|-------------|
|                                                       | suivant x      |             | suivant y |             |
|                                                       | Observé        | Non observé | Observé   | Non observé |
| 1.condition minimale sur les files de contreventement | 0              | -           | 0         | -           |
| 2.redondances en plan                                 | 0              | -           | 0         | -           |
| 3.régularité en plan                                  | -              | 0.05        | 0         | 0.05        |
| 4.régularité en élévation                             | 0              | -           | 0         | -           |
| 5.contrôle de la qualité des matériaux                | 0              | -           | 0         | -           |
| 6. Contrôle de qualité de l'exécution                 | 0              | -           | 0         | -           |
| Totale                                                | 0.05           |             | 0.05      |             |

L'article 3.5.1.a3 n'est pas vérifié.

$$Q = 1 + \sum_1^6 P_q = 1.05 \quad (4.4)$$

#### A) Le modèle initial :

Tout d'abord on doit modéliser un modèle initial constitué de poteaux, poutres et plancher sans aucun contreventement, ensuite charger le modèle avec les charges permanentes G et les charges d'exploitations Q selon l'usage d'habitation, et lancer l'analyse pour avoir un aperçu du comportement de la structure et sa période en augmentant la force sismique.

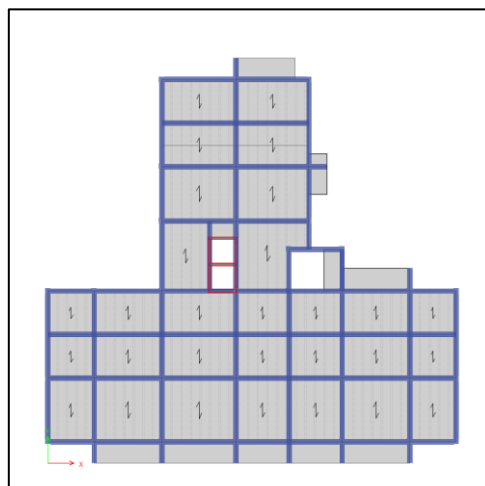


Figure IV- 3: Vue en plan du modèle initial.

Tableau IV- 3: Les sections de poteaux adopté pour le modèle initial.

| Etages                             | Sections des poteaux(cm <sup>2</sup> ) |
|------------------------------------|----------------------------------------|
| 13 <sup>eme</sup>                  | 30x30                                  |
| 12 <sup>eme</sup>                  | 35x35                                  |
| 11 <sup>eme</sup>                  | 40x40                                  |
| 10 <sup>eme</sup>                  | 45x45                                  |
| 9 <sup>eme</sup>                   | 50x50                                  |
| 8 <sup>eme</sup>                   | 55x55                                  |
| 6 <sup>eme</sup> /7 <sup>eme</sup> | 60x60                                  |
| 5 <sup>eme</sup>                   | 65x65                                  |
| 4 <sup>eme</sup>                   | 70x70                                  |
| 3 <sup>eme</sup>                   | 75x75                                  |
| 1 <sup>er</sup> /2 <sup>eme</sup>  | 80x80                                  |
| RDC                                | 85x85                                  |

Les valeurs du spectre du reponse sont:

|       |       |
|-------|-------|
| 0.000 | 0.313 |
| 0.010 | 0.301 |
| 0.020 | 0.290 |
| 0.030 | 0.279 |
| 0.040 | 0.268 |
| 0.050 | 0.257 |
| 0.060 | 0.245 |
| 0.070 | 0.234 |
| 0.080 | 0.223 |
| 0.090 | 0.212 |
| 0.100 | 0.201 |
| 0.110 | 0.189 |
| 0.120 | 0.178 |
| 0.130 | 0.167 |

\Coef. d'accélération de zone:  
 A = 0.25  
 \Facteur de qualité:  
 Q = 1.05  
 \Coef. de comportement:  
 R = 5.00  
 \Période caractéristique 1:  
 T1 = 0.15  
 \Période caractéristique 2:  
 T2 = 0.50  
 \Pourcentage d'amortissement critique:  
 $\xi$  = 7.00  
 \Facteur de correction d'amortissement:  
 $\eta$  = 0.88

Zone:   
 Zone III: Sismicité élevée

Group d'usage:   
 2: Ouvrages courants ou d'importa

Site:   
 S3: Site meuble

Matériau constitutif:   
 Portiques: Béton armé (Dense)

Facteur de qualité:   
 1.05

Système de contreventement:   
 Béton armé: Portiques autostables

Figure IV- 4: Paramètres du spectre de réponse du Modèle initial.

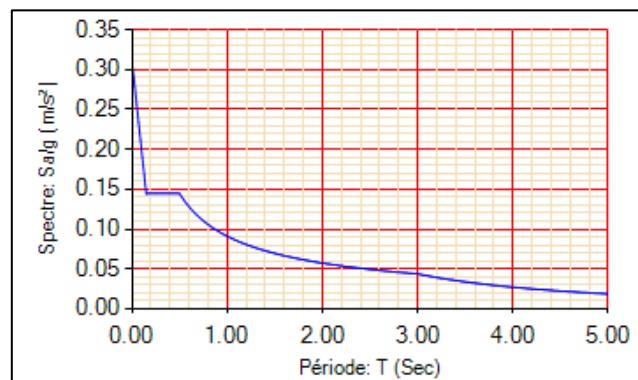
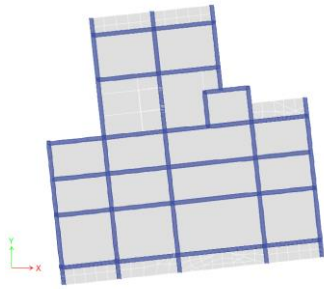
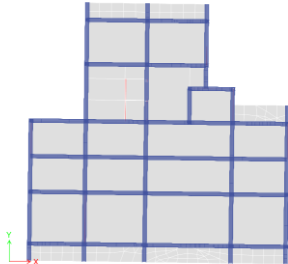
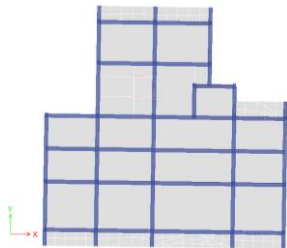


Figure IV- 5: Diagramme du spectre intégré dans le modèle initial.

- **Analyse modale :**

Tableau IV- 4: Périodes de l'analyse modale du modèle initial.

| Mode | Case  | Period (sc) | Facteur de participation massique (%) |        |      |          |          | Vibration Mode |
|------|-------|-------------|---------------------------------------|--------|------|----------|----------|----------------|
|      |       |             | Ux %                                  | Uy %   | RZ % | Sum Ux % | Sum Uy % |                |
| 1    | Modal | 1.349       | 0.1645                                | 0.1718 | 0    | 0.1645   | 0.1718   | Translation    |
| 2    | Modal | 1.259       | 0.525                                 | 0.13   | 0    | 0.6896   | 0.3019   | Translation    |
| 3    | Modal | 1.108       | 0.0215                                | 0.3739 | 0    | 0.7111   | 0.6758   | Torsion        |
| 4    | Modal | 0.493       | 0.0034                                | 0.0328 | 0    | 0.7145   | 0.7086   |                |
| 5    | Modal | 0.453       | 0.1228                                | 0.0024 | 0    | 0.8373   | 0.711    |                |
| 6    | Modal | 0.364       | 0.0005                                | 0.1239 | 0    | 0.8378   | 0.835    |                |
| 7    | Modal | 0.283       | 0.0003                                | 0.0122 | 0    | 0.838    | 0.8472   |                |
| 8    | Modal | 0.233       | 0.0485                                | 0.0004 | 0    | 0.8865   | 0.8475   |                |
| 9    | Modal | 0.208       | 0.0075                                | 0.0021 | 0    | 0.894    | 0.8497   |                |
| 10   | Modal | 0.174       | 1.824E-06                             | 0.0579 | 0    | 0.894    | 0.9076   |                |

| Mode 1                                                                                         | Mode 2                                                                                                       | Mode 3                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Torsion<br> | Translation suivant x<br> | Translation suivant y<br> |

- **Constatacion**

L'analyse dynamique de la structure à conduit à :

- Une période du 1<sup>er</sup> Mode  $T_1 = 1.349s$ .
- La participation massique dépasse le seuil des 90% à partir du 12<sup>ème</sup> mode.
- Le premier mode est un mode de torsion.

$$U_x \approx U_y$$

- Le deuxième mode est un mode de de translation parallèlement à l'axe x.

$$U_x = 52.50\% < 60\%$$

- Le troisième mode est un mode translation parallèlement à l'axe y.

$$U_y = 37.39\% < 60\%$$

Selon les résultats on doit rigidifier la structure avec des voiles de contreventement dans les deux directions x et y pour la stabiliser, et trouver la disposition des voiles qui donne un centre de gravité plus proche du centre de rigidité pour satisfaire toutes les conditions de l'article 3.5.1.

**Remarque :**

Après plusieurs tentatives de disposition on a pu trouver la disposition parfaite des voiles qui sans changement des plans d'architecture et qui vérifient la condition des 3 premier mode faut qu'ils soient :

- 1<sup>er</sup> et 2<sup>eme</sup> modes de translation suivant le sens X et suivant le sens Y.
- 3<sup>eme</sup> mode un mode de torsion.

Avec une participation massique supérieur ou égale à 90% au 10<sup>eme</sup> mode.

**B) Modèle finale :**

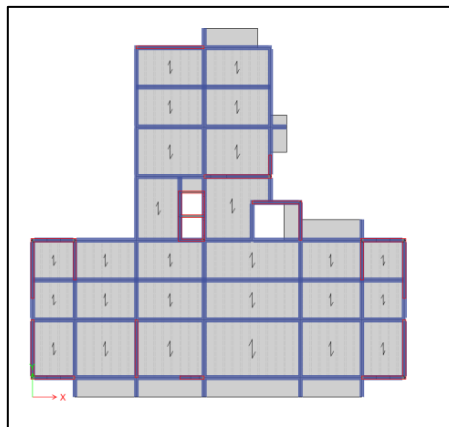


Figure IV- 6: Vue en plan du modèle final 2003.

Tableau IV- 5: Les sections de poteaux adopté pour le modèle final 2003.

| Etages                                | Sections des poteaux(cm <sup>2</sup> ) |
|---------------------------------------|----------------------------------------|
| 12 <sup>eme</sup> / 13 <sup>eme</sup> | 30x30                                  |
| 11 <sup>eme</sup>                     | 35x35                                  |
| 10 <sup>eme</sup>                     | 40x40                                  |
| 9 <sup>eme</sup>                      | 45x45                                  |
| 8 <sup>eme</sup>                      | 50x50                                  |
| 7 <sup>eme</sup>                      | 55x55                                  |
| 5 <sup>eme</sup> / 6 <sup>eme</sup>   | 60x60                                  |
| 4 <sup>eme</sup>                      | 65x65                                  |
| 3 <sup>eme</sup>                      | 70x70                                  |
| 2 <sup>eme</sup>                      | 75x75                                  |
| RDC / 1 <sup>er</sup>                 | 80x80                                  |

Les valeurs du spectre du reponse sont:

|       |       |
|-------|-------|
| 0.000 | 0.313 |
| 0.010 | 0.304 |
| 0.020 | 0.295 |
| 0.030 | 0.286 |
| 0.040 | 0.277 |
| 0.050 | 0.268 |
| 0.060 | 0.259 |
| 0.070 | 0.250 |
| 0.080 | 0.241 |
| 0.090 | 0.232 |
| 0.100 | 0.224 |
| 0.110 | 0.215 |
| 0.120 | 0.206 |
| 0.130 | 0.197 |

-\Coef. d'accélération de zone:  
 $A = 0.25$   
 -\Facteur de qualité:  
 $Q = 1.05$   
 -\Coef. de comportement:  
 $R = 3.50$   
 -\Période caractéristique 1:  
 $T1 = 0.15$   
 -\Période caractéristique 2:  
 $T2 = 0.50$   
 -\Pourcentage d'amortissement critique:  
 $\xi = 10.00$   
 -\Facteur de correction d'amortissement:  
 $\eta = 0.76$

Zone:   
 Group d'usage:   
 Site:   
 Matériau constitutif:   
 Facteur de qualité:    
 Système de contreventement:

Figure IV- 7: Paramètres du spectre de réponse du Modèle final 2003.

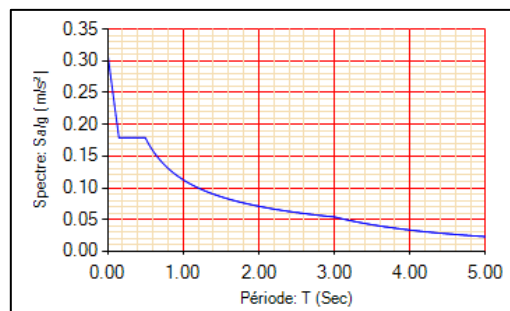
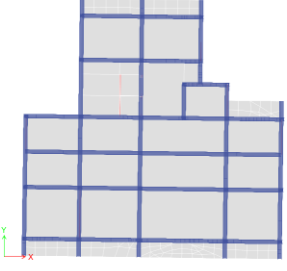
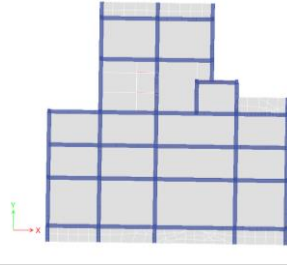
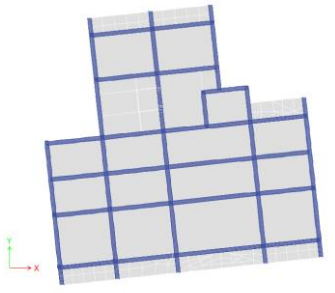


Figure IV- 8: Diagramme du spectre intégré dans le modèle final 20031

- **Analyse modale :**

Tableau IV- 6: Périodes de l'analyse modale du modèle final 2003.

| Mode | Case  | Period (sc) | Facteur de participation massique (%) |       |       |          |          | Vibration Mode |
|------|-------|-------------|---------------------------------------|-------|-------|----------|----------|----------------|
|      |       |             | Ux %                                  | Uy %  | RZ %  | Sum Ux % | Sum Uy % |                |
| 1    | Modal | 0.741       | 65.08                                 | 0.21  | 0.95  | 65.08    | 0.21     | Translation    |
| 2    | Modal | 0.615       | 0.33                                  | 66.23 | 0.98  | 65.41    | 66.43    | Translation    |
| 3    | Modal | 0.4411      | 0.92                                  | 1.01  | 65.99 | 66.32    | 67.44    | Torsion        |
| 4    | Modal | 0.2058      | 17.53                                 | 0.18  | 0.47  | 83.85    | 67.63    |                |
| 5    | Modal | 0.177       | 0.25                                  | 16.87 | 0.24  | 84.1     | 84.49    |                |
| 6    | Modal | 0.128       | 0.4                                   | 0.37  | 16.52 | 84.5     | 84.86    |                |
| 7    | Modal | 0.0996      | 6.1                                   | 0.13  | 0.42  | 90.6     | 84.99    |                |
| 8    | Modal | 0.0869      | 0.33                                  | 5.84  | 0.12  | 90.93    | 90.83    |                |
| 9    | Modal | 0.0678      | 1.69                                  | 0.44  | 2.26  | 92.62    | 91.27    |                |
| 10   | Modal | 0.0623      | 1.17                                  | 0     | 3.42  | 93.79    | 91.27    |                |

| Mode 1                                                                                                     | Mode 2                                                                                                     | Mode 3                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Translation suivant x<br> | Translation suivant y<br> | Torsion<br> |

### • Constatation

L'analyse dynamique de la structure à conduit à :

- Une période du 1<sup>er</sup> Mode  $T_1 = 0.741s$ .
- La participation massique dépasse le seuil des 90% à partir du 8<sup>ème</sup> mode.
- Le premier mode est un mode de translation parallèlement à l'axe x.  
 $U_x = 65.08\% > 60\%$
- Le deuxième mode est un mode de translation parallèlement à l'axe y.  
 $U_y = 66.23\% > 60\%$
- Le troisième mode est un mode de torsion.  
 $U_x \approx U_y$

### • Facteur d'amplification dynamique moyen D

$$D'ou : D = \begin{cases} 2.5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta \left(\frac{T_2}{T}\right)^{\frac{2}{3}} & T_2 \leq T \leq 3s \\ 2.5\eta \left(\frac{T_2}{3}\right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{3}{T}\right)^{\frac{5}{3}} & T \geq 3s \end{cases}$$

$T_2$  : Période caractéristique, associée à la catégorie du site. Il est en fonction de la catégorie et du site, du facteur de correction d'amortissement, et de la période fondamentale et de la structure :

La catégorie de site est : sol meuble S3  $\begin{cases} T_1 = 0.15 s \\ T_2 = 0.50 s \end{cases}$

Le facteur de correction d'amortissement  $\eta$  est en fonction du pourcentage critique  $\xi$  :  
 $\xi = 10\%$

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{(2+\xi)}} = 0.76 > 0.7 \quad (4.3)$$

- **La période fondamentale de la structure :**

La valeur de la période fondamentale ( $T_f$ ) de la structure peut être estimée à partir des formules empiriques par le RPA 99/2003 :

Soit : 
$$T_f = C_T (h_N)^{\frac{3}{4}} \quad (4.6)$$

$h_N$  : la hauteur du bâtiment mesurée en mètres à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau (h)

$C_T$ : Coefficient en fonction du système de contreventement et du type de remplissage.

Dans notre cas on a des portique auto stables en béton armé avec remplissage en maçonnerie donc :  $C_T = 0.05$

$$T_f = 0.05 (45.22)^{3/4} = 0.871 \text{ s}$$

Et

$$T_f = \frac{0.09 h_N}{\sqrt{D}} \quad (4.7)$$

Avec :

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

D : La dimension du bâtiment mesurée à la base dans la direction de calcul considérée.

- Suivant la direction (x-x):  $T_{fx} = \frac{0.09 \times 45.22}{\sqrt{30.8}} = 0.733 \text{ s}$
- Suivant la direction (y-y) :  $T_{fy} = \frac{0.09 \times 45.22}{\sqrt{30.6}} = 0.735 \text{ s}$

$$T_x = \min(0.733 ; 0.735) = 0.733 \text{ s}$$

$$T_y = \max(0.733 ; 0.871) = 0.871 \text{ s}$$

- **Vérification de la période**

La valeur de la période fondamentale de la structure donnée par le logiciel ETABS est égale à **0.363 sec.**

La période empirique du RPA est la plus petite des valeurs calculées plus haut :

$$T_{RPA} = \min(0.733 ; 0.735) = 0.733 \text{ sec.}$$

$$T_{RPA} = 1.3 \times 0.733 = 0.9529 \text{ sec} > T_{etabs} = 0.741 \text{ sec.}$$

$$T_{RPA} = \max(0.733 ; 0.871) = 0.871 \text{ s}$$

$$T_{RPA} = 1.3 \times 0.871 = 1.132 \text{ sec} > T_{etabs} = 0.741 \text{ sec.}$$

On trouve que la période empirique et majorée de 30% est supérieur à celle donnée par le logiciel ( $1.3T_{RPA} > T_{ETABS}$ ), donc, on calcule la valeur du coefficient D par la valeur de la période majorée de 30%.

$$1.3T_{RPA} = 1.132 \text{ sec} \quad (0 < 1.3T_{RPA} < T_2 = 0.50)$$

$$D_x = D_y = 2.5 \times 0.76 \times \left( \frac{0.5}{0.741} \right)^{\frac{2}{3}} = 1.46$$



**W** : poids total de la structure

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

$$w = \sum_{i=1}^n w_i \text{ et } w_i = w_{Gi} + \beta w_{Qi} \quad (5.4)$$

**W<sub>Gi</sub>** : poids dû aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels, solidaires de la structure.

**W<sub>Qi</sub>** : charges d'exploitation.

$\beta$  : est la valeur de coefficient de pondération, notre structure est classée pour un

Avec :  $\beta = 0.2$  (Bâtiment d'habitation, bureaux ou assimilés)

Et : **W = 99895.99 kN.**

#### IV.4.1.2. Etude sismique

##### a. Justification du choix du coefficient de comportement :

Dans le système de contreventement mixte assuré par des voiles et des portiques avec justification d'interaction portiques-voiles (système 4.a) ainsi définie par l'RPA99/2003, Les voiles de contreventement doivent reprendre au plus 20% des sollicitations dues aux charges verticales, et ils reprennent conjointement avec les portiques les charges horizontales proportionnellement à leurs rigidités relatives ainsi que les sollicitations résultant de leurs interactions à tous les niveaux.

Les portiques doivent reprendre, outre les sollicitations dues aux charges verticales, au moins 25% de l'effort tranchant d'étage.

Pourcentage des sollicitations dues aux charges verticales reprises par les voiles :

- L'effort normal total à la base de la structure
- L'effort normal à la base repris par les voiles

Alors les voiles de contreventement reprennent moins de 20% des sollicitations dues aux charges verticales.

|    | Globale | Globale<br>Voiles | Globale<br>Poteaux | % Voile | %Poteau |
|----|---------|-------------------|--------------------|---------|---------|
| EX | 7995.49 | 6004.03           | 1993.1             | 75.09   | 24.92   |
| EY | 8971.79 | 7758.07           | 1213.86            | 86.47   | 13.52   |

Dans notre cas les voiles reprennent plus de 65% des charges verticales et support presque toutes les charges horizontales, donc on va opter pour un système de ce fait la valeur de coefficient R est maintenue **R=5**.

**b. Vérification l'effort tranchant a la base :**

La résultante de la force sismique à la base obtenue par la combinaison des valeurs modales ne doit pas être inférieure à 80% de la résultante des forces sismiques déterminée par la méthode statique équivalente  $V_{st}$

$$V_{ST} = \frac{A \cdot D \cdot Q}{R} W$$

Données :

Type de structure : Contreventée par des voiles porteurs.

- Groupe d'importance de la structure 2 :  $A=0.25$
- Zone sismique: III
- Amortissement:  $\xi = 10$
- Facteur de qualité:  $Q = 1,05$
- Coefficient de comportement:  $R= 3.5$
- Facteur d'amplification dynamique moyen :  $D_x= D_y = 1.46$
- Poids total de la structure :  $W = W_{GI} + \beta * W_{QI} = 99895.99 \text{ kN}$  avec  $\beta = 0,2$

$$V_{STx} = V_{STy} = \frac{0.25 \cdot 1.46 \cdot 1.05}{3.5} * 99895.99 = 10983.61 \text{ kN}$$

Les valeurs de l'effort tranchant à la base selon la méthode modale spectrale sont égales à :

On a :  $V_{Dx} = 7995.49 \text{ kN}$  et  $V_{Dy} = 8972.91 \text{ kN}$   
 $0,8V_{st} = 10938.61 \times 0,8 = 8750.88 \text{ kN}$

$$V_{Dx} \geq 0.8V_{ST} \quad 7995.49 < 8750.88$$

$$V_{Dy} \geq 0.8V_{ST} \quad 8972.91 > 8750.88$$

On a trouvé que la valeur de l'effort tranchant à la base obtenue par la méthode modale spectrale est supérieure à 80 % de la valeur calculée par la méthode statique équivalente dans le sens y, donc l'article (4.3.6) du RPA est vérifié (sens y-y).

Cependant, on doit pondérer les charges sismiques pour augmenter tous les paramètres de la réponse (forces, déplacements, moments ...) dans le rapport  $\frac{0.8V}{V_t} = 1.05$  et refaire les mêmes calculs pour vérifier (sens x-x).

|       | V       | 0.8V     | r    | Observation |
|-------|---------|----------|------|-------------|
| $V_x$ | 9291.39 | 8865.691 | 1.05 | Vérifié     |
| $V_y$ | 8972.91 | 8750.88  | 1    | Vérifié     |

Les efforts tranchants a la base sont vérifié.

**c. Vérification des déplacements inter étage :**

Nécessaire ment être vérifiée :  $\Delta_k^x \leq \bar{\Delta}$  et  $\Delta_k^y \leq \bar{\Delta}$

Où:  $\bar{\Delta} = 0.01h_e$

Avec:

$$\delta_k^x = R\delta_{ek}^x \quad \text{et} \quad \delta_k^y = R\delta_{ek}^y$$

$$\Delta_k^x = \delta_k^x - \delta_{k-1}^x \quad \text{et} \quad \Delta_k^y = \delta_k^y - \delta_{k-1}^y$$

$\Delta_k^x$  : Correspond au déplacement relatif au niveau K par rapport au niveau K-1 dans le sens x-x (idem dans le sens y-y,  $\Delta_k^y$ )

$\delta_{ek}^x$  : est le déplacement horizontal dû aux forces sismiques au niveau K dans le sens x-x (idem dans le sens y-y,  $\delta_{ek}^y$ )

Si les déplacements latéraux inter étage dépassent les valeurs admissibles, il faut donc augmenter la rigidité latérale de la structure. Pour cela on peut :

- Augmenter les dimensions des poteaux déjà existants.
- Rajouter des voiles dans la structure.
- L'augmentation de la section des poteaux risque de réduire la surface exploitable de la structure, en revanche, l'ajout des voiles de contreventement est la solution inévitable.

Tableau IV- 7: Les déplacements inter étage RPA99/2003.

| Étages  | Elevation (m) | $\delta_{ek}^x$ (cm) | $\delta_{ek}^y$ (cm) | $\delta_k^x$ (cm) | $\delta_k^y$ (cm) | $\Delta_k^x$ (cm) | $\Delta_k^y$ (cm) | $\Delta$ (cm) | Vérification |
|---------|---------------|----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|--------------|
| Story14 | 45.22         | 2.7889               | 1.8265               | 9.76115           | 6.39275           | 0.9576            | 0.4872            | 3.23          | Vérifié      |
| Story13 | 41.99         | 2.5153               | 1.6873               | 8.80355           | 5.90555           | 0.78435           | 0.4956            | 3.23          | Vérifié      |
| Story12 | 38.76         | 2.2912               | 1.5457               | 8.0192            | 5.40995           | 0.81165           | 0.5124            | 3.23          | Vérifié      |
| Story11 | 35.53         | 2.0593               | 1.3993               | 7.20755           | 4.89755           | 0.83405           | 0.53235           | 3.23          | Vérifié      |
| Story10 | 32.3          | 1.821                | 1.2472               | 6.3735            | 4.3652            | 0.8442            | 0.54635           | 3.23          | Vérifié      |
| Story9  | 29.07         | 1.5798               | 1.0911               | 5.5293            | 3.81885           | 0.8414            | 0.553             | 3.23          | Vérifié      |
| Story8  | 25.84         | 1.3394               | 0.9331               | 4.6879            | 3.26585           | 0.82565           | 0.55055           | 3.23          | Vérifié      |
| Story7  | 22.61         | 1.1035               | 0.7758               | 3.86225           | 2.7153            | 0.7945            | 0.53795           | 3.23          | Vérifié      |
| Story6  | 19.38         | 0.8765               | 0.6221               | 3.06775           | 2.17735           | 0.7504            | 0.5159            | 3.23          | Vérifié      |
| Story5  | 16.15         | 0.6621               | 0.4747               | 2.31735           | 1.66145           | 0.68215           | 0.4774            | 3.23          | Vérifié      |
| Story4  | 12.92         | 0.4672               | 0.3383               | 1.6352            | 1.18405           | 0.59605           | 0.4249            | 3.23          | Vérifié      |
| Story3  | 9.69          | 0.2969               | 0.2169               | 1.03915           | 0.75915           | 0.49              | 0.3563            | 3.23          | Vérifié      |
| Story2  | 6.46          | 0.1569               | 0.1151               | 0.54915           | 0.40285           | 0.36225           | 0.26635           | 3.23          | Vérifié      |
| Story1  | 3.23          | 0.0534               | 0.039                | 0.1869            | 0.1365            | 0.1869            | 0.1365            | 3.23          | Vérifié      |

Les déplacements inter étages sont vérifié selon les deux sens x et y.

**d. Vérification Spécifique Aux Sollicitations Normales :**

$$v = \frac{N_d}{B_c f_{c28}} \leq 0.30$$

Nd : l'effort normal de calcul s'exerçant sur une section de béton.

Bc : l'aire (section brute) de cette dernière.

fc28 : la résistance caractéristique du béton à 28 jours (25 MPA).

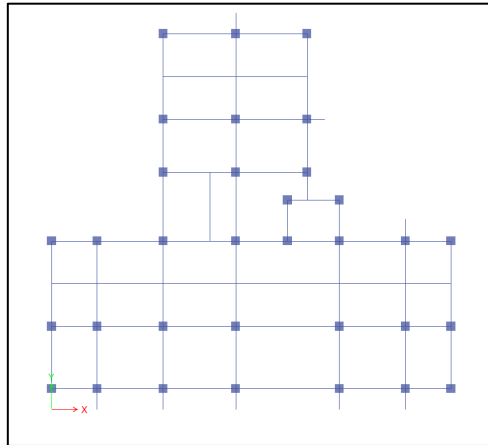


Figure IV- 9: Vue en plan de la disposition des poteaux.

Tableau IV- 8: Les efforts normaux reduits des poteaux RPA99/2003.

| Étages  | Elevation (m) | Section (cm <sup>2</sup> ) | Combinaison | fc28 (MPa) | Nu    | ≤ 0.30 | Verification |
|---------|---------------|----------------------------|-------------|------------|-------|--------|--------------|
| Story14 | 45.22         | 30x30                      | G+Q+Ey      | 25         | 0.126 | ≤ 0.30 | Vérifié      |
| Story13 | 41.99         | 30x30                      | G+Q+Ey      | 25         | 0.241 | ≤ 0.30 | Vérifié      |
| Story12 | 38.76         | 35x35                      | G+Q+Ey      | 25         | 0.264 | ≤ 0.30 | Vérifié      |
| Story11 | 35.53         | 40x40                      | G+Q+Ey      | 25         | 0.27  | ≤ 0.30 | Vérifié      |
| Story10 | 32.3          | 45x45                      | G+Q+Ey      | 25         | 0.267 | ≤ 0.30 | Vérifié      |
| Story9  | 29.07         | 50x50                      | G+Q+Ey      | 25         | 0.26  | ≤ 0.30 | Vérifié      |
| Story8  | 25.84         | 55x55                      | G+Q+Ey      | 25         | 0.252 | ≤ 0.30 | Vérifié      |
| Story7  | 22.61         | 60x60                      | G+Q+Ex      | 25         | 0.247 | ≤ 0.30 | Vérifié      |
| Story6  | 19.38         | 60x60                      | G+Q+Ex      | 25         | 0.284 | ≤ 0.30 | Vérifié      |
| Story5  | 16.15         | 65x65                      | G+Q+Ex      | 25         | 0.275 | ≤ 0.30 | Vérifié      |
| Story4  | 12.92         | 70x70                      | G+Q+Ex      | 25         | 0.267 | ≤ 0.30 | Vérifié      |
| Story3  | 9.69          | 75x75                      | G+Q+Ex      | 25         | 0.259 | ≤ 0.30 | Vérifié      |
| Story2  | 6.46          | 80x80                      | G+Q+Ex      | 25         | 0.252 | ≤ 0.30 | Vérifié      |
| Story1  | 3.23          | 80x80                      | G+Q+Ex      | 25         | 0.277 | ≤ 0.30 | Vérifié      |

Les efforts normaux sont vérifié à la base de chaque poteau.

**e. Justification vis-à-vis de l'effet P-Δ :**

L'effet P-  $\Delta$  peut être négligé dans le cas des bâtiments si la condition suivante est satisfaite à tous les niveaux :

$$\theta = \frac{P_k \cdot \Delta_k}{V_k \cdot h_k} \leq 0.1$$

P<sub>k</sub>: Poids totale de la structure et des charges d'exploitation associées en bas du niveau «k».

V<sub>k</sub>: effort tranchant d'étage au niveau «k».

$\Delta_k$ : déplacement relatif du niveau «k» par rapport au niveau «k-1».

h<sub>k</sub> : hauteur de l'étage «k».

Sens x-x :

Tableau IV- 9: L'effet P-  $\Delta$  sens x selon le RPA99/2003.

| Étages  | Wi (kN)  | Wi*hi      | Edx (kN) | $\Delta x$ (cm) | $\theta_x$ | $\Delta y$ (cm) | $\theta_y$ | Vérification |
|---------|----------|------------|----------|-----------------|------------|-----------------|------------|--------------|
| Story14 | 7969.714 | 25742.177  | 9291.397 | 0.186           | 0.0442     | 0.1239          | 0.0303     | Vérifié      |
| Story13 | 8024.114 | 51835.779  |          | 0.362           | 0.0429     | 0.2422          | 0.0297     | Vérifié      |
| Story12 | 7833.007 | 75901.839  |          | 0.49            | 0.0387     | 0.3255          | 0.0266     | Vérifié      |
| Story11 | 7655.223 | 98905.491  |          | 0.596           | 0.0353     | 0.3857          | 0.0236     | Vérifié      |
| Story10 | 7490.744 | 120975.520 |          | 0.682           | 0.0323     | 0.4301          | 0.0211     | Vérifié      |
| Story9  | 7339.608 | 142241.606 |          | 0.750           | 0.0296     | 0.4623          | 0.0189     | Vérifié      |
| Story8  | 7339.608 | 165948.543 |          | 0.794           | 0.0268     | 0.4805          | 0.0168     | Vérifié      |
| Story7  | 7201.796 | 186094.411 |          | 0.825           | 0.0244     | 0.4896          | 0.0150     | Vérifié      |
| Story6  | 7079.182 | 205791.841 |          | 0.841           | 0.0221     | 0.4879          | 0.0133     | Vérifié      |
| Story5  | 6968.018 | 225066.981 |          | 0.844           | 0.020      | 0.4795          | 0.0117     | Vérifié      |
| Story4  | 6870.177 | 244097.388 |          | 0.834           | 0.0179     | 0.4655          | 0.0103     | Vérifié      |
| Story3  | 6785.659 | 263012.177 |          | 0.811           | 0.0160     | 0.4469          | 0.0091     | Vérifié      |
| Story2  | 6673.282 | 280211.128 |          | 0.784           | 0.0142     | 0.4333          | 0.0081     | Vérifié      |
| Story1  | 4665.853 | 210989.886 |          | 0.957           | 0.0162     | 0.4217          | 0.0073     | Vérifié      |
|         |          | 2296814.77 |          |                 |            |                 |            |              |

Sens y-y :

Tableau IV- 10: L'effet P-  $\Delta$  sens y selon le RPA99/2003

| Étages  | Wi (kN)   | Wi*hi       | Edy (kN)  | Vky (kN) | hk (cm) | $\Delta y$ (cm) | $\theta_y$ | Vérification |
|---------|-----------|-------------|-----------|----------|---------|-----------------|------------|--------------|
| Story14 | 7969.7144 | 25742.17751 | 8972.9186 | 100.566  | 323     | 0.1239          | 0.0303     | Vérifié      |
| Story13 | 8024.1145 | 51835.77967 |           | 202.505  | 323     | 0.2422          | 0.0297     | Vérifié      |
| Story12 | 7833.0072 | 75901.83977 |           | 296.524  | 323     | 0.3255          | 0.0266     | Vérifié      |
| Story11 | 7655.2238 | 98905.4915  |           | 386.392  | 323     | 0.3857          | 0.0236     | Vérifié      |
| Story10 | 7490.7443 | 120975.5204 |           | 472.612  | 323     | 0.4301          | 0.0211     | Vérifié      |
| Story9  | 7339.6082 | 142241.6069 |           | 555.692  | 323     | 0.4623          | 0.0189     | Vérifié      |
| Story8  | 7339.6083 | 165948.5437 |           | 648.307  | 323     | 0.4805          | 0.0168     | Vérifié      |
| Story7  | 7201.7961 | 186094.4112 |           | 727.011  | 323     | 0.4896          | 0.0150     | Vérifié      |
| Story6  | 7079.1827 | 205791.841  |           | 803.962  | 323     | 0.4879          | 0.0133     | Vérifié      |
| Story5  | 6968.018  | 225066.981  |           | 879.264  | 323     | 0.4795          | 0.0117     | Vérifié      |
| Story4  | 6870.177  | 244097.388  |           | 953.610  | 323     | 0.4655          | 0.0103     | Vérifié      |
| Story3  | 6785.6599 | 263012.177  |           | 1027.504 | 323     | 0.4469          | 0.0091     | Vérifié      |
| Story2  | 4975.0116 | 280211.128  |           | 1094.694 | 323     | 0.4333          | 0.0081     | Vérifié      |
| Story1  | 3299.1192 | 210989.886  |           | 824.269  | 323     | 0.4217          | 0.0073     | Vérifié      |
|         |           | 2296814.77  |           |          |         |                 |            |              |

L'effet P-  $\Delta$  selon le sens x et y sont négligé selon le RPA99/2003 donc on est toujours dans le premier ordre.

**f. Vérification du renversement :**

$$1.3Mr < Ms$$

**Ms** : moment stabilisateur.

**Mr** : moment de renversement.

Sens x-x :

Tableau IV- 11: Renversement sens x selon le RPA99/2003.

| Étages  | Vx        | Fix       | h     | My         | G        | Poid des<br>terre | ex | ey   | Msy         |
|---------|-----------|-----------|-------|------------|----------|-------------------|----|------|-------------|
|         | kN        | kN        | m     | kNm        | kN       | kN                | m  | m    | kNm         |
| Story14 | 1150.9445 | 1150.9445 | 45.22 | 52045.710  | 109885.6 | 0                 | 15 | 15.5 | 1703226.631 |
| Story13 | 2399.9486 | 1249.0041 | 41.99 | 52445.682  |          |                   |    |      |             |
| Story12 | 3508.4519 | 1108.5033 | 38.76 | 42965.587  |          |                   |    |      |             |
| Story11 | 4451.3615 | 942.9096  | 35.53 | 33501.578  |          |                   |    |      |             |
| Story10 | 5272.4539 | 821.0924  | 32.3  | 26521.284  |          |                   |    |      |             |
| Story9  | 6001.6198 | 729.1659  | 29.07 | 21196.852  |          |                   |    |      |             |
| Story8  | 6659.6835 | 658.0637  | 25.84 | 17004.366  |          |                   |    |      |             |
| Story7  | 7252.3776 | 592.6941  | 22.61 | 13400.813  |          |                   |    |      |             |
| Story6  | 7769.5399 | 517.1623  | 19.38 | 10022.605  |          |                   |    |      |             |
| Story5  | 8212.9944 | 443.4545  | 16.15 | 7161.790   |          |                   |    |      |             |
| Story4  | 8602.8696 | 389.8752  | 12.92 | 5037.187   |          |                   |    |      |             |
| Story3  | 8938.1559 | 335.2863  | 9.69  | 3248.924   |          |                   |    |      |             |
| Story2  | 9182.564  | 244.4081  | 6.46  | 1578.876   |          |                   |    |      |             |
| Story1  | 9291.397  | 108.833   | 3.23  | 351.530    |          |                   |    |      |             |
|         |           | 4840.0355 |       | 105524.231 | 79274.17 |                   |    |      |             |

$$1.3Mr < Ms \quad 137082.40 < 1703226.631$$

Sens y-y :

Tableau IV- 12: Renversement sens y selon le RPA99/2003.

| Étages  | Vy<br>kN  | Fiy<br>kN | h<br>m | Mx<br>kNm  | G<br>kN   | Poid<br>des<br>terre<br>kN | ex<br>m | ey<br>m | Msx<br>kNm |
|---------|-----------|-----------|--------|------------|-----------|----------------------------|---------|---------|------------|
| Story14 | 1019.0125 | 1019.0125 | 45.22  | 46079.7453 | 109885.59 | 0                          | 15      | 15.5    | 1648283.84 |
| Story13 | 2228.5446 | 1209.5321 | 41.99  | 50788.2529 |           |                            |         |         |            |
| Story12 | 3314.2258 | 1085.6812 | 38.76  | 42081.0033 |           |                            |         |         |            |
| Story11 | 4249.5924 | 935.3666  | 35.53  | 33233.5753 |           |                            |         |         |            |
| Story10 | 5083.5273 | 833.9349  | 32.3   | 26936.0973 |           |                            |         |         |            |
| Story9  | 5838.5455 | 755.0182  | 29.07  | 21948.3791 |           |                            |         |         |            |
| Story8  | 6512.5588 | 674.0133  | 25.84  | 17416.5037 |           |                            |         |         |            |
| Story7  | 7099.6596 | 587.1008  | 22.61  | 13274.3491 |           |                            |         |         |            |
| Story6  | 7601.4525 | 501.7929  | 19.38  | 9724.7464  |           |                            |         |         |            |
| Story5  | 8032.5904 | 431.1379  | 16.15  | 6962.87708 |           |                            |         |         |            |
| Story4  | 8404.3815 | 371.7911  | 12.92  | 4803.54101 |           |                            |         |         |            |
| Story3  | 8701.2485 | 296.867   | 9.69   | 2876.64123 |           |                            |         |         |            |
| Story2  | 8895.4819 | 194.2334  | 6.46   | 1254.74776 |           |                            |         |         |            |
| Story1  | 8972.9186 | 77.4367   | 3.23   | 250.120541 |           |                            |         |         |            |
|         |           | 4723.3262 |        | 105448.003 |           |                            |         |         |            |

$$1.3M_r < M_s \quad 137082.40 < 1648283.84$$

La structure est stable vis-à-vis le renversement dans les deux sens x et y.

**Conclusion :**

Toutes les conditions de le RPA99/2003 sont vérifié donc la structure est stable.



#### IV.4.2. Détermination des paramètres du spectre de réponse selon le RPA2024 :

Selon le nouveau règlement le spectre de réponse a deux composantes horizontale et verticale, pour notre structure ne satisfait pas les conditions pour lesquelles on intègre la composante verticale. On n'a pas des consoles qui dépassent les 2m et on n'a pas des travées qui dépassent les 12m.

##### IV.4.2.1. Etude dynamique

- **Spectre de réponse horizontal**

$$\frac{S_{ae}}{g}(T) = \begin{cases} A.I.S.(1 + \frac{T}{T_1} \cdot (2.5\eta - 1)) & \text{si } 0 \leq T < T_1 \\ A.I.S.(2.5\eta) & \text{si } T_1 \leq T < T_2 \\ A.I.S.(2.5\eta) \cdot (\frac{T_2}{T}) & \text{si } T_2 \leq T < T_3 \\ A.I.S.(2.5\eta) \cdot (\frac{T_2 \cdot T_3}{T^2}) & \text{si } T_3 \leq T < 4s \end{cases}$$

$\frac{S_{ae}}{g}$  : spectre de réponse élastique normalisé par rapport à la valeur de l'accélération de la pesanteur, g.

T : période de vibration d'un système linéaire à un seul degré de liberté.

A : coefficient d'accélération de calcul pour un sol de classe SI pour la période de retour de non effondrement ans. (Cf. Tableau (3.3))

T1 : limite inférieure des périodes correspondant au palier d'accélération spectrale constante.

T2 : limite supérieure des périodes correspondant au palier d'accélération spectrale constante

T3 : valeur définissant le début de la branche à déplacement spectral constant.

I : coefficient d'importance.

S : coefficient de site.

$\eta$  : facteur de correction de l'amortissement.

Les valeurs des périodes T1 et T2 et du coefficient de site, S, qui décrivent la forme du spectre de réponse élastique dépendent du niveau de sismicité et de la classe de sol.

- **La forme de spectre :**

Tableau IV- 13: Le spectre selon la zone VI est de type 1 RPA2024.

| Spectre Type 1 (VI) | S    | T1   | T2   | T3  |
|---------------------|------|------|------|-----|
| site S3             | 1.30 | 0.15 | 0.60 | 2.0 |

- **Coefficient d'importance I :**

Le coefficient d'importance groupe d'importance 2 pour notre structure est de **I=1**.

- **Coefficient d'accélération A :**

Selon la zone d'implantation, donc on a **A=0.3**.

- **Facteur de qualité Qf :**

Selon le type de contreventement la structure est classée dans la catégorie (b) et cette dernière n'est pas régulière en plan donc, on a **Qf= 1.05**.

- **Coefficient de comportement global de la structure R :**

Le système établi pour cette structure après avoir réalisé un modèle initial pour déterminer son comportement sans contreventement, est un système de contreventement constitué par des voiles (système 5) avec **R=4.5**.

- **Pourcentage d'amortissement critique  $\zeta = 10\%$**

Facteur de correction d'amortissement  $\eta = \sqrt{7/(2 + \zeta)}$   **$\eta = 0,76$**

- **Coefficient fonction du système de contreventement  $C_T$  :**

| Groupe | Système de contreventement                                                     | Ct    |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1      | Ossatures spatiales en béton armé sans remplissage en maçonnerie               | 0.075 |
| 2      | Ossatures en portique en acier, sans remplissage en maçonnerie                 | 0.085 |
| 3      | Ossature en portiques en béton armé ou en acier avec remplissage en maçonnerie | 0.050 |
| 4      | Autres types de structures                                                     | 0.050 |

On a  **$C_T = 0.05$**

#### A. Modèle finale :

##### Remarque :

On a gardé le même modèle de 2003 ensuite on a intégré le spectre de réponse de 2024 pour pouvoir faire des constatations et les comparaisons sur les mêmes sections des différents éléments de la structure.

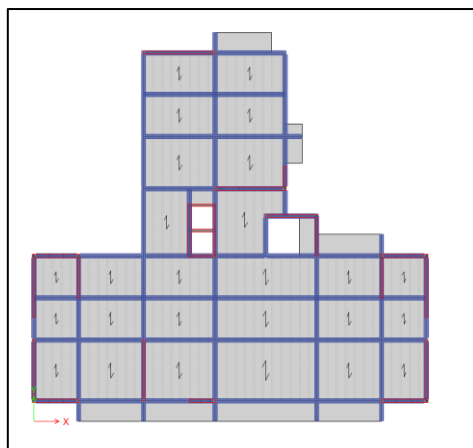


Figure IV- 10: Vue en plan du modèle final 2024.

Tableau IV- 14: Les sections de poteaux adopté pour le modèle final 2024.

| Etages                                | Sections des poteaux(cm <sup>2</sup> ) |
|---------------------------------------|----------------------------------------|
| 12 <sup>eme</sup> / 13 <sup>eme</sup> | 30x30                                  |
| 11 <sup>eme</sup>                     | 35x35                                  |
| 10 <sup>eme</sup>                     | 40x40                                  |
| 9 <sup>eme</sup>                      | 45x45                                  |
| 8 <sup>eme</sup>                      | 50x50                                  |
| 7 <sup>eme</sup>                      | 55x55                                  |
| 5 <sup>eme</sup> / 6 <sup>eme</sup>   | 60x60                                  |
| 4 <sup>eme</sup>                      | 65x65                                  |
| 3 <sup>eme</sup>                      | 70x70                                  |
| 2 <sup>eme</sup>                      | 75x75                                  |
| RDC / 1 <sup>er</sup>                 | 80x80                                  |

• **Analyse modale :**

a. La somme des modes au 11<sup>eme</sup> mode dépasse les 90% et tout les modes dépassent les 5% de la participation massique.

b. Nombre de modes à considérer :

$$k \geq 3.\sqrt{N}$$

**k = 11 modes**

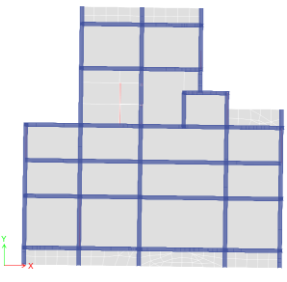
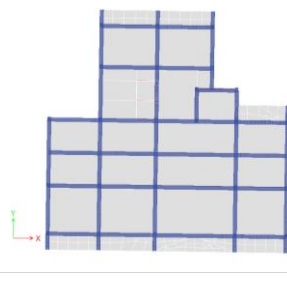
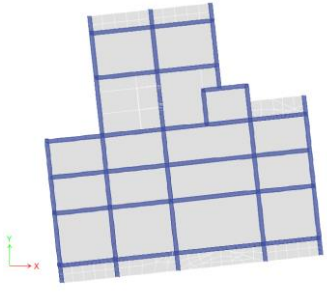
Avec : **T=0.74**

**s > 0.2s**

N : nombre de niveaux au dessus du sous-sol.

Tableau IV- 15: Périodes de l'analyse modale du modèle final 2024.

| Mode | Case  | Period (sc) | Facteur de participation massique (%) |       |       |          |          | Vibration Mode |
|------|-------|-------------|---------------------------------------|-------|-------|----------|----------|----------------|
|      |       |             | Ux %                                  | Uy %  | RZ %  | Sum Ux % | Sum Uy % |                |
| 1    | Modal | 0.7458      | 65.09                                 | 0.16  | 0.96  | 65.09    | 0.21     | Translation    |
| 2    | Modal | 0.6193      | 0.33                                  | 67.19 | 0.98  | 65.42    | 66.45    | Translation    |
| 3    | Modal | 0.444       | 0.92                                  | 0.79  | 66    | 66.34    | 67.46    | Torsion        |
| 4    | Modal | 0.2072      | 17.52                                 | 0.07  | 0.48  | 83.86    | 67.65    |                |
| 5    | Modal | 0.1781      | 0.25                                  | 17.06 | 0.24  | 84.11    | 84.5     |                |
| 6    | Modal | 0.1288      | 0.41                                  | 0.32  | 16.51 | 84.51    | 84.87    |                |
| 7    | Modal | 0.1003      | 6.1                                   | 0.06  | 0.42  | 90.61    | 85       |                |
| 8    | Modal | 0.0874      | 0.33                                  | 5.67  | 0.12  | 90.94    | 90.84    |                |
| 9    | Modal | 0.0682      | 1.7                                   | 0.35  | 2.23  | 92.64    | 91.28    |                |
| 10   | Modal | 0.0627      | 1.15                                  | 0.02  | 3.45  | 93.79    | 91.28    |                |
| 11   | Modal | 0.0526      | 0.95                                  | 0.01  | 3.85  | 93.79    | 91.28    |                |

| Mode 1                                                                                                     | Mode 2                                                                                                     | Mode 3                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Translation suivant x<br> | Translation suivant y<br> | Torsion<br> |

### • Constatation

L'analyse dynamique de la structure à conduit à :

- Une période du 1<sup>er</sup> Mode  $T_1 = 0.7458s$ .
- La participation massique dépasse le seuil des 90% à partir du 8<sup>ème</sup> mode.
- Le premier mode est un mode de translation parallèlement à l'axe x.  
 $U_x = 65.09 \% > 60\%$
- Le deuxième mode est un mode de translation parallèlement à l'axe y.  
 $U_y = 67.19\% > 60\%$
- Le troisième mode est un mode de torsion.  
 $U_x \approx U_y$

Le facteur de correction d'amortissement  $\eta$  est en fonction du pourcentage critique  $\xi$  :

$\xi = 10\%$

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{(2+\xi)}} = 0.76 > 0.7 \quad (3.9)$$

### • La période fondamentale de la structure :

La valeur de la période fondamentale  $T_{empirique}$  de la structure peut être estimée à partir des formules empiriques par le **RPA 2024** :

$$\text{Soit :} \quad T_{empirique} = C_T (h_N)^{\frac{3}{4}} \quad (4.4)$$

$h_N$  : la hauteur du bâtiment mesurée en mètres à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau (h)

$C_T$ : Coefficient en fonction du système de contreventement et du type de remplissage.

Dans notre cas on a des portique auto stables en béton armé avec remplissage en maçonnerie donc :  $C_T = 0.05$

$$T_{empirique} = 0.05 (45.22)^{\frac{3}{4}}$$

$$T_{empirique} = 0.871 s$$

$$1.3 T_{empirique} = 1.13s \geq T_{calcul} = 0.7458$$

**T0=T calculé**

**T0= 0.7458s**

**IV.4.2.2. Etude sismique****a. Vérification de système de contreventement :**

Dans ce cas les voiles reprennent plus de 20% des sollicitations dues aux charges verticales et la totalité des sollicitations dues aux charges horizontales.

Sollicitations dues aux charges verticales :

On doit calculer le pourcentage de la charge que support les voiles et les poteaux pour pouvoir déterminer le système de contreventement qu'on peut associer à cette structure.

|    | Globale  | Globale Voiles | Globale Poteaux | % Voile | %Poteau |
|----|----------|----------------|-----------------|---------|---------|
| Ex | 9201.52  | 7881.57        | 1358.84         | 85.65   | 14.76   |
| Ey | 18284.36 | 9166.03        | 1028.91         | 50.13   | 5.62    |

Dans notre cas les voiles reprennent plus de 20% des charges verticales et support presque toutes les charges horizontales, donc on va opter pour un système de ce fait la valeur de coefficient R est maintenue R=4.5.

**b. Calcul de la force sismique totale :**

La force sismique totale, V, appliquée à la base de la structure, doit être calculée successivement dans deux directions horizontales orthogonales.

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

Avec :

$\frac{S_{ad}}{g}(T_0)$  : Ordonnée du spectre de calcul (cf. § 3.3.3) pour la période  $T_0$ .

$T_0$  : Période fondamentale de vibration du bâtiment, pour le mouvement de translation dans la direction considérée (cf. § 4.2.4).

$\lambda$ : Coefficient de correction

$\lambda = 0.85$   $T_0 \leq (2 \times T_2)$  et le bâtiment a 13 niveaux

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

**c. Vérification l'effort tranchant a la base :**

La résultante de la force sismique à la base obtenue par la combinaison des valeurs modales ne doit pas être inférieure à 80 % de la résultante des forces sismiques déterminée par la méthode statique équivalente  $V_{st}$  :

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

Avec :

$$\frac{S_{ae}}{g}(T) = \begin{cases} A.I.S.(2.5\eta).(\frac{T_2}{T}) & \text{si } T_2 \leq T < T_3 \end{cases}$$

Données :

Type de structure : Contreventée par des voiles porteurs.

- Groupe d'importance de la structure 2 : **I=1.**
- Coefficient d'accélération: **A= 0.3.**
- Zone sismique: **VI**
- Amortissement:  **$\xi = 10$**
- Facteur de qualité: **Q = 1,05**
- Coefficient de comportement: **R= 4.5**
- Coefficient de correction  **$\lambda=0.85$**

Poids total de la structure :  $W = W_{GI} + \beta * W_{QI} = 101224.95 \text{ kN}$  avec  **$\beta = 0,3$**

$$\frac{Sad}{g}(T0) = 0.3 * 1 * 1.3 * 2.5 * \frac{1.05}{4.5} * \frac{0.6}{0.7458}$$

$$\frac{Sad}{g}(T0) = 0.183$$

$$V = 15747.688 \text{ kN}$$

$$0.8 V = 12598.19 \text{ kN}$$

|                | V         | 0.8V     | Observation  |
|----------------|-----------|----------|--------------|
| V <sub>x</sub> | 10626.76  | 12598.19 | Non-vérifier |
| V <sub>y</sub> | 12697.057 | 12598.19 | verifier     |

#### Remarque :

L'effort tranchant a la base ne vérifie pas donc on doit augmenter tous les paramètres (forces, déplacements, moments ...) En pondérant les charges sismiques en multipliant le g par  $r = \frac{0.8V}{V_t}$ .

Après pondération des charges sismiques :

|                | V         | 0.8V     | r     | Observation |
|----------------|-----------|----------|-------|-------------|
| V <sub>x</sub> | 12608.809 | 12598.19 | 1.184 | Vérifié     |
| V <sub>y</sub> | 12723.54  | 12598.19 | 1     | Vérifié     |

Avec :

g : facteur de pondération.

On trouve que la valeur de l'effort tranchant à la base obtenue par la méthode modale spectrale est supérieure à 80 % de la valeur calculée par la méthode statique équivalente dans le sens y, donc l'article (4.3.6) du RPA est vérifié.

**d. Vérification des déplacements inter étage :**

Nécessaire ment être vérifiée :  $\Delta_k^x \leq \bar{\Delta}$  et  $\Delta_k^y \leq \bar{\Delta}$

Où:  $\bar{\Delta} = 0.015h_e$

Avec:

$$\delta_k^x = \frac{R}{Qf} \delta_{ek}^x \quad \text{et} \quad \delta_k^y = \frac{R}{Qf} \delta_{ek}^y$$

$$\Delta_k^x = \delta_k^x - \delta_{k-1}^x \quad \text{et} \quad \Delta_k^y = \delta_k^y - \delta_{k-1}^y$$

$\Delta_k^x$  : Correspond au déplacement relatif au niveau K par rapport au niveau K-1 dans le sens x-x (idem dans le sens y-y,  $\Delta_k^y$ )

$\delta_{ek}^x$  : est le déplacement horizontal dû aux forces sismiques au niveau K dans le sens x-x (idem dans le sens y-y,  $\delta_{ek}^y$ )

Si les déplacements latéraux inter étage dépassent les valeurs admissibles, il faut donc augmenter la rigidité latérale de la structure. Pour cela on peut :

- Augmenter les dimensions des poteaux déjà existants.
  - Rajouter des voiles dans la structure.
  - L'augmentation de la section des poteaux risque de réduire la surface exploitable de la structure, en revanche, l'ajout des voiles de contreventement est la solution inévitable.
- Le problème qui se pose ici c'est bien la bonne disposition de ces voiles dans la structure.

Tableau IV- 16: Les déplacements inter étage RPA2024.

| Étages  | $\delta_{ek}^x$ (cm) | $\delta_{ek}^y$ (cm) | $\delta_k^x$ (cm) | $\delta_k^y$ (cm) | $\Delta_k^x$ (cm) | $\Delta_k^y$ (cm) | $\Delta$ (cm) | Vérification |
|---------|----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|--------------|
| Story14 | 3.2253               | 2.6132               | 11.61108          | 9.40752           | 1.13868           | 0.71532           | 4.845         | Vérifié      |
| Story13 | 2.909                | 2.4145               | 10.4724           | 8.6922            | 0.9324            | 0.729             | 4.845         | Vérifié      |
| Story12 | 2.65                 | 2.212                | 9.54              | 7.9632            | 0.96588           | 0.75384           | 4.845         | Vérifié      |
| Story11 | 2.3817               | 2.0026               | 8.57412           | 7.20936           | 0.99216           | 0.78372           | 4.845         | Vérifié      |
| Story10 | 2.1061               | 1.7849               | 7.58196           | 6.42564           | 1.00476           | 0.80532           | 4.845         | Vérifié      |
| Story9  | 1.827                | 1.5612               | 6.5772            | 5.62032           | 1.00188           | 0.81468           | 4.845         | Vérifié      |
| Story8  | 1.5487               | 1.3349               | 5.57532           | 4.80564           | 0.9828            | 0.81144           | 4.845         | Vérifié      |
| Story7  | 1.2757               | 1.1095               | 4.59252           | 3.9942            | 0.94536           | 0.79344           | 4.845         | Vérifié      |
| Story6  | 1.0131               | 0.8891               | 3.64716           | 3.20076           | 0.89352           | 0.75996           | 4.845         | Vérifié      |
| Story5  | 0.7649               | 0.678                | 2.75364           | 2.4408            | 0.8118            | 0.70272           | 4.845         | Vérifié      |
| Story4  | 0.5394               | 0.4828               | 1.94184           | 1.73808           | 0.70884           | 0.62532           | 4.845         | Vérifié      |
| Story3  | 0.3425               | 0.3091               | 1.233             | 1.11276           | 0.58248           | 0.52272           | 4.845         | Vérifié      |
| Story2  | 0.1807               | 0.1639               | 0.65052           | 0.59004           | 0.42948           | 0.39024           | 4.845         | Vérifié      |
| Story1  | 0.0614               | 0.0555               | 0.22104           | 0.1998            | 0.22104           | 0.1998            | 4.845         | Vérifié      |

Les déplacements inter étages sont vérifié selon les deux sens x et y.

**e. Vérification Spécifique Aux Sollicitations Normales :**

$$v = \frac{N_d}{B_c f_{c28}} \leq 0.35$$

$N_d$  : l'effort normal de calcul s'exerçant sur une section de béton.

$B_c$  : l'aire (section brute) de cette dernière.

$f_{c28}$  : la résistance caractéristique du béton à 28 jours (25 MPa).

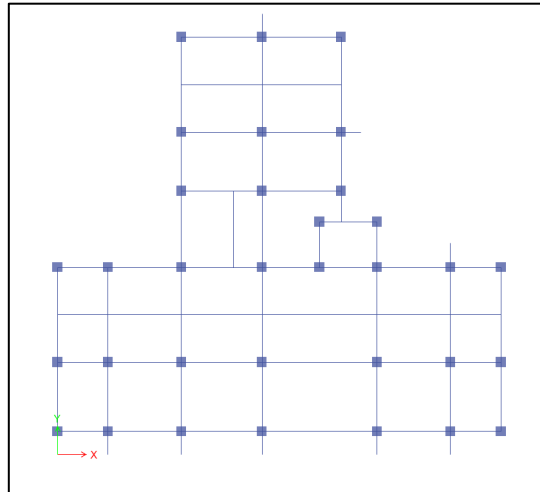


Figure IV- 11: Vue en plan de la disposition des poteaux.

Tableau IV- 17: Les efforts normaux reduits des poteaux RPA2024.

| Etages  | Section (cm <sup>2</sup> ) | LoadCase | Effort normal (kN) | fc28 (MPa) | Nu    | ≤0.35 | Vérification |
|---------|----------------------------|----------|--------------------|------------|-------|-------|--------------|
| Story14 | 30x30                      | G+BQ+E2  | -275.583           | 25         | 0.122 | ≤0.35 | Vérifié      |
| Story13 | 30x30                      | G+BQ+E2  | -517.181           | 25         | 0.23  | ≤0.35 | Vérifié      |
| Story12 | 35x35                      | G+BQ+E2  | -771.21            | 25         | 0.252 | ≤0.35 | Vérifié      |
| Story11 | 40x40                      | G+BQ+E2  | -1026.79           | 25         | 0.257 | ≤0.35 | Vérifié      |
| Story10 | 45x45                      | G+BQ+E2  | -1284.92           | 25         | 0.254 | ≤0.35 | Vérifié      |
| Story9  | 50x50                      | G+BQ+E2  | -1546.584          | 25         | 0.247 | ≤0.35 | Vérifié      |
| Story8  | 55x55                      | G+BQ+E2  | -1863.848          | 25         | 0.246 | ≤0.35 | Vérifié      |
| Story7  | 60x60                      | G+BQ+E2  | -2201.491          | 25         | 0.245 | ≤0.35 | Vérifié      |
| Story6  | 60x60                      | G+BQ+E2  | -2543.031          | 25         | 0.283 | ≤0.35 | Vérifié      |
| Story5  | 65x65                      | G+BQ+E2  | -2888.066          | 25         | 0.273 | ≤0.35 | Vérifié      |
| Story4  | 70x70                      | G+BQ+E2  | -3236.276          | 25         | 0.264 | ≤0.35 | Vérifié      |
| Story3  | 75x75                      | G+BQ+E2  | -3580.831          | 25         | 0.255 | ≤0.35 | Vérifié      |
| Story2  | 80x80                      | G+BQ+E2  | -3915.121          | 25         | 0.245 | ≤0.35 | Vérifié      |
| Story1  | 80x80                      | G+BQ+E2  | -4199.015          | 25         | 0.262 | ≤0.35 | Vérifié      |

Les efforts normaux a la base de chaque poteau sont vérifié.



**f. Justification vis-à-vis de l'effet P-Δ :**

L'effet P-A peut être négligé dans le cas des bâtiments si la condition suivante est satisfaite à tous les niveaux :

$$\theta = \frac{P_k \Delta k}{V_k h_k} \leq 0.1$$

$P_k$ : Poids totale de la structure et des charges d'exploitation associées en bas du niveau «k».

$V_k$ : effort tranchant d'étage au niveau «k».

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

$h_k$  : hauteur de l'étage «k».

Sens x-x :

Tableau IV- 18: L'effet P- Δ sens x selon le RPA2024.

| Étages  | Wi (kN) | Wi*hi     | Δx (cm) | θx     | Δy (cm) | θy     | Verif   |
|---------|---------|-----------|---------|--------|---------|--------|---------|
| Story14 | 8068.49 | 26061.24  | 0.221   | 0.004  | 0.19425 | 0.0034 | Vérifié |
| Story13 | 8122.89 | 52473.90  | 0.429   | 0.0039 | 0.3794  | 0.0030 | Vérifié |
| Story12 | 7931.79 | 76859.03  | 0.582   | 0.0035 | 0.5082  | 0.0026 | Vérifié |
| Story11 | 7754.00 | 100181.74 | 0.708   | 0.0033 | 0.60795 | 0.0024 | Vérifié |
| Story10 | 7589.52 | 122570.84 | 0.811   | 0.0031 | 0.6832  | 0.0022 | Vérifié |
| Story9  | 7438.38 | 144155.99 | 0.893   | 0.0029 | 0.73885 | 0.0020 | Vérifié |
| Story8  | 7438.38 | 168181.99 | 0.945   | 0.0028 | 0.7714  | 0.0019 | Vérifié |
| Story7  | 7300.57 | 188646.92 | 0.982   | 0.0026 | 0.7889  | 0.0017 | Vérifié |
| Story6  | 7177.96 | 208663.42 | 1.001   | 0.0024 | 0.79205 | 0.0016 | Vérifié |
| Story5  | 7066.79 | 228257.62 | 1.004   | 0.0023 | 0.78295 | 0.0014 | Vérifié |
| Story4  | 6968.95 | 247607.10 | 0.992   | 0.0021 | 0.76195 | 0.0013 | Vérifié |
| Story3  | 6884.44 | 266840.94 | 0.965   | 0.0020 | 0.7329  | 0.0012 | Vérifié |
| Story2  | 6772.06 | 284358.97 | 0.932   | 0.0018 | 0.70875 | 0.0011 | Vérifié |
| Story1  | 4710.65 | 213015.94 | 1.138   | 0.0015 | 0.95677 | 0.0010 | Vérifié |
|         |         | 2327875.7 |         |        |         |        |         |

Sens y-y :

Tableau IV- 19: L'effet P-  $\Delta$  sens y selon le RPA2024.

| Étages  | Wi<br>(kN) | Wi*hi       | Edy (kN)  | ft      | Vky<br>(kN) | hk<br>(cm) | $\Delta y$<br>(cm) | $\theta y$ | Verif   |
|---------|------------|-------------|-----------|---------|-------------|------------|--------------------|------------|---------|
| Story14 | 6218.53    | 20085.855   | 10193.115 | 791.026 | 1388.57     | 323        | 0.19425            | 0.0034     | Vérifié |
| Story13 | 6218.53    | 40171.710   |           |         | 3080.91     | 323        | 0.3794             | 0.0030     | Vérifié |
| Story12 | 6055.48    | 58677.631   |           |         | 4648.77     | 323        | 0.5082             | 0.0026     | Vérifié |
| Story11 | 6055.48    | 78236.842   |           |         | 6026.04     | 323        | 0.60795            | 0.0024     | Vérifié |
| Story10 | 5905.78    | 95378.423   |           |         | 7244.15     | 323        | 0.6832             | 0.0022     | Vérifié |
| Story9  | 5769.41    | 111811.166  |           |         | 8324.38     | 323        | 0.73885            | 0.0020     | Vérifié |
| Story8  | 5769.41    | 130446.360  |           |         | 9283.65     | 323        | 0.7714             | 0.0019     | Vérifié |
| Story7  | 5646.35    | 145901.917  |           |         | 10130.93    | 323        | 0.7889             | 0.0017     | Vérifié |
| Story6  | 5646.35    | 164139.659  |           |         | 10858.72    | 323        | 0.79205            | 0.0016     | Vérifié |
| Story5  | 5536.63    | 178833.207  |           |         | 11465.71    | 323        | 0.78295            | 0.0014     | Vérifié |
| Story4  | 5440.22    | 193291.319  |           |         | 11963.08    | 323        | 0.76195            | 0.0013     | Vérifié |
| Story3  | 5357.14    | 207643.084  |           |         | 12346.59    | 323        | 0.7329             | 0.0012     | Vérifié |
| Story2  | 5246.20    | 220288.308  |           |         | 12596.37    | 323        | 0.70875            | 0.0011     | Vérifié |
| Story1  | 3424.40    | 154851.648  |           |         | 12697.05    | 323        | 0.95677            | 0.0010     | Vérifié |
|         |            | 1799757.127 |           |         |             |            |                    |            |         |

L'effet P-  $\Delta$  selon le sens x et y sont négligé selon le RPA99/2003 donc on est toujours dans le premier ordre.

#### g. Vérification du renversement

Sens x-x :

Tableau IV- 20: Renversementsens x selon le RPA2024.

| Étages  | V <sub>x</sub> | Fix       | h     | M <sub>y</sub> | G         | Poid des terre | e <sub>x</sub> | e <sub>y</sub> | M <sub>sy</sub> |
|---------|----------------|-----------|-------|----------------|-----------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
|         | kN             | kN        | m     | kNm            | kN        | kN             | m              | m              | kNm             |
| Story14 | 1261.6062      | 1261.6062 | 45.22 | 57049.8324     | 111347.45 | 0              | 15             | 15.5           | 1725885.5       |
| Story13 | 2710.198       | 1448.5918 | 41.99 | 60826.3697     |           |                |                |                |                 |
| Story12 | 4008.494       | 1298.296  | 38.76 | 50321.953      |           |                |                |                |                 |
| Story11 | 5115.2382      | 1106.7442 | 35.53 | 39322.6214     |           |                |                |                |                 |
| Story10 | 6074.5735      | 959.3353  | 32.3  | 30986.5302     |           |                |                |                |                 |
| Story9  | 6919.5062      | 844.9327  | 29.07 | 24562.1936     |           |                |                |                |                 |
| Story8  | 7676.5598      | 757.0536  | 25.84 | 19562.265      |           |                |                |                |                 |
| Story7  | 8359.2529      | 682.6931  | 22.61 | 15435.691      |           |                |                |                |                 |
| Story6  | 8960.6197      | 601.3668  | 19.38 | 11654.4886     |           |                |                |                |                 |
| Story5  | 9476.5842      | 515.9645  | 16.15 | 8332.82668     |           |                |                |                |                 |
| Story4  | 9916.5343      | 439.9501  | 12.92 | 5684.15529     |           |                |                |                |                 |
| Story3  | 10274.1702     | 357.6359  | 9.69  | 3465.49187     |           |                |                |                |                 |
| Story2  | 10521.0051     | 246.8349  | 6.46  | 1594.55345     |           |                |                |                |                 |
| Story1  | 10626.7604     | 105.7553  | 3.23  | 341.589619     |           |                |                |                |                 |
|         |                | 5511.5222 |       | 121619.785     | 111347.45 |                |                |                |                 |

$$1.3M_r < M_s \quad 195884.49 < 1725885.5$$

Sens y-y :

Tableau IV- 21: Renversementsens y selon le RPA2024

| Étages  | Vy         | Fiy       | h     | My         | G         | Poid des terre | ex | ey   | Msx        |
|---------|------------|-----------|-------|------------|-----------|----------------|----|------|------------|
|         | kN         | kN        | m     | kNm        | kN        | kN             | m  | m    | kNm        |
| Story14 | 1388.5799  | 1388.5799 | 45.22 | 62791.5831 | 111347.45 | 0              | 15 | 15.5 | 1670211.77 |
| Story13 | 3080.9132  | 1692.3333 | 41.99 | 71061.0753 |           |                |    |      |            |
| Story12 | 4648.7784  | 1567.8652 | 38.76 | 60770.4552 |           |                |    |      |            |
| Story11 | 6026.0423  | 1377.2639 | 35.53 | 48934.1864 |           |                |    |      |            |
| Story10 | 7244.1518  | 1218.1095 | 32.3  | 39344.9369 |           |                |    |      |            |
| Story9  | 8324.3845  | 1080.2327 | 29.07 | 31402.3646 |           |                |    |      |            |
| Story8  | 9283.6598  | 959.2753  | 25.84 | 24787.6738 |           |                |    |      |            |
| Story7  | 10130.9385 | 847.2787  | 22.61 | 19156.9714 |           |                |    |      |            |
| Story6  | 10858.7293 | 727.7908  | 19.38 | 14104.5857 |           |                |    |      |            |
| Story5  | 11465.7164 | 606.9871  | 16.15 | 9802.84166 |           |                |    |      |            |
| Story4  | 11963.0874 | 497.371   | 12.92 | 6426.03332 |           |                |    |      |            |
| Story3  | 12346.5991 | 383.5117  | 9.69  | 3716.22837 |           |                |    |      |            |
| Story2  | 12596.3702 | 249.7711  | 6.46  | 1613.52131 |           |                |    |      |            |
| Story1  | 12697.0571 | 100.6869  | 3.23  | 325.218687 |           |                |    |      |            |
|         |            | 6671.0148 |       | 150680.376 | 111347.45 |                |    |      |            |

$$1.3M_r < M_s \quad 158105.72 < 1670211.77$$

La structure est stable vis-à-vis le renversement dans les deux sens x et y.

**h. Justification limitation de dommages :**

$$v_a \cdot \Delta_k \leq 0.005hk$$

Tableau IV- 22: h. Justification limitation de dommages RPA2024.

| $v_a$ | $\Delta_k^x$ | $\Delta_k^y$ | $0.005hk$ | Observation |
|-------|--------------|--------------|-----------|-------------|
| 0.5   | 1.13868      | 0.71532      | 1.615     | Vérifié     |
| 0.5   | 0.9324       | 0.729        | 1.615     | Vérifié     |
| 0.5   | 0.96588      | 0.75384      | 1.615     | Vérifié     |
| 0.5   | 0.99216      | 0.78372      | 1.615     | Vérifié     |
| 0.5   | 1.00476      | 0.80532      | 1.615     | Vérifié     |
| 0.5   | 1.00188      | 0.81468      | 1.615     | Vérifié     |
| 0.5   | 0.9828       | 0.81144      | 1.615     | Vérifié     |
| 0.5   | 0.94536      | 0.79344      | 1.615     | Vérifié     |
| 0.5   | 0.89352      | 0.75996      | 1.615     | Vérifié     |
| 0.5   | 0.8118       | 0.70272      | 1.615     | Vérifié     |
| 0.5   | 0.70884      | 0.62532      | 1.615     | Vérifié     |
| 0.5   | 0.58248      | 0.52272      | 1.615     | Vérifié     |
| 0.5   | 0.42948      | 0.39024      | 1.615     | Vérifié     |
| 0.5   | 0.22104      | 0.1998       | 1.615     | Vérifié     |
| 0.5   | 1.13868      | 0.71532      | 1.615     | Vérifié     |
| 0.5   | 0.9324       | 0.729        | 1.615     | Vérifié     |

La justification de la limitation de dommage est vérifiée.

**i. Justification du choix du coefficient de comportement :**

Tableau IV- 23: Justification du choix du coefficient de comportement RPA2024.

| Étages  | Ux (m) | Uy (m) | Rz (rad) | Rx    | Ry    | Ls    | $R_x \leq L_s$ | $R_y \leq L_s$ |
|---------|--------|--------|----------|-------|-------|-------|----------------|----------------|
| Story14 | 31.47  | 20.76  | 0.083    | 15.80 | 19.46 | 9.32  | CNV            | CNV            |
| Story13 | 29.18  | 19.27  | 0.076    | 15.88 | 19.55 | 11.63 | CNV            | CNV            |
| Story12 | 26.80  | 17.77  | 0.070    | 15.87 | 19.49 | 12.14 | CNV            | CNV            |
| Story11 | 24.32  | 16.23  | 0.06     | 15.86 | 19.42 | 12.14 | CNV            | CNV            |
| Story10 | 21.76  | 14.62  | 0.05     | 15.86 | 19.35 | 12.15 | CNV            | CNV            |
| Story9  | 19.14  | 12.96  | 0.051    | 15.85 | 19.26 | 12.16 | CNV            | CNV            |
| Story8  | 16.48  | 11.26  | 0.044    | 15.84 | 19.16 | 12.16 | CNV            | CNV            |
| Story7  | 13.80  | 9.52   | 0.037    | 15.83 | 19.05 | 12.17 | CNV            | CNV            |
| Story6  | 11.15  | 7.79   | 0.031    | 15.82 | 18.92 | 12.17 | CNV            | CNV            |
| Story5  | 8.58   | 6.09   | 0.024    | 15.80 | 18.77 | 12.17 | CNV            | CNV            |
| Story4  | 6.18   | 4.45   | 0.017    | 15.77 | 18.58 | 12.18 | CNV            | CNV            |
| Story3  | 4.01   | 2.94   | 0.011    | 15.72 | 18.35 | 12.19 | CNV            | CNV            |
| Story2  | 2.15   | 1.61   | 0.006    | 15.60 | 18.03 | 12.19 | CNV            | CNV            |
| Story1  | 0.75   | 0.57   | 0.002    | 15.31 | 17.52 | 12.20 | CNV            | CNV            |

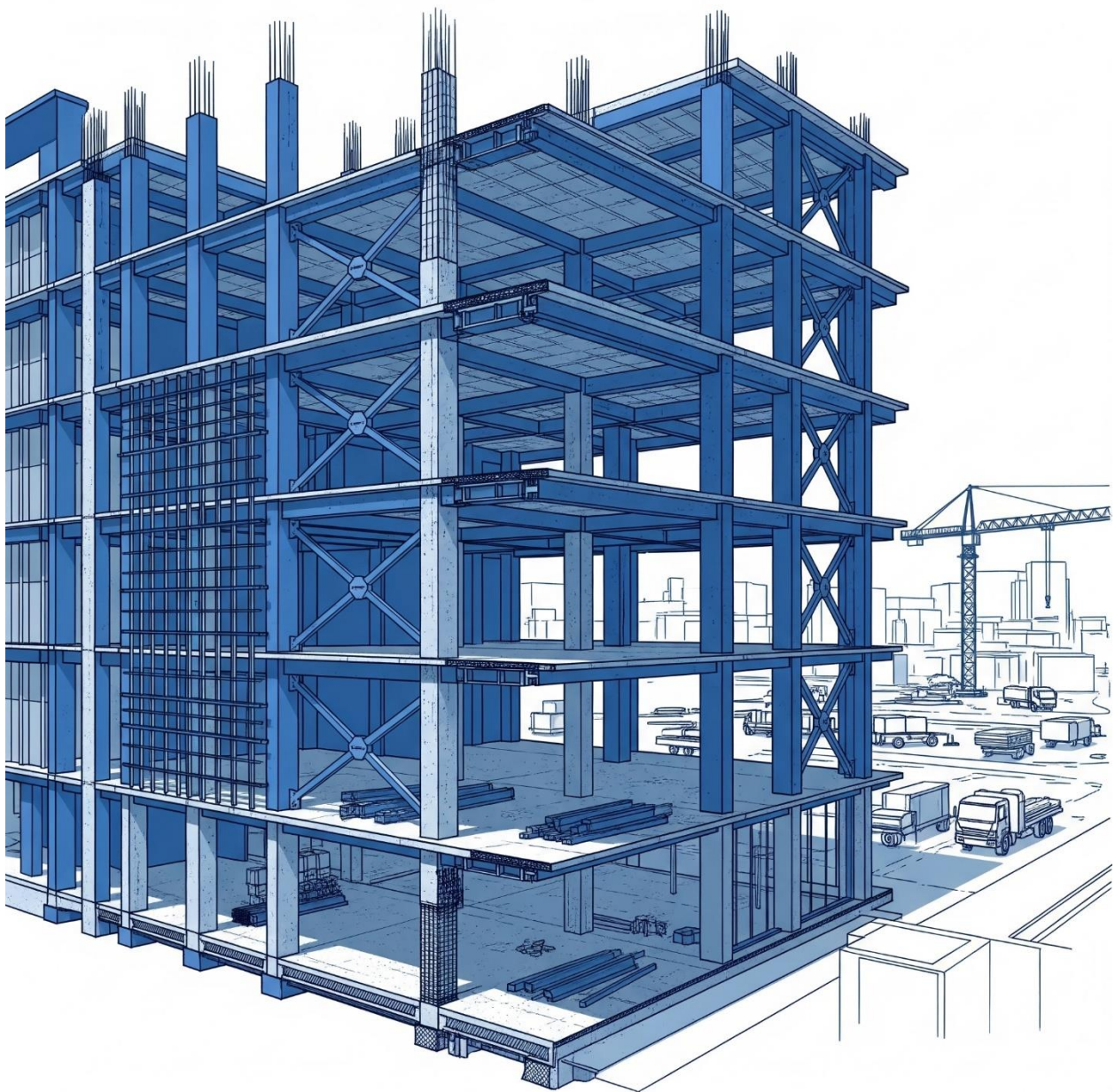
L'article a2 est vérifié du moment que les deux équations  $r \leq l_s$  sont vérifiées dans les deux sens, et cela veut dire que on n'est pas dans le système 6 du contreventement (deuxième vérification).

**Conclusion :**

Toutes les conditions de le RPA 2024 sont vérifiées donc la structure est stable.

# CHAPITRE V

## *Ferraillage Des Eléments Résistants*



### V.1. Introduction :

Les sollicitations ainsi que les déformations généralisées de tous les éléments structuraux de notre structure sont maintenant connues dans le cadre d'une analyse dynamique, celles sont d'ailleurs données pour toutes les combinaisons que nous avons envisagées.

Le ferrailage est mené au moyen d'un logiciel basé sur les règles CBA93, nous avons évidemment opté pour un ferrailage optimal privilégiant d'une part de la sécurité de la bâtisse et d'autre part les conditions de réalisation pratique.

Le ferrailage des éléments résistant doit être conforme aux règlements en vigueur en l'occurrence le **CBA93** et le **RPA99/2003** et **RPA 2024**.

Notre structure est composée essentiellement de trois éléments structuraux à savoir :

- Poteaux
- Poutres
- Voiles

### V.2. Ferrailage des Poteaux :

Les poteaux sont des éléments structuraux verticaux, ils constituent des points d'appuis pour les poutres et jouent un rôle très important dans la transmission des efforts vers les fondations.

Les sections des poteaux sont soumises à la flexion composée (M, N), compression "N", et un moment fléchissant "M".

Une section soumise à la flexion composée peut être l'un des trois cas suivants :

- Section entièrement tendue **SET**
- Section entièrement comprimée **SEC**
- Section partiellement comprimée **SPC**

Les armatures sont obtenues à l'état limite ultime (E.L.U) sous l'effet des sollicitations les plus défavorables et dans les situations suivantes :

Tableau V- 1: Caractéristiques du béton et de l'acier RPA99/2003.

| Situation    | Béton      |                 |                     | Acier      |             |                  |
|--------------|------------|-----------------|---------------------|------------|-------------|------------------|
|              | $\gamma_b$ | $f_{c28}$ (MPa) | $\sigma_{bc}$ (MPa) | $\gamma_s$ | $f_e$ (MPa) | $\sigma_s$ (MPa) |
| Durable      | 1.5        | 25              | 14.17               | 1.15       | 500         | 348              |
| Accidentelle | 1.15       | 25              | 18.48               | 1          | 500         |                  |

Tableau V- 2: Caractéristiques du béton et de l'acier RPA2024.

| Situation    | Béton      |                 |                     | Acier      |             |                  |
|--------------|------------|-----------------|---------------------|------------|-------------|------------------|
|              | $\gamma_b$ | $f_{c28}$ (MPa) | $\sigma_{bc}$ (MPa) | $\gamma_s$ | $f_e$ (MPa) | $\sigma_s$ (MPa) |
| Durable      | 1.2        | 25              |                     | 1.15       | 500         | 348              |
| Accidentelle | 1.15       | 25              |                     | 1          | 500         |                  |

**V.2.1. Combinaisons d'action :**

En fonction du type de sollicitations, nous distinguons les différentes combinaisons suivantes :

**Selon le CBA93 :**

Situation durable

- E.L.U :  $1.35G+1.5Q$
- E.L.S :  $G+Q$

**Selon le RPA99/2003 :**

Situation accidentelle :

- $G+Q+E$
- $0.8G\pm E$

**Selon le RPA 2024 :**

Situation accidentelle :

- $E1=\pm Ex\pm 0.3Ey$
- $E2=\pm 0.3Ex\pm Ey$
- $G+\Psi Q+E1$
- $G+\Psi Q+E2$

A partir de ces combinaisons, on distingue les cas suivants :

- Effort normal maximal et le moment correspondant ( $N^{\max}, M^{\text{cor}}$ )
- Le moment maximum et l'effort correspondant ( $M^{\max}, N^{\text{cor}}$ )
- Effort normal minimal et le moment correspondant ( $N^{\min}, M^{\text{cor}}$ )

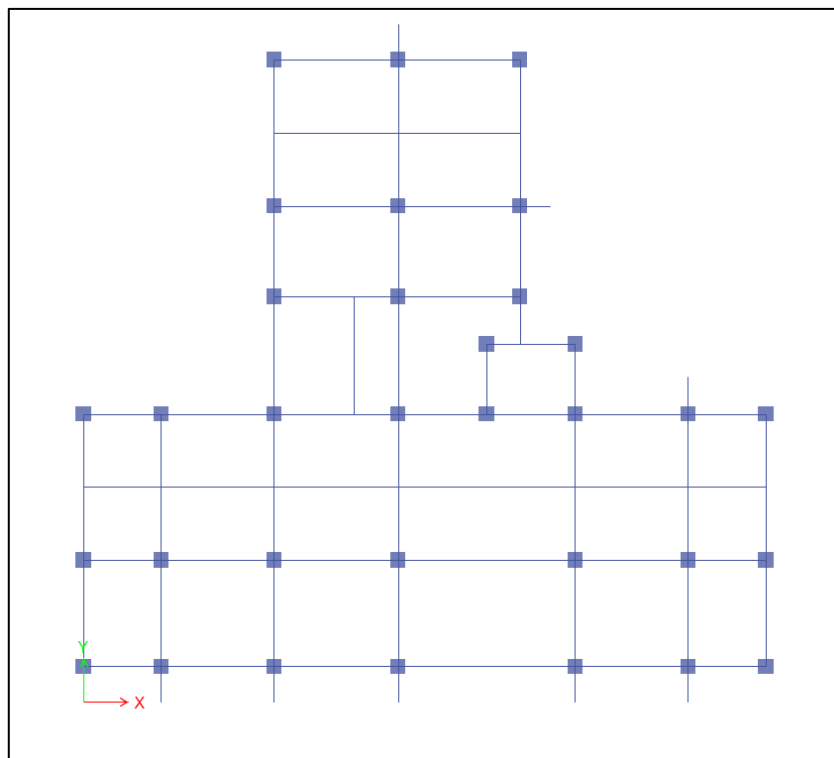


Figure V- 1: Vue en plan de la disposition des poteaux.



**V.2.2. La méthode de calcul :**

Les poteaux de notre structure seront calculés à la flexion composée (F.C).

Les données :  $B ; h ; d ; \sigma_{bc} ; e ; N_u ; M_u$

$$N_u = \frac{M_u}{e}$$

$$\Psi_1 = \frac{N_u}{b h \sigma_{bc}}$$

- Si  $\Psi_1 \leq 0.81 \rightarrow$  Calculer  $e_{NC} = f(\Psi_1)$ 
  - $e \leq e_{NC}$  : section entièrement comprimée E.L.U Non atteint % minimal d'armature  $A = 4\text{cm}^2/\text{ml}$  de parement  $0.2\% \leq A_s/B \leq 5\%$
  - $e > e_{NC}$  : section partiellement comprimée E.L.U Pouvant ne pas être atteint si passage

- Si  $\Psi_1 > 0.81$

$$\chi = \frac{0.5\left(\frac{d^4}{h}\right) - \left[\frac{(d-d') N_u - M_u}{b h^2 \sigma_{bc}}\right]}{\left(\frac{e}{7}\right) - \left(\frac{d'}{h}\right)}$$

- $\chi \leq 0.19 \rightarrow$  Section entièrement comprimée **PIVOT C** ( voir annexe flexion composée )

$$\chi < 0 \rightarrow A_s = 0 ; A'_s = 0$$

$$\chi > 0 \rightarrow A_s \neq 0 ; A'_s \neq 0$$

**V.2.3. Recommandation du RPA99/2003 :****V.2.3.1. Ferraillage longitudinal des poteaux 2003 :**

D'après le RPA99/2003 (article 7.4.2 pages 48), les armatures longitudinales doivent être à haute adhérence droites et sans crochet. Leur pourcentage en zone sismique III est limité par :

$$-A_{max} = \frac{A_s}{bh} < 3\% \text{ en zone courante}$$

$$-A_{max} = \frac{A_s}{bh} < 6\% \text{ en zone recouvrement}$$

$$-A_{min} = A_s > 0.9\%bh \text{ (zone III)}$$

- Le diamètre minimal est de 12 mm
- La longueur minimale de recouvrement est de  $50\phi_L$
- La distance maximale entre les barres dans une surface de poteau est de 20 cm.
- Les jonctions par recouvrement doivent être faites si possible, à l'extérieur des zones nodales (zones critiques).

Avec :

$A_s$  : la section d'acier

$B$  : section du béton [ $\text{cm}^2$ ]

- Le diamètre minimal est de 12 mm
  - La longueur minimale de  $50\phi$  en zone de recouvrement.
  - La distance entre les barres verticales dans une face du poteau ne doit pas dépasser 20m.
- Les jonctions par recouvrement doivent être faites si possible, à l'extérieur des zones nodales.
- Le logiciel ETABS a été exécuté pour toutes les combinaisons proposées par le RPA 99/2003.

**Remarque :** On utilise le logiciel SOCOTEC pour le ferraillage des sections

## - Situation durable

Combinaison: 1.35G + 1.5Q

1. ( $N^{\max}$  ;  $M^{\text{cor}}$ )

Tableau V- 3: Les efforts des poteaux à l'ELU selon RPA99/2003.

| Niveau            | Section (cm <sup>2</sup> ) | $N^{\max}$ (KN) | $M^{\text{cor}}$ (KN.m) | Sollicitation | $A'_s$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_s$ (cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------|----------------------------|-----------------|-------------------------|---------------|---------------------------|--------------------------|
| RDC               | 80x80                      | -5683.8967      | -42.597                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 1 <sup>er</sup>   | 80x80                      | -5162.508       | -124.3473               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 2 <sup>eme</sup>  | 75x75                      | -4656.7383      | -98.471                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 3 <sup>eme</sup>  | 70x70                      | -4171.9248      | -97.5191                | SEC           | 0                         | 0                        |
| 4 <sup>eme</sup>  | 65x65                      | -3708.4097      | -92.046                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 5 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | -3265.5737      | -82.6586                | SEC           | 0                         | 0                        |
| 6 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | -2845.5655      | -111.5339               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 7 <sup>eme</sup>  | 55x55                      | -2439.9143      | -102.0829               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 8 <sup>eme</sup>  | 50x50                      | -2054.6644      | -42.3812                | SEC           | 0                         | 0                        |
| 9 <sup>eme</sup>  | 45x45                      | -1699.594       | -32.2356                | SEC           | 0                         | 0                        |
| 10 <sup>eme</sup> | 40x40                      | -1354.1377      | -22.4548                | SEC           | 0                         | 0                        |
| 11 <sup>eme</sup> | 35x35                      | -1015.5695      | -13.8415                | SEC           | 0                         | 0                        |
| 12 <sup>eme</sup> | 30x30                      | -681.1228       | -7.1505                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 13 <sup>eme</sup> | 30x30                      | -359.1704       | -6.694                  | SEC           | 0                         | 0                        |

2. ( $N^{\min}$  ;  $M^{\text{cor}}$ )

Tableau V- 4: Les efforts des poteaux à l'ELU selon RPA99/2003.

| Niveau            | Section (cm <sup>2</sup> ) | $N^{\min}$ (KN) | $M^{\text{cor}}$ (KN.m) | Sollicitation | $A'_s$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_s$ (cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------|----------------------------|-----------------|-------------------------|---------------|---------------------------|--------------------------|
| RDC               | 80x80                      | -1449.7796      | -7.7284                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 1 <sup>er</sup>   | 80x80                      | -1351.4447      | -6.1702                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 2 <sup>eme</sup>  | 75x75                      | -1150.1303      | -3.9529                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 3 <sup>eme</sup>  | 70x70                      | -951.7082       | -2.3459                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 4 <sup>eme</sup>  | 65x65                      | -767.0126       | -1.2689                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 5 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | -604.3501       | -0.7092                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 6 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | -511.116        | -0.6995                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 7 <sup>eme</sup>  | 55x55                      | -375.8174       | -0.3702                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 8 <sup>eme</sup>  | 50x50                      | -258.4288       | -0.1276                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 9 <sup>eme</sup>  | 45x45                      | -163.3517       | 0.0516                  | SPC           | 0                         | 1.93                     |
| 11 <sup>eme</sup> | 40x40                      | -36.6739        | 0.2195                  | SPC           | 0                         | 0.44                     |
| 12 <sup>eme</sup> | 35x35                      | 18.1141         | -1.3622                 | SPC           | 0                         | 0                        |
| 13 <sup>eme</sup> | 30x30                      | -1.3949         | 1.1336                  | SPC           | 0                         | 0.11                     |

### 3. ( $M_{max}$ ; $N^{cor}$ )

Tableau V- 5: Les efforts des poteaux à l'ELU selon RPA99/2003.

| Niveau            | Section (cm <sup>2</sup> ) | $M_{max}$ (KN) | $N^{cor}$ (KN.m) | Sollicitation | $A'_s$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_s$ (cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------|----------------------------|----------------|------------------|---------------|---------------------------|--------------------------|
| RDC               | 80x80                      | -96.0727       | -2590.0242       | SEC           | 0                         | 0                        |
| 1 <sup>er</sup>   | 80x80                      | -124.3473      | -5162.5087       | SEC           | 0                         | 0                        |
| 2 <sup>eme</sup>  | 75x75                      | -104.9339      | -3382.9202       | SEC           | 0                         | 0                        |
| 3 <sup>eme</sup>  | 70x70                      | -111.1928      | -3005.8845       | SEC           | 0                         | 0                        |
| 4 <sup>eme</sup>  | 65x65                      | -112.9543      | -2653.7743       | SEC           | 0                         | 0                        |
| 5 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | -108.605       | -2324.3016       | SEC           | 0                         | 0                        |
| 6 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | -127.3303      | -2020.5349       | SEC           | 0                         | 0                        |
| 7 <sup>eme</sup>  | 55x55                      | -112.841       | -1733.7984       | SEC           | 0                         | 0                        |
| 8 <sup>eme</sup>  | 50x50                      | -105.5245      | -1461.8921       | SEC           | 0                         | 0                        |
| 9 <sup>eme</sup>  | 45x45                      | -92.5503       | -1202.5465       | SEC           | 0                         | 0                        |
| 10 <sup>eme</sup> | 40x40                      | -75.8273       | -951.9944        | SEC           | 0                         | 0                        |
| 11 <sup>eme</sup> | 35x35                      | -56.2487       | -706.1728        | SEC           | 0                         | 0                        |
| 12 <sup>eme</sup> | 30x30                      | -36.7907       | -465.334         | SEC           | 0                         | 0                        |
| 13 <sup>eme</sup> | 30x30                      | -48.6153       | -217.5209        | SEC           | 0                         | 0                        |

#### - Situation accidentelle

##### A. Combinaison : G + Q +E

##### 1. ( $N_{max}$ ; $M^{cor}$ )

Tableau V- 6: Les efforts des poteaux à l'ELA selon RPA99/2003.

| Niveau            | Section (cm <sup>2</sup> ) | $N_{max}$ (KN) | $M^{cor}$ (KN.m) | Sollicitation | $A'_s$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_s$ (cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------|----------------------------|----------------|------------------|---------------|---------------------------|--------------------------|
| RDC               | 80x80                      | -5868.529      | -346.9058        | SEC           | 0                         | 0                        |
| 1 <sup>er</sup>   | 80x80                      | -5038.0223     | -204.9404        | SEC           | 0                         | 0                        |
| 2 <sup>eme</sup>  | 75x75                      | -4086.6374     | -169.5032        | SEC           | 0                         | 0                        |
| 3 <sup>eme</sup>  | 70x70                      | -3600.9923     | -187.5593        | SEC           | 0                         | 0                        |
| 4 <sup>eme</sup>  | 65x65                      | -3150.3579     | -176.7884        | SEC           | 0                         | 0                        |
| 5 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | -2722.1521     | -162.7269        | SEC           | 0                         | 0                        |
| 6 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | -2345.8732     | -180.3633        | SEC           | 0                         | 0                        |
| 7 <sup>eme</sup>  | 55x55                      | -1959.7122     | -142.6235        | SEC           | 0                         | 0                        |
| 8 <sup>eme</sup>  | 50x50                      | -1651.4685     | -127.3521        | SEC           | 0                         | 0                        |
| 9 <sup>eme</sup>  | 45x45                      | -1372.7926     | -101.1973        | SEC           | 0                         | 0                        |
| 10 <sup>eme</sup> | 40x40                      | -1097.3376     | -73.8952         | SEC           | 0                         | 0                        |
| 11 <sup>eme</sup> | 35x35                      | -823.8649      | -48.411          | SEC           | 0                         | 0                        |
| 12 <sup>eme</sup> | 30x30                      | -551.1672      | 30.4272          | SPC           | 0                         | 5.4                      |
| 13 <sup>eme</sup> | 30x30                      | -283.8134      | 33.6041          | SPC           | 0                         | 5.4                      |

2. ( $N^{\min}$  ;  $M^{\text{cor}}$ )

Tableau V- 7: Les efforts des poteaux à l'ELA selon RPA99/2003.

| Niveau            | Section (cm <sup>2</sup> ) | $N^{\min}$ (KN) | $M^{\text{cor}}$ (KN.m) | Sollicitation | $A'_s$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_s$ (cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------|----------------------------|-----------------|-------------------------|---------------|---------------------------|--------------------------|
| RDC               | 80x80                      | -1921.5225      | -75.1376                | SEC           | 0                         | 0                        |
| 1 <sup>er</sup>   | 80x80                      | -1513.8866      | -48.4073                | SEC           | 0                         | 0                        |
| 2 <sup>eme</sup>  | 75x75                      | -1090.6861      | -32.4716                | SEC           | 0                         | 0                        |
| 3 <sup>eme</sup>  | 70x70                      | -755.7884       | -21.0236                | SEC           | 0                         | 0                        |
| 4 <sup>eme</sup>  | 65x65                      | -501.7874       | -12.0803                | SEC           | 0                         | 0                        |
| 5 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | -352.048        | -10.5791                | SEC           | 0                         | 0                        |
| 6 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | -252.0092       | -8.45                   | SEC           | 0                         | 0                        |
| 7 <sup>eme</sup>  | 55x55                      | -165.451        | -5.1913                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 8 <sup>eme</sup>  | 50x50                      | -109.2162       | -2.9975                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 9 <sup>eme</sup>  | 45x45                      | -79.5028        | -2.6962                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 10 <sup>eme</sup> | 40x40                      | -72.2392        | -1.6092                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 11 <sup>eme</sup> | 35x35                      | -66.2109        | -0.7198                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 12 <sup>eme</sup> | 30x30                      | -56.9594        | -1.2121                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 13 <sup>eme</sup> | 30x30                      | -44.9445        | -14.9817                | SEC           | 0                         | 0                        |

3. ( $M^{\max}$  ;  $N^{\text{cor}}$ )

Tableau V- 8: Les efforts des poteaux à l'ELA selon RPA99/2003.

| Niveau            | Section (cm <sup>2</sup> ) | $M^{\max}$ (KN) | $N^{\text{cor}}$ (KN.m) | Sollicitation | $A'_s$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_s$ (cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------|----------------------------|-----------------|-------------------------|---------------|---------------------------|--------------------------|
| RDC               | 80x80                      | -294.4945       | -5163.410               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 1 <sup>er</sup>   | 80x80                      | -256.1915       | -3607.166               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 2 <sup>eme</sup>  | 75x75                      | -264.1489       | -2983.499               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 3 <sup>eme</sup>  | 70x70                      | -243.9055       | -2406.755               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 4 <sup>eme</sup>  | 65x65                      | -234.2806       | -1522.457               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 5 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | -222.6935       | -1237.786               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 6 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | -255.8101       | -1353.286               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 7 <sup>eme</sup>  | 55x55                      | -220.6394       | -1103.594               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 8 <sup>eme</sup>  | 50x50                      | -193.6251       | -874.8168               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 9 <sup>eme</sup>  | 45x45                      | -156.678        | -670.2433               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 10 <sup>eme</sup> | 40x40                      | -121.2687       | -1011.934               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 11 <sup>eme</sup> | 35x35                      | -76.9778        | -344.018                | SEC           | 0                         | 0                        |
| 12 <sup>eme</sup> | 30x30                      | -56.3951        | -485.1243               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 13 <sup>eme</sup> | 30x30                      | -60.9746        | -240.0902               | SEC           | 0                         | 0                        |

**B. Combinaison :  $0.8G \pm E$** **1. ( $N^{\max}$  ;  $M^{\text{cor}}$ )**

Tableau V- 9: Les efforts des poteaux à l'ELA selon RPA99/2003.

| Niveau            | Section (cm <sup>2</sup> ) | $N^{\max}$ (KN) | $M^{\text{cor}}$ (KN.m) | Sollicitation | $A'_s$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_s$ (cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------|----------------------------|-----------------|-------------------------|---------------|---------------------------|--------------------------|
| RDC               | 80x80                      | -4677.5515      | -285.4593               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 1 <sup>er</sup>   | 80x80                      | -4006.2819      | -173.885                | SEC           | 0                         | 0                        |
| 2 <sup>eme</sup>  | 75x75                      | -3239.5458      | -145.0478               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 3 <sup>eme</sup>  | 70x70                      | -2561.5452      | -123.9756               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 4 <sup>eme</sup>  | 65x65                      | -2198.4112      | -137.7857               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 5 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | -1898.6475      | -125.763                | SEC           | 0                         | 0                        |
| 6 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | -1625.6263      | -23.0695                | SEC           | 0                         | 0                        |
| 7 <sup>eme</sup>  | 55x55                      | -1365.1326      | -109.1243               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 8 <sup>eme</sup>  | 50x50                      | -1138.6629      | -102.1655               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 9 <sup>eme</sup>  | 45x45                      | -949.4712       | -81.4246                | SEC           | 0                         | 0                        |
| 10 <sup>eme</sup> | 40x40                      | -762.0248       | -59.588                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 11 <sup>eme</sup> | 35x35                      | -575.4413       | -39.099                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 12 <sup>eme</sup> | 30x30                      | -388.8789       | -22.1893                | SEC           | 0                         | 0                        |
| 13 <sup>eme</sup> | 30x30                      | -208.5585       | -24.1404                | SEC           | 0                         | 0                        |

**2. ( $N^{\min}$  ;  $M^{\text{cor}}$ )**

Tableau V- 10: Les efforts des poteaux à l'ELA selon RPA99/2003.

| Niveau            | Section (cm <sup>2</sup> ) | $N^{\min}$ (KN) | $M^{\text{cor}}$ (KN.m) | Sollicitation | $A'_s$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_s$ (cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------|----------------------------|-----------------|-------------------------|---------------|---------------------------|--------------------------|
| RDC               | 80x80                      | 2387.7128       | 89.8514                 | SET           | 12.5                      | 23.27                    |
| 1 <sup>er</sup>   | 80x80                      | 1921.6802       | 65.8168                 | SET           | 9.56                      | 14.94                    |
| 2 <sup>eme</sup>  | 75x75                      | 1436.65         | 46.6101                 | SET           | 3.25                      | 6.47                     |
| 3 <sup>eme</sup>  | 70x70                      | 1044.7988       | 32.4623                 | SET           | 0                         | 0.83                     |
| 4 <sup>eme</sup>  | 65x65                      | 754.8702        | 14.6873                 | SET           | 0                         | 0                        |
| 5 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | 559.4641        | 10.1615                 | SET           | 0                         | 0                        |
| 6 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | 422.5373        | 8.1992                  | SET           | 0                         | 0                        |
| 7 <sup>eme</sup>  | 55x55                      | 294.5499        | 5.168                   | SET           | 0                         | 0                        |
| 8 <sup>eme</sup>  | 50x50                      | 197.2168        | 3.0913                  | SET           | 0                         | 0                        |
| 9 <sup>eme</sup>  | 45x45                      | 132.2743        | 3.3796                  | SET           | 0                         | 0                        |
| 10 <sup>eme</sup> | 40x40                      | 96.5212         | 2.7485                  | SET           | 0                         | 0                        |
| 11 <sup>eme</sup> | 35x35                      | 69.9313         | 1.5365                  | SET           | 0                         | 0                        |
| 12 <sup>eme</sup> | 30x30                      | 67.446          | 8.61                    | SET           | 0                         | 0                        |
| 13 <sup>eme</sup> | 30x30                      | 55.5729         | 12.3062                 | SET           | 0                         | 0                        |

3. (M<sub>max</sub>; N<sub>cor</sub>)

Tableau V- 11: Les efforts des poteaux à l'ELA selon RPA99/2003.

| Niveau            | Section (cm <sup>2</sup> ) | M <sup>max</sup> (KN) | N <sup>cor</sup> (KN.m) | Sollicitation | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| RDC               | 80x80                      | -285.4593             | -4677.5515              | SEC           | 0                                  | 0                                 |
| 1 <sup>er</sup>   | 80x80                      | -257.2365             | -3152.5458              | SEC           | 0                                  | 0                                 |
| 2 <sup>eme</sup>  | 75x75                      | -263.8201             | -2583.651               | SEC           | 0                                  | 0                                 |
| 3 <sup>eme</sup>  | 70x70                      | -244.4383             | -2063.3168              | SEC           | 0                                  | 0                                 |
| 4 <sup>eme</sup>  | 65x65                      | -229.038              | -1472.2481              | SEC           | 0                                  | 0                                 |
| 5 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | -220.8223             | -1256.8009              | SEC           | 0                                  | 0                                 |
| 6 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | -159.9824             | -1053.0441              | SEC           | 0                                  | 0                                 |
| 7 <sup>eme</sup>  | 55x55                      | -219.9359             | -855.6588               | SEC           | 0                                  | 0                                 |
| 8 <sup>eme</sup>  | 50x50                      | -193.2414             | -675.1844               | SEC           | 0                                  | 0                                 |
| 9 <sup>eme</sup>  | 45x45                      | -156.6284             | -514.6316               | SEC           | 0                                  | 0                                 |
| 10 <sup>eme</sup> | 40x40                      | -116.211              | -376.7069               | SEC           | 0                                  | 0                                 |
| 11 <sup>eme</sup> | 35x35                      | -77.3465              | -262.8171               | SEC           | 0                                  | 0                                 |
| 12 <sup>eme</sup> | 30x30                      | -45.677               | -341.2478               | SEC           | 0                                  | 0                                 |
| 13 <sup>eme</sup> | 30x30                      | -49.0594              | -174.3458               | SEC           | 0                                  | 0                                 |

## • Choix des armatures :

Tableau V- 12: Choix d'armatures des poteaux selon le RPA99/2003.

| Niveau            | Section (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>cal</sup> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>max</sup> Z.C (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>max</sup> Z.R (cm <sup>2</sup> ) | Choix des armatures | A <sub>s</sub> <sup>adopté</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------|----------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------|
|                   |                            |                                                  |                                                  |                                                      |                                                      |                     |                                                     |
| RDC               | 80x80                      | 23.27                                            | 57.6                                             | 256                                                  | 384                                                  | 4T25 + 3T20         | 61.8                                                |
| 1 <sup>er</sup>   | 80x80                      | 14.94                                            | 57.6                                             | 256                                                  | 384                                                  | 4T25 + 3T20         | 61.8                                                |
| 2 <sup>eme</sup>  | 75x75                      | 6.47                                             | 50.63                                            | 225                                                  | 337.5                                                | 9T20                | 56.54                                               |
| 3 <sup>eme</sup>  | 70x70                      | 0.83                                             | 44.10                                            | 196                                                  | 294                                                  | 7T16                | 48.24                                               |
| 4 <sup>eme</sup>  | 65x65                      | 0                                                | 38.03                                            | 169                                                  | 253.5                                                | 6T16                | 40.2                                                |
| 5 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | 0                                                | 32.40                                            | 144                                                  | 216                                                  | 6T16                | 40.2                                                |
| 6 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | 0                                                | 32.40                                            | 144                                                  | 216                                                  | 6T16                | 40.2                                                |
| 7 <sup>eme</sup>  | 55x55                      | 0                                                | 27.23                                            | 121                                                  | 181.5                                                | 5T16                | 32.16                                               |
| 8 <sup>eme</sup>  | 50x50                      | 0                                                | 22.50                                            | 100                                                  | 150                                                  | 5T14                | 32.16                                               |
| 9 <sup>eme</sup>  | 45x45                      | 0                                                | 18.23                                            | 81                                                   | 121.5                                                | 4T14                | 18.48                                               |
| 10 <sup>eme</sup> | 40x40                      | 0                                                | 16                                               | 64                                                   | 96                                                   | 4T14                | 18.48                                               |

|                         |       |            |                    |                |                  |          |           |
|-------------------------|-------|------------|--------------------|----------------|------------------|----------|-----------|
| <b>11<sup>eme</sup></b> | 35x35 | <b>0</b>   | <b>11.02<br/>5</b> | <b>4<br/>9</b> | <b>73.<br/>5</b> | 3T1<br>4 | 13.6<br>5 |
| <b>12<sup>eme</sup></b> | 30x30 | <b>5.4</b> | <b>8.1</b>         | <b>3<br/>6</b> | <b>54</b>        | 3T1<br>2 | 13.5<br>6 |
| <b>13<sup>eme</sup></b> | 30x30 | <b>5.4</b> | <b>8.1</b>         | <b>3<br/>6</b> | <b>54</b>        | 3T1<br>2 | 13.5<br>6 |



• **Vérification vis-à-vis de l'état limite de service :**

Les contraintes sont calculées à l'état limite de service sous ( $M_{ser}$ ,  $N_{ser}$ ) (annexe, organigramme), puis elles sont comparées aux contraintes admissible donnée par :

- **Béton :**  $\overline{\sigma}_{bc} = 0.6 f_{c28} = 15MPa$  et  $\sigma = N_s/S$
- **Acier:**
- Fissuration peu nuisible .... Pas de vérification
- Fissuration préjudiciable... $\overline{\sigma}_s = \zeta = \min \left( \frac{2}{3} f_e; \max \left( \frac{f_e}{2} ; 110 \sqrt{\eta \cdot f_{tj}} \right) \right)$
- Fissuration très préjudiciable... $\overline{\sigma}_s = 0.8\zeta$

Avec :

$\eta = 1.6$  Pour les aciers H.A

Dans notre cas la fissuration est considérée comme préjudiciable, donc  $\sigma_s = 201.6MPa$

Les résultats sont récapitulés dans les tableaux suivants :

Tableau V- 13: Les sollicitations à l'ELS RPA99/2003.

| Niveau                  | Section (cm <sup>2</sup> ) | N <sup>max</sup> (KN) | M <sup>cor</sup> (KN.m) | Sollicitation | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>RDC</b>              | 80x80                      | -4172.2208            | -32.2155                | <b>SEC</b>    | <b>8.29</b>                        | <b>8.29</b>                       |
| <b>1<sup>er</sup></b>   | 80x80                      | -3788.2715            | -94.3204                | <b>SEC</b>    | <b>8.29</b>                        | <b>8.29</b>                       |
| <b>2<sup>eme</sup></b>  | 75x75                      | -3416.0085            | -74.8422                | <b>SEC</b>    | <b>8.29</b>                        | <b>8.29</b>                       |
| <b>3<sup>eme</sup></b>  | 70x70                      | -3059.3757            | -74.2332                | <b>SEC</b>    | <b>6.03</b>                        | <b>6.03</b>                       |
| <b>4<sup>eme</sup></b>  | 65x65                      | -2718.6081            | -70.1841                | <b>SEC</b>    | <b>6.03</b>                        | <b>6.03</b>                       |
| <b>5<sup>eme</sup></b>  | 60x60                      | -2393.2337            | -65.4847                | <b>SEC</b>    | <b>6.03</b>                        | <b>6.03</b>                       |
| <b>6<sup>eme</sup></b>  | 60x60                      | -2084.8245            | -79.7715                | <b>SEC</b>    | <b>6.03</b>                        | <b>6.03</b>                       |
| <b>7<sup>eme</sup></b>  | 55x55                      | -1787.0887            | -73.1315                | <b>SEC</b>    | <b>6.03</b>                        | <b>6.03</b>                       |
| <b>8<sup>eme</sup></b>  | 50x50                      | -1501.638             | -71.9861                | <b>SEC</b>    | <b>4.02</b>                        | <b>4.02</b>                       |
| <b>9<sup>eme</sup></b>  | 45x45                      | -1235.4983            | 75.9873                 | <b>SEC</b>    | <b>4.02</b>                        | <b>4.02</b>                       |
| <b>10<sup>eme</sup></b> | 40x40                      | -984.7175             | 64.5504                 | <b>SEC</b>    | <b>3.08</b>                        | <b>3.08</b>                       |
| <b>11<sup>eme</sup></b> | 35x35                      | -739.2367             | 49.9143                 | <b>SEC</b>    | <b>3.08</b>                        | <b>3.08</b>                       |
| <b>12<sup>eme</sup></b> | 30x30                      | -497.0258             | 33.444                  | <b>SEC</b>    | <b>3.08</b>                        | <b>3.08</b>                       |
| <b>13<sup>eme</sup></b> | 30x30                      | -264.225              | 36.8908                 | <b>SEC</b>    | <b>3.08</b>                        | <b>3.08</b>                       |

Tableau V- 14: Verification des contraintes à l'ELS RPA99/2003.

| Niveau                  | Section (cm <sup>2</sup> ) | N <sup>max</sup> (KN) | M <sup>cor</sup> (KN.m) | S (cm <sup>2</sup> ) | V1 (cm)     | V2 (cm)     | I/G1 x10 <sup>4</sup> (cm <sup>4</sup> ) | Mser/G1 (KN.m) | $\sigma_{bc}^{min}$ | Sollicitation |
|-------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|-------------|-------------|------------------------------------------|----------------|---------------------|---------------|
| <b>RDC</b>              | 80x80                      | -4172.2208            | -32.2155                | <b>6648.7</b>        | <b>40</b>   | <b>40</b>   | <b>366.8</b>                             | -32.2155       | 5.92                | SEC           |
| <b>1<sup>er</sup></b>   | 80x80                      | -3788.2715            | -94.3204                | <b>6648.7</b>        | <b>40</b>   | <b>40</b>   | <b>366.8</b>                             | -94.3204       | 4.67                | SEC           |
| <b>2<sup>eme</sup></b>  | 75x75                      | -3416.0085            | -74.8422                | <b>5873.7</b>        | <b>37.5</b> | <b>37.5</b> | <b>286.05</b>                            | -74.8422       | 4.83                | SEC           |
| <b>3<sup>eme</sup></b>  | 70x70                      | -3059.3757            | -74.2332                | <b>5080.9</b>        | <b>35</b>   | <b>35</b>   | <b>214.43</b>                            | -74.2332       | 4.82                | SEC           |
| <b>4<sup>eme</sup></b>  | 65x65                      | -2718.6081            | -70.1841                | <b>4405.9</b>        | <b>32.5</b> | <b>32.5</b> | <b>160.98</b>                            | -70.1841       | 4.75                | SEC           |
| <b>5<sup>eme</sup></b>  | 60x60                      | -2393.2337            | -65.4847                | <b>3780.9</b>        | <b>30</b>   | <b>30</b>   | <b>118.42</b>                            | -65.4847       | 4.67                | SEC           |
| <b>6<sup>eme</sup></b>  | 60x60                      | -2084.8245            | -79.7715                | <b>3780.9</b>        | <b>30</b>   | <b>30</b>   | <b>118.42</b>                            | -79.7715       | 3.49                | SEC           |
| <b>7<sup>eme</sup></b>  | 55x55                      | -1787.0887            | -73.1315                | <b>3205.9</b>        | <b>27.5</b> | <b>27.5</b> | <b>85.01</b>                             | -73.1315       | 3.21                | SEC           |
| <b>8<sup>eme</sup></b>  | 50x50                      | -1501.638             | -71.9861                | <b>2620.9</b>        | <b>25</b>   | <b>25</b>   | <b>56.91</b>                             | -71.9861       | 2.57                | SEC           |
| <b>9<sup>eme</sup></b>  | 45x45                      | -1235.4983            | 75.9873                 | <b>2145.9</b>        | <b>22.5</b> | <b>22.5</b> | <b>38.08</b>                             | 75.9873        | 1.24                | SEC           |
| <b>10<sup>eme</sup></b> | 40x40                      | -984.7175             | 64.5504                 | <b>1692.4</b>        | <b>20</b>   | <b>20</b>   | <b>23.7</b>                              | 64.5504        | 0.37                | SEC           |
| <b>11<sup>eme</sup></b> | 35x35                      | -739.2367             | 49.9143                 | <b>1317.4</b>        | <b>17.5</b> | <b>17.5</b> | <b>14.32</b>                             | 49.9143        | -0.49               | SPC           |
| <b>12<sup>eme</sup></b> | 30x30                      | -497.0258             | 33.444                  | <b>992.4</b>         | <b>15</b>   | <b>15</b>   | <b>8.08</b>                              | 33.444         | -1.2                | SPC           |
| <b>13<sup>eme</sup></b> | 30x30                      | -264.225              | 36.8908                 | <b>992.4</b>         | <b>15</b>   | <b>15</b>   | <b>8.08</b>                              | 36.8908        | -4.19               | SPC           |

| Niveau                  | Section (cm <sup>2</sup> ) | N <sup>max</sup> (KN) | M <sup>cor</sup> (KN.m) | $\sigma_{bc}^{max}$ | $\overline{\sigma}_{bc}$ | $\sigma_s^1$ | $\sigma_s^2$ | $\overline{\sigma}_s$ | Verification |
|-------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|--------------|--------------|-----------------------|--------------|
| <b>RDC</b>              | 80x80                      | -4172.2208            | -32.2155                | 6.63                | 15                       | 98.3         | 89.9         | 201.6                 | Vérifié      |
| <b>1<sup>er</sup></b>   | 80x80                      | -3788.2715            | -94.3204                | 6.73                | 15                       | 97.8         | 73.1         | 201.6                 | Vérifié      |
| <b>2<sup>eme</sup></b>  | 75x75                      | -3416.0085            | -74.8422                | 6.8                 | 15                       | 99           | 75.5         | 201.6                 | Vérifié      |
| <b>3<sup>eme</sup></b>  | 70x70                      | -3059.3757            | -74.2332                | 7.23                | 15                       | 104.9        | 75.8         | 201.6                 | Vérifié      |
| <b>4<sup>eme</sup></b>  | 65x65                      | -2718.6081            | -70.1841                | 7.59                | 15                       | 109.6        | 75.7         | 201.6                 | Vérifié      |
| <b>5<sup>eme</sup></b>  | 60x60                      | -2393.2337            | -65.4847                | 7.99                | 15                       | 114.9        | 75           | 201.6                 | Vérifié      |
| <b>6<sup>eme</sup></b>  | 60x60                      | -2084.8245            | -79.7715                | 7.53                | 15                       | 107          | 58.5         | 201.6                 | Vérifié      |
| <b>7<sup>eme</sup></b>  | 55x55                      | -1787.0887            | -73.1315                | 7.94                | 15                       | 112          | 55.2         | 201.6                 | Vérifié      |
| <b>8<sup>eme</sup></b>  | 50x50                      | -1501.638             | -71.9861                | 8.89                | 15                       | 123.9        | 48           | 201.6                 | Vérifié      |
| <b>9<sup>eme</sup></b>  | 45x45                      | -1235.4983            | 75.9873                 | 10.27               | 15                       | 140.2        | 32.5         | 200                   | Vérifié      |
| <b>10<sup>eme</sup></b> | 40x40                      | -984.7175             | 64.5504                 | 11.27               | 15                       | 152.6        | 21.9         | 201.6                 | Vérifié      |
| <b>11<sup>eme</sup></b> | 35x35                      | -739.2367             | 49.9143                 | 11.72               | 15                       | 157.7        | -10.4        | 201.6                 | Vérifié      |
| <b>12<sup>eme</sup></b> | 30x30                      | -497.0258             | 33.444                  | 11.23               | 15                       | 151          | 2.95         | 201.6                 | Vérifié      |
| <b>13<sup>eme</sup></b> | 30x30                      | -264.225              | 36.8908                 | 9.52                | 15                       | 141.3        | 142          | 201.6                 | Vérifié      |

### • Vérification de l'effort tranchant

Le calcul de la contrainte de cisaillement se fait au niveau de l'axe neutre. La contrainte de cisaillement est exprimée en fonction de l'effort tranchant à l'état limite ultime par :

Il faut vérifier que :  $\tau_u = \frac{T_u}{b d} \leq \bar{\tau}_u$  ..... poteaux rectangulaires

$\tau_u$  : contrainte de cisaillement

$T_u$  : effort tranchant à l'état limite ultime de la section étudiée

$b$  : la largeur de la section étudiée

$d$  : la hauteur utile

$R$  : rayon de la section du poteau

La contrainte de cisaillement est limitée par une contrainte admissible  $\bar{\tau}_u$  égale à :

Selon le BAEL91 [1] :

$\bar{\tau}_u = \text{Min}(0.13 f_{c28} ; 5 \text{ MPa})$  ..... Fissuration peu nuisible

$\bar{\tau}_u = \text{Min}(0.10 f_{c28} ; 4 \text{ MPa})$  ..... Fissuration préjudiciable et très préjudiciable

Selon le RPA99/2003 :

$\rho_d = 0.075$  ..... si l'élancement  $\lambda \geq 5$

$\rho_d = 0.040$  ..... si l'élancement  $\lambda < 5$

Avec :

$\lambda$  : l'élancement du poteau ( $\lambda_g = \frac{l_f}{a}$ )

$i$  : Rayon de giration

$I$  : moment d'inertie de la section du poteau dans la direction considérée

$B$  : section du poteau

$L_f$  : longueur de flambement.

Tableau V- 15: Vérification de l'effort tranchant RPA99/2003.

| Niveau            | Section (cm <sup>2</sup> ) | Tu (KN) | $\tau_u$ (MPa) | $\lambda$ | $\rho_d$ | $\bar{\tau}_u^{RPA}$ (MPa) | $\bar{\tau}_u^{BAEL}$ (MPa) | Vérification |
|-------------------|----------------------------|---------|----------------|-----------|----------|----------------------------|-----------------------------|--------------|
| RDC               | 80x80                      | 83.76   | 0.145          | 2.826     | 0.04     | 1                          | 2.5                         | Vérifié      |
| 1 <sup>er</sup>   | 80x80                      | 106.24  | 0.184          | 2.826     | 0.04     | 1                          | 2.5                         | Vérifié      |
| 2 <sup>ème</sup>  | 75x75                      | 135.86  | 0.268          | 3.015     | 0.04     | 1                          | 2.5                         | Vérifié      |
| 3 <sup>ème</sup>  | 70x70                      | 153.05  | 0.347          | 3.23      | 0.04     | 1                          | 2.5                         | Vérifié      |
| 4 <sup>ème</sup>  | 65x65                      | 167.7   | 0.441          | 3.478     | 0.04     | 1                          | 2.5                         | Vérifié      |
| 5 <sup>ème</sup>  | 60x60                      | 162.7   | 0.502          | 3.768     | 0.04     | 1                          | 2.5                         | Vérifié      |
| 6 <sup>ème</sup>  | 60x60                      | 192.38  | 0.594          | 3.768     | 0.04     | 1                          | 2.5                         | Vérifié      |
| 7 <sup>ème</sup>  | 55x55                      | 176.53  | 0.648          | 4.111     | 0.04     | 1                          | 2.5                         | Vérifié      |
| 8 <sup>ème</sup>  | 50x50                      | 163.45  | 0.726          | 4.522     | 0.04     | 1                          | 2.5                         | Vérifié      |
| 9 <sup>ème</sup>  | 45x45                      | 141.24  | 0.775          | 5.024     | 0.075    | 1.875                      | 2.5                         | Vérifié      |
| 10 <sup>ème</sup> | 40x40                      | 112.69  | 0.783          | 5.653     | 0.075    | 1.875                      | 2.5                         | Vérifié      |
| 11 <sup>ème</sup> | 35x35                      | 81.18   | 0.736          | 6.46      | 0.075    | 1.875                      | 2.5                         | Vérifié      |
| 12 <sup>ème</sup> | 30x30                      | 49.5    | 0.611          | 7.537     | 0.075    | 1.875                      | 2.5                         | Vérifié      |
| 13 <sup>ème</sup> | 30x30                      | 47.76   | 0.59           | 7.537     | 0.075    | 1.875                      | 2.5                         | Vérifié      |

### V.2.3.2. Ferrailage transversal des poteaux 2003

Les armatures transversales sont déterminées à partir des formules du **CBA 93** et celles du **RPA99/2003**, elles sont données comme suit :

**Selon CBA 93 :**

$$\begin{cases} S_t \leq \min(0.9d ; 40 \text{ cm}) \\ \phi_t \leq \min\left(\frac{h}{35} ; \frac{b}{10} ; \phi_l\right) \\ \frac{A_t f_e}{b S_t} \geq \max\left(\frac{\tau_u}{2} ; 0.4 \text{ MPa}\right) \end{cases}$$

Avec :

$A_t$  : section d'armatures transversales.

$b$  : largeur de la section droite

$h$  : hauteur de la section droite

$S_t$  : espacement des armatures transversales

$\phi_t$  : diamètre des armatures transversales

$\phi_l$  : diamètre des armatures longitudinales

$$\frac{A_t}{S_t} = \frac{\rho_a T_u}{h f_e}$$

Avec :

$A_t$  : section des armatures transversales

$S_t$  : espacement des armatures transversales

$T_u$  : effort tranchant à E.L.U

$f_e$  : contraintes limite élastique de l'acier des armatures transversales

$h$  : hauteur totale de la section brute

$\rho_a$  : coefficient correcteur qui tient compte du mode fragile de la rupture par l'effort tranchant

$\rho_a = 2.5 \dots \dots \dots si \lambda_g \geq 5$

$\rho_a = 3.75 \dots \dots \dots si \lambda_g < 5$

L'espacement des armatures transversales est déterminé comme suit :

$$S_t \leq 10 \text{ cm} \dots \dots \dots \text{zone nodale (zone III)}$$

$$S_t \leq \min\left(\frac{b}{2} ; \frac{h}{2} ; 10\phi_l\right) \dots \dots \dots \text{zone courante (zone III)}$$

$\phi_l$  : diamètre minimal des armatures longitudinales du poteau

- La quantité d'armatures transversales minimale  $\frac{A_t}{S_t b}$  en (%) est donnée comme suit :

$$\begin{cases} 0.3\% \dots \dots \dots si \lambda_g \geq 5 \\ 0.8\% \dots \dots \dots si \lambda_g < 5 \\ \text{interpolation entre les valeurs limites précédentes si } 3 \leq \lambda_g \leq 5 \end{cases}$$

$\lambda_g$  : l'élancement géométrique du poteau  $\left(\lambda_g = \frac{l_f}{a}\right)$

$a$  : dimension de la section droite du poteau

$l_f$  : longueur de flambement du poteau

Pour les armatures transversale  $f_e = 500 \text{ MPa}$  .

Le tableau suivant rassemble les résultats des espacements maximums des armatures transversales des poteaux :

Tableau V- 16: Espacements et choix de ferrailage des poteaux selon RPA99/2003.

| Niveau                  | Section (cm <sup>2</sup> ) | Barres      | $\Phi_l$ (mm) | St (cm)     |               |
|-------------------------|----------------------------|-------------|---------------|-------------|---------------|
|                         |                            |             |               | Zone nodale | Zone courante |
| <b>RDC</b>              | 80x80                      | 4T25 + 3T20 | 20            | 10          | 15            |
| <b>1<sup>er</sup></b>   | 80x80                      | 4T25 + 3T20 | 20            | 10          | 15            |
| <b>2<sup>eme</sup></b>  | 75x75                      | 9T20        | 20            | 10          | 15            |
| <b>3<sup>eme</sup></b>  | 70x70                      | 7T16        | 16            | 10          | 15            |
| <b>4<sup>eme</sup></b>  | 65x65                      | 6T16        | 16            | 10          | 15            |
| <b>5<sup>eme</sup></b>  | 60x60                      | 6T16        | 16            | 10          | 15            |
| <b>6<sup>eme</sup></b>  | 60x60                      | 6T16        | 16            | 10          | 15            |
| <b>7<sup>eme</sup></b>  | 55x55                      | 5T16        | 16            | 10          | 15            |
| <b>8<sup>eme</sup></b>  | 50x50                      | 5T14        | 14            | 10          | 15            |
| <b>9<sup>eme</sup></b>  | 45x45                      | 4T14        | 14            | 10          | 15            |
| <b>10<sup>eme</sup></b> | 40x40                      | 4T14        | 14            | 10          | 15            |
| <b>11<sup>eme</sup></b> | 35x35                      | 3T14        | 14            | 10          | 15            |
| <b>12<sup>eme</sup></b> | 30x30                      | 3T12        | 14            | 10          | 15            |
| <b>13<sup>eme</sup></b> | 30x30                      | 3T12        | 14            | 10          | 15            |

Le choix des armatures transversales est regroupé dans le tableau suivant :

Tableau V- 17: Choix des armatures transversales des poteaux selon le RPA99/2003.

| Niveau     | Section | $L_f$<br>(m) | $\lambda_g$<br>(%) | $\rho_a$ | $T_u$<br>(KN) | Zone | St<br>(cm) | $A_t^{cal}$<br>(cm <sup>2</sup> ) | Choix | $A_s^{adp}$<br>(cm <sup>2</sup> ) |
|------------|---------|--------------|--------------------|----------|---------------|------|------------|-----------------------------------|-------|-----------------------------------|
| <b>RDC</b> | 80x80   | 1.806        | 2.25               | 3.75     | 83.76         | N    | 10         | 0.785                             | 8T10  | 7.11                              |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 0.658                             | 8T10  | 7.11                              |
| <b>1</b>   | 80x80   | 1.806        | 2.25               | 3.75     | 106.24        | N    | 10         | 0.996                             | 8T10  | 7.11                              |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 0.94                              | 8T10  | 7.11                              |
| <b>2</b>   | 75x75   | 1.806        | 2.4                | 3.75     | 135.86        | N    | 10         | 1.359                             | 8T10  | 6.32                              |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 1.156                             | 8T10  | 6.32                              |
| <b>3</b>   | 70x70   | 1.806        | 2.57               | 3.75     | 153.05        | N    | 10         | 1.64                              | 8T10  | 6.32                              |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 1.353                             | 8T10  | 6.32                              |
| <b>4</b>   | 65x65   | 1.806        | 2.76               | 3.75     | 167.7         | N    | 10         | 1.935                             | 8T10  | 6.32                              |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 1.514                             | 8T10  | 6.32                              |
| <b>5</b>   | 60x60   | 1.806        | 3                  | 3.75     | 162.7         | N    | 10         | 2.034                             | 8T8   | 4.0                               |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 1.522                             | 8T8   | 4.0                               |
| <b>6</b>   | 60x60   | 1.806        | 3                  | 3.75     | 192.38        | N    | 10         | 2.405                             | 8T8   | 4.0                               |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 1.747                             | 8T8   | 4.0                               |
| <b>7</b>   | 55x55   | 1.806        | 3.27               | 3.75     | 176.53        | N    | 10         | 2.407                             | 6T8   | 3.0                               |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 1.666                             | 6T8   | 3.0                               |
| <b>8</b>   | 50x50   | 1.806        | 3.6                | 3.75     | 163.45        | N    | 10         | 2.452                             | 4T8   | 2.5                               |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 1.605                             | 4T8   | 2.5                               |
| <b>9</b>   | 45x45   | 1.806        | 4                  | 3.75     | 141.24        | N    | 10         | 2.354                             | 4T8   | 1.5                               |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 1.454                             | 4T8   | 1.5                               |
| <b>10</b>  | 40x40   | 1.806        | 4.5                | 3.75     | 112.69        | N    | 10         | 2.113                             | 4T8   | 1.5                               |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 1.254                             | 4T8   | 1.5                               |
| <b>11</b>  | 35x35   | 1.806        | 5.14               | 3.75     | 81.18         | N    | 10         | 1.74                              | 4T8   | 1.5                               |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 1.01                              | 4T8   | 1.5                               |
| <b>12</b>  | 30x30   | 1.806        | 6                  | 3.75     | 49.5          | N    | 10         | 1.237                             | 4T8   | 1.5                               |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 0.724                             | 4T8   | 1.5                               |
| <b>13</b>  | 30x30   | 1.806        | 6                  | 3.75     | 47.76         | N    | 10         | 1.194                             | 4T8   | 1.5                               |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 0.876                             | 4T8   | 1.5                               |

• **Longueur de recouvrement :**

La longueur minimale de recouvrement est de  $L_r = 50\phi_l$  en zone III

Pour:

- $\phi = 20 \text{ mm} \dots\dots\dots L_r = 100 \text{ mm}$
- $\phi = 16 \text{ mm} \dots\dots\dots L_r = 80 \text{ mm}$
- $\phi = 14 \text{ mm} \dots\dots\dots L_r = 70 \text{ mm}$

**V.2.3.3 Ferraillage des poteaux des Sous-Sol :**

Les poteaux du Sous-Sol sont calculés à la compression simple, le ferraillage est donné par :

$$A_s = \left( \frac{N_u}{\alpha} - \frac{B_r f_{c28}}{0.9 \gamma_b} \right) \frac{\gamma_s}{f_e}$$

$B_r$  : section réduite du poteau considéré  $B_r = (a - 2)(b - 2) \text{ cm}^2$

$\alpha$  : coefficient dépendant de l'élancement

$$\alpha = \frac{0.85}{1 + 2 \left( \frac{\lambda}{35} \right)^2} \dots \dots \dots \text{Si } \lambda \leq 50$$

$$\alpha = \frac{0.6 (50)^2}{\lambda} \dots \dots \dots \text{Si } 50 < \lambda < 70$$

$$\lambda = \frac{L_f}{i}$$

$L_f$  : longueur de flambement  $L_f = 0.7l_0$

$i$  : rayon de giration ( $i = \sqrt{\frac{I}{B}}$ )

$I$  : moment d'inertie de la section du poteau dans la direction considérée

$B$  : section du poteau ( $a \times b$ )

$N_u$  : l'effort normal maximal au niveau des poteaux du sous-sol

**a. Calcul de l'effort normal pondéré :**

Prenant le poteau le plus sollicité dont l'effort normal est de  $N_u^{RDC} = 3568.315$

**Charge permanente**

|                              |                                                                    |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Plancher RDC.....            | $6.64 \times 32.6 = 216.46 \text{ KN}$                             |
| Poids poutre principale..... | $25 \times 0.4 \times 0.55 \times 6.55 = 36.025 \text{ KN}$        |
| Poids poutre secondaire..... | $25 \times 0.4 \times 0.55 \times 6.55 = 36.025 \text{ KN}$        |
| Poids du poteau .....        | $25 \times 0.3 \times 0.3 \times (3.23 - 0.55) = 6.075 \text{ KN}$ |
| Plancher SS1.....            | $6.64 \times 32.6 = 216.46 \text{ KN}$                             |
| Poids poutre principale..... | $25 \times 0.4 \times 0.55 \times 6.55 = 36.025 \text{ KN}$        |
| Poids poutre secondaire..... | $25 \times 0.4 \times 0.55 \times 6.55 = 36.025 \text{ KN}$        |
| Poids du poteau .....        | $25 \times 0.3 \times 0.3 \times (3.23 - 0.55) = 6.075 \text{ KN}$ |

La charge totale égale à : .....  $G = 4157.485 \text{ KN}$

**Surcharge d'exploitation :**

|                    |                                               |
|--------------------|-----------------------------------------------|
| Plancher RDC ..... | $Q_{RDC} = 1.5 \times 32.6 = 48.9 \text{ KN}$ |
| Plancher SS1 ..... | $Q_{RDC} = 1.5 \times 32.6 = 48.9 \text{ KN}$ |

La surcharge totale égale à : .....  $Q = 97.8 \text{ KN}$

$$N_u = 1.35G + 1.5Q = 5759.3 \text{ KN}$$

$$B_r \geq 0.062N_u \rightarrow B_r \geq 3570.76 \text{ cm}^2$$

$$a = \sqrt{B_r} + 2 = 61.76 \text{ cm} \rightarrow 85 \text{ cm}$$

**b. Calcul de ferraillage:**

$$i = \sqrt{\frac{I}{B}} = \sqrt{\frac{a^4}{12} \times \frac{1}{a^2}} = \frac{a}{\sqrt{12}} = 24.54 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{L_f}{i} = \frac{0.7 \times 323}{24.54} = 9.21 \leq 50$$

$$\alpha = \frac{0.85}{1 + 2\left(\frac{\lambda}{35}\right)^2} = \alpha = \frac{0.85}{1 + 2\left(\frac{9.21}{35}\right)^2} = 0.799$$

D'où :

$$A_s \geq \left( \frac{5759.3 \cdot 10^3}{0.799} - \frac{3570.76 \cdot 10^2 \times 25}{0.9 \times 1.5} \right) \frac{1.15}{500} \times 10^{-2} = 13.7 \text{ cm}^2$$

$$A_s^{min} = 0.9\%B = \frac{0.9}{100} \times 85^2 = 65.025 \text{ cm}^2$$

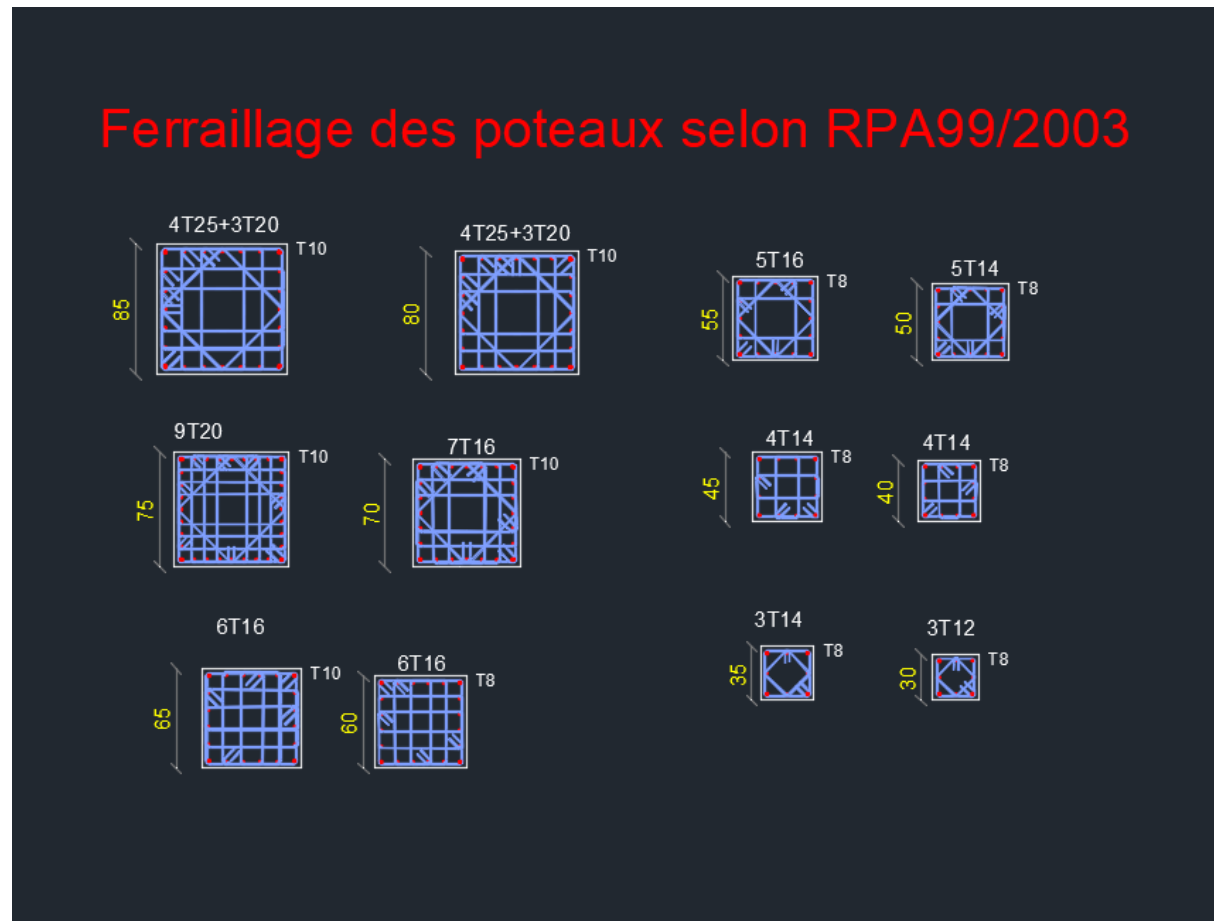
**Conclusion :**

Le calcul en compression simple des poteaux d sous-sol à donné une section inférieur à celle exigée par le **RPA99/2003**, (par conséquent on retient pour le ferraillage de ces poteaux les mêmes sections d'armatures des poteaux RDC )

| Type du poteau    | Section<br>$\text{cm}^2$ | Choix       | $A_s^{adopté}$<br>$\text{cm}^2$ |
|-------------------|--------------------------|-------------|---------------------------------|
| <b>Poteau SS1</b> | 85x85                    | 4T25 + 3T20 | 58.12                           |
| <b>Poteau SS2</b> | 85x85                    | 4T25 + 3T20 | 58.12                           |



Dessin de ferrailage :



**V.2.4. Recommandation du RPA 2024 :****V.2.4.1. Ferraillage longitudinal des poteaux 2024**

D'après le RPA 2024 (article 7.4.2 pages 109), les armatures longitudinales doivent être à haute adhérence droites et sans crochet. Leur pourcentage en zone sismique VI est limité par :

$$-A_{max} = \frac{A_s}{bh} < 4\% \text{ en zone courante}$$

$$-A_{max} = \frac{A_s}{bh} < 8\% \text{ en zone recouvrement}$$

$$-A_{min} = A_s > 1\%bh \text{ (zone VI)}$$

- Le diamètre minimal est de 12 mm

- La longueur minimale de recouvrement est de  $60\phi_L$

- La distance maximale entre les barres dans une surface de poteau est de 15 cm.

Les jonctions par recouvrement doivent être faites si possible, à l'extérieur des zones nodales (zones critiques).

Avec :

$A_s$  : la section d'acier

$B$  : section du béton [ $\text{cm}^2$ ]

- Le diamètre minimal est de 12 mm

- La longueur minimale de  $60\phi$  en zone de recouvrement.

- La distance entre les barres verticales dans une face du poteau ne doit pas dépasser les 15 cm.

Les jonctions par recouvrement doivent être faites si possible, à l'extérieur des zones nodales.

Le logiciel ETABS a été exécuté pour toutes les combinaisons proposées par le RPA 2024.

## - Situation durable

Combinaison: 1.35G + 1.5Q

1. ( $N^{\max}$  ;  $M^{\text{cor}}$ )

Tableau V- 18: Les efforts des poteaux à l'ELU selon RPA2024.

| Niveau            | Section (cm <sup>2</sup> ) | $N^{\max}$ (KN) | $M^{\text{cor}}$ (KN.m) | Sollicitati on | $A'_s$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_s$ (cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------|----------------------------|-----------------|-------------------------|----------------|---------------------------|--------------------------|
| RDC               | 80x80                      | -5683.8961      | -42.597                 | SEC            | 0                         | 0                        |
| 1 <sup>er</sup>   | 80x80                      | -5162.508       | -124.3473               | SEC            | 0                         | 0                        |
| 2 <sup>eme</sup>  | 75x75                      | -4656.7383      | -98.471                 | SEC            | 0                         | 0                        |
| 3 <sup>eme</sup>  | 70x70                      | -4171.9248      | -97.5191                | SEC            | 0                         | 0                        |
| 4 <sup>eme</sup>  | 65x65                      | -3708.4097      | -92.046                 | SEC            | 0                         | 0                        |
| 5 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | -3265.5737      | -82.6586                | SEC            | 0                         | 0                        |
| 6 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | -2845.5655      | -111.5339               | SEC            | 0                         | 0                        |
| 7 <sup>eme</sup>  | 55x55                      | -2439.9143      | -102.0829               | SEC            | 0                         | 0                        |
| 8 <sup>eme</sup>  | 50x50                      | -2054.6644      | -42.3812                | SEC            | 0                         | 0                        |
| 9 <sup>eme</sup>  | 45x45                      | -1699.594       | -32.2356                | SEC            | 0                         | 0                        |
| 10 <sup>eme</sup> | 40x40                      | -1354.1377      | -22.4548                | SEC            | 0                         | 0                        |
| 11 <sup>eme</sup> | 35x35                      | -1015.5695      | -13.8415                | SEC            | 0                         | 0                        |
| 12 <sup>eme</sup> | 30x30                      | -681.1228       | -7.1505                 | SEC            | 0                         | 0                        |
| 13 <sup>eme</sup> | 30x30                      | -359.1704       | -6.694                  | SEC            | 0                         | 0                        |

2. ( $N^{\min}$ ;  $M^{\text{cor}}$ )

Tableau V- 19: Les efforts des poteaux à l'ELU selon RPA2024.

| Niveau            | Section (cm <sup>2</sup> ) | $N^{\min}$ (KN) | $M^{\text{cor}}$ (KN.m) | Sollicitation | $A'_s$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_s$ (cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------|----------------------------|-----------------|-------------------------|---------------|---------------------------|--------------------------|
| RDC               | 80x80                      | -1449.7796      | -7.7284                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 1 <sup>er</sup>   | 80x80                      | -1351.4447      | -6.1702                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 2 <sup>eme</sup>  | 75x75                      | -1150.1303      | -3.9529                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 3 <sup>eme</sup>  | 70x70                      | -951.7082       | -2.3459                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 4 <sup>eme</sup>  | 65x65                      | -767.0126       | -1.2689                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 5 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | -604.3501       | -0.7092                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 6 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | -511.116        | -0.6995                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 7 <sup>eme</sup>  | 55x55                      | -375.8174       | -0.3702                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 8 <sup>eme</sup>  | 50x50                      | -258.4288       | -0.1276                 | SEC           | 0                         | 0                        |
| 9 <sup>eme</sup>  | 45x45                      | -163.3517       | 0.0516                  | SPC           | 0                         | 1.93                     |
| 11 <sup>eme</sup> | 40x40                      | -36.6739        | 0.2195                  | SPC           | 0                         | 0.44                     |
| 12 <sup>eme</sup> | 35x35                      | 18.1141         | -1.3622                 | SPC           | 0                         | 0.25                     |
| 13 <sup>eme</sup> | 30x30                      | -1.3949         | 1.1336                  | SPC           | 0                         | 0.11                     |

3. ( $M_{\max}$  ;  $N^{\text{cor}}$ )

Tableau V- 20: Les efforts des poteaux à l'ELU selon RPA2024.

| Niveau            | Section (cm <sup>2</sup> ) | $M^{\max}$ (KN) | $N^{\text{cor}}$ (KN.m) | Sollicitation | $A'_s$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_s$ (cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------|----------------------------|-----------------|-------------------------|---------------|---------------------------|--------------------------|
| RDC               | 80x80                      | -96.0727        | -2590.0242              | SEC           | 0                         | 0                        |
| 1 <sup>er</sup>   | 80x80                      | -124.3473       | -5162.5087              | SEC           | 0                         | 0                        |
| 2 <sup>eme</sup>  | 75x75                      | -104.9339       | -3382.9202              | SEC           | 0                         | 0                        |
| 3 <sup>eme</sup>  | 70x70                      | -111.1928       | -3005.8845              | SEC           | 0                         | 0                        |
| 4 <sup>eme</sup>  | 65x65                      | -112.9543       | -2653.7743              | SEC           | 0                         | 0                        |
| 5 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | -108.605        | -2324.3016              | SEC           | 0                         | 0                        |
| 6 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | -127.3303       | -2020.5349              | SEC           | 0                         | 0                        |
| 7 <sup>eme</sup>  | 55x55                      | -112.841        | -1733.7984              | SEC           | 0                         | 0                        |
| 8 <sup>eme</sup>  | 50x50                      | -105.5245       | -1461.8921              | SEC           | 0                         | 0                        |
| 9 <sup>eme</sup>  | 45x45                      | -92.5503        | -1202.5465              | SEC           | 0                         | 0                        |
| 10 <sup>eme</sup> | 40x40                      | -75.8273        | -951.9944               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 11 <sup>eme</sup> | 35x35                      | -56.2487        | -706.1728               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 12 <sup>eme</sup> | 30x30                      | -36.7907        | -465.334                | SEC           | 0                         | 0                        |
| 13 <sup>eme</sup> | 30x30                      | -48.6153        | -217.5209               | SEC           | 0                         | 0                        |

## - Situation accidentelle

Combinaison: G + Q +E

1. ( $N^{\max}$  ;  $M^{\text{cor}}$ )

Tableau V- 21: Les efforts des poteaux à l'ELA selon RPA2024.

| Niveau            | Section (cm <sup>2</sup> ) | $N^{\max}$ (KN) | $M^{\text{cor}}$ (KN.m) | Sollicitation | $A'_s$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_s$ (cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------|----------------------------|-----------------|-------------------------|---------------|---------------------------|--------------------------|
| RDC               | 80x80                      | -7411.3548      | -427.2859               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 1 <sup>er</sup>   | 80x80                      | -6451.2207      | -276.3938               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 2 <sup>eme</sup>  | 75x75                      | -5271.6253      | -231.5346               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 3 <sup>eme</sup>  | 70x70                      | -4191.8819      | -197.7978               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 4 <sup>eme</sup>  | 65x65                      | -3264.0538      | -166.2505               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 5 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | -2673.1851      | -177.3532               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 6 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | -2295.3968      | -193.4829               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 7 <sup>eme</sup>  | 55x55                      | -1909.3828      | -153.6004               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 8 <sup>eme</sup>  | 50x50                      | -1546.5844      | -148.2773               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 9 <sup>eme</sup>  | 45x45                      | -1284.9195      | -118.5188               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 10 <sup>eme</sup> | 40x40                      | -1026.7897      | -87.0155                | SEC           | 0                         | 0                        |
| 11 <sup>eme</sup> | 35x35                      | -771.2101       | -57.3365                | SEC           | 0                         | 0                        |
| 12 <sup>eme</sup> | 30x30                      | -517.1813       | -32.7171                | SEC           | 0                         | 0                        |
| 13 <sup>eme</sup> | 30x30                      | -275.5833       | -35.3587                | SEC           | 0                         | 0                        |

2. ( $N^{\min}$  ;  $M^{\text{cor}}$ )

Tableau V- 22: Les efforts des poteaux à l'ELA selon RPA2024.

| Niveau            | Section (cm <sup>2</sup> ) | $N^{\min}$ (KN) | $M^{\text{cor}}$ (KN.m) | Sollicitation | $A'_s$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_s$ (cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------|----------------------------|-----------------|-------------------------|---------------|---------------------------|--------------------------|
| RDC               | 80x80                      | 4430.3074       | 127.8195                | SET           | 46,96                     | 54,94                    |
| 1 <sup>er</sup>   | 80x80                      | 3738.6445       | 92.8701                 | SET           | 36,39                     | 42,5                     |
| 2 <sup>eme</sup>  | 75x75                      | 2925.7172       | 65.4332                 | SET           | 31,33                     | 35,37                    |
| 3 <sup>eme</sup>  | 70x70                      | 2218.6415       | 45.5126                 | SET           | 23,89                     | 26,71                    |
| 4 <sup>eme</sup>  | 65x65                      | 1639.413        | 28.2105                 | SET           | 13,3                      | 14,3                     |
| 5 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | 1211.8954       | 16.5652                 | SET           | 10,14                     | 11,02                    |
| 6 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | 920.7021        | 14.3073                 | SET           | 8,8                       | 9,6                      |
| 7 <sup>eme</sup>  | 55x55                      | 653.6903        | 9.5184                  | SET           | 7,2                       | 7,75                     |
| 8 <sup>eme</sup>  | 50x50                      | 443.8138        | 6.4695                  | SET           | 4,85                      | 5,27                     |
| 9 <sup>eme</sup>  | 45x45                      | 293.3826        | 5.5184                  | SET           | 3,16                      | 3,51                     |
| 10 <sup>eme</sup> | 40x40                      | 192.67          | 4.608                   | SET           | 2.04                      | 2.33                     |
| 11 <sup>eme</sup> | 35x35                      | 122.2171        | 2.7603                  | SET           | 1.32                      | 1.49                     |
| 12 <sup>eme</sup> | 30x30                      | 99.5018         | 13.6223                 | SET           | 0.73                      | 1.54                     |
| 13 <sup>eme</sup> | 30x30                      | 81.4972         | 19.1938                 | SET           | 0.34                      | 1.52                     |

3. ( $M^{\max}$  ;  $N^{\text{cor}}$ )

Tableau V- 23: Les efforts des poteaux à l'ELA selon RPA2024.

| Niveau            | Section (cm <sup>2</sup> ) | $M^{\max}$ (KN) | $N^{\text{cor}}$ (KN.m) | Sollicitation | $A'_s$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_s$ (cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------|----------------------------|-----------------|-------------------------|---------------|---------------------------|--------------------------|
| RDC               | 80x80                      | -427.2859       | -7411.3548              | SEC           | 0                         | 0                        |
| 1 <sup>er</sup>   | 80x80                      | -358.5682       | -4576.7697              | SEC           | 0                         | 0                        |
| 2 <sup>eme</sup>  | 75x75                      | -370.4359       | -3748.7003              | SEC           | 0                         | 0                        |
| 3 <sup>eme</sup>  | 70x70                      | -345.5791       | -2986.0528              | SEC           | 0                         | 0                        |
| 4 <sup>eme</sup>  | 65x65                      | -332.9922       | -1972.6362              | SEC           | 0                         | 0                        |
| 5 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | -322.0354       | -1678.9149              | SEC           | 0                         | 0                        |
| 6 <sup>eme</sup>  | 60x60                      | -372.9818       | -1401.429               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 7 <sup>eme</sup>  | 55x55                      | -322.3206       | -1135.685               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 8 <sup>eme</sup>  | 50x50                      | -283.7796       | -898.7805               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 9 <sup>eme</sup>  | 45x45                      | -230.4517       | -688.3846               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 10 <sup>eme</sup> | 40x40                      | -171.3355       | -506.0307               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 11 <sup>eme</sup> | 35x35                      | -114.3099       | -353.6195               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 12 <sup>eme</sup> | 30x30                      | -66.1456        | -231.8583               | SEC           | 0                         | 0                        |
| 13 <sup>eme</sup> | 30x30                      | -68.7529        | -229.8818               | SEC           | 0                         | 0                        |

**Choix des armatures :**

Tableau V- 24: Choix d'armatures des poteaux selon le RPA2024.

| Niveau                  | Section            | $A_s^{cal}$        | $A_s^{min}$        | $A_s^{max}$           | $A_s^{max}$           | Choix des armatures | $A_s^{adopté}$     |
|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|
|                         | (cm <sup>2</sup> ) | (cm <sup>2</sup> ) | (cm <sup>2</sup> ) | Z.C(cm <sup>2</sup> ) | Z.R(cm <sup>2</sup> ) |                     | (cm <sup>2</sup> ) |
| <b>RDC</b>              | 80x80              | <b>54.94</b>       | <b>64</b>          | <b>256</b>            | <b>512</b>            | 4T25 + 4T20         | 69.84              |
| <b>1<sup>er</sup></b>   | 80x80              | <b>42,5</b>        | <b>64</b>          | <b>256</b>            | <b>512</b>            | 4T25 + 4T20         | 69.84              |
| <b>2<sup>eme</sup></b>  | 75x75              | <b>35,37</b>       | <b>56.25</b>       | <b>225</b>            | <b>450</b>            | 4T25 + 3T20         | 69.84              |
| <b>3<sup>eme</sup></b>  | 70x70              | <b>26,71</b>       | <b>49</b>          | <b>196</b>            | <b>392</b>            | 8T16                | 56.28              |
| <b>4<sup>eme</sup></b>  | 65x65              | <b>14,3</b>        | <b>42.25</b>       | <b>169</b>            | <b>338</b>            | 7T16                | 48.24              |
| <b>5<sup>eme</sup></b>  | 60x60              | <b>11,02</b>       | <b>36</b>          | <b>144</b>            | <b>288</b>            | 7T16                | 48.24              |
| <b>6<sup>eme</sup></b>  | 60x60              | <b>9,6</b>         | <b>36</b>          | <b>144</b>            | <b>288</b>            | 7T16                | 48.24              |
| <b>7<sup>eme</sup></b>  | 55x55              | <b>7,75</b>        | <b>30.25</b>       | <b>121</b>            | <b>242</b>            | 6T16                | 40.2               |
| <b>8<sup>eme</sup></b>  | 50x50              | <b>5,27</b>        | <b>25</b>          | <b>100</b>            | <b>200</b>            | 5T16                | 32.16              |
| <b>9<sup>eme</sup></b>  | 45x45              | <b>3,51</b>        | <b>20.25</b>       | <b>81</b>             | <b>162</b>            | 4T16                | 24.12              |
| <b>10<sup>eme</sup></b> | 40x40              | <b>2.33</b>        | <b>16</b>          | <b>64</b>             | <b>128</b>            | 4T14                | 16.6               |
| <b>11<sup>eme</sup></b> | 35x35              | <b>1.49</b>        | <b>12.25</b>       | <b>49</b>             | <b>98</b>             | 4T14                | 16.6               |
| <b>12<sup>eme</sup></b> | 30x30              | <b>1.54</b>        | <b>9</b>           | <b>36</b>             | <b>72</b>             | 3T14                | 10.44              |
| <b>13<sup>eme</sup></b> | 30x30              | <b>1.52</b>        | <b>9</b>           | <b>36</b>             | <b>72</b>             | 3T14                | 10.44              |

- **Vérification vis-à-vis de l'état limite de service :**

Les contraintes sont calculées à l'état limite de service sous ( $M_{ser}$ ,  $N_{ser}$ ) (annexe, organigramme), puis elles sont comparées aux contraintes admissible donnée par :

- **Béton :**

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I} y \leq \overline{\sigma_{bc}} = 15MPa$$

$$\overline{\sigma_{bc}} = 0.6 f_{c28} = 15MPa$$

- **Acier:**

$$\sigma_s = 15 \frac{M_{ser}}{I} (d - y) \leq \overline{\sigma_s} = 206.1MPa$$

Dans notre cas la fissuration est considérée comme préjudiciable, donc  $\sigma_s = 201.6MPa$

Les résultats sont récapitulés dans les tableaux suivants :

Tableau V- 25: Les sollicitations à l'ELS RPA2024.

| Niveau                  | Section (cm <sup>2</sup> ) | N <sup>max</sup> (KN) | M <sup>cor</sup> (KN.m) | Sollicitation | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>RDC</b>              | 80x80                      | -4137.7579            | -30.9211                | <b>SEC</b>    | <b>8.29</b>                        | <b>8.29</b>                       |
| <b>1<sup>er</sup></b>   | 80x80                      | -3757.9485            | -90.335                 | <b>SEC</b>    | <b>8.29</b>                        | <b>8.29</b>                       |
| <b>2<sup>eme</sup></b>  | 75x75                      | -3389.5403            | -71.6014                | <b>SEC</b>    | <b>8.29</b>                        | <b>8.29</b>                       |
| <b>3<sup>eme</sup></b>  | 70x70                      | -3036.4902            | -70.9429                | <b>SEC</b>    | <b>6.03</b>                        | <b>6.03</b>                       |
| <b>4<sup>eme</sup></b>  | 65x65                      | -2699.0432            | -67.0004                | <b>SEC</b>    | <b>6.03</b>                        | <b>6.03</b>                       |
| <b>5<sup>eme</sup></b>  | 60x60                      | -2376.7336            | -66.6644                | <b>SEC</b>    | <b>6.03</b>                        | <b>6.03</b>                       |
| <b>6<sup>eme</sup></b>  | 60x60                      | -2071.1263            | -81.039                 | <b>SEC</b>    | <b>6.03</b>                        | <b>6.03</b>                       |
| <b>7<sup>eme</sup></b>  | 55x55                      | -1775.9768            | -74.1799                | <b>SEC</b>    | <b>6.03</b>                        | <b>6.03</b>                       |
| <b>8<sup>eme</sup></b>  | 50x50                      | -1495.9045            | 84.8373                 | <b>SEC</b>    | <b>4.02</b>                        | <b>4.02</b>                       |
| <b>9<sup>eme</sup></b>  | 45x45                      | -1237.6714            | 77.0678                 | <b>SEC</b>    | <b>4.02</b>                        | <b>4.02</b>                       |
| <b>10<sup>eme</sup></b> | 40x40                      | -986.462              | 65.4712                 | <b>SEC</b>    | <b>3.08</b>                        | <b>3.08</b>                       |
| <b>11<sup>eme</sup></b> | 35x35                      | -740.2685             | 50.6357                 | <b>SEC</b>    | <b>3.08</b>                        | <b>3.08</b>                       |
| <b>12<sup>eme</sup></b> | 30x30                      | -497.055              | 33.9321                 | <b>SEC</b>    | <b>3.08</b>                        | <b>3.08</b>                       |
| <b>13<sup>eme</sup></b> | 30x30                      | -262.9241             | 37.4918                 | <b>SEC</b>    | <b>3.08</b>                        | <b>3.08</b>                       |

Tableau V- 26: Verification des contraintes à l'ELS RPA2024.

| Niveau                  | Section (cm <sup>2</sup> ) | N <sup>max</sup> (KN) | M <sup>cor</sup> (KN.m) | S (cm <sup>2</sup> ) | V1 (cm)     | V2 (cm)     | I/G1 x10 <sup>4</sup> (cm <sup>4</sup> ) | Mser/G1 (KN.m) | $\sigma_{bc}^{min}$ | Sollicitation |
|-------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|-------------|-------------|------------------------------------------|----------------|---------------------|---------------|
| <b>RDC</b>              | 80x80                      | -4137.7579            | -30.9211                | <b>6648.7</b>        | <b>40</b>   | <b>40</b>   | <b>366.8</b>                             | <b>30.9211</b> | 5.89                | SEC           |
| <b>1<sup>er</sup></b>   | 80x80                      | -3757.9485            | -90.335                 | <b>6648.7</b>        | <b>40</b>   | <b>40</b>   | <b>366.8</b>                             | <b>90.335</b>  | 4.67                | SEC           |
| <b>2<sup>eme</sup></b>  | 75x75                      | -3389.5403            | -71.6014                | <b>5873.7</b>        | <b>37.5</b> | <b>37.5</b> | <b>286.05</b>                            | <b>71.6014</b> | 4.83                | SEC           |
| <b>3<sup>eme</sup></b>  | 70x70                      | -3036.4902            | -70.9429                | <b>5080.9</b>        | <b>35</b>   | <b>35</b>   | <b>214.43</b>                            | 70.9429        | 4.82                | SEC           |
| <b>4<sup>eme</sup></b>  | 65x65                      | -2699.0432            | -67.0004                | <b>4405.9</b>        | <b>32.5</b> | <b>32.5</b> | <b>160.98</b>                            | 67.0004        | 4.77                | SEC           |
| <b>5<sup>eme</sup></b>  | 60x60                      | -2376.7336            | -66.6644                | <b>3780.9</b>        | <b>30</b>   | <b>30</b>   | <b>118.42</b>                            | 66.6644        | 4.6                 | SEC           |
| <b>6<sup>eme</sup></b>  | 60x60                      | -2071.1263            | -81.039                 | <b>3780.9</b>        | <b>30</b>   | <b>30</b>   | <b>118.42</b>                            | 81.039         | 3.42                | SEC           |
| <b>7<sup>eme</sup></b>  | 55x55                      | -1775.9768            | -74.1799                | <b>3205.9</b>        | <b>27.5</b> | <b>27.5</b> | <b>85.01</b>                             | 74.1799        | 3.14                | SEC           |
| <b>8<sup>eme</sup></b>  | 50x50                      | -1495.9045            | 84.8373                 | <b>2620.9</b>        | <b>25</b>   | <b>25</b>   | <b>56.91</b>                             | 84.8373        | 1.98                | SEC           |
| <b>9<sup>eme</sup></b>  | 45x45                      | -1237.6714            | 77.0678                 | <b>2145.9</b>        | <b>22.5</b> | <b>22.5</b> | <b>38.08</b>                             | 77.0678        | 1.21                | SEC           |
| <b>10<sup>eme</sup></b> | 40x40                      | -986.462              | 65.4712                 | <b>1692.4</b>        | <b>20</b>   | <b>20</b>   | <b>23.7</b>                              | 65.4712        | 0.3                 | SEC           |
| <b>11<sup>eme</sup></b> | 35x35                      | -740.2685             | 50.6357                 | <b>1317.4</b>        | <b>17.5</b> | <b>17.5</b> | <b>14.32</b>                             | 50.6357        | -0.57               | SPC           |
| <b>12<sup>eme</sup></b> | 30x30                      | -497.055              | 33.9321                 | <b>992.4</b>         | <b>15</b>   | <b>15</b>   | <b>8.08</b>                              | 33.9321        | -1.29               | SPC           |
| <b>13<sup>eme</sup></b> | 30x30                      | -262.9241             | 37.4918                 | <b>992.4</b>         | <b>15</b>   | <b>15</b>   | <b>8.08</b>                              | 37.4918        | -4.31               | SPC           |

| Niveau                  | Section (cm <sup>2</sup> ) | N <sup>max</sup> (KN) | M <sup>cor</sup> (KN.m) | $\sigma_{bc}^{max}$ | $\overline{\sigma}_{bc}$ | $\sigma_s^1$ | $\sigma_s^2$ | $\overline{\sigma}_s$ | Vérification |
|-------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|--------------|--------------|-----------------------|--------------|
| <b>RDC</b>              | 80x80                      | -4137.7579            | -30.9211                | 6.56                | 15                       | 97.4         | 89.3         | 201.6                 | Vérifié      |
| <b>1<sup>er</sup></b>   | 80x80                      | -3757.9485            | -90.335                 | 6.64                | 15                       | 96.6         | 72.7         | 201.6                 | Vérifié      |
| <b>2<sup>eme</sup></b>  | 75x75                      | -3389.5403            | -71.6014                | 6.71                | 15                       | 97.8         | 75.3         | 201.6                 | Vérifié      |
| <b>3<sup>eme</sup></b>  | 70x70                      | -3036.4902            | -70.9429                | 7.14                | 15                       | 103.5        | 75.7         | 201.6                 | Vérifié      |
| <b>4<sup>eme</sup></b>  | 65x65                      | -2699.0432            | -67.0004                | 7.48                | 15                       | 108.1        | 75.7         | 201.6                 | Vérifié      |
| <b>5<sup>eme</sup></b>  | 60x60                      | -2376.7336            | -66.6644                | 7.97                | 15                       | 114.6        | 74           | 201.6                 | Vérifié      |
| <b>6<sup>eme</sup></b>  | 60x60                      | -2071.1263            | -81.039                 | 7.53                | 15                       | 106.8        | 57.5         | 201.6                 | Vérifié      |
| <b>7<sup>eme</sup></b>  | 55x55                      | -1775.9768            | -74.1799                | 7.94                | 15                       | 111.9        | 54.3         | 201.6                 | Vérifié      |
| <b>8<sup>eme</sup></b>  | 50x50                      | -1495.9045            | 84.8373                 | 9.44                | 15                       | 130.3        | 40.9         | 201.6                 | Vérifié      |
| <b>9<sup>eme</sup></b>  | 45x45                      | -1237.6714            | 77.0678                 | 10.32               | 15                       | 141.2        | 31.9         | 201.6                 | Vérifié      |
| <b>10<sup>eme</sup></b> | 40x40                      | -986.462              | 65.4712                 | 11.35               | 15                       | 153.8        | 21.1         | 201.6                 | Vérifié      |
| <b>11<sup>eme</sup></b> | 35x35                      | -740.2685             | 50.6357                 | 11.81               | 15                       | 158.5        | 10.1         | 201.6                 | Vérifié      |
| <b>12<sup>eme</sup></b> | 30x30                      | -497.055              | 33.9321                 | 11.31               | 15                       | 150.7        | -0.4         | 201.6                 | Vérifié      |
| <b>13<sup>eme</sup></b> | 30x30                      | -262.9241             | 37.4918                 | 9.61                | 15                       | 123.3        | -43.8        | 201.6                 | Vérifié      |



- **Vérification de l'effort tranchant**

**Vérification de la contrainte tangentielle :**

Le calcul de la contrainte de cisaillement se fait au niveau de l'axe neutre. La contrainte de cisaillement est exprimée en fonction de l'effort tranchant à l'état limite ultime par :

Il faut vérifier que :  $\tau_u = \frac{T_u}{b d} \leq \bar{\tau}_u$  ..... poteaux rectangulaires

$\tau_u$  : contrainte de cisaillement

$T_u$  : effort tranchant à l'état limite ultime de la section étudiée

$b$  : la largeur de la section étudiée

$d$  : la hauteur utile

$R$  : rayon de la section du poteau

La contrainte de cisaillement est limitée par une contrainte admissible  $\bar{\tau}_u$  égale à :

Selon le BAEL91 [1] :

$\bar{\tau}_u = \text{Min}(0.13 f_{c28} ; 5 \text{ MPa})$  ..... Fissuration peu nuisible

$\bar{\tau}_u = \text{Min}(0.10 f_{c28} ; 4 \text{ MPa})$  ..... Fissuration préjudiciable et très préjudiciable

Selon le RPA99/2003 :

$\rho_d = 0.075$  ..... si l'élancement  $\lambda \geq 5$

$\rho_d = 0.040$  ..... si l'élancement  $\lambda < 5$

Avec :

$\lambda$  : l'élancement du poteau  $\left( \lambda_g = \frac{l_f}{a} \right)$

$i$  : Rayon de giration

$I$  : moment d'inertie de la section du poteau dans la direction considérée

$B$  : section du poteau

$L_f$  : longueur de flambement.

Tableau V- 27: Vérification de l'effort tranchant RPA2024.

| Niveau            | Section (cm <sup>2</sup> ) | Tu (KN) | $\tau_u$ (MPa) | $\lambda$ | $\rho_d$ | $\bar{\tau}_u^{RPA}$ (MPa) | $\bar{\tau}_u^{BAEL}$ (MPa) | Vérification |
|-------------------|----------------------------|---------|----------------|-----------|----------|----------------------------|-----------------------------|--------------|
| RDC               | 80x80                      | 108.56  | 0.19           | 2.826     | 0.04     | 1                          | 2.5                         | Vérifié      |
| 1 <sup>er</sup>   | 80x80                      | 135.18  | 0.23           | 2.826     | 0.04     | 1                          | 2.5                         | Vérifié      |
| 2 <sup>ème</sup>  | 75x75                      | 170.54  | 0.34           | 3.015     | 0.04     | 1                          | 2.5                         | Vérifié      |
| 3 <sup>ème</sup>  | 70x70                      | 194.59  | 0.44           | 3.23      | 0.04     | 1                          | 2.5                         | Vérifié      |
| 4 <sup>ème</sup>  | 65x65                      | 213.44  | 0.56           | 3.478     | 0.04     | 1                          | 2.5                         | Vérifié      |
| 5 <sup>ème</sup>  | 60x60                      | 207.13  | 0.64           | 3.768     | 0.04     | 1                          | 2.5                         | Vérifié      |
| 6 <sup>ème</sup>  | 60x60                      | 244.37  | 0.75           | 3.768     | 0.04     | 1                          | 2.5                         | Vérifié      |
| 7 <sup>ème</sup>  | 55x55                      | 223.44  | 0.82           | 4.111     | 0.04     | 1                          | 2.5                         | Vérifié      |
| 8 <sup>ème</sup>  | 50x50                      | 205.66  | 0.91           | 4.522     | 0.04     | 1                          | 2.5                         | Vérifié      |
| 9 <sup>ème</sup>  | 45x45                      | 176.34  | 0.97           | 5.024     | 0.075    | 1.875                      | 2.5                         | Vérifié      |
| 10 <sup>ème</sup> | 40x40                      | 139.35  | 0.97           | 5.653     | 0.075    | 1.875                      | 2.5                         | Vérifié      |
| 11 <sup>ème</sup> | 35x35                      | 99.32   | 0.9            | 6.46      | 0.075    | 1.875                      | 2.5                         | Vérifié      |
| 12 <sup>ème</sup> | 30x30                      | 59.97   | 0.74           | 7.537     | 0.075    | 1.875                      | 2.5                         | Vérifié      |
| 13 <sup>ème</sup> | 30x30                      | 58.33   | 0.72           | 7.537     | 0.075    | 1.875                      | 2.5                         | Vérifié      |

**V.2.4.2. Ferrailage transversal des poteaux 2024**

$$\frac{A_t}{t} = \frac{\rho_a V_u}{hc f_e}$$

Avec :

$A_t$  : section des armatures transversales

$t_z$  : espacement des armatures transversales

$V_u$  : effort tranchant à E.L.U

$f_e$  : contraintes limite élastique de l'acier des armatures transversales

$hc$  : hauteur totale de la section brute

$\rho_a$  : coefficient correcteur qui tient compte du mode fragile de la rupture par l'effort tranchant

$\rho_a = 2.5 \dots \dots \dots si \lambda_g \geq 5$

$\rho_a = 3.75 \dots \dots \dots si \lambda_g < 5$

L'espacement des armatures transversales est déterminé comme suit :

$$t_z \leq \min\left(\frac{b}{3} ; 10cm ; 6\phi_l\right) \dots \dots \dots \text{zone nodale (zone VI)}$$

$$t_z \leq \min\left(\frac{b}{2} ; \frac{h}{2} ; 10\phi_l\right) \dots \dots \dots \text{zone courante (zone VI)}$$

$\phi_l$  : diamètre minimal des armatures longitudinales du poteau

La quantité d'armatures transversales minimale  $\frac{A_t}{s_t b}$  en (%) est donnée comme suit :

$$\left\{ \begin{array}{l} 0.3\% \dots \dots \dots si \lambda_g \geq 5 \\ 0.8\% \dots \dots \dots si \lambda_g < 5 \\ \text{interpolation entre les valeurs limites précédentes si } 3 \leq \lambda_g \leq 5 \end{array} \right.$$

$\lambda_g$  : l'élancement géométrique du poteau  $\left(\lambda_g = \frac{l_f}{hc} \text{ ou } \frac{l_f}{bc}\right)$

$hc, bc$  : dimension de la section droite du poteau

$l_f$  : longueur de flambement du poteau

Pour les armatures transversale  $f_e = 500\text{MPa}$  (FeE500)

Le tableau suivant rassemble les résultats des espacements maximums des armatures transversales des poteaux :

Tableau V- 28: Espacements et choix de ferrailage des poteaux selon RPA2024.

| Niveau                  | Section (cm <sup>2</sup> ) | Barres      | $\Phi_l$ (mm) | St (cm)     |               |
|-------------------------|----------------------------|-------------|---------------|-------------|---------------|
|                         |                            |             |               | Zone nodale | Zone courante |
| <b>RDC</b>              | 80x80                      | 4T25 + 4T20 | 20            | 10          | 15            |
| <b>1<sup>er</sup></b>   | 80x80                      | 4T25 + 4T20 | 20            | 10          | 15            |
| <b>2<sup>eme</sup></b>  | 75x75                      | 4T25 + 3T20 | 20            | 10          | 15            |
| <b>3<sup>eme</sup></b>  | 70x70                      | 8T16        | 16            | 10          | 15            |
| <b>4<sup>eme</sup></b>  | 65x65                      | 7T16        | 16            | 10          | 15            |
| <b>5<sup>eme</sup></b>  | 60x60                      | 7T16        | 16            | 10          | 15            |
| <b>6<sup>eme</sup></b>  | 60x60                      | 7T16        | 16            | 10          | 15            |
| <b>7<sup>eme</sup></b>  | 55x55                      | 6T16        | 16            | 10          | 15            |
| <b>8<sup>eme</sup></b>  | 50x50                      | 5T16        | 16            | 10          | 15            |
| <b>9<sup>eme</sup></b>  | 45x45                      | 4T16        | 16            | 10          | 15            |
| <b>10<sup>eme</sup></b> | 40x40                      | 4T14        | 14            | 10          | 15            |
| <b>11<sup>eme</sup></b> | 35x35                      | 4T14        | 14            | 10          | 15            |
| <b>12<sup>eme</sup></b> | 30x30                      | 3T14        | 14            | 10          | 15            |
| <b>13<sup>eme</sup></b> | 30x30                      | 3T14        | 14            | 10          | 15            |

Le choix des armatures transversales est regroupé dans le tableau suivant :

Tableau V- 29: Choix des armatures transversales des poteaux selon le RPA2024.

| Niveau     | Section | $L_f$<br>(m) | $\lambda_g$<br>(%) | $\rho_a$ | $T_u$<br>(KN) | Zone | St<br>(cm) | $A_t^{cal}$<br>(cm <sup>2</sup> ) | Choix | $A_s^{adp}$<br>(cm <sup>2</sup> ) |
|------------|---------|--------------|--------------------|----------|---------------|------|------------|-----------------------------------|-------|-----------------------------------|
| <b>RDC</b> | 80x80   | 1.806        | 2.25               | 3.75     | 108.56        | N    | 10         | 1.018                             | 8T10  | 7.11                              |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 0.895                             | 8T10  | 7.11                              |
| <b>1</b>   | 80x80   | 1.806        | 2.25               | 3.75     | 135.18        | N    | 10         | 1.215                             | 8T10  | 7.11                              |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 1.267                             | 8T10  | 7.11                              |
| <b>2</b>   | 75x75   | 1.806        | 2.4                | 3.75     | 170.54        | N    | 10         | 1.705                             | 8T10  | 6.32                              |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 1.593                             | 8T10  | 6.32                              |
| <b>3</b>   | 70x70   | 1.806        | 2.57               | 3.75     | 194.59        | N    | 10         | 2.085                             | 6T10  | 5.53                              |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 1.865                             | 6T10  | 5.53                              |
| <b>4</b>   | 65x65   | 1.806        | 2.76               | 3.75     | 213.44        | N    | 10         | 2.463                             | 6T10  | 4.74                              |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 2.075                             | 6T10  | 4.74                              |
| <b>5</b>   | 60x60   | 1.806        | 3                  | 3.75     | 207.13        | N    | 10         | 2.589                             | 6T10  | 4.74                              |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 2.061                             | 6T10  | 4.74                              |
| <b>6</b>   | 60x60   | 1.806        | 3                  | 3.75     | 244.37        | N    | 10         | 2.589                             | 6T10  | 4.74                              |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 2.061                             | 6T10  | 4.74                              |
| <b>7</b>   | 55x55   | 1.806        | 3.27               | 3.75     | 223.44        | N    | 10         | 3.047                             | 6T8   | 3.0                               |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 2.195                             | 6T8   | 3.0                               |
| <b>8</b>   | 50x50   | 1.806        | 3.6                | 3.75     | 205.66        | N    | 10         | 3.085                             | 4T8   | 2.5                               |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 2.074                             | 4T8   | 2.5                               |
| <b>9</b>   | 45x45   | 1.806        | 4                  | 3.75     | 176.34        | N    | 10         | 2.939                             | 4T8   | 2                                 |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 1.836                             | 4T8   | 2                                 |
| <b>10</b>  | 40x40   | 1.806        | 4.5                | 3.75     | 139.35        | N    | 10         | 2.613                             | 4T8   | 2                                 |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 1.565                             | 4T8   | 2                                 |
| <b>11</b>  | 35x35   | 1.806        | 5.14               | 3.75     | 99.32         | N    | 10         | 2.12                              | 4T8   | 1.5                               |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 1.24                              | 4T8   | 1.5                               |
| <b>12</b>  | 30x30   | 1.806        | 6                  | 3.75     | 59.97         | N    | 10         | 1.499                             | 4T8   | 1.5                               |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 0.871                             | 4T8   | 1.5                               |
| <b>13</b>  | 30x30   | 1.806        | 6                  | 3.75     | 58.33         | N    | 10         | 1.458                             | 4T8   | 1.5                               |
|            |         |              |                    |          |               | C    | 15         | 0.998                             | 4T8   | 1.5                               |

**Longueur de recouvrement :**

La longueur minimale de recouvrement est de  $L_r = 60\phi_l$  en zone VI pour :

$$\phi = 20 \text{ mm} \dots\dots\dots L_r = 1200 \text{ mm}$$

$$\phi = 16 \text{ mm} \dots\dots\dots L_r = 960 \text{ mm}$$

$$\phi = 14 \text{ mm} \dots\dots\dots L_r = 840 \text{ mm}$$

**V.1.5.3 Ferraillage des poteaux des Sous-Sol :**

Les poteaux du Sous-Sol sont calculés à la compression simple, le ferraillage est donné par :

$$A_s = \left( \frac{N_u}{\alpha} - \frac{B_r f_{c28}}{0.9 \gamma_b} \right) \frac{\gamma_s}{f_e}$$

$B_r$  : section réduite du poteau considéré  $B_r = (a - 2)(b - 2) \text{ cm}^2$

$\alpha$  : coefficient dépendant de l'élancement

$$\alpha = \frac{0.85}{1 + 2\left(\frac{\lambda}{35}\right)^2} \dots\dots\dots \text{Si } \lambda \leq 50$$

$$\alpha = \frac{0.6 (50)^2}{\lambda} \dots\dots\dots \text{Si } 50 < \lambda < 70$$

$$\lambda = \frac{L_f}{i}$$

$L_f$  : longueur de flambement  $L_f = 0.7l_0$

$i$  : rayon de giration ( $i = \sqrt{\frac{I}{B}}$ )

$I$  : moment d'inertie de la section du poteau dans la direction considérée

$B$  : section du poteau ( $a \times b$ )

$N_u$  : l'effort normal maximal au niveau des poteaux du sous-sol

**c. Calcul de l'effort normal pondéré :**

Prenant le poteau le plus sollicité dont l'effort normal est de  $N_u^{RDC} = 3568.315$

Plancher RDC.....  $6.64 \times 32.6 = 216.46 \text{ KN}$

Poids poutre principale.....  $25 \times 0.4 \times 0.55 \times 6.55 = 36.025 \text{ KN}$

Poids poutre secondaire.....  $25 \times 0.4 \times 0.55 \times 6.55 = 36.025 \text{ KN}$

Poids du poteau .....  $25 \times 0.3 \times 0.3 \times (3.23 - 0.55) = 6.075 \text{ KN}$

Plancher SS1.....  $6.64 \times 32.6 = 216.46 \text{ KN}$

Poids poutre principale.....  $25 \times 0.4 \times 0.55 \times 6.55 = 36.025 \text{ KN}$

Poids poutre secondaire.....  $25 \times 0.4 \times 0.55 \times 6.55 = 36.025 \text{ KN}$

Poids du poteau .....  $25 \times 0.3 \times 0.3 \times (3.23 - 0.55) = 6.075 \text{ KN}$

La charge totale égale à : .....  $G = 4157.485 \text{ KN}$

**Surcharge d'exploitation :**

Plancher RDC .....  $Q_{RDC} = 1.5 \times 32.6 = 48.9 \text{ KN}$

Plancher SS1 .....  $Q_{RDC} = 1.5 \times 32.6 = 48.9 \text{ KN}$

La surcharge totale égale à : .....  $G = 97.8 \text{ KN}$

$$N_u = 1.35G + 1.5Q = 5759.3 \text{ KN}$$

$$B_r \geq 0.062N_u \rightarrow B_r \geq 3570.76 \text{ cm}^2$$

$$a = \sqrt{B_r} + 2 = 61.76 \text{ cm} \rightarrow 85 \text{ cm}$$

**d. Calcul de ferrailage:**

- $i = \sqrt{\frac{I}{B}} = \sqrt{\frac{a^4}{12} \times \frac{1}{a^2}} = \frac{a}{\sqrt{12}} = 24.54 \text{ cm}$
- $\lambda = \frac{L_f}{i} = \frac{0.7 \times 323}{24.54} = 9.21 \leq 50$
- $\alpha = \frac{0.85}{1 + 2\left(\frac{\lambda}{35}\right)^2} = \alpha = \frac{0.85}{1 + 2\left(\frac{9.21}{35}\right)^2} = 0.799$

D'où :

$$A_s \geq \left( \frac{5759.3 \cdot 10^3}{0.799} - \frac{3570.76 \cdot 10^2 \times 25}{0.9 \times 1.5} \right) \frac{1.15}{500} \times 10^{-2} = 13.7 \text{ cm}^2$$

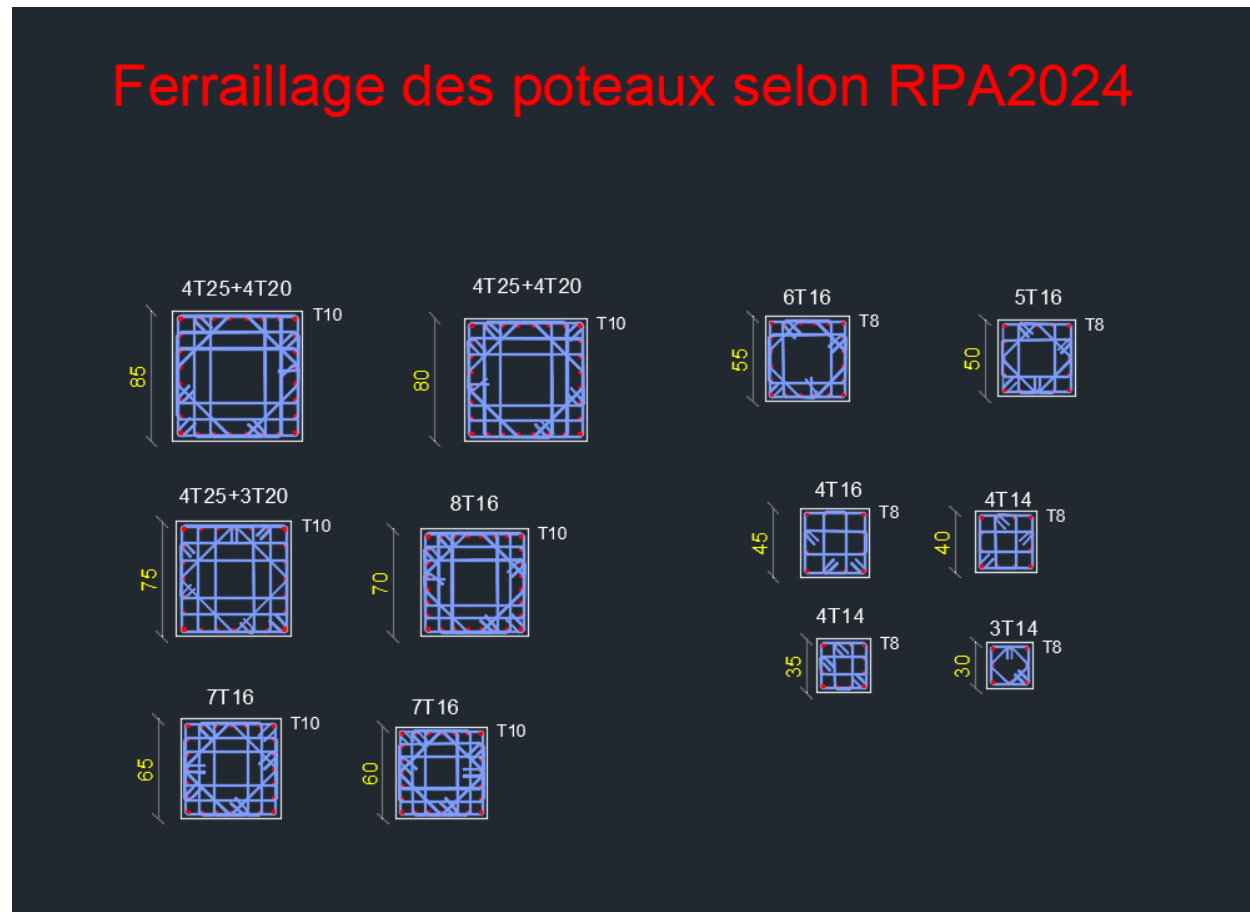
$$A_s^{min} = 1\%B = \frac{1}{100} \times 85^2 = 72.25 \text{ cm}^2$$

**Conclusion :**

Le calcul en compression simple des poteaux d sous-sol à donné une section inférieure à celle exigée par le **RPA 2024**, (par conséquent on retient pour le ferrailage de ces poteaux les mêmes sections d'armatures des poteaux RDC)

| Type du poteau    | Section<br>$\text{cm}^2$ | Choix       | $A_s^{adopté}$<br>$\text{cm}^2$ |
|-------------------|--------------------------|-------------|---------------------------------|
| <b>Poteau SS1</b> | 85x85                    | 4T25 + 4T20 | 64.4                            |
| <b>Poteau SS2</b> | 85x85                    | 4T25 + 4T20 | 64.4                            |

Dessin de ferrailage :



**V.3. Ferraillage des poutres :**

Les poutres sont des éléments non exposés aux intempéries et sollicités par des moments de flexion et des efforts tranchants, donc le calcul se fera en flexion simple avec sollicitations les plus défavorables en considérant la fissuration comme étant très préjudiciable.

**V.3.1. Combinaisons d'action :**

En fonction du type de sollicitations, nous distinguons les différentes combinaisons suivantes :

**Selon le CBA93 :**

Situation durable

$$E.L.U : 1.35G+1.5Q$$

$$E.L.S : G+Q$$

**Selon le RPA99/2003 :**

Situation accidentelle :

$$G+Q+E$$

$$0.8G\pm E$$

**Selon le RPA 2024 :**

Situation accidentelle :

$$E1=\pm Ex\pm 0.3Ey$$

$$E2=\pm 0.3Ex\pm Ey$$

$$G+\Psi Q+E1$$

$$G+\Psi Q+E2$$

La combinaison (1.35G+1.5Q) nous permet de déterminer le moment maximum en travée.

Les combinaison (G+Q±E, G+ΨQ+E1, G+ΨQ+E2) donne le moment négatif maximum en valeur absolue, sur les appuis et permettra de déterminer le ferraillage supérieur au niveau des appuis.

La combinaison (0.8G±E) nous permettra de déterminer le moment négatif ou positif minimum en valeur absolue sur les appuis et permettra dans le cas où  $M > 0$  de déterminer le ferraillage au niveau appuis.

Les armatures sont obtenues à l'état limite ultime (E.L.U) sous l'effet des sollicitations les plus défavorables et dans les situations suivantes :

Tableau V- 30: Caractéristiques du béton et de l'acier RPA99/2003.

| Situation    | Béton      |                 |                     | Acier      |             |                  |
|--------------|------------|-----------------|---------------------|------------|-------------|------------------|
|              | $\gamma_b$ | $f_{c28}$ (MPa) | $\sigma_{bc}$ (MPa) | $\gamma_s$ | $f_e$ (MPa) | $\sigma_s$ (MPa) |
| Durable      | 1.5        | 25              | 14.17               | 1.15       | 500         | 348              |
| Accidentelle | 1.15       | 25              | 18.48               | 1          | 500         |                  |



Tableau V- 31: Caractéristiques du béton et de l'acier RPA2024.

| Situation    | Béton      |                 |                     | Acier      |             |                  |
|--------------|------------|-----------------|---------------------|------------|-------------|------------------|
|              | $\gamma_b$ | $f_{c28}$ (MPa) | $\sigma_{bc}$ (MPa) | $\gamma_s$ | $f_e$ (MPa) | $\sigma_s$ (MPa) |
| Durable      | 1.2        | 25              |                     | 1.15       | 500         | 348              |
| Accidentelle | 1.15       | 25              |                     | 1          | 500         |                  |

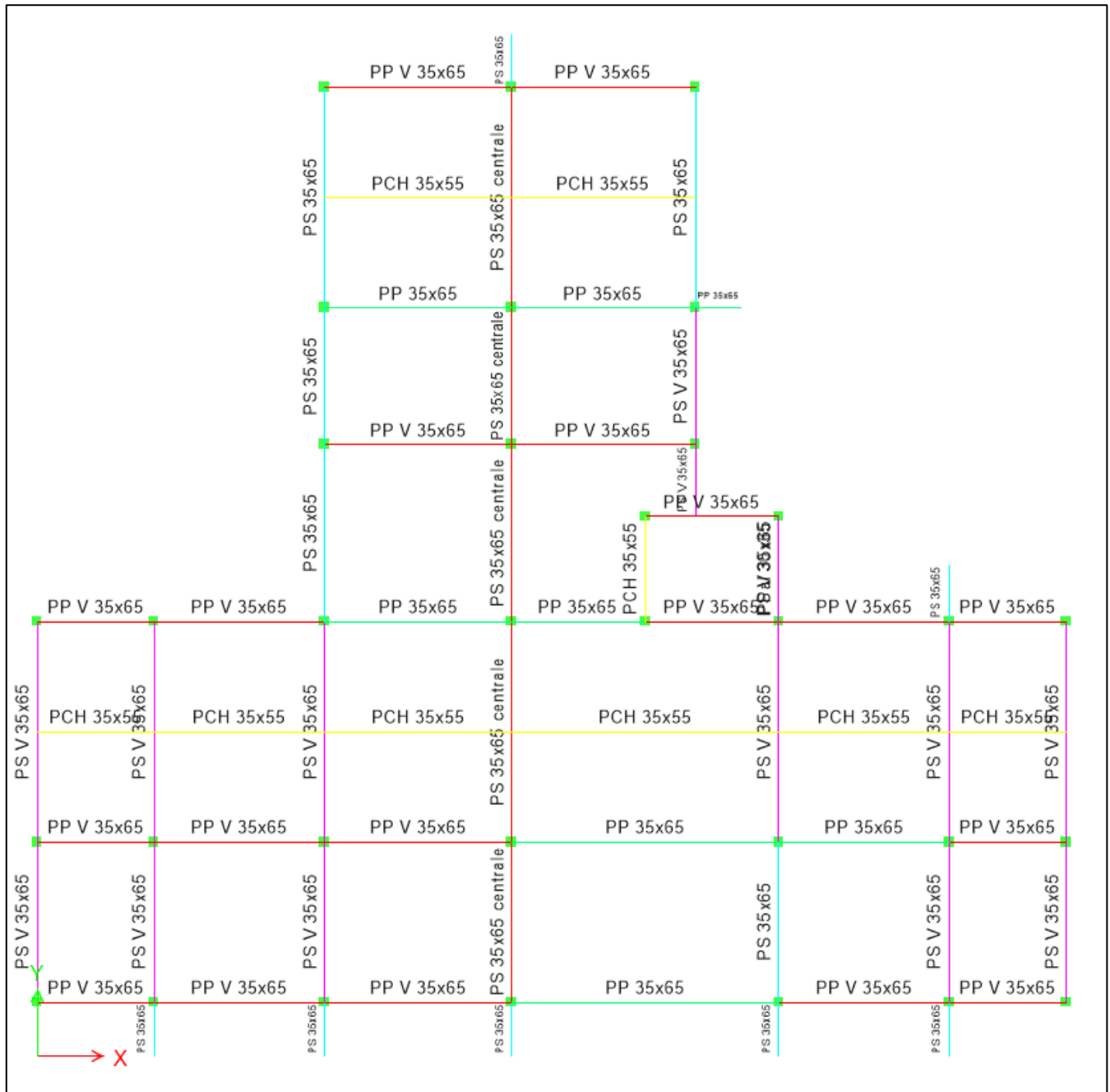


Figure V- 2 : La disposition des poutres.

**V.3.2. Méthode de calcul :**

Les poutres de notre structure seront calculées à la flexion simple.

Les données :  $M_u$  ;  $b$  ;  $d$  ;  $h$  ;  $\sigma_{bc}$

$$\mu = \frac{M_u}{b d^2 \sigma_{bc}} \leq 0.81$$

$$\mu \leq \mu_R \dots \dots \dots A'_S = 0$$

$$\alpha = 1.25 \left( 1 - \sqrt{1 - 2\mu} \right)$$

$$Z = d(1 - 0.4\alpha)$$

$$A_S = \frac{M_u}{Z \frac{f_e}{\gamma_S}}$$

$$\mu > \mu_R \dots \dots \dots A'_S \neq 0$$

$$Z_R = d(1 - 0.4\alpha_R)$$

$$M_R = \mu_R b d^2 \alpha_R$$

$$A'_S = \frac{M_u - M_R}{(d - c') \frac{f_e}{\gamma_S}}$$

$$A_S = \left[ \frac{M_u + M_R}{d - c'} + \frac{M_R}{Z_R} \right] \frac{1}{f_e / \gamma_S}$$

$A_S$  : représente les armatures de la fibre inférieure

$A'_S$  : représente les armatures de la fibre supérieure

**Remarque :**

Les tableaux suivants regroupent tous les résultats des efforts ainsi que les sections d'armatures calculées par le logiciel (SOCOTEC) pour chaque type de poutres sous les différentes combinaisons de charge.

**V.3.3. Recommandations de RPA99/2003**

Selon le RPA99/2003 le pourcentage des aciers longitudinaux sur toute la longueur de la poutre est donné par :

- $0.5\% \leq \frac{A}{bh} \leq 4\%$  Au niveau de la zone courante
- $0.5\% \leq \frac{A}{bh} \leq 6\%$  Au niveau de la zone de recouvrement
- $b$  : largeur de la poutre
- $h$  : hauteur de la poutre
- La longueur de recouvrement minimale est de  $50\phi$
- Dans les poteaux de rive est d'angle, les armatures longitudinales supérieures et inférieures doivent être coudées à 90%
- La quantité d'armatures " $A_t$ " est donnée par  $A_t = 0.003 S_t L$

$L$  : longueur de la poutre

$S_t$  : espacement de deux cardes consécutives, il est donné par :

- $S_t \leq \min \left( \frac{h}{4} ; 12\Phi \right)$  Dans la zone nodale
  - $S_t \leq \frac{h}{2}$  Dans la zone courante
- $h$  : hauteur de la poutre  
 $\Phi$  : le plus grand diamètre d'acier

**V.3.3.1. Ferrailage longitudinal des poutres 2003 :**

Pour le cas de notre structure, les efforts sont déterminés par le logiciel Etabs 22.0.0 :

On dispose de 2 types des poutres :

- Poutre principale      35x65 (cm<sup>2</sup>)
- Poutre secondaire      35x65 (cm<sup>2</sup>)
- Poutre de chaînage      35x55 (cm<sup>2</sup>)
- Poutre palière      33x35 (cm<sup>2</sup>)

**Remarque :**

Dans le modèle on trouve des poutres sous voiles et centrales, cela pour ne pas pénaliser toutes les poutres en prenant la poutre la plus sollicitée.

Pour les étages on a travaillé avec l'option similar stories donc on peut distinguer deux choix de ferrailage pour les poutres du RDC jusqu'à le 13<sup>ème</sup> étage et pour les poutres du plancher terrasse.

- **Poutres principale 35x65 :**
  - a. **Situation durable 1.35G + 1.5Q**

Tableau V- 32 : Les efforts de la poutre PP à l'ELU selon RPA99/2003.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -224.3                  | 0                                 | 9.494                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 101.1                   | 4.101                             | 0                                  | 11.38                                            |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -167.24                 | 0                                 | 6.936                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 122.63                  | 5.009                             | 0                                  | 11.38                                            |

- b. **Situation accidentelle G + Q ± E**

Tableau V- 33: Les efforts de la poutre PP à l'ELA selon RPA99/2003.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -264.468                | 0                                 | 9.58                               | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 153.843                 | 5.433                             | 0                                  | 11.38                                            |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -166.705                | 0                                 | 5.904                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 91.435                  | 3.186                             | 0                                  | 11.38                                            |

- **Poutres principale sous-voile 35x65 :**
  - a. **Situation durable 1.35G + 1.5Q**

Tableau V- 34: Les efforts de la poutre PP V à l'ELU selon RPA99/2003.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -224.3                  | 0                                 | 9.494                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 101.1                   | 4.101                             | 0                                  | 11.38                                            |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -81.79                  | 0                                 | 3.297                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 56.54                   | 2.261                             | 0                                  | 11.38                                            |

- b. **Situation accidentelle G + Q ± E**

Tableau V- 35: Les efforts de la poutre PP V à l'ELA selon RPA99/2003.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -192.243                | 0                                 | 6.847                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 176.669                 | 6.27                              | 0                                  | 11.38                                            |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -129.608                | 0                                 | 4.552                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 121.322                 | 4.254                             | 0                                  | 11.38                                            |

- **Poutres secondaire 35x65 :**
  - Situation durable 1.35G + 1.5Q**

Tableau V- 36: Les efforts de la poutre PS à l'ELU selon RPA99/2003.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -72.37                  | 0                                 | 2.909                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 41.32                   | 1.645                             | 0                                  | 11.38                                            |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -93.71                  | 0                                 | 3.792                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 105.52                  | 4.286                             | 0                                  | 11.38                                            |

- Situation accidentelle G + Q ± E**

Tableau V- 37: Les efforts de la poutre PS à l'ELA selon RPA99/2003.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -67.516                 | 0                                 | 2.34                               | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 48.558                  | 1.677                             | 0                                  | 11.38                                            |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -101.931                | 0                                 | 3.559                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 78.245                  | 2.718                             | 0                                  | 11.38                                            |

- **Poutres secondaires sous-voile 35x65 :**
  - Situation durable 1.35G + 1.5Q**

Tableau V- 38: Les efforts de la poutre PS V à l'ELU selon RPA99/2003.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -413.86                 | 0                                 | 17.61                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 220.2                   | 8.72                              | 0                                  | 11.38                                            |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -183.08                 | 0                                 | 7.635                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 218.57                  | 9.232                             | 0                                  | 11.38                                            |

- Situation accidentelle G + Q ± E**

Tableau V- 39: Les efforts de la poutre PS V à l'ELA selon RPA99/2003.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -393.742                | 0                                 | 14.734                             | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 320.003                 | 11.749                            | 0                                  | 11.38                                            |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -288.824                | 0                                 | 10.523                             | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 315.544                 | 11.573                            | 0                                  | 11.38                                            |

- **Poutres secondaires centrales 35x65 :**

- a. **Situation durable 1.35G + 1.5Q**

Tableau V- 40: Les efforts de la poutre PS centrale à l'ELU selon RPA99/2003.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -383.08                 | 0                                 | 17.306                             | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 265.69                  | 11.424                            | 0                                  | 11.38                                            |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -181.52                 | 0                                 | 7.566                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 229.71                  | 9.743                             | 0                                  | 11.38                                            |

- b. **Situation accidentelle G + Q ± E**

Tableau V- 41: Les efforts de la poutre PS centrale à l'ELA selon RPA99/2003.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -360.426                | 0                                 | 13.37                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 207.349                 | 7.411                             | 0                                  | 11.38                                            |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -173.574                | 0                                 | 6.156                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 167.663                 | 5.939                             | 0                                  | 11.38                                            |

- **Poutres de chaînage 35x55 :**

- a. **Situation durable 1.35G + 1.5Q**

Tableau V- 42: Les efforts de la poutre de chaînage à l'ELU selon RPA99/2003.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x55                      | Appuis   | -148.65                 | 0                                 | 7.391                              | 9.62                                             |
|                             |                            | Travée   | 146.22                  | 7.261                             | 0                                  | 9.62                                             |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x55                      | Appuis   | -176.87                 | 0                                 | 8.923                              | 9.62                                             |
|                             |                            | Travée   | 126.2                   | 6.205                             | 0                                  | 9.62                                             |

- b. **Situation accidentelle G + Q ± E**

Tableau V- 43: Les efforts de la poutre de chaînage à l'ELA selon RPA99/2003.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x55                      | Appuis   | -149.034                | 0                                 | 6.296                              | 9.62                                             |
|                             |                            | Travée   | 115.229                 | 4.816                             | 0                                  | 9.62                                             |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x55                      | Appuis   | -132.849                | 0                                 | 5.584                              | 9.62                                             |
|                             |                            | Travée   | 93.637                  | 3.888                             | 0                                  | 9.62                                             |

- **Poutres palière 30x35 :**
  - Situation durable 1.35G + 1.5Q**

Tableau V- 44: Les efforts de la poutre de palière à l'ELU selon RPA99/2003.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 30x35                      | Appuis   | -11.49                  | 0                                 | 0.851                              | 9.24                                             |
|                             |                            | Travée   | 5.54                    | 0.407                             | 0                                  | 9.24                                             |

- Situation accidentelle G + Q ± E**

Tableau V- 45: Les efforts de la poutre de palière à l'ELA selon RPA99/2003.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 30x35                      | Appuis   | -13.837                 | 0                                 | 0.889                              | 9.24                                             |
|                             |                            | Travée   | 5.091                   | 0.325                             | 0                                  | 9.24                                             |

- **Choix des armatures :**

Le pourcentage total minimum des aciers longitudinaux sur toute la longueur de la poutre est de 0,5 % en toute section (recommandation du RPA 99/2003).

Le pourcentage total maximum des aciers longitudinaux est de :

- 4 % en zone courante.
- 6 % en zone de recouvrement.

Le ferrailage final adopté est donné par les tableaux suivants :

- **Ferrailage Poutres principale 35x65 :**

Tableau V- 46: Ferrailage longitudinal de la poutre PP selon le RPA99/2003.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sub>max</sub> (KNm) | A <sub>sm ax</sub> (ZC) (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>sm ax</sub> (ZR) (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>srpa</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>cal</sup> (cm <sup>2</sup> ) | Choix des armatures | A <sub>s</sub> <sup>adp</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -264.468               | 91                                         | 136.5                                      | 11.38                                               | 9.58                                             | 6T16                | 12.06                                            |
|                             |                            | Travée   | 153.843                |                                            |                                            |                                                     | 5.433                                            | 6T16                | 12.06                                            |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -167.24                | 91                                         | 136.5                                      | 11.38                                               | 6.936                                            | 5T16                | 10.05                                            |
|                             |                            | Travée   | 122.63                 |                                            |                                            |                                                     | 5.009                                            | 5T16                | 10.05                                            |

- Ferrailage Poutres principales sous-voile 35x65 :**

Tableau V- 47: Ferrailage longitudinal de le poutre PP V selon le RPA99/2003.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sub>max</sub> (KNm) | A <sub>sm ax</sub> (ZC) (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>sm ax</sub> (ZR) (cm <sup>2</sup> ) | m in A <sub>sRPA</sub> (cm <sup>2</sup> ) | cal A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | Choix des armatures | A <sub>sadp</sub> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -224.3                 | 91                                         | 136.5                                      | 11.38                                     | 9.494                                 | 6T16                | 12.06                                |
|                             |                            | Travée   | 176.669                |                                            |                                            |                                           | 6.27                                  | 6T16                | 12.06                                |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -129.608               | 91                                         | 136.5                                      | 11.38                                     | 4.522                                 | 3T16                | 6.03                                 |
|                             |                            | Travée   | 121.322                |                                            |                                            |                                           | 4.254                                 | 3T16                | 6.03                                 |

- Ferrailage Poutres secondaires 35x65 :**

Tableau V- 48: Ferrailage longitudinal de le poutre PS selon le RPA99/2003.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sub>max</sub> (KNm) | A <sub>sm ax</sub> (ZC) (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>sm ax</sub> (ZR) (cm <sup>2</sup> ) | m in A <sub>sRPA</sub> (cm <sup>2</sup> ) | cal A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | Choix des armatures | A <sub>sadp</sub> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -72.37                 | 91                                         | 136.5                                      | 11.38                                     | 2.909                                 | 6T16                | 12.06                                |
|                             |                            | Travée   | 48.558                 |                                            |                                            |                                           | 1.67                                  | 3T16                | 6.03                                 |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -101.931               | 91                                         | 136.5                                      | 11.38                                     | 3.559                                 | 3T16                | 6.03                                 |
|                             |                            | Travée   | 105.52                 |                                            |                                            |                                           | 4.286                                 | 3T16                | 6.03                                 |

- Ferrailage Poutres secondaires sous-voile 35x65 :**

Tableau V- 49: Ferrailage longitudinal de le poutre PS V selon le RPA99/2003.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sub>max</sub> (KNm) | A <sub>sm ax</sub> (ZC) (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>sm ax</sub> (ZR) (cm <sup>2</sup> ) | m in A <sub>sRPA</sub> (cm <sup>2</sup> ) | cal A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | Choix des armatures | A <sub>sadp</sub> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -413.86                | 91                                         | 136.5                                      | 11.38                                     | 18.968                                | 6T20 + 3T16         | 24.87                                |
|                             |                            | Travée   | 320.003                |                                            |                                            |                                           | 11.749                                | 6T16                | 12.06                                |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -288.82                | 91                                         | 136.5                                      | 11.38                                     | 10.523                                | 6T16                | 12.06                                |
|                             |                            | Travée   | 315.544                |                                            |                                            |                                           | 11.573                                | 6T16                | 12.06                                |



- Ferrailage Poutres secondaires centrales 35x65 :**

Tableau V- 50: Ferrailage longitudinal de la poutre PS centrale selon le RPA99/2003.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sub>max</sub> (KNm) | A <sub>sm ax</sub> (ZC) (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>sm ax</sub> (ZR) (cm <sup>2</sup> ) | m in A <sub>sRPA</sub> (cm <sup>2</sup> ) | cal A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | Choix des armatures | A <sub>sadp</sub> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -383.08                | 91                                         | 136.5                                      | 11.38                                     | 17.306                                | 6T20 + 3T14         | 23.46                                |
|                             |                            | Travée   | 265.69                 |                                            |                                            |                                           | 11.424                                | 6T16                | 12.06                                |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -181.52                | 91                                         | 136.5                                      | 11.38                                     | 7.566                                 | 6T16                | 12.06                                |
|                             |                            | Travée   | 229.71                 |                                            |                                            |                                           | 9.743                                 | 6T16                | 12.06                                |

- Ferrailage Poutres de chaînage 35x55 :**

Tableau V- 51: Ferrailage longitudinal de la poutre de chaînage selon le RPA99/2003.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sub>max</sub> (KNm) | A <sub>sm ax</sub> (ZC) (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>sm ax</sub> (ZR) (cm <sup>2</sup> ) | m in A <sub>sRPA</sub> (cm <sup>2</sup> ) | cal A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | Choix des armatures | A <sub>sadp</sub> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x55                      | Appuis   | -149.034               | 77                                         | 115.5                                      | 9.62                                      | 7.391                                 | 5T16                | 10.05                                |
|                             |                            | Travée   | 146.22                 |                                            |                                            |                                           | 7.261                                 | 5T16                | 10.05                                |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x55                      | Appuis   | -176.87                | 77                                         | 115.5                                      | 9.62                                      | 8.923                                 | 5T16                | 10.05                                |
|                             |                            | Travée   | 126.2                  |                                            |                                            |                                           | 6.205                                 | 5T16                | 10.05                                |

- Ferrailage Poutres palière 30x35 :**

Tableau V- 52: Ferrailage longitudinal de la poutre palière selon le RPA99/2003.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sub>max</sub> (KNm) | A <sub>sm ax</sub> (ZC) (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>sm ax</sub> (ZR) (cm <sup>2</sup> ) | m in A <sub>sRPA</sub> (cm <sup>2</sup> ) | cal A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | Choix des armatures | A <sub>sadp</sub> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 30x35                      | Appuis   | -13.837                | 42                                         | 63                                         | 5.25                                      | 0.889                                 | 3T16                | 6.03                                 |
|                             |                            | Travée   | 5.54                   |                                            |                                            |                                           | 0.407                                 | 3T16                | 6.03                                 |

- **Condition de non-fragilité :**

Dans toute poutre comportant une zone tendue, qu'elle soit soumise à la flexion simple ou composée, les armatures longitudinales de traction doivent présenter une section au moins égale à 0,001 de la section droite de la poutre.

On peut se dispenser de la vérification de la condition de non-fragilité dans les sections doit satisfis la condition suivante :

$$A_t \geq A_t^{min} = 0.23bd \frac{f_{t28}}{f_e}$$

Avec :  $f_e = 500 \text{ MPa}$  ;  $f_{t28} = 2.1 \text{ MPa}$ .

Tableau V- 53: Les sections d'acier minimales des poutres selon le RPA99/2003.

| Section (cm2)     | $A_s$ choisi (cm2) | $A_{min}$ (cm2) | Vérification |
|-------------------|--------------------|-----------------|--------------|
| PP 35x65          | 12.06              | 11.38           | Vérifié      |
| PP V 35x65        | 12.06              | 11.38           | Vérifié      |
| PS 35x65          | 12.06              | 11.38           | Vérifié      |
| PS V 35x65        | 24.87              | 11.38           | Vérifié      |
| PS centrale 35x65 | 23.46              | 11.38           | Vérifié      |
| PCH 35x55         | 12.06              | 9.62            | Vérifié      |
| PPal 30x35        | 6.03               | 5.25            | Vérifié      |

- **Vérification vis-à-vis de l'état limite service :**

On doit vérifier que :

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I} y \leq \bar{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 15 \frac{M_{ser}}{I} (d - y) \leq \bar{\sigma}_s = 201.6 \text{ MPa}$$

Les résultats sont récapitulés dans les tableaux suivants :

- **Poutres principale 35x65 :**

Tableau V- 54: Vérification de l'ELS de la poutre PP selon le RPA99/2003.

| Niveau                      | Position | $M_{ser}$ (KN.m) | $\sigma_{bc}$ (MPa) | $\bar{\sigma}_{bc}$ (MPa) | $\sigma_s$ (MPa) | $\bar{\sigma}_s$ (MPa) | verification |
|-----------------------------|----------|------------------|---------------------|---------------------------|------------------|------------------------|--------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | Appui    | -161.32          | 5.87                | 15                        | 186.22           | 201.6                  | Vérifié      |
|                             | Travée   | 146.88           | 6.4                 |                           | 63.317           |                        |              |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | Appui    | -121.3           | 4.42                | 15                        | 167.721          | 201.6                  | Vérifié      |
|                             | Travée   | 88.95            | 6.05                |                           | 55.22            |                        |              |

- **Poutres principales sous-voile 35x65 :**

Tableau V- 55: Vérification de l'ELS de la poutre PP V selon le RPA99/2003.

| Niveau                         | Position | $M_{ser}$<br>(KN.m) | $\sigma_{bc}$<br>(MPa) | $\overline{\sigma}_{bc}$<br>(MPa) | $\sigma_s$<br>(MPa) | $\overline{\sigma}_s$<br>(MPa) | verification |
|--------------------------------|----------|---------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------|
| 14 <sup>eme</sup>              | Appui    | -165.3              | 3.17                   | 15                                | 115.314             | 201.6                          | Vérifié      |
|                                | Travée   | 73.09               | 6.9                    |                                   | 68.646              |                                |              |
| Du RDC<br>au 13 <sup>eme</sup> | Appui    | -59.63              | 2.64                   | 15                                | 184.679             | 201.6                          | Vérifié      |
|                                | Travée   | 41.1                | 3.82                   |                                   | 127.253             |                                |              |

- **Poutres secondaires 35x65 :**

Tableau V- 56: Vérification de l'ELS de la poutre PS selon le RPA99/2003.

| Niveau                         | Position | $M_{ser}$<br>(KN.m) | $\sigma_{bc}$<br>(MPa) | $\overline{\sigma}_{bc}$<br>(MPa) | $\sigma_s$<br>(MPa) | $\overline{\sigma}_s$<br>(MPa) | verification |
|--------------------------------|----------|---------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------|
| 14 <sup>eme</sup>              | Appui    | -53.04              | 4.99                   | 15                                | 39.797              | 201.6                          | Vérifié      |
|                                | Travée   | 28.92               | 4.44                   |                                   | 35.399              |                                |              |
| Du RDC<br>au 13 <sup>eme</sup> | Appui    | -69.08              | 1.77                   | 15                                | 89.54               | 201.6                          | Vérifié      |
|                                | Travée   | 77.78               | 2.91                   |                                   | 110.199             |                                |              |

- **Poutres secondaires sous-voile 35x65 :**

Tableau V- 57: Vérification de l'ELS de la poutre PS V selon le RPA99/2003.

| Niveau                         | Position | $M_{ser}$<br>(KN.m) | $\sigma_{bc}$<br>(MPa) | $\overline{\sigma}_{bc}$<br>(MPa) | $\sigma_s$<br>(MPa) | $\overline{\sigma}_s$<br>(MPa) | verification |
|--------------------------------|----------|---------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------|
| 14 <sup>eme</sup>              | Appui    | -304.62             | 5.03                   | 15                                | 129.188             | 201.6                          | Vérifié      |
|                                | Travée   | 165.66              | 9.25                   |                                   | 97.003              |                                |              |
| Du RDC<br>au 13 <sup>eme</sup> | Appui    | -133.14             | 6.33                   | 15                                | 165.298             | 201.6                          | Vérifié      |
|                                | Travée   | 158.82              | 5.28                   |                                   | 196.771             |                                |              |

- **Poutres secondaires centrales 35x65 :**

Tableau V- 58: Vérification de l'ELS de la poutre PS centrale selon le RPA99/2003.

| Niveau                         | Position | $M_{ser}$<br>(KN.m) | $\sigma_{bc}$<br>(MPa) | $\overline{\sigma}_{bc}$<br>(MPa) | $\sigma_s$<br>(MPa) | $\overline{\sigma}_s$<br>(MPa) | verification |
|--------------------------------|----------|---------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------|
| 14 <sup>eme</sup>              | Appui    | -286.48             | 7.1                    | 15                                | 104.034             | 201.6                          | Vérifié      |
|                                | Travée   | 203.12              | 9.79                   |                                   | 68.809              |                                |              |
| Du RDC<br>au 13 <sup>eme</sup> | Appui    | -137.4              | 6.55                   | 15                                | 63.263              | 201.6                          | Vérifié      |
|                                | Travée   | 174.36              | 5.06                   |                                   | 136.535             |                                |              |

- **Poutres de chaînage 35x55 :**

Tableau V- 59: Vérification de l'ELS de la poutre PCH selon le RPA99/2003.

| Niveau                         | Position | $M_{ser}$<br>(KN.m) | $\sigma_{bc}$<br>(MPa) | $\overline{\sigma}_{bc}$<br>(MPa) | $\sigma_s$<br>(MPa) | $\overline{\sigma}_s$<br>(MPa) | verification |
|--------------------------------|----------|---------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------|
| 14 <sup>eme</sup>              | Appui    | -108.63             | 6.18                   | 15                                | 171.938             | 201.6                          | Vérifié      |
|                                | Travée   | 106.75              | 6.27                   |                                   | 71.753              |                                |              |
| Du RDC<br>au 13 <sup>eme</sup> | Appui    | -128.36             | 5.29                   | 15                                | 200.153             | 201.6                          | Vérifié      |
|                                | Travée   | 91.59               | 7.39                   |                                   | 60.183              |                                |              |

- **Poutres palière 30x35 :**

Tableau V- 60: Vérification de l'ELS de la poutre PPal selon le RPA99/2003.

| Niveau                         | Position | $M_{ser}$<br>(KN.m) | $\sigma_{bc}$<br>(MPa) | $\overline{\sigma}_{bc}$<br>(MPa) | $\sigma_s$<br>(MPa) | $\overline{\sigma}_s$<br>(MPa) | verification |
|--------------------------------|----------|---------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------|
| Du RDC<br>au 13 <sup>eme</sup> | Appui    | -8.3                | 0.8                    | 15                                | 63.218              | 201.6                          | Vérifié      |
|                                | Travée   | 4                   | 1.66                   |                                   | 30.468              |                                |              |

- **Vérification vis-à-vis l'effort tranchant :**

Il faut vérifier que :  $\tau_u = \frac{T_u}{b d} \leq \overline{\tau}_u$

Avec :

$T_u$  : l'effort tranchant maximum

$b$  : Largeur de la section de la poutre

$d$  : hauteur utile

$\overline{\tau}_u = \min(0.10f_{c28} ; 4MPa) = 2.5MPa$  (Fissuration préjudiciable) selon le BAEL91/99

- **Poutres principale 35x65 :**

Tableau V- 61: Vérification de l'effort tranchant de la poutre PP selon le RPA99/2003.

| Niveau                         | $T_u^{max}$<br>(KN) | $T_u$<br>(MPa) | $\overline{\tau}_u$<br>(MPa) | Vérification |
|--------------------------------|---------------------|----------------|------------------------------|--------------|
| 14 <sup>eme</sup>              | 169.93              | 0.83           | 2.5                          | Vérifié      |
|                                |                     |                |                              | Vérifié      |
| Du RDC au<br>13 <sup>eme</sup> | -160.9              | 0.79           | 2.5                          | Vérifié      |
|                                |                     |                |                              | Vérifié      |

- **Poutres principales sous-voile 35x65 :**

Tableau V- 62: Vérification de l'effort tranchant de la poutre PP V selon le RPA99/2003.

| Niveau                         | $T_u^{max}$<br>(KN) | $T_u$<br>(MPa) | $\overline{\tau}_u$<br>(MPa) | Vérification |
|--------------------------------|---------------------|----------------|------------------------------|--------------|
| 14 <sup>eme</sup>              | -147.92             | 0.72           | 2.5                          | Vérifié      |
|                                |                     |                |                              | Vérifié      |
| Du RDC au<br>13 <sup>eme</sup> | 152.71              | 0.75           | 2.5                          | Vérifié      |
|                                |                     |                |                              | Vérifié      |

- **Poutres secondaires 35x65 :**

Tableau V- 63: Vérification de l'effort tranchant de la poutre PS selon le RPA99/2003.

| Niveau                         | $T_u^{max}$<br>(KN) | $T_u$<br>(MPa) | $\overline{\tau}_u$<br>(MPa) | Vérification |
|--------------------------------|---------------------|----------------|------------------------------|--------------|
| 14 <sup>eme</sup>              | 62.17               | 0.3            | 2.5                          | Vérifié      |
|                                |                     |                |                              | Vérifié      |
| Du RDC au<br>13 <sup>eme</sup> | 92.54               | 0.45           | 2.5                          | Vérifié      |
|                                |                     |                |                              | Vérifié      |

- **Poutres secondaires sous-voile 35x65 :**

Tableau V- 64: Vérification de l'effort tranchant de la poutre PS V selon le RPA99/2003.

| Niveau                      | $T_u^{max}$<br>(KN) | $T_u$<br>(MPa) | $\bar{\tau}_u$<br>(MPa) | Vérification |
|-----------------------------|---------------------|----------------|-------------------------|--------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | -334.59             | 1.63           | 2.5                     | Vérifié      |
|                             |                     |                |                         | Vérifié      |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | -356.97             | 1.74           | 2.5                     | Vérifié      |
|                             |                     |                |                         | Vérifié      |

- **Poutres secondaires centrales 35x65 :**

Tableau V- 65: Vérification de l'effort tranchant de la poutre PS centrale selon le RPA99/2003.

| Niveau                      | $T_u^{max}$<br>(KN) | $T_u$<br>(MPa) | $\bar{\tau}_u$<br>(MPa) | Vérification |
|-----------------------------|---------------------|----------------|-------------------------|--------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 227.67              | 1.11           | 2.5                     | Vérifié      |
|                             |                     |                |                         | Vérifié      |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | -228.38             | 1.12           | 2.5                     | Vérifié      |
|                             |                     |                |                         | Vérifié      |

- **Poutres de chaînage 35x55 :**

Tableau V- 66: Vérification de l'effort tranchant de la poutre PCH selon le RPA99/2003.

| Niveau                      | $T_u^{max}$<br>(KN) | $T_u$<br>(MPa) | $\bar{\tau}_u$<br>(MPa) | Vérification |
|-----------------------------|---------------------|----------------|-------------------------|--------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | -145.26             | 0.84           | 2.5                     | Vérifié      |
|                             |                     |                |                         | Vérifié      |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | -149.05             | 0.86           | 2.5                     | Vérifié      |
|                             |                     |                |                         | Vérifié      |

- **Poutres palière 30x35 :**

Tableau V- 67: Vérification de l'effort tranchant de la poutre PPal selon le RPA99/2003.

| Niveau                      | $T_u^{max}$<br>(KN) | $T_u$<br>(MPa) | $\bar{\tau}_u$<br>(MPa) | Vérification |
|-----------------------------|---------------------|----------------|-------------------------|--------------|
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 17.53               | 0.19           | 2.5                     | Vérifié      |
|                             |                     |                |                         | Vérifié      |

**V.3.3.2. Ferrailage transversal des poutres 2003 :**

L'acier choisi pour les armatures transversales est de type haute adhérence et nuance FeE50 ( $f_e=500\text{MPa}$ ).

$$\bullet \text{ Selon le BAEL91 modifié 99 : } \begin{cases} S_t \leq \min(0.9d ; 40\text{cm}) \\ \frac{A_t}{b_0 S_t} \geq \frac{\tau_u - 0.3 f_e K}{0.8 f_e} \quad (k = 1) \\ \frac{A_t f_e}{b_0 S_t} \geq \max\left(\frac{\tau_u}{2} ; 0.4 \text{ MPa} \right) \end{cases}$$

$$\bullet \text{ Selon le RPA99/2003 : } \begin{cases} A_t = 0.003 S_t L \\ S_t \leq \min\left(\frac{h}{4} ; 12\phi_l\right) \dots \dots \dots \text{zone nodale} \\ S_t \leq \frac{h}{2} \dots \dots \dots \text{zone courante} \end{cases}$$

Avec :

$$\phi_t \leq \min\left(\frac{h}{35} ; \phi_l ; \frac{b}{10}\right) = 1.2 \text{ cm}$$

On prend  $\phi_t = 8 \text{ mm}$

Les résultats de calcul sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau V- 68: Ferrailage transversal des poutres selon le RPA99/2003.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | $T_u^{max}$ (KN) | $T_u$ (MPa) | BAEL91  | RPA99/2003 |          | $S_t^{adp}$ |    | As (cm <sup>2</sup> ) | Choix |
|-----------------------------|----------------------------|------------------|-------------|---------|------------|----------|-------------|----|-----------------------|-------|
|                             |                            |                  |             | St (cm) | St(cm)ZN   | St(cm)ZC | ZN          | ZC |                       |       |
| 14 <sup>eme</sup>           | PP 35x65                   | 169.93           | 0.83        | 40      | 16.25      | 32.5     | 10          | 15 | 1.2                   | 3T8   |
|                             | PP V 35x65                 | -147.9           | 0.72        | 40      | 16.25      | 32.5     | 10          | 15 | 1.2                   | 3T8   |
|                             | PS 35x65                   | 62.17            | 0.3         | 40      | 16.25      | 32.5     | 10          | 15 | 1.2                   | 3T8   |
|                             | PS V 35x65                 | -334.5           | 1.63        | 40      | 16.25      | 32.5     | 10          | 15 | 1.2                   | 3T8   |
|                             | PS centrale 35x65          | 227.6            | 1.11        | 40      | 16.25      | 32.5     | 10          | 15 | 1.2                   | 3T8   |
|                             | PCH 35x55                  | -145.2           | 0.84        | 40      | 13.75      | 27.5     | 10          | 15 | 1.2                   | 3T8   |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | PP 35x65                   | -160.9           | 0.79        | 40      | 16.25      | 32.5     | 10          | 15 | 1.2                   | 3T8   |
|                             | PP V 35x65                 | 152.71           | 0.75        | 40      | 16.25      | 32.5     | 10          | 15 | 1.2                   | 3T8   |
|                             | PS 35x65                   | 92.54            | 0.45        | 40      | 16.25      | 32.5     | 10          | 15 | 1.2                   | 3T8   |
|                             | PS V 35x65                 | -356.9           | 1.74        | 40      | 16.25      | 32.5     | 10          | 15 | 1.2                   | 3T8   |
|                             | PS centrale 35x65          | -228.3           | 1.12        | 40      | 16.25      | 32.5     | 10          | 15 | 1.2                   | 3T8   |
|                             | PCH 35x55                  | -149.5           | 0.86        | 40      | 13.75      | 27.5     | 10          | 15 | 1.2                   | 3T8   |
|                             | PPal 30x35                 | 17.53            | 0.19        | 40      | 8.75       | 17.5     | 10          | 15 | 1.2                   | 3T8   |

### V.3.3.3. Armature de peau:

Pour les poutres de grande hauteur, il y a lieu de prévoir une armature de peau dont la section dépend du préjudice de la fissuration. En effet on risquerait en l'absence de ces armatures d'avoir des fissures relativement ouvertes en dehors des zones armées par mes armatures longitudinales inférieures et supérieures. Pour ces armatures, les barres à haute adhérence sont plus efficaces que le rond lisses leur section est au moins 3cm<sup>2</sup>/ml pour mettre de longueur paroi mesuré perpendiculairement à leur direction :

$$h = 65 \text{ cm}, A_p = 3 \times 0.65 = 1.95 \text{ cm}^2$$

On prend : 1T16 = 2.01 cm<sup>2</sup> (fissuration préjudiciable)

**V.3.3.4. Recouvrement des armatures longitudinales :**

$L_r = 50 \phi$  (Zone III).  $L_r$  : longueur de recouvrement

On a :

- a.  $\Phi=20$  cm .....  $L_r=100$  cm
- b.  $\Phi=16$  cm .....  $L_r=80$  cm
- c.  $\Phi=14$  cm .....  $L_r=70$  cm

**V.3.2.5. Arrêt des barres :**

Armatures inférieures :  $h \leq \frac{L}{2}$

Armatures supérieures :  $\begin{cases} \frac{L^{max}}{4} & \text{appuis travée de rive} \\ \frac{L^{max}}{5} & \text{appuis en travée intermédiaire} \end{cases}$

Avec :  $L = \max(L_{gauche} ; L_{droite})$

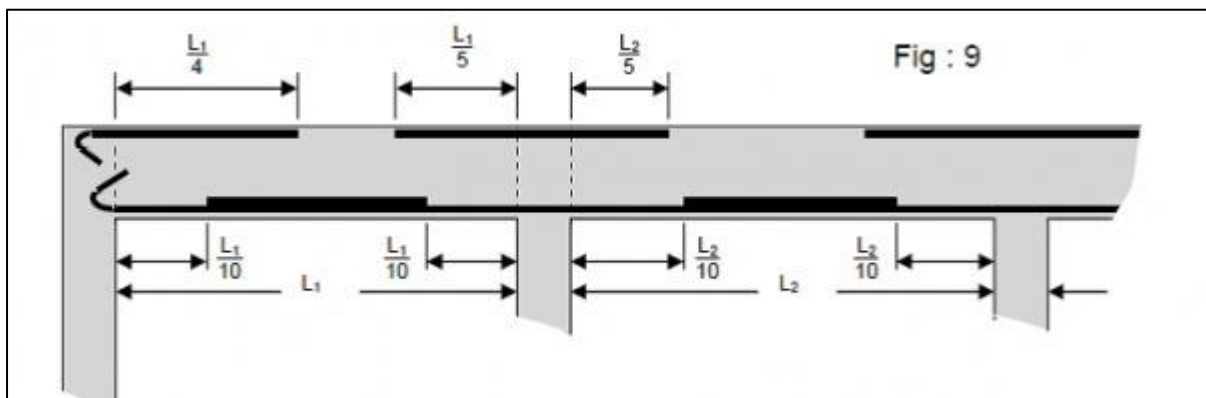


Figure V- 3: les arrêts de barres.



• **Vérification de la flèche :**

Flèche totale :  $\Delta f = f_v - f_i \leq f_{adm}$

$$\text{Avec : } \begin{cases} f_{adm} = \frac{L[cm]}{500} & \text{si } L \leq 5m \\ f_{adm} = 0.5 + \frac{L[cm]}{1000} & \text{si } L > 5m \end{cases}$$

$f_i$  : la flèche due aux charges instantanées

$f_v$  : la flèche due aux charges de longue durée

- **Calcul de la flèche due aux déformations différées**

$$f_v = \frac{M_{ser} l^2}{10 E_v I_{fv}}$$

- **Calcul de la flèche due aux déformations instantanées :**

$$f_i = \frac{M_{ser} l^2}{10 E_i I_{fi}}$$

$$\frac{b}{2} y^2 + \eta A'_s (y - c') - \eta A_s (d - y) = 0$$

$$I = \frac{b}{3} y^3 + 15 A_s (d - y)^2 + 15 A'_s (y - c)^2$$

Moment d'inertie fictifs

$$I_{fi} = \frac{1.1 I_0}{1 + \lambda_i \mu} ; I_{fv} = \frac{I_0}{1 + \lambda_v \mu}$$

Avec :

$$\lambda_i = \frac{0.05 f_{t28}}{5 \delta} \quad \text{Pour la déformation instantanée}$$

$$\lambda_v = \frac{0.02 f_{t28}}{5 \delta} \quad \text{Pour la déformation différée}$$

$$\delta = \frac{A_s}{b_0 d} \quad \text{Pourcentage des armatures}$$

$$\mu = 1 - \frac{1.75 f_{t28}}{4 \delta \sigma_s + f_{t28}}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{ser}}{A_s d} \quad \text{Contrainte de traction dans l'armature correspondant au cas de charge étudiée}$$

$$E_i = 11000 \sqrt[3]{f_{c28}} = 32164.19 \text{ MPa}$$

$$E_v = 3700 \sqrt[3]{f_{c28}} = 10818.87 \text{ MPa}$$

Les résultats sont récapitulés dans ce tableau :

Tableau V- 69: Vérification de la flèche des poutres selon le RPA99/2003.

| Niveau                            | Section (cm <sup>2</sup> ) | Mser (KN.m) | As (cm <sup>2</sup> ) | $\lambda_i$ | $\lambda_v$ | $\mu$ | I <sub>0</sub> (cm <sup>4</sup> ) |
|-----------------------------------|----------------------------|-------------|-----------------------|-------------|-------------|-------|-----------------------------------|
| <b>14<sup>eme</sup></b>           | PP 35x65                   | 146.88      | 15.14                 | 2.76        | 1.1         | 0.53  | 1085143.37                        |
|                                   | PP V 35x65                 | 73.09       | 12.06                 | 3.46        | 1.39        | 0.25  | 1053912.17                        |
|                                   | PS 35x65                   | 28.92       | 6.03                  | 6.93        | 2.77        | 0     | 931623.77                         |
|                                   | PS V 35x65                 | 165.66      | 24.87                 | 1.68        | 0.67        | 0.57  | 1282467.77                        |
|                                   | PS 35x65 centrale          | 203.12      | 16.68                 | 2.5         | 1.01        | 0.63  | 1185123.77                        |
|                                   | PCH 35x55                  | 106.75      | 12.06                 | 2.93        | 1.17        | 0.53  | 646507.03                         |
| <b>Du RDC au 13<sup>eme</sup></b> | PP 35x65                   | 88.95       | 12.06                 | 4.16        | 1.66        | 0.33  | 981918.17                         |
|                                   | PP V 35x65                 | 41.1        | 12.06                 | 6.93        | 2.77        | 0.01  | 900392.57                         |
|                                   | PS 35x65                   | 77.78       | 12.06                 | 6.93        | 2.77        | 0.27  | 900392.57                         |
|                                   | PS V 35x65                 | 158.82      | 24.87                 | 2.7         | 1.08        | 0.55  | 1091430.17                        |
|                                   | PS 35x65 centrale          | 174.36      | 23.46                 | 2.7         | 1.08        | 0.58  | 1132192.97                        |
|                                   | PCH 35x55                  | 91.59       | 12.06                 | 2.93        | 1.17        | 0.48  | 646507.03                         |
|                                   | PPal 30x35                 | 4           | 6.03                  | 4.17        | 1.67        | 0.1   | 123895.46                         |

| Section (cm <sup>2</sup> ) | I <sub>fi</sub> (cm <sup>4</sup> ) | I <sub>fv</sub> (cm <sup>4</sup> ) | $\Delta f$ (mm) | $f_{adm}$ (mm) | Vérification |
|----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|--------------|
| PP 35x65                   | 486416.73                          | 754718.8                           | 10              | 12.7           | Vérifiée     |
| PP V 35x65                 | 621898.07                          | 861516.11                          | 1.73            | 9.6            | Vérifiée     |
| PS 35x65                   | 1024786.14                         | 1024786.14                         | 0.51            | 9              | Vérifiée     |
| PS V 35x65                 | 720280.49                          | 1019725.99                         | 5.71            | 11.3           | Vérifiée     |
| PS 35x65 centrale          | 506018.4                           | 799529.11                          | 8.84            | 11.3           | Vérifiée     |
| PCH 35x55                  | 278192.11                          | 438298.53                          | 12.54           | 12.7           | Vérifiée     |
| PP 35x65                   | 454987.25                          | 697036.79                          | 5.58            | 12.2           | Vérifiée     |
| PP V 35x65                 | 990431.82                          | 990431.82                          | 0.84            | 9.6            | Vérifiée     |
| PS 35x65                   | 346791.26                          | 568431.16                          | 3.98            | 10.8           | Vérifiée     |
| PS V 35x65                 | 481401.82                          | 751502.26                          | 6.03            | 10.8           | Vérifiée     |
| PS 35x65 centrale          | 483350.49                          | 763752.31                          | 6.51            | 10.8           | Vérifiée     |
| PCH 35x55                  | 296535.21                          | 456078.08                          | 8.79            | 12.2           | Vérifiée     |
| PPal 30x35                 | 136285.0                           | 136285.0                           | 0.14            | 4.7            | Vérifiée     |

## Dessin de ferrailage :

- Les poutres du 14eme étages :

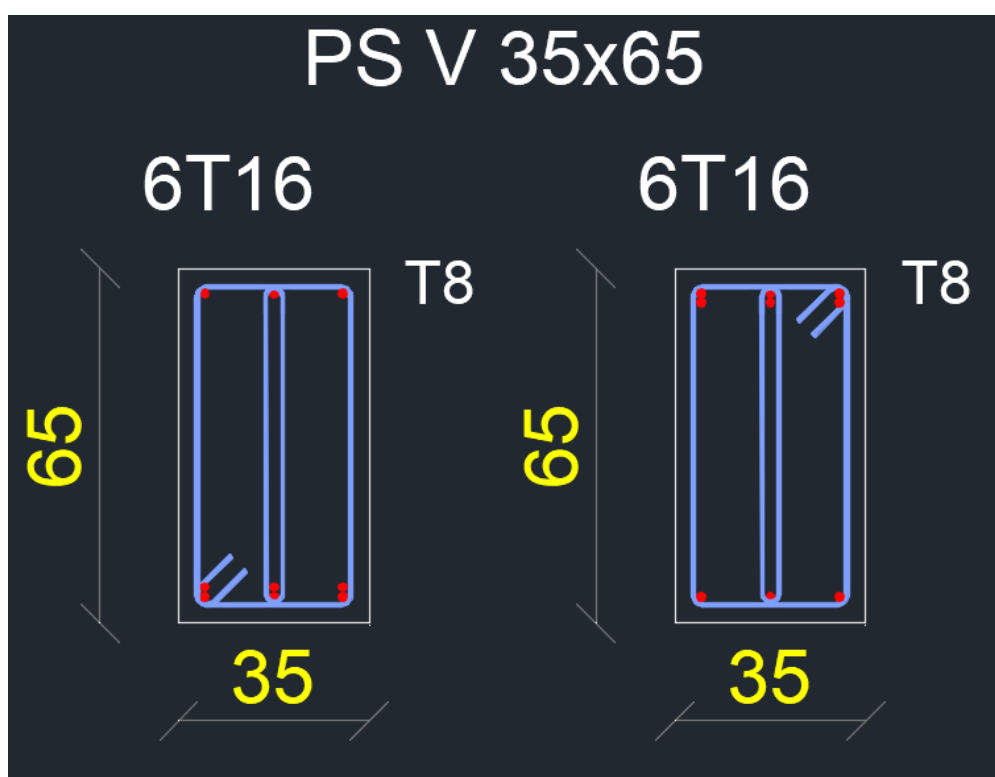
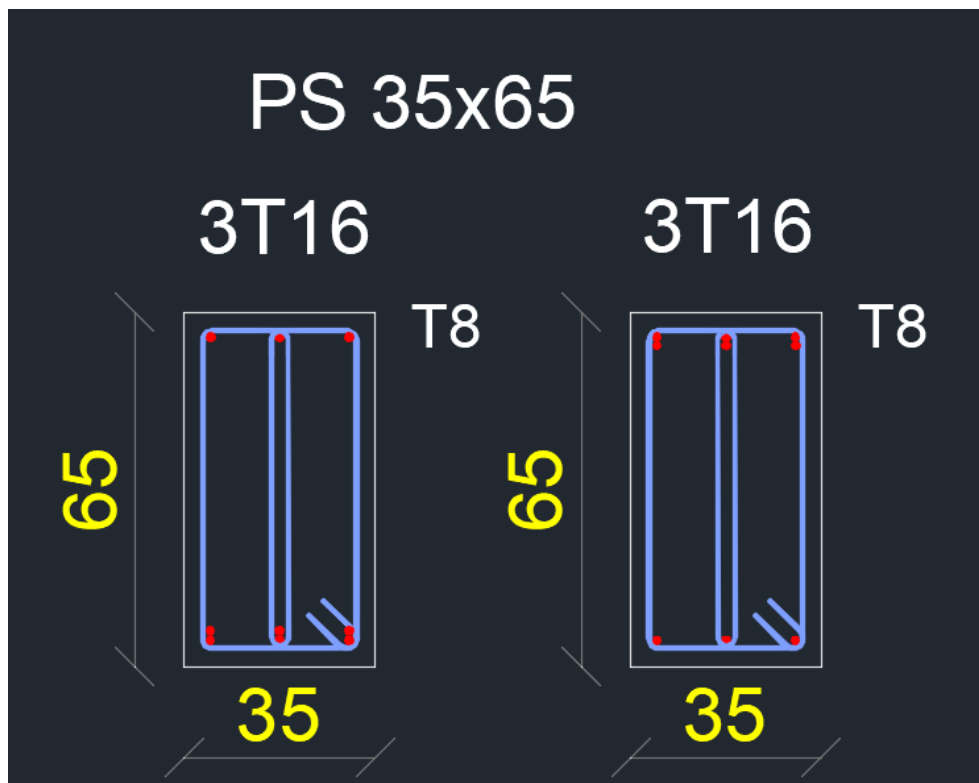


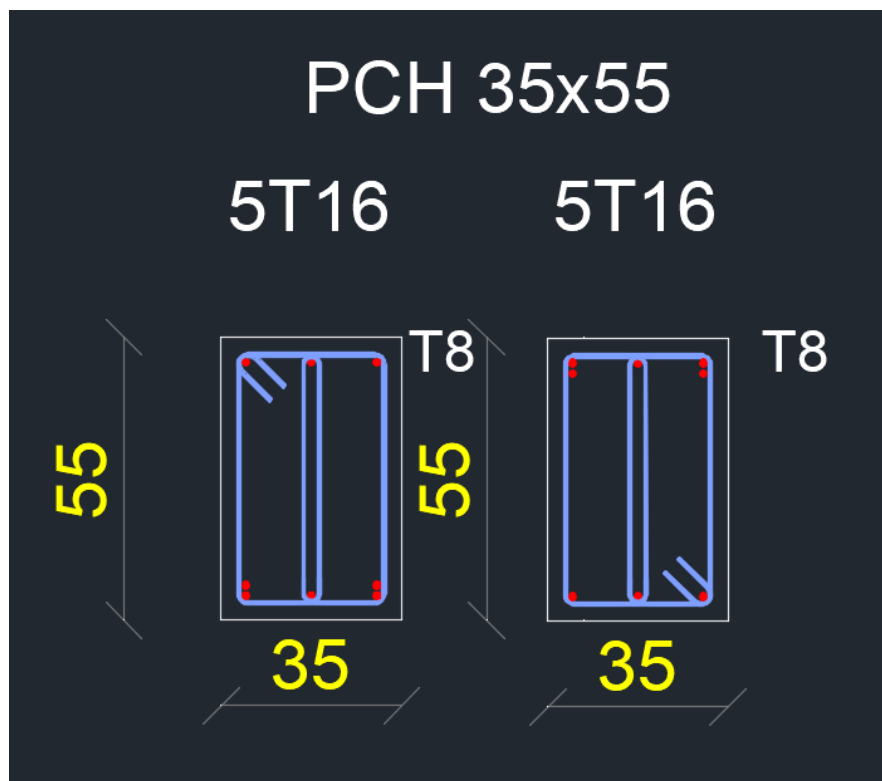




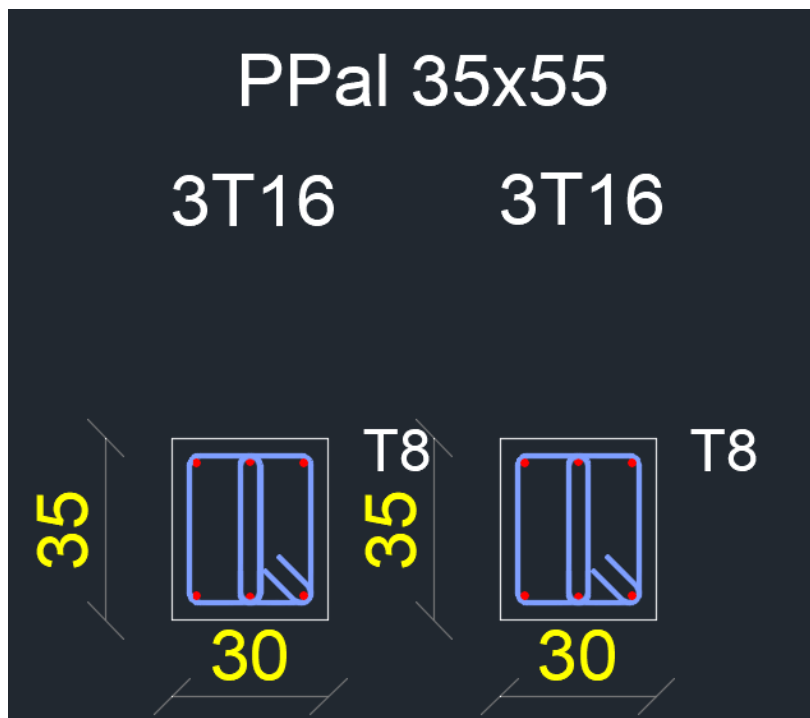
- Les poutres du RDC au 13eme étages :











### V.3.4. Recommandations de RPA 2024

Selon le RPA 2024 le pourcentage des aciers longitudinaux sur toute la longueur de la poutre est donné par :

- $0.5\% \leq \frac{A}{bh} \leq 4\%$  au niveau de la zone courante
- $0.5\% \leq \frac{A}{bh} \leq 8\%$  au niveau de la zone de recouvrement
- $b$  : largeur de la poutre
- $h$  : hauteur de la poutre
- La longueur de recouvrement minimale est de  $60\phi$
- Dans les poteaux de rive est d'angle, les armatures longitudinales supérieures et inférieures doivent être coudées à 90%
- La quantité d'armatures " $A_t$ " est donnée par  $A_t = 0.003 . s . b$

$b$  : largeur de la poutre

$S_t$  : espacement de deux cardes consécutives, il est donné par :

- $S_t \leq \min \left( \frac{h}{4} ; 24\phi ; 17.5cm ; 6\phi \right)$  Dans la zone nodale
- $S_t \leq \frac{h}{2}$  dans la zone courante
- $h$  : hauteur de la poutre
- $\phi$  : le diamètre minimal d'acier longitudinal

#### V.3.4.1. Ferrailage longitudinal des poutres 2024 :

Pour le cas de notre structure, les efforts sont déterminés par le logiciel Etabs 22.0.0 :

On dispose de 2 types des poutres :

- Poutre principale      35x65 (cm<sup>2</sup>)
- Poutre secondaire      35x65 (cm<sup>2</sup>)
- Poutre de chaînage      35x55 (cm<sup>2</sup>)
- Poutre palière      33x35 (cm<sup>2</sup>)

#### Remarque :

Dans le modèle on trouve des poutres sous voiles et centrales, cela pour ne pas pénaliser toutes les poutres en prenant la poutre la plus sollicitée.

Pour les étages on a travaillé avec l'option similar stories donc on peut distinguer deux choix de ferrailage pour les poutres du RDC jusqu'à le 13<sup>ème</sup> étage et pour les poutres du plancher terrasse.

- **Poutres principale 35x65 :**
  - Situation durable 1.35G + 1.5Q**

Tableau V- 70: Les efforts de la poutre PP à l'ELU selon RPA2024.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -220.9                  | 0                                 | 9.339                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 202.63                  | 8.51                              | 0                                  | 11.38                                            |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -167.24                 | 0                                 | 6.936                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 122.63                  | 5.009                             | 0                                  | 11.38                                            |

- Situation accidentelle G + ΨQ ± E**

Tableau V- 71: Les efforts de la poutre PP à l'ELA selon RPA2024.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -331.565                | 0                                 | 12.209                             | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 148.99                  | 5.256                             | 0                                  | 11.38                                            |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -169.06                 | 0                                 | 5.99                               | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 117.62                  | 4.121                             | 0                                  | 11.38                                            |

- **Poutres principale sous-voile 35x65 :**
  - Situation durable 1.35G + 1.5Q**

Tableau V- 72: Les efforts de la poutre PP V à l'ELU selon RPA2024.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -224.3                  | 0                                 | 9.494                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 101.1                   | 4.101                             | 0                                  | 11.38                                            |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -81.79                  | 0                                 | 3.297                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 56.54                   | 2.261                             | 0                                  | 11.38                                            |

- Situation accidentelle G + ΨQ ± E**

Tableau V- 73: Les efforts de la poutre PP V à l'ELA selon RPA2024.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -228.672                | 0                                 | 8.213                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 221.007                 | 7.924                             | 0                                  | 11.38                                            |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -162.429                | 0                                 | 5.747                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 161.218                 | 5.702                             | 0                                  | 11.38                                            |

- **Poutres secondaire 35x65 :**
  - Situation durable 1.35G + 1.5Q**

Tableau V- 74: Les efforts de la poutre PS à l'ELU selon RPA2024.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -72.37                  | 0                                 | 2.909                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 41.32                   | 1.645                             | 0                                  | 11.38                                            |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -93.71                  | 0                                 | 3.792                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 105.52                  | 4.286                             | 0                                  | 11.38                                            |

- Situation accidentelle G + ΨQ ± E**

Tableau V- 75 : Les efforts de la poutre PS à l'ELA selon RPA2024.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -71.855                 | 0                                 | 2.493                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 58.553                  | 2.026                             | 0                                  | 11.38                                            |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -114.165                | 0                                 | 3.997                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 71.571                  | 2.483                             | 0                                  | 11.38                                            |

- **Poutres secondaires sous-voile 35x65 :**
  - Situation durable 1.35G + 1.5Q**

Tableau V- 76: Les efforts de la poutre PS V à l'ELU selon RPA2024.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -417.05                 | 0                                 | 19.143                             | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 226.29                  | 9.586                             | 0                                  | 11.38                                            |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -183.08                 | 0                                 | 7.635                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 218.57                  | 9.232                             | 0                                  | 11.38                                            |

- Situation accidentelle G + ΨQ ± E**

Tableau V- 77: Les efforts de la poutre PS à l'ELA selon RPA2024.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -470.986                | 0                                 | 18.001                             | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 446.882                 | 16.965                            | 0                                  | 11.38                                            |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -439.225                | 0                                 | 16.639                             | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 467.301                 | 17.842                            | 0                                  | 11.38                                            |

- **Poutres secondaires centrales 35x65 :**

- a. **Situation durable 1.35G + 1.5Q**

Tableau V- 78: Les efforts de la poutre PS centrale à l'ELU selon RPA2024.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -383.08                 | 0                                 | 17.306                             | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 265.69                  | 11.424                            | 0                                  | 11.38                                            |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -181.52                 | 0                                 | 7.566                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 229.71                  | 9.743                             | 0                                  | 11.38                                            |

- b. **Situation accidentelle G + ΨQ ± E**

Tableau V- 79: Les efforts de la poutre PS centrale à l'ELA selon RPA2024.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -375.209                | 13.972                            | 13.37                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 198.505                 | 7.08                              | 0                                  | 11.38                                            |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -178.903                | 0                                 | 6.353                              | 11.38                                            |
|                             |                            | Travée   | 210.541                 | 7.53                              | 0                                  | 11.38                                            |

- **Poutres de chaînage 35x55 :**

- a. **Situation durable 1.35G + 1.5Q**

Tableau V- 80: Les efforts de la poutre PCH à l'ELU selon RPA2024.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x55                      | Appuis   | -148.65                 | 0                                 | 7.391                              | 9.62                                             |
|                             |                            | Travée   | 146.22                  | 7.261                             | 0                                  | 9.62                                             |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x55                      | Appuis   | -176.87                 | 0                                 | 8.923                              | 9.62                                             |
|                             |                            | Travée   | 126.19                  | 6.205                             | 0                                  | 9.62                                             |

- b. **Situation accidentelle G + ΨQ ± E**

Tableau V- 81: Les efforts de la poutre PCH à l'ELA selon RPA2024.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x55                      | Appuis   | -194.488                | 0                                 | 8.34                               | 9.62                                             |
|                             |                            | Travée   | 118.51                  | 4.959                             | 0                                  | 9.62                                             |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x55                      | Appuis   | -118.606                | 0                                 | 4.963                              | 9.62                                             |
|                             |                            | Travée   | 82.674                  | 3.421                             | 0                                  | 9.62                                             |

- **Poutres palière 30x35 :**
  - Situation durable  $1.35G + 1.5Q$**

Tableau V- 82: Les efforts de la poutre PPal à l'ELU selon RPA2024.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 30x35                      | Appuis   | -11.49                  | 0                                 | 0.851                              | 9.24                                             |
|                             |                            | Travée   | 5.54                    | 0.407                             | 0                                  | 9.24                                             |

- Situation accidentelle  $G + \Psi Q \pm E$**

Tableau V- 83: Les efforts de la poutre PPal à l'ELA selon RPA2024.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sup>max</sup> (KN.m) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A' <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> <sup>min</sup> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 30x35                      | Appuis   | -15.095                 | 0                                 | 0.97                               | 9.24                                             |
|                             |                            | Travée   | 5.045                   | 0.322                             | 0                                  | 9.24                                             |

- **Choix des armatures :**

Le pourcentage total minimum des aciers longitudinaux sur toute la longueur de la poutre est de 0,5 % en toute section (recommandation du RPA 2024).

Le pourcentage total maximum des aciers longitudinaux est de :

- 4 % en zone courante.
- 8 % en zone de recouvrement.

Le ferrailage final adopté est donné par les tableaux suivants :

- **Ferrailage Poutres principale 35x65 :**

Tableau V- 84: Ferrailage longitudinal de la poutre PP selon le RPA2024.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sub>max</sub> (KNm) | A <sub>sm ax</sub> (ZC) (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>sm ax</sub> (ZR) (cm <sup>2</sup> ) | m in A <sub>sRPA</sub> (cm <sup>2</sup> ) | cal A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | Choix des armatures | A <sub>s adp</sub> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -331.565               | 91                                         | 136.5                                      | 11.38                                     | 12.209                                | 6T16                | 12.06                                 |
|                             |                            | Travée   | 202.63                 |                                            |                                            |                                           | 8.51                                  | 6T16                | 12.06                                 |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -169.06                | 91                                         | 136.5                                      | 11.38                                     | 5.99                                  | 6T16                | 12.06                                 |
|                             |                            | Travée   | 122.63                 |                                            |                                            |                                           | 5.009                                 | 6T16                | 12.06                                 |

- **Ferrailage Poutres principales sous-voile 35x65 :**

Tableau V- 85: Ferrailage longitudinal de le poutre PP V selon le RPA2024.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sub>max</sub> (KNm) | A <sub>sm ax</sub> (ZC) (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>sm ax</sub> (ZR) (cm <sup>2</sup> ) | m in A <sub>sRPA</sub> (cm <sup>2</sup> ) | cal A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | Choix des armatures | A <sub>sadp</sub> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -228.672               | 91                                         | 136.5                                      | 11.38                                     | 8.213                                 | 6T16                | 12.06                                |
|                             |                            | Travée   | 221.077                |                                            |                                            |                                           | 7.924                                 | 6T16                | 12.06                                |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -162.429               | 91                                         | 136.5                                      | 11.38                                     | 5.747                                 | 6T16                | 12.06                                |
|                             |                            | Travée   | 161.218                |                                            |                                            |                                           | 5.702                                 | 6T16                | 12.06                                |

- **Ferrailage Poutres secondaires 35x65 :**

Tableau V- 86: Ferrailage longitudinal de le poutre PS selon le RPA2024.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sub>max</sub> (KNm) | A <sub>sm ax</sub> (ZC) (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>sm ax</sub> (ZR) (cm <sup>2</sup> ) | m in A <sub>sRPA</sub> (cm <sup>2</sup> ) | cal A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | Choix des armatures | A <sub>sadp</sub> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -72.37                 | 91                                         | 136.5                                      | 11.38                                     | 2.909                                 | 6T16                | 12.06                                |
|                             |                            | Travée   | 58.553                 |                                            |                                            |                                           | 2.026                                 | 6T16                | 12.06                                |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -114.165               | 91                                         | 136.5                                      | 11.38                                     | 3.997                                 | 6T16                | 12.06                                |
|                             |                            | Travée   | 105.52                 |                                            |                                            |                                           | 4.286                                 | 6T16                | 12.06                                |

- **Ferrailage Poutres secondaires sous-voile 35x65 :**

Tableau V- 87: Ferrailage longitudinal de le poutre PS V selon le RPA2024.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sub>max</sub> (KNm) | A <sub>sm ax</sub> (ZC) (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>sm ax</sub> (ZR) (cm <sup>2</sup> ) | m in A <sub>sRPA</sub> (cm <sup>2</sup> ) | cal A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | Choix des armatures | A <sub>sadp</sub> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -470.986               | 91                                         | 136.5                                      | 11.38                                     | 18.968                                | 6T20+2T16           | 22.88                                |
|                             |                            | Travée   | 446.882                |                                            |                                            |                                           | 16.965                                | 6T20+2T16           | 22.88                                |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -439.225               | 91                                         | 136.5                                      | 11.38                                     | 16.639                                | 6T20+2T16           | 22.88                                |
|                             |                            | Travée   | 467.301                |                                            |                                            |                                           | 17.842                                | 6T20+2T16           | 22.88                                |

- Ferrailage Poutres secondaires centrales 35x65 :**

Tableau V- 88: Ferrailage longitudinal de le poutre PS centrale selon le RPA2024.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sub>max</sub> (KNm) | A <sub>sm ax</sub> (ZC) (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>sm ax</sub> (ZR) (cm <sup>2</sup> ) | m in A <sub>sRPA</sub> (cm <sup>2</sup> ) | cal A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | Choix des armatures | A <sub>sadp</sub> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x65                      | Appuis   | -383.08                | 91                                         | 136.5                                      | 11.38                                     | 17.306                                | 6T20 + 2T16         | 22.88                                |
|                             |                            | Travée   | 265.69                 |                                            |                                            |                                           | 11.424                                | 6T16                | 12.06                                |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x65                      | Appuis   | -181.52                | 91                                         | 136.5                                      | 11.38                                     | 7.566                                 | 6T16                | 12.06                                |
|                             |                            | Travée   | 229.71                 |                                            |                                            |                                           | 9.743                                 | 6T16                | 12.06                                |

- Ferrailage Poutres de chaînage 35x55 :**

Tableau V- 89: Ferrailage longitudinal de le poutre PCH selon le RPA2024.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sub>max</sub> (KNm) | A <sub>sm ax</sub> (ZC) (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>sm ax</sub> (ZR) (cm <sup>2</sup> ) | m in A <sub>sRPA</sub> (cm <sup>2</sup> ) | cal A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | Choix des armatures | A <sub>sadp</sub> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 35x55                      | Appuis   | -194.48                | 77                                         | 115.5                                      | 9.62                                      | 8.34                                  | 5T16                | 10.05                                |
|                             |                            | Travée   | 146.22                 |                                            |                                            |                                           | 7.261                                 | 5T16                | 10.05                                |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 35x55                      | Appuis   | -176.87                | 77                                         | 115.5                                      | 9.62                                      | 8.923                                 | 5T16                | 10.05                                |
|                             |                            | Travée   | 126.2                  |                                            |                                            |                                           | 6.205                                 | 5T16                | 10.05                                |

- Ferrailage Poutres palière 30x35 :**

Tableau V- 90: Ferrailage longitudinal de le poutre PPal selon le RPA2024.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | M <sub>max</sub> (KNm) | A <sub>sm ax</sub> (ZC) (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>sm ax</sub> (ZR) (cm <sup>2</sup> ) | m in A <sub>sRPA</sub> (cm <sup>2</sup> ) | cal A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | Choix des armatures | A <sub>sadp</sub> (cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|----------|------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 30x35                      | Appuis   | -15.095                | 42                                         | 63                                         | 5.25                                      | 0.851                                 | 3T16                | 6.03                                 |
|                             |                            | Travée   | 5.54                   |                                            |                                            |                                           | 0.407                                 | 3T16                | 6.03                                 |



- **Condition de non-fragilité :**

Dans toute poutre comportant une zone tendue, qu'elle soit soumise à la flexion simple ou composée, les armatures longitudinales de traction doivent présenter une section au moins égale à 0,001 de la section droite de la poutre.

On peut se dispenser de la vérification de la condition de non-fragilité dans les sections doit satisfis la condition suivante :

$$A_t \geq A_t^{min} = 0.23bd \frac{f_{t28}}{f_e}$$

Avec :  $f_e = 500 \text{ MPa}$  ;  $f_{t28} = 2.1 \text{ MPa}$ .

Tableau V- 91: Les sections d'acier minimales des poutres selon le RPA2024.

| Section (cm2)     | $A_s$ choisi (cm2) | $A_{smin}$ (cm2) | Vérification |
|-------------------|--------------------|------------------|--------------|
| PP 35x65          | 12.06              | 11.38            | Vérifié      |
| PP V 35x65        | 12.06              | 11.38            | Vérifié      |
| PS 35x65          | 12.06              | 11.38            | Vérifié      |
| PS V 35x65        | 22.88              | 11.38            | Vérifié      |
| PS centrale 35x65 | 22.88              | 11.38            | Vérifié      |
| PCH 35x55         | 10.05              | 9.62             | Vérifié      |
| PPal 30x35        | 6.03               | 5.25             | Vérifié      |

- **Vérification vis-à-vis de l'état limite service :**

On doit vérifier que :

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I} y \leq \overline{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 15 \frac{M_{ser}}{I} (d - y) \leq \overline{\sigma}_s = 201.6 \text{ MPa}$$

Les résultats sont récapitulés dans les tableaux suivants :

- **Poutres principale 35x65 :**

Tableau V- 92: Vérification de l'ELS de la poutre PP selon le RPA2024.

| Niveau                         | Position | $M_{ser}$<br>(KN.m) | $\sigma_{bc}$<br>(MPa) | $\overline{\sigma}_{bc}$<br>(MPa) | $\sigma_s$<br>(MPa) | $\overline{\sigma}_s$<br>(MPa) | verification |
|--------------------------------|----------|---------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------|
| 14 <sup>eme</sup>              | Appui    | -161.32             | 6.36                   | 15                                | 58.989              | 201.6                          | Vérifié      |
|                                | Travée   | 146.88              | 6.75                   |                                   | 67.214              |                                |              |
| Du RDC<br>au 13 <sup>eme</sup> | Appui    | -121.3              | 4.29                   | 15                                | 39.572              | 201.6                          | Vérifié      |
|                                | Travée   | 88.95               | 5.85                   |                                   | 158.527             |                                |              |

- **Poutres principales sous-voile 35x65 :**

Tableau V- 93: Vérification de l'ELS de la poutre PP V selon le RPA2024.

| Niveau                         | Position | $M_{ser}$<br>(KN.m) | $\sigma_{bc}$<br>(MPa) | $\overline{\sigma}_{bc}$<br>(MPa) | $\sigma_s$<br>(MPa) | $\overline{\sigma}_s$<br>(MPa) | verification |
|--------------------------------|----------|---------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------|
| 14 <sup>eme</sup>              | Appui    | -165.3              | 2.93                   | 15                                | 28.766              | 201.6                          | Vérifié      |
|                                | Travée   | 73.09               | 6.64                   |                                   | 92.585              |                                |              |
| Du RDC<br>au 13 <sup>eme</sup> | Appui    | -59.63              | 2.11                   | 15                                | 112.55              | 201.6                          | Vérifié      |
|                                | Travée   | 41.1                | 3                      |                                   | 84.081              |                                |              |

- **Poutres secondaires 35x65 :**

Tableau V- 94: Vérification de l'ELS de la poutre PS selon le RPA2024.

| Niveau                         | Position | $M_{ser}$<br>(KN.m) | $\sigma_{bc}$<br>(MPa) | $\overline{\sigma}_{bc}$<br>(MPa) | $\sigma_s$<br>(MPa) | $\overline{\sigma}_s$<br>(MPa) | verification |
|--------------------------------|----------|---------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------|
| 14 <sup>eme</sup>              | Appui    | -53.04              | 1.86                   | 15                                | 164.199             | 201.6                          | Vérifié      |
|                                | Travée   | 28.92               | 3.4                    |                                   | 89.546              |                                |              |
| Du RDC<br>au 13 <sup>eme</sup> | Appui    | -69.08              | 4.06                   | 15                                | 143.271             | 201.6                          | Vérifié      |
|                                | Travée   | 77.78               | 3.61                   |                                   | 161.432             |                                |              |

- **Poutres secondaires sous-voile 35x65 :**

Tableau V- 95: Vérification de l'ELS de la poutre PS V selon le RPA2024.

| Niveau                         | Position | $M_{ser}$<br>(KN.m) | $\sigma_{bc}$<br>(MPa) | $\overline{\sigma}_{bc}$<br>(MPa) | $\sigma_s$<br>(MPa) | $\overline{\sigma}_s$<br>(MPa) | verification |
|--------------------------------|----------|---------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------|
| 14 <sup>eme</sup>              | Appui    | -304.62             | 5.82                   | 15                                | 54.887              | 201.6                          | Vérifié      |
|                                | Travée   | 165.66              | 10.37                  |                                   | 111.525             |                                |              |
| Du RDC<br>au 13 <sup>eme</sup> | Appui    | -133.14             | 5.72                   | 15                                | 113.398             | 201.6                          | Vérifié      |
|                                | Travée   | 158.82              | 4.66                   |                                   | 193.16              |                                |              |

- **Poutres secondaires centrales 35x65 :**

Tableau V- 96: Vérification de l'ELS de la poutre PS centrale selon le RPA2024.

| Niveau                         | Position | $M_{ser}$<br>(KN.m) | $\sigma_{bc}$<br>(MPa) | $\overline{\sigma}_{bc}$<br>(MPa) | $\sigma_s$<br>(MPa) | $\overline{\sigma}_s$<br>(MPa) | verification |
|--------------------------------|----------|---------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------|
| 14 <sup>eme</sup>              | Appui    | -286.48             | 7.28                   | 15                                | 69.485              | 201.6                          | Vérifié      |
|                                | Travée   | 203.12              | 10.15                  |                                   | 108.496             |                                |              |
| Du RDC<br>au 13 <sup>eme</sup> | Appui    | -137.4              | 7.48                   | 15                                | 195.286             | 201.6                          | Vérifié      |
|                                | Travée   | 174.36              | 5.88                   |                                   | 56.675              |                                |              |

- **Poutres de chaînage 35x55 :**

Tableau V- 97: Vérification de l'ELS de la poutre PCH selon le RPA2024.

| Niveau                         | Position | $M_{ser}$<br>(KN.m) | $\sigma_{bc}$<br>(MPa) | $\overline{\sigma}_{bc}$<br>(MPa) | $\sigma_s$<br>(MPa) | $\overline{\sigma}_s$<br>(MPa) | verification |
|--------------------------------|----------|---------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------|
| 14 <sup>eme</sup>              | Appui    | -108.63             | 6.18                   | 15                                | 60.183              | 201.6                          | Vérifié      |
|                                | Travée   | 106.75              | 6.28                   |                                   | 200.15              |                                |              |
| Du RDC<br>au 13 <sup>eme</sup> | Appui    | -128.36             | 5.31                   | 15                                | 51.726              | 201.6                          | Vérifié      |
|                                | Travée   | 91.59               | 7.4                    |                                   | 171.634             |                                |              |

- **Poutres palière 30x35 :**

Tableau V- 98: Vérification de l'ELS de la poutre PPal selon le RPA2024.

| Niveau                         | Position | $M_{ser}$<br>(KN.m) | $\sigma_{bc}$<br>(MPa) | $\overline{\sigma}_{bc}$<br>(MPa) | $\sigma_s$<br>(MPa) | $\overline{\sigma}_s$<br>(MPa) | verification |
|--------------------------------|----------|---------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------|
| Du RDC<br>au 13 <sup>eme</sup> | Appui    | -8.3                | 0.8                    | 15                                | 63.218              | 201.6                          | Vérifié      |
|                                | Travée   | 4                   | 1.66                   |                                   | 30.468              |                                |              |

- **Vérification vis-à-vis l'effort tranchant :**

Il faut vérifier que :  $\tau_u = \frac{T_u}{b d} \leq \overline{\tau}_u$

Avec :

$T_u$  : l'effort tranchant maximum

$b$  : Largeur de la section de la poutre

$d$  : hauteur utile

$\overline{\tau}_u = \min(0.10f_{c28} ; 4MPa) = 2.5MPa$  (Fissuration préjudiciable) selon le BAEL91/99

- **Poutres principale 35x65 :**

Tableau V- 99: Vérification de l'effort tranchant de la poutre PP selon le RPA2024.

| Niveau                         | $T_u^{max}$<br>(KN) | $T_u$<br>(MPa) | $\overline{\tau}_u$<br>(MPa) | Vérification |
|--------------------------------|---------------------|----------------|------------------------------|--------------|
| 14 <sup>eme</sup>              | 169.93              | 0.83           | 2.5                          | Vérifié      |
|                                |                     |                |                              | Vérifié      |
| Du RDC au<br>13 <sup>eme</sup> | -160.9              | 0.79           | 2.5                          | Vérifié      |
|                                |                     |                |                              | Vérifié      |

- **Poutres principales sous-voile 35x65 :**

Tableau V- 100: Vérification de l'effort tranchant de la poutre PP V selon le RPA2024.

| Niveau                      | $T_u^{max}$<br>(KN) | $T_u$<br>(MPa) | $\bar{\tau}_u$<br>(MPa) | Vérification |
|-----------------------------|---------------------|----------------|-------------------------|--------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | -154.85             | 0.76           | 2.5                     | Vérifié      |
|                             |                     |                |                         | Vérifié      |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 200.41              | 0.98           | 2.5                     | Vérifié      |
|                             |                     |                |                         | Vérifié      |

- **Poutres secondaires 35x65 :**

Tableau V- 101: Vérification de l'effort tranchant de la poutre PS selon le RPA2024.

| Niveau                      | $T_u^{max}$<br>(KN) | $T_u$<br>(MPa) | $\bar{\tau}_u$<br>(MPa) | Vérification |
|-----------------------------|---------------------|----------------|-------------------------|--------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 62.17               | 0.3            | 2.5                     | Vérifié      |
|                             |                     |                |                         | Vérifié      |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 92.54               | 0.45           | 2.5                     | Vérifié      |
|                             |                     |                |                         | Vérifié      |

- **Poutres secondaires sous-voile 35x65 :**

Tableau V- 102: Vérification de l'effort tranchant de la poutre PS V selon le RPA2024.

| Niveau                      | $T_u^{max}$<br>(KN) | $T_u$<br>(MPa) | $\bar{\tau}_u$<br>(MPa) | Vérification |
|-----------------------------|---------------------|----------------|-------------------------|--------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | -464.61             | 2.27           | 2.5                     | Vérifié      |
|                             |                     |                |                         | Vérifié      |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | -525.4              | 2.57           | 2.5                     | Vérifié      |
|                             |                     |                |                         | Vérifié      |

- **Poutres secondaires centrales 35x65 :**

Tableau V- 103: Vérification de l'effort tranchant de la poutre PS centrale selon le RPA2024.

| Niveau                      | $T_u^{max}$<br>(KN) | $T_u$<br>(MPa) | $\bar{\tau}_u$<br>(MPa) | Vérification |
|-----------------------------|---------------------|----------------|-------------------------|--------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | 314.9               | 1.54           | 2.5                     | Vérifié      |
|                             |                     |                |                         | Vérifié      |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | 362.81              | 1.77           | 2.5                     | Vérifié      |
|                             |                     |                |                         | Vérifié      |

- **Poutres de chaînage 35x55 :**

Tableau V- 104: Vérification de l'effort tranchant de la poutre PCH selon le RPA2024.

| Niveau                      | $T_u^{max}$<br>(KN) | $T_u$<br>(MPa) | $\bar{\tau}_u$<br>(MPa) | Vérification |
|-----------------------------|---------------------|----------------|-------------------------|--------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | -145.26             | 0.84           | 2.5                     | Vérifié      |
|                             |                     |                |                         | Vérifié      |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | -149.05             | 0.86           | 2.5                     | Vérifié      |
|                             |                     |                |                         | Vérifié      |

- **Poutres palière 30x35 :**

Tableau V- 105: Vérification de l'effort tranchant de la poutre PPal selon le RPA2024.

| Niveau                         | $T_u^{max}$<br>(KN) | $T_u$<br>(MPa) | $\bar{\tau}_u$<br>(MPa) | Vérification |
|--------------------------------|---------------------|----------------|-------------------------|--------------|
| Du RDC au<br>13 <sup>eme</sup> | 17.53               | 0.19           | 2.5                     | Vérifié      |
|                                |                     |                |                         | Vérifié      |

### V.3.4.2. Ferrailage transversal des poutres 2024 :

L'acier choisi pour les armatures transversales est de type haute adhérence et nuance FeE50 (fe=500MPa)

- Selon le BAEL91 modifié 99 : 
$$\begin{cases} S_t \leq \min(0.9d ; 40cm) \\ \frac{A_t}{b_0 S_t} \geq \frac{\tau_u - 0.3 f_e K}{0.8 f_e} \quad (k = 1) \\ \frac{A_t f_e}{b_0 S_t} \geq \max\left(\frac{\tau_u}{2} ; 0.4 MPa\right) \end{cases}$$

- Selon le RPA2024 : 
$$\begin{cases} A_t = 0.003 . s . b \\ S_t \leq \min\left(\frac{h}{4} ; 12\phi_l\right) \dots \dots \dots \text{zone nodale} \\ S_t \leq \frac{h}{2} \dots \dots \dots \text{zone courante} \end{cases}$$

Avec :

$$\phi_t \leq \min\left(\frac{h}{35} ; \phi_l ; \frac{b}{10}\right) = 1.2 \text{ cm}$$

On prend  $\phi_t = 8 \text{ mm}$

Les résultats de calcul sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau V- 106: Ferraillage transversal des poutres selon le RPA2024.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | $T_u^{max}$ (KN) | $T_u$ (MPa) | BAEL91  | RPA2024  |          | $S_t^{adp}$ |    | As (cm <sup>2</sup> ) | Choix |
|-----------------------------|----------------------------|------------------|-------------|---------|----------|----------|-------------|----|-----------------------|-------|
|                             |                            |                  |             | St (cm) | St(cm)ZN | St(cm)ZC | ZN          | ZC |                       |       |
| 14 <sup>eme</sup>           | PP 35x65                   | 169.93           | 0.83        | 40      | 16.25    | 32.5     | 10          | 15 | 1.2                   | 3T8   |
|                             | PP V 35x65                 | -147.9           | 0.72        | 40      | 16.25    | 32.5     | 10          | 15 | 1.2                   | 3T8   |
|                             | PS 35x65                   | 62.17            | 0.3         | 40      | 16.25    | 32.5     | 10          | 15 | 1.2                   | 3T8   |
|                             | PS V 35x65                 | -334.5           | 1.63        | 40      | 16.25    | 32.5     | 10          | 15 | 1.2                   | 3T8   |
|                             | PS centrale 35x65          | 227.6            | 1.11        | 40      | 16.25    | 32.5     | 10          | 15 | 1.2                   | 3T8   |
|                             | PCH 35x55                  | -145.2           | 0.84        | 40      | 13.75    | 27.5     | 10          | 15 | 1.2                   | 3T8   |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | PP 35x65                   | -160.9           | 0.79        | 40      | 16.25    | 32.5     | 10          | 15 | 1.2                   | 3T8   |
|                             | PP V 35x65                 | 152.71           | 0.75        | 40      | 16.25    | 32.5     | 10          | 15 | 1.2                   | 3T8   |
|                             | PS 35x65                   | 92.54            | 0.45        | 40      | 16.25    | 32.5     | 10          | 15 | 1.2                   | 3T8   |
|                             | PS V 35x65                 | -356.9           | 1.74        | 40      | 16.25    | 32.5     | 10          | 15 | 1.2                   | 3T8   |
|                             | PS centrale 35x65          | -228.3           | 1.12        | 40      | 16.25    | 32.5     | 10          | 15 | 1.2                   | 3T8   |
|                             | PCH 35x55                  | -149.5           | 0.86        | 40      | 13.75    | 27.5     | 10          | 15 | 1.2                   | 3T8   |
|                             | PPal 30x35                 | 17.53            | 0.19        | 40      | 8.75     | 17.5     | 10          | 15 | 1.2                   | 3T8   |

#### V.3.4.3. Armature de peau:

Pour les poutres de grande hauteur, il y a lieu de prévoir une armature de peau dont la section dépend du préjudice de la fissuration. En effet on risquerait en l'absence de ces armatures d'avoir des fissures relativement ouvertes en dehors des zones armées par mes armatures longitudinales inférieures et supérieures. Pour ces armatures, les barres à haute adhérence sont plus efficaces que le rond lisses leur section est au moins 3cm<sup>2</sup>/ml pour mettre de longueur paroi mesuré perpendiculairement à leur direction :

$$h = 65 \text{ cm}, A_p = 3 \times 0.65 = 1.95 \text{ cm}^2$$

On prend : 1T16 = 2.01 cm<sup>2</sup> (fissuration préjudiciable)

**V.3.4.4. Recouvrement des armatures longitudinales :**

$L_r = 60 \phi$  (Zone VI).  $L_r$  : longueur de recouvrement

On a :

- d.  $\Phi=20$  mm .....  $L_r=120$  cm
- e.  $\Phi=16$  mm .....  $L_r=96$  cm
- f.  $\Phi=14$  mm .....  $L_r=84$  cm

**V.3.4.5. Arrêt des barres:**

Armatures inférieures :  $h \leq \frac{L}{2}$

Armatures supérieures :  $\begin{cases} \frac{L^{max}}{4} & \text{appuis travée de rive} \\ \frac{L^{max}}{5} & \text{appuis en travée intermédiaire} \end{cases}$

Avec :  $L = \max(L_{gauche} ; L_{droite})$

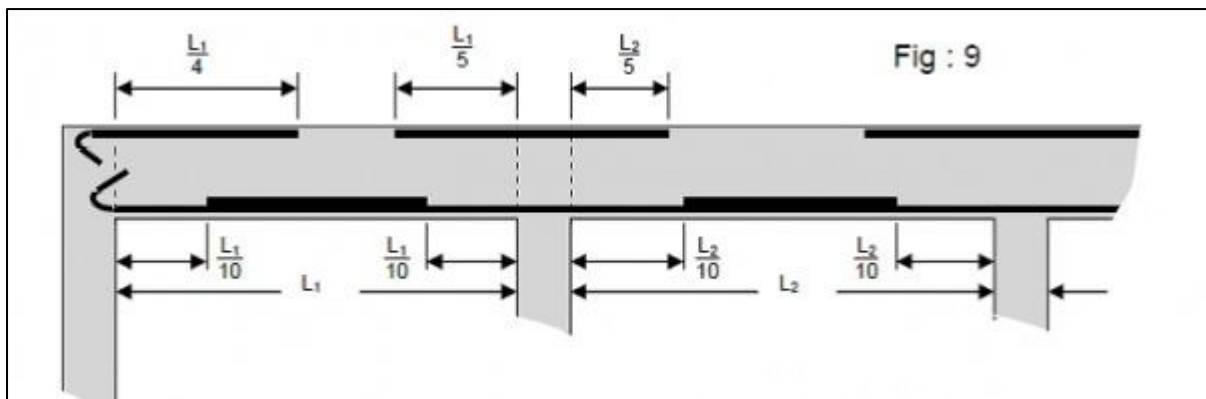


Figure V- 4: Arrête barre.

• **Vérification de la flèche :**

Flèche totale :  $\Delta f = f_v - f_i \leq f_{adm}$

$$\text{Avec : } \begin{cases} f_{adm} = \frac{L[cm]}{500} & \text{si } L \leq 5m \\ f_{adm} = 0.5 + \frac{L[cm]}{1000} & \text{si } L > 5m \end{cases}$$

$f_i$  : la flèche due aux charges instantanées

$f_v$  : la flèche due aux charges de longue durée

- **Calcul de la flèche due aux déformations différées**

$$f_v = \frac{M_{ser} l^2}{10 E_v I_{fv}}$$

- **Calcul de la flèche due aux déformations instantanées :**

$$f_i = \frac{M_{ser} l^2}{10 E_i I_{fi}}$$

$$\frac{b}{2} y^2 + \eta A'_s (y - c') - \eta A_s (d - y) = 0$$

$$I = \frac{b}{3} y^3 + 15 A_s (d - y)^2 + 15 A'_s (y - c)^2$$

Moment d'inertie fictifs

$$I_{fi} = \frac{1.1 I_0}{1 + \lambda_i \mu} ; I_{fv} = \frac{I_0}{1 + \lambda_v \mu}$$

Avec :

$$\lambda_i = \frac{0.05 f_{t28}}{5 \delta} \quad \text{Pour la déformation instantanée}$$

$$\lambda_v = \frac{0.02 f_{t28}}{5 \delta} \quad \text{Pour la déformation différée}$$

$$\delta = \frac{A_s}{b_0 d} \quad \text{Pourcentage des armatures}$$

$$\mu = 1 - \frac{1.75 f_{t28}}{4 \delta \sigma_s + f_{t28}}$$

$$\sigma_s = \frac{M_{ser}}{A_s d} \quad \text{Contrainte de traction dans l'armature correspondant au cas de charge étudiée}$$

$$E_i = 11000 \sqrt[3]{f_{c28}} = 32164.19 \text{ MPa}$$

$$E_v = 3700 \sqrt[3]{f_{c28}} = 10818.87 \text{ MPa}$$



Les résultats sont récapitulés dans ce tableau :

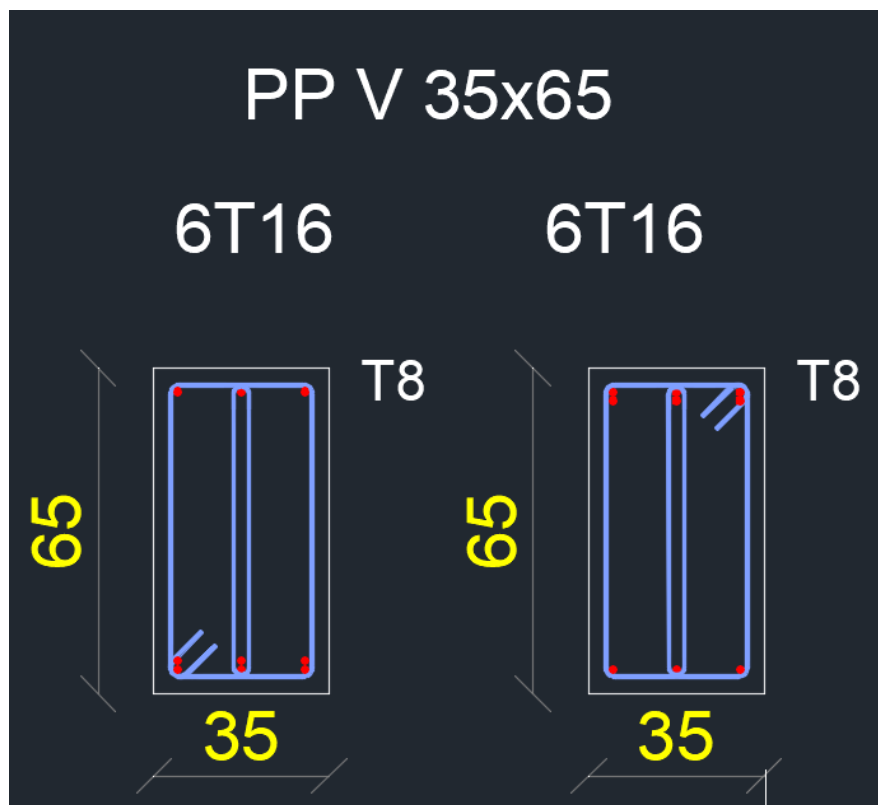
Tableau V- 107: Vérification de la flèche des poutres selon le RPA2024.

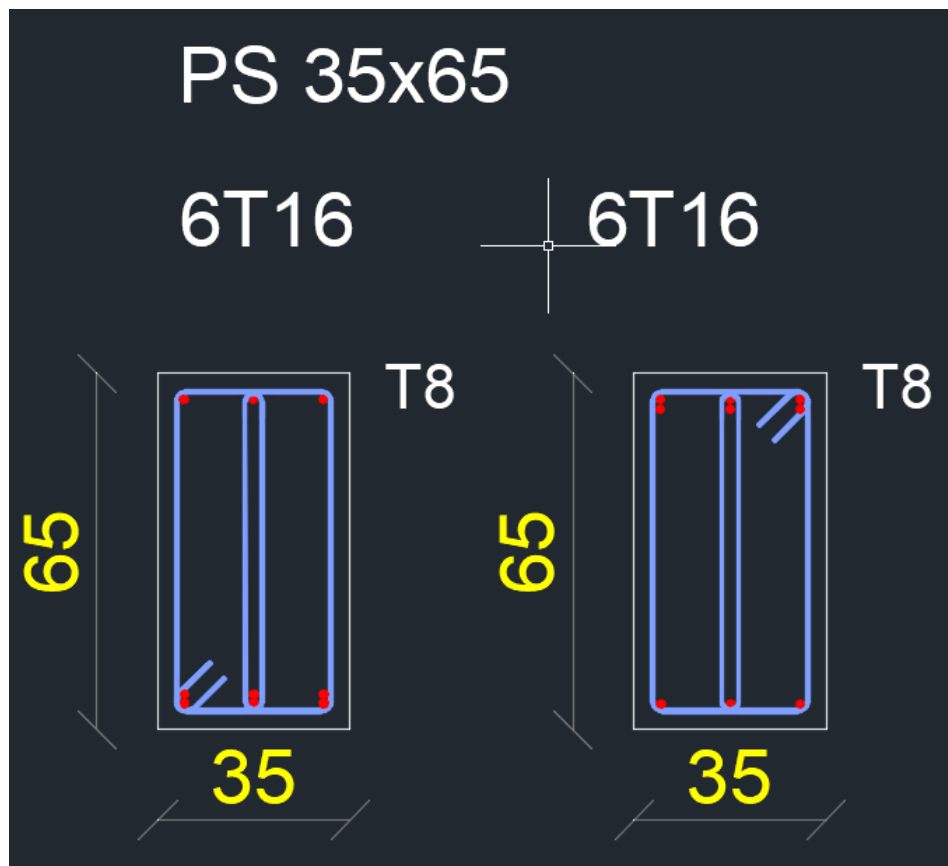
| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Mser (KN.m) | As (cm <sup>2</sup> ) | $\lambda_i$ | $\lambda_v$ | $\mu$ | I <sub>0</sub> (cm <sup>4</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------|-------------|-----------------------|-------------|-------------|-------|-----------------------------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | PP 35x65                   | 161.32      | 12.06                 | 3.46        | 1.39        | 0.52  | 1053912.17                        |
|                             | PP V 35x65                 | 165.3       | 12.06                 | 2.76        | 1.1         | 0.25  | 1085143.37                        |
|                             | PS 35x65                   | 53.04       | 12.06                 | 6.93        | 2.77        | 0.0   | 900392.57                         |
|                             | PS V 35x65                 | 304.62      | 22.88                 | 2.7         | 1.08        | 0.57  | 1186948.97                        |
|                             | PS 35x65 centrale          | 286.48      | 22.88                 | 2.66        | 1.06        | 0.63  | 1169102.57                        |
|                             | PCH 35x55                  | 108.63      | 10.05                 | 2.93        | 1.17        | 0.53  | 646507.03                         |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | PP 35x65                   | 121.35      | 12.06                 | 3.92        | 1.57        | 0.33  | 994086.17                         |
|                             | PP V 35x65                 | 59.63       | 12.06                 | 4.52        | 1.81        | 0.0   | 973704.77                         |
|                             | PS 35x65                   | 77.78       | 12.06                 | 4.58        | 1.83        | 0.27  | 962854.97                         |
|                             | PS V 35x65                 | 158.82      | 22.88                 | 2.66        | 1.06        | 0.55  | 1169102.57                        |
|                             | PS 35x65 centrale          | 174.36      | 22.88                 | 3.11        | 1.24        | 0.58  | 1050667.37                        |
|                             | PCH 35x55                  | 128.36      | 10.05                 | 2.93        | 1.17        | 0.48  | 646507.03                         |
|                             | PPal 30x35                 | 8.3         | 6.03                  | 4.17        | 1.67        | 0.0   | 123895.46                         |

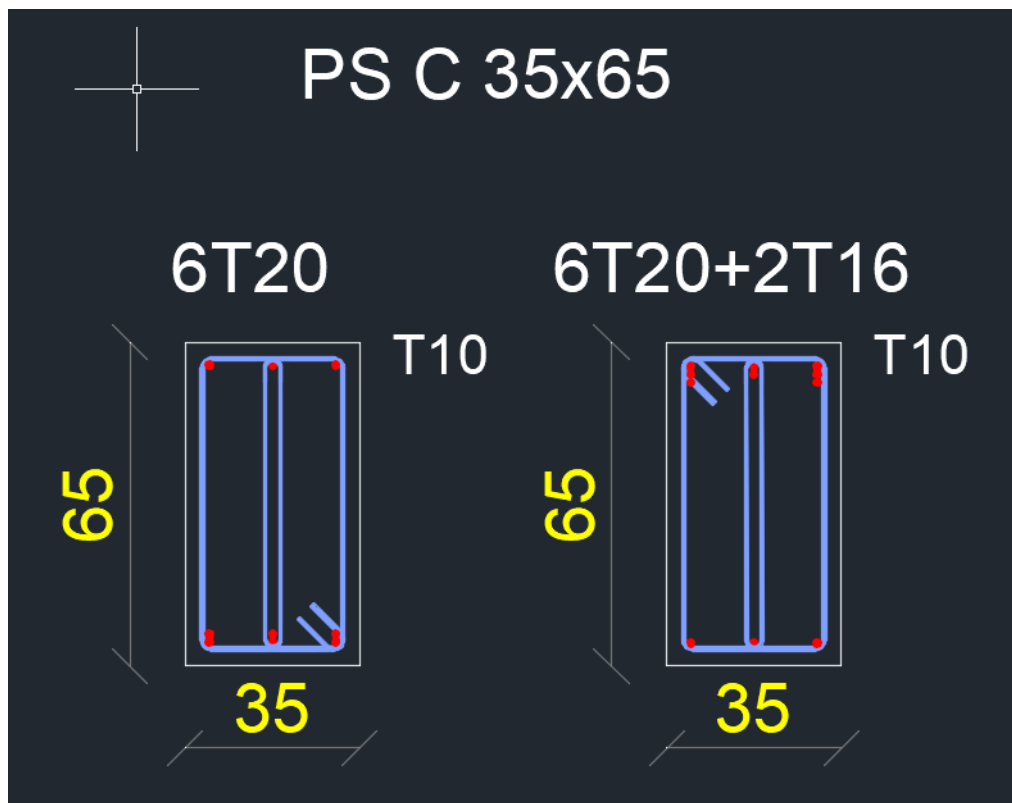
| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | I <sub>fi</sub> (cm <sup>4</sup> ) | I <sub>fv</sub> (cm <sup>4</sup> ) | $\Delta f$ (mm) | $f_{adm}$ (mm) | Vérification |
|-----------------------------|----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|--------------|
| 14 <sup>eme</sup>           | PP 35x65                   | 411772.03                          | 671608.14                          | 11.19           | 12.7           | Vérifiée     |
|                             | PP V 35x65                 | 703104.61                          | 933217.07                          | 1.6             | 9.6            | Vérifiée     |
|                             | PS 35x65                   | 990421.82                          | 990421.82                          | 0.53            | 9              | Vérifiée     |
|                             | PS V 35x65                 | 516004.16                          | 809893.05                          | 7.15            | 11.3           | Vérifiée     |
|                             | PS 35x65 centrale          | 480826.64                          | 770143.69                          | 9.16            | 11.3           | Vérifiée     |
|                             | PCH 35x55                  | 278192.11                          | 438298.53                          | 12.54           | 12.7           | Vérifiée     |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | PP 35x65                   | 475610.38                          | 719567.34                          | 5.41            | 12.2           | Vérifiée     |
|                             | PP V 35x65                 | 1071075.24                         | 1071075.24                         | 0.77            | 9.6            | Vérifiée     |
|                             | PS 35x65                   | 470025.82                          | 705460.32                          | 3.23            | 10.8           | Vérifiée     |
|                             | PS V 35x65                 | 521089.12                          | 810253.69                          | 5.59            | 10.8           | Vérifiée     |
|                             | PS 35x65 centrale          | 411552.35                          | 670654.66                          | 7.39            | 10.8           | Vérifiée     |
|                             | PCH 35x55                  | 296770.6                           | 456300.74                          | 8.78            | 12.2           | Vérifiée     |
|                             | PPal 30x35                 | 136285                             | 136285                             | 0.14            | 4.7            | Vérifiée     |

**Dessin de ferraillage :**

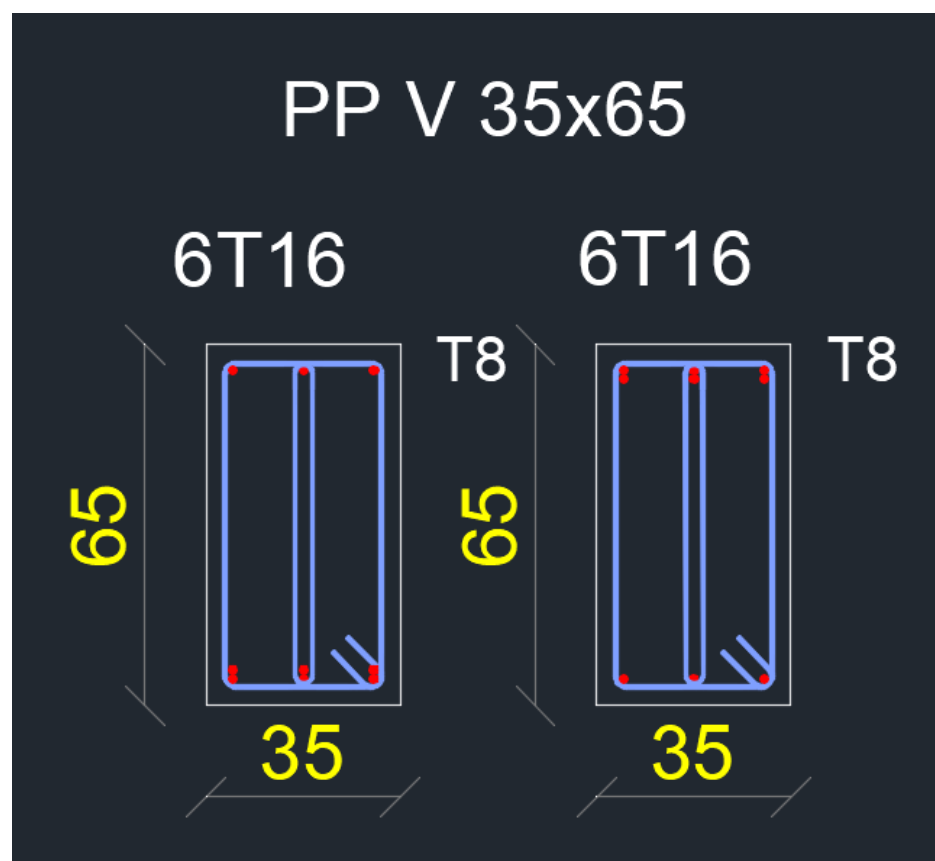
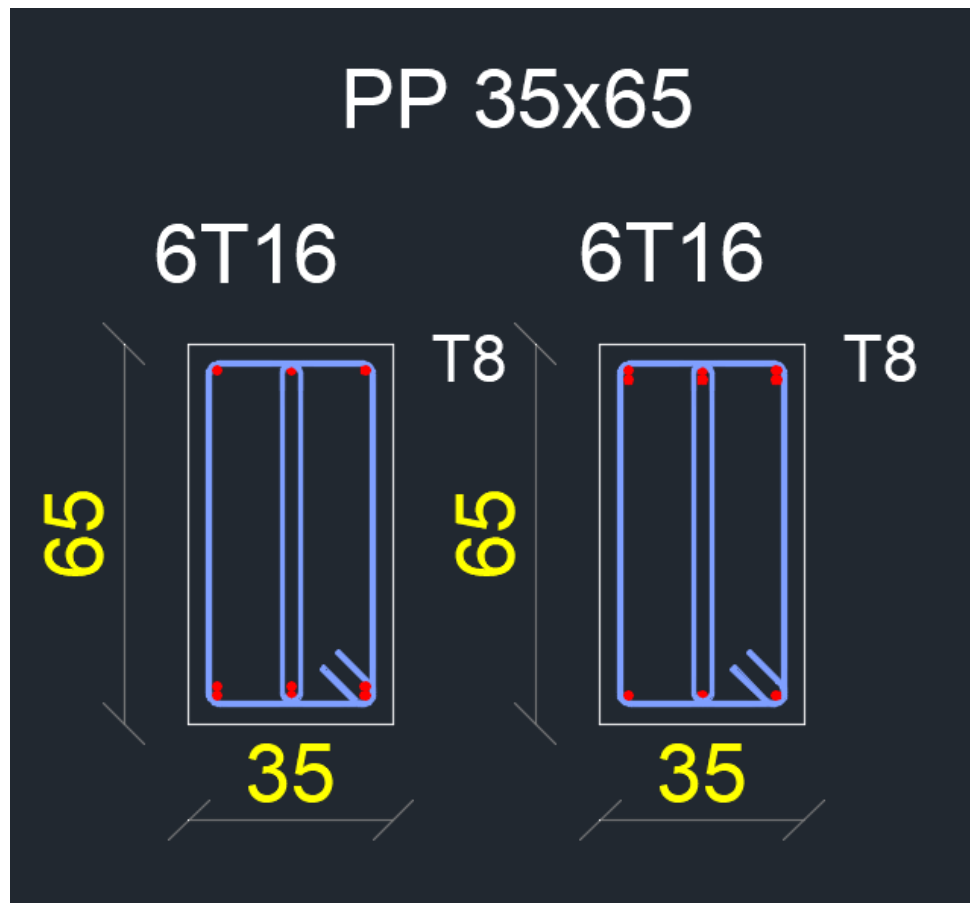
- Les poutres du 14eme étages :

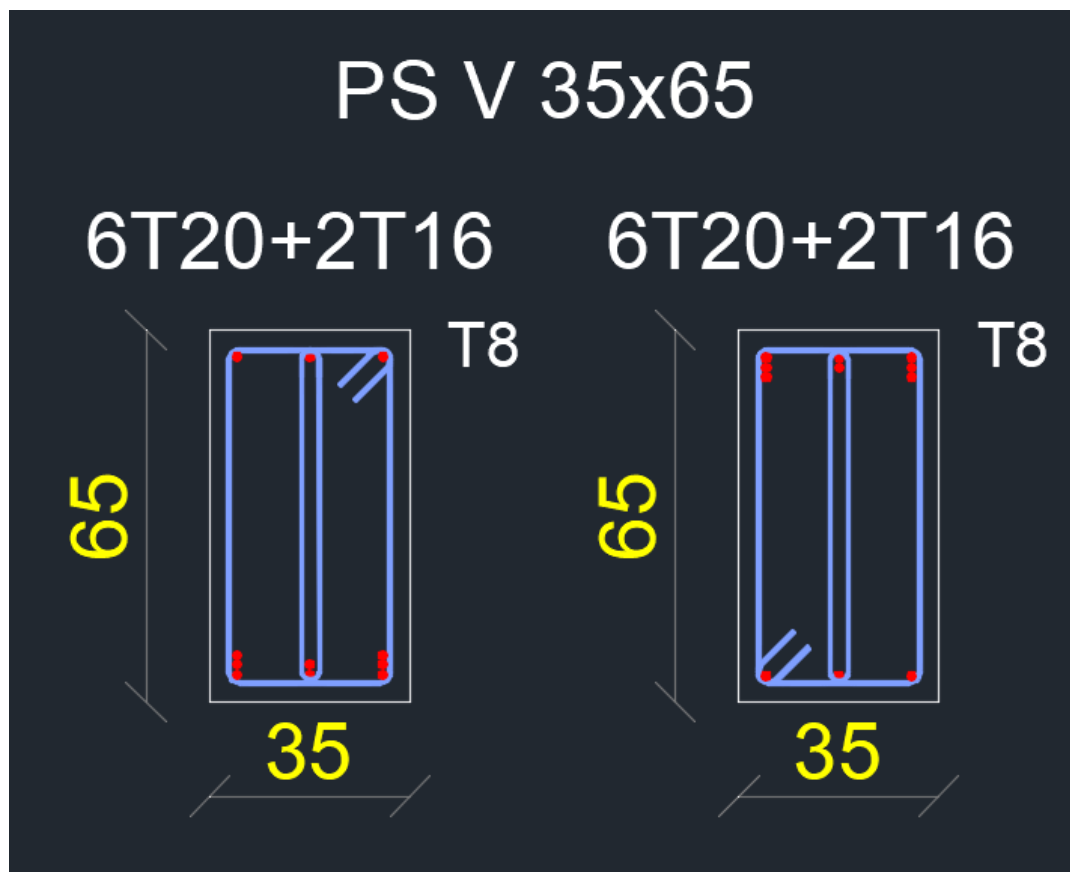




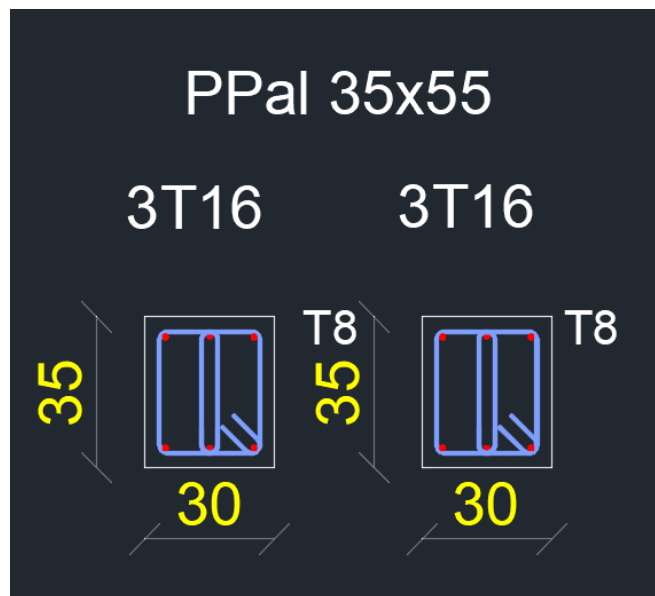


- Les poutres du RDC au 13eme étages :











#### V.4. Ferrailage des voiles :

Les voiles et murs sont des éléments ayant deux dimensions grandes par rapport à la troisième appelée épaisseur, généralement verticaux et chargés dans leur plan.

Ces éléments peuvent être:

- En maçonnerie non armée ou non armée. Auxquels on réservera le nom de murs.
- En béton armé ou non armé, et appelés voiles

On utilise aussi l'expression murs en béton banché pour désigner les voiles en béton non armé. Une banche est un outil de coffrage de grande surface.

#### On va traiter l'étude des voiles par la méthode des contraintes :

Pour le ferrailage des trumeaux, le calcul et la disposition des aciers verticaux et les aciers horizontaux est conformément aux règlements **BAEL91**, **RPA99/2003** et **RPA 2024**.

Le ferrailage de ces voiles est déterminé par la méthode des contraintes.

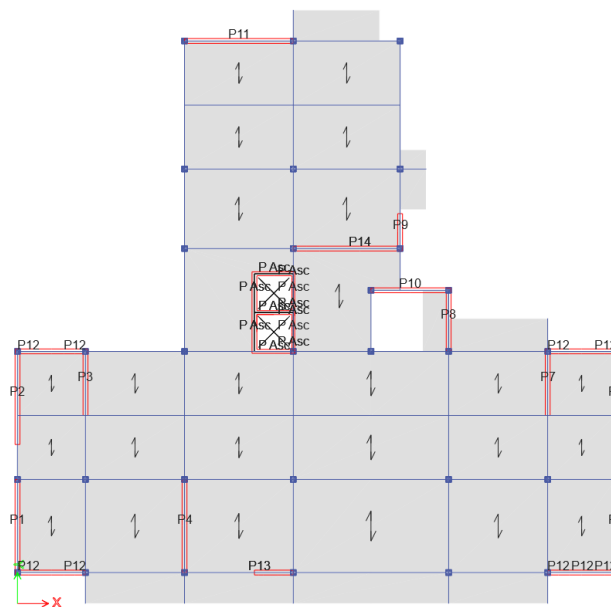


Figure V- 5: Disposition des voiles dans la structure.

|                       | e (cm) | Li (m) | Lr(m) |
|-----------------------|--------|--------|-------|
| <b>Voile P1=P4=P5</b> | 25     | 4.8    | 1.82  |
| <b>Voile P2=P5</b>    | 25     | 4.8    | 1.82  |
| <b>Voile P3=P7</b>    | 25     | 3.3    | 1.82  |
| <b>Voile P13</b>      | 25     | 2      | 1.82  |
| <b>Voile P8</b>       | 25     | 3.15   | 1.82  |
| <b>Voile P10</b>      | 25     | 5      | 1.82  |
| <b>Voile P14</b>      | 25     | 5.7    | 1.82  |
| <b>Voile P11</b>      | 25     | 5.1    | 1.82  |
| <b>Voile P9</b>       | 25     | 1.8    | 1.82  |

**V.4.1. Procédure de ferrailage des trumeaux :**

Le modèle le plus simple d'un voile est celui d'une console parfaitement encastree à la base.

La figure suivante montre l'exemple d'un élément de section rectangulaire, soumis à une charge verticale  $N$  et une charge horizontale  $V$  en tête

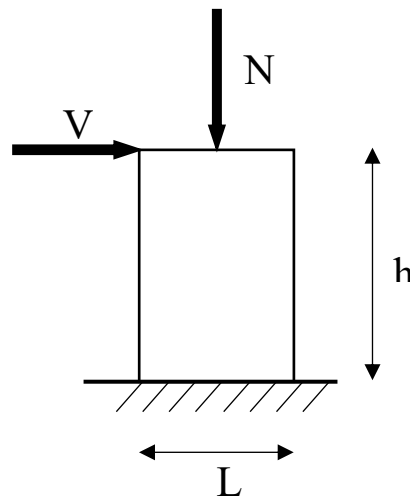


Figure V- 6: Section rectangulaire, soumise à la flexion composée.

Le voile est donc sollicité par un effort normal  $N$  et un effort tranchant  $V$  constant sur toute la hauteur, et un moment fléchissant qui est maximal dans la section d'encastrement.

Le ferrailage classique du voile en béton armé est composé :

- D'armatures verticales concentrées aux deux extrémités du voile (de pourcentage  $A_{V0}$ ) et d'armatures verticales uniformément réparties (de pourcentage  $A_V$ )
- D'armatures horizontales, parallèles aux faces des murs, elles aussi uniformément réparties et de pourcentage  $A_H$
- Les armatures transversales (épingles) (perpendiculaire aux parements du voile).

Les armatures verticales extrêmes sont soumises à d'importantes forces de traction et de compression, créant ainsi un couple capable d'équilibrer le moment appliqué. à la base du voile, sur une hauteur critique des cadres sont disposés autour de ces armatures afin d'organiser la ductilité de ces zones.

En fin, les armatures de l'âme horizontales et verticales ont le rôle d'assurer la résistance à l'effort tranchant.

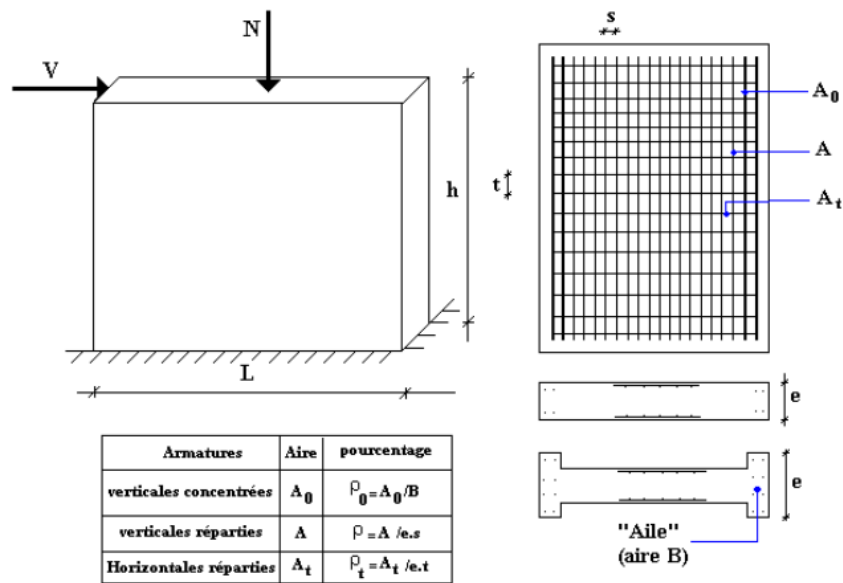


Figure V- 7: Schema d'un voile plein et disponible du ferrailage.

#### V.4.1.1. Préconisation du BAEL91 :

- **Justifications sous sollicitations normales**
- **Condition d'application**
  - La longueur d du mur :  $d \geq 5a$
  - L'épaisseur a du mur:
    - $a \geq 10 \text{ cm}$  Pour les murs intérieurs
    - $a \geq 12 \text{ cm}$  Pour les murs extérieurs comportant une protection
    - $a \geq 15 \text{ cm}$  Pour les murs extérieurs dont la résistance à la pénétration de l'eau peut être affectée par la fissuration du béton.
  - L'élancement mécanique  $\lambda$ :  $\lambda \leq 80$
  - Le raidisseur d'extrémité r :  $r \geq 3a$

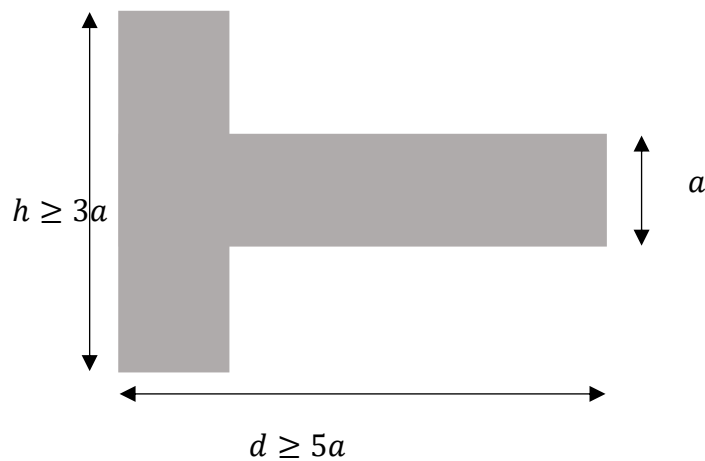


Figure V- 8: Définition de l'élément murs.

- **Longueur de flambement :** (murs non raidis latéralement)

Soit :

$l$  : La hauteur libre du mur

$l_f$  : La longueur libre de flambement d'un mur non raidi

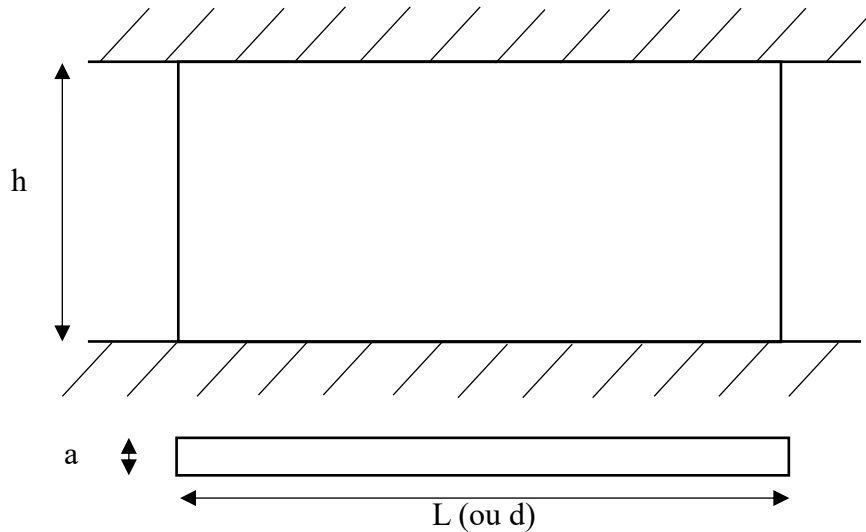


Figure V- 9: Mur encastéré.

Lorsqu'un mur n'est pas raidi latéralement par des murs en retour, la longueur libre de flambement de  $l_f$  déduit de la hauteur libre du mur  $l$ , en fonction de ses liaisons avec le plancher.

Les valeurs du rapport  $\left(\frac{l_f}{l}\right)$  sont données par le tableau suivant :

L'élancement mécanique  $\lambda$  se déduit de la longueur libre de flambement par la relation :

$$\lambda = \frac{l_f \sqrt{12}}{a}$$

Tableau V- 108: Valeurs de  $\frac{l_f}{l}$ .

| Liaisons du mur                  |                                          | Mur armé verticalement | Mur non armé verticalement |
|----------------------------------|------------------------------------------|------------------------|----------------------------|
| Mur encastéré en tête et en pied | Il existe un plancher de part et d'autre | 0,80                   | 0,85                       |
|                                  | Il existe un plancher d'un seul côté     | 0,85                   | 0,90                       |
| Mur articulé en tête et en pied  |                                          | 1,00                   | 1,00                       |

- Effort de compression en état limite ultime :

Soient :

$l_f$  : longueur de flambement calculée en (b)

$a$  : épaisseur de voile

$d$  : longueur de voile

$f_{c28}$  : résistance caractéristique du béton à 28 jours

$f_e$  : limite élastique de l'acier

$\gamma_b = 1.5$  (sauf combinaison accidentelles pour lesquelles  $\gamma_b = 1.15$ )

$\gamma_s = 1.15$  (sauf pour combinaison accidentelles pour lesquelles  $\gamma_b = 1$ )

Tableau V- 109: Calcul de  $\sigma_{u\ lim}$ .

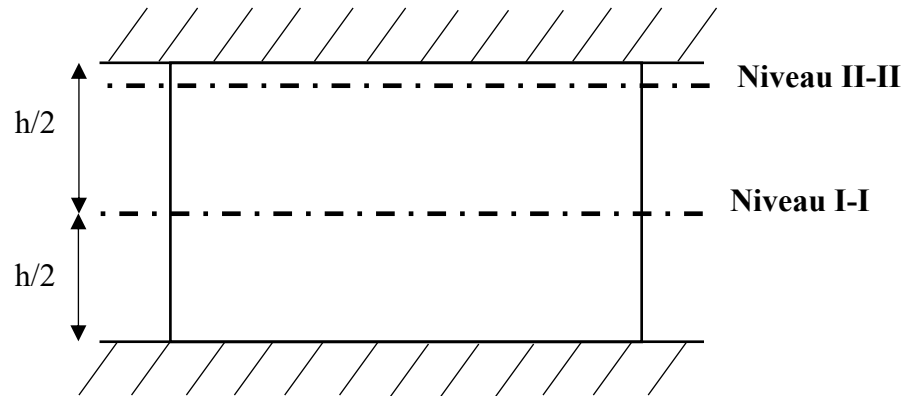
|                                                  | Notation     | Unité | Voiles armé verticalement                                                          | Voile non armé verticalement                               |
|--------------------------------------------------|--------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| <b>Elancement</b>                                | $\lambda$    |       | $\frac{l_f \sqrt{12}}{a}$                                                          |                                                            |
| <b>Section reduite</b>                           | $B_r$        | $m^2$ | $d(a - 0.02)$                                                                      |                                                            |
| <b>Pour <math>\lambda \leq 50</math></b>         | $\alpha$     | /     | $\frac{0.85}{1 + 0.2 \left( \frac{\lambda}{35} \right)^2}$                         | $\frac{0.65}{1 + 0.2 \left( \frac{\lambda}{30} \right)^2}$ |
| <b>Pour <math>50 \leq \lambda \leq 80</math></b> |              |       | $0.6 \left( \frac{50}{\lambda} \right)^2$                                          |                                                            |
| <b>Effort limite ELU</b>                         | $N_{u\ lim}$ | KN    | $\alpha \left[ \frac{B_r f_{c28}}{0.9\gamma_b} + \frac{A_s f_e}{\gamma_s} \right]$ | $\alpha \left[ \frac{B_r f_{c28}}{0.9\gamma_b} \right]$    |
| <b>Contraintes limites</b>                       | $\sigma$     | KPa   | $\sigma_{ba} = \frac{N_{u\ lim}}{ad}$                                              | $\sigma_{bna} = \frac{N_{u\ lim}}{ad}$                     |

**Remarque :**

Les valeurs de  $\alpha$  données par le tableau ci-dessous sont valables dans le cas où plus de la moitié des charges est appliquée après 90 jours.

La contrainte limite vaut  $\sigma_{u\ lim} = \frac{N_{u\ lim}}{a d}$  que nous appellerons  $\sigma_{ba}$  ou  $\sigma_{bna}$  suivant que le béton est armé ou non armé.

- **Niveaux de vérification :**



On vérifie le voile à deux niveaux différents :

- Niveau I-I à mi-hauteur d'étage :  $\sigma_u \leq \sigma_{u \text{ lim}}$
- Niveau II-II sous le plancher haut :  $\sigma_u \leq \frac{\sigma_{u \text{ lim}}}{\alpha}$

En cas de traction, on négligera le béton tendu.

- **Aciers minimaux :**

Si  $\sigma_u^c \leq \sigma_{bna}$  on n'a pas besoin d'armatures comprimées, on prendra alors les valeurs minimales données par le tableau suivant : ( $\sigma_u^c$  est la contrainte de compression ultime calculée).

L'épaisseur du voile est désignée par la lettre  $a$ .

- **Aciers verticaux, horizontaux :**

La section d'armatures correspondant au pourcentage  $\rho_v$  doit être répartie par moitié sur chacune des faces de la bande de mur considérée.

La section des armatures horizontales parallèles aux faces du murs doit être répartie par moitié sur chacune des faces d'une façon uniforme sur la totalité de la longueur du mur ou de l'élément de mur limité par des ouvertures.

Tableau V- 110: Aciers verticaux et horizontaux.

|                                      | <b>Aciers verticaux</b>                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>Aciers horizontaux</b>                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Espacement maximal entre axes</b> | $S_t \leq \min(0.33m ; 2a)$                                                                                                                                                                                                                                                           | $S_t \leq 0.33m$                                                                                                                                                                                |
| <b>Acier minimal</b>                 | $A_{sv} = \rho_v d a$                                                                                                                                                                                                                                                                 | $A_{sh} = \rho_h d a$                                                                                                                                                                           |
| <b>Pourcentage minimal</b>           | $\rho_v = \max \left[ 0.001 ; 0.0015 \frac{400 \theta}{f_e} \left( \frac{3\sigma_v}{\sigma_{u \text{ lim}}} - 1 \right) \right]$ <p>Par moitié sur chaque face<br/>Avec : <math>\theta = 1.4</math> pour un voile de rive<br/><math>\theta = 1</math> pour un voile intermédiaire</p> | $\rho_h = \frac{A_h}{100a}$ $\geq \max \left[ \frac{2\rho_{v \text{ max}}}{3} ; 0.001 \right]$ <p><math>\rho_{v \text{ max}}</math><br/>= le pourcentage vertical de la bande la plus armée</p> |

- **Aciers transversaux :** (perpendiculaire aux parements)

Seuls les aciers verticaux (de diamètre  $\phi_l$ ) pris en compte dans le calcul de  $N_{u \text{ lim}}$  sont à maintenir par des armatures transversales (de diamètre  $\phi_t$ ).

Tableau V- 111: Aciers transversaux.

|                              | Nombres d'armatures transversale                                  | Diamètre $\phi_t$ |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------|
| $\phi_l \leq 12mm$           | 4 épingles par m <sup>2</sup> de voile                            | 6mm               |
| $12mm \leq \phi_l \leq 20mm$ | Reprendre toutes les barres verticales espacement $\leq 15\phi_l$ | 6mm               |
| $20mm \leq \phi_l$           |                                                                   | 8mm               |

- **Cisaillement :**

Aucune vérification à l'effort tranchant ultime n'est exigée en compression si le cisaillement est inférieur à  $0.05f_{c28}$  (il faudra donc vérifier que  $S_{12} \leq 0.05f_{c28}$ ).

#### V.4.1.1. Méthode simplifiée basée sur les contraintes : (calcul des aciers verticaux)

Comme déjà dit, les voiles du bâtiment sont sollicités en flexion composée.

Les contraintes normales engendrées ( $\sigma$ ) peuvent être soit des contraintes de **compression** ou de traction.

- **Zone comprimée**

Si  $\sigma < 0$  compression

- **Zone tendue**

Si  $\sigma > 0$  traction

Lorsqu'une partie (zone) du voile est tendue, la contrainte de traction (moyenne)  $\sigma_m$  vaut :

$$\sigma_m = \frac{F_T}{e l_m}$$

Avec :

$F_T$  : force de traction

$e$  : épaisseur de voile

$l_m$  : longueur de la section considérée (ici maille)

Cette contrainte entraîne une section d'acier  $A_s$  tel que :  $A_s = \frac{F_T}{\sigma_s}$

Cette quantité d'acier sera répartie en deux nappes (une sur chaque face du voile) rappelons que les voiles ont été modélisés par des éléments Shell à 4 nœuds.

Un maillage horizontal et vertical (voir figure ci-après) de chaque voile est nécessaire pour approcher les valeurs réelles des contraintes.

Le rapport (a/b) des dimensions de la maille est choisi proche de l'unité

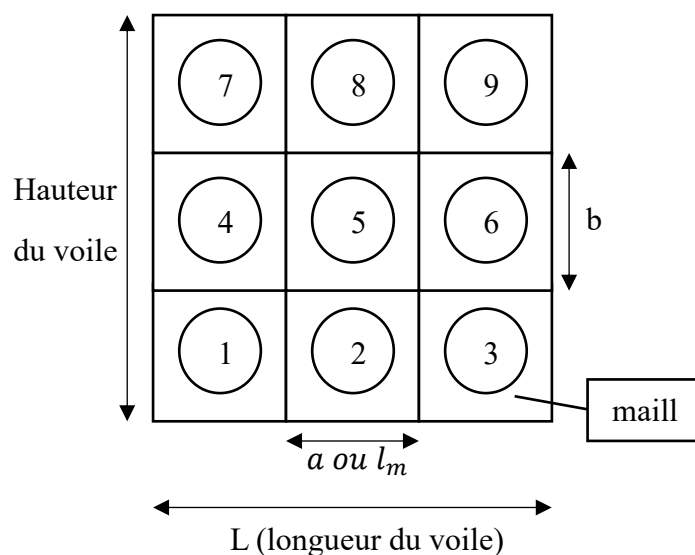


Figure V- 10 : Discrétisation d'un voile en élément (maille) coque.

La lecture contrainte moyennes (de traction ou de compression) se fait directement au milieu de chaque maille dont le ferrailage est calculé par l'équation (1) dans le cas de la traction

- **Aciers horizontaux :**

$$A_{h1} = \frac{2}{3} A_V \quad (A_v = A_s \text{ précédemment définie})$$

$$A_{h2} = \frac{\bar{\tau}_u b_0 S_t}{0.8(0.8 f_e)} = 1.2 \times \frac{1.4 \tau_u a S_t}{0.8 f_e}$$

$\tau_u = S_{12}$  Est donnée par les résultats du logiciel **Etabs 22.0.0.**

$S_t$  : espacement maximal trouvé pour  $A_v$

$b_0 = a$  (épaisseur du trumeau)

$$A_h \geq \max (A_{h1} ; A_{h2})$$

- **Aciers supplémentaires et dispositions constructives :**

- **Aciers de peau :** pour limiter les effets hygrothermiques (voir le tableau ci-dessous)

Tableau V- 112 : Armatures de peau des voiles RPA99/2003.

| Aciers de peau     | Unité           | Aciers verticaux      | Aciers horizontaux    |
|--------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| Section minimale   | cm <sup>2</sup> | $\frac{400}{0.6 f_e}$ | $\frac{400}{1.2 f_e}$ |
| Espacement maximal | M               | 0,5                   | 0,33                  |



**V.4.1.2. Préconisation du règlement parasismique algérien RPA99/2003 :**

- **Aciers verticaux :**

Lorsqu'une partie de voile est tendue sous l'action des forces verticales et horizontales, l'effort de traction doit être pris en totalité par les armatures, le pourcentage minimum des armatures verticales sur toute la zone tendue est de 0.2%

Il est possible de concentrer des armatures de traction à l'extrémité du voile ou du trumeau, la section totale d'armatures verticales de la zone tendue devant rester au moins égale à 0.2% de la section horizontales du béton tendu.

Les barres verticales des zones extrêmes devraient être ligaturées avec des cadres horizontaux dont l'espacement ne doit pas être supérieur à l'épaisseur du voile.

Si les efforts importants de compressions agissent sur l'extrémité, les barres verticales doivent respecter les conditions imposées aux poteaux.

Les barres verticales du dernier niveau doivent être munies de crochets (jonction par recouvrement)

A chaque extrémité du voile (trumeau) l'espacement des barres doit être réduit de moitié sur 1/10 de la largeur du voile. Cet espacement d'extrémité doit être au plus égal à 15 cm

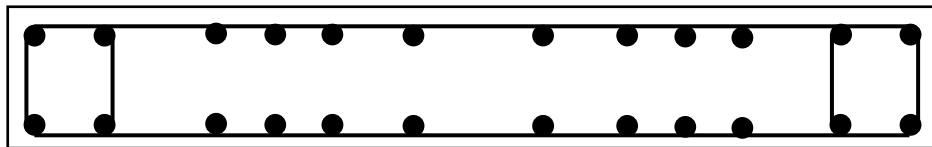


Figure V- 11 "disposition des armatures verticales dans les voiles.

- **Aciers horizontaux**

Les barres horizontales doivent être munies de crochets à 135° ayant une longueur de  $10\phi$ . Dans le cas où il existerait des talons de rigidité, les barres horizontales devront être ancrées sans crochets si les dimensions des talons permettent la réalisation d'un ancrage droit.

- **Règles communes**

Le pourcentage minimum d'armatures verticales et horizontales des trumeaux, est donné comme suit :

- Globalement dans la section du voile 0.15%
- En zone courante 0.10%

L'espacement des barres horizontales et verticales doit être inférieur à la plus petite des deux valeurs suivantes :  $s \leq \begin{cases} 1.5 a \\ 30 \text{ cm} \end{cases}$

Les deux nappes d'armatures doivent être reliées avec au moins 4 épingles au mètre carré.

Dans chaque nappe, les barres horizontales doivent être disposées vers l'extérieur

Le diamètre des barres verticales et horizontales des voiles (à l'exception des zones d'about) ne devrait pas dépasser 1/10 de l'épaisseur du voile

Les longueurs de recouvrement doivent être égale à :

40 $\phi$  pour les barres situées dans les zones où le renversement du signe des efforts est possible.

20 $\phi$  pour les barres situées dans les zones comprimées sous l'action de toutes les combinaisons possibles de charges

Le long des joints de reprise de coulage, l'effort tranchant doit être pris par les aciers de couture dont la section être calculée avec la formule :

$$A = 1.1 \frac{\bar{V}}{f_e}$$

Cette quantité doit s'ajouter à la section d'aciers tendus nécessaires pour équilibrer les efforts de traction dus aux moments de renversement.

**Remarque :**

Pour notre cas on va faire le calcul pour un voile avec deux éléments de rive, un voile avec un seul élément de rive et un voile avec ouvertures.

Pour le présent projet nous intéressons le calcul pour P1=P4=P5 et P2=P6 et P12.

- **Exemple de calcul (P1) :**

Soit le voile de longueur  $L = 4.8$  m

$a = 0.25$  m (épaisseur)

$h_e = 3.23$  m (hauteur de RDC)

- **Contraintes normales limites**

Pour une hauteur d'étage de 3.23 m d'où la hauteur libre est égale à :

$$h_e = 3.23 - 0.65 = 2.85 \text{ m}$$

Tableau V- 113 : Calcul de  $\sigma_{bna}$  et  $\sigma_{ba}$  pour l'exemple de voile RPA99/2003.

|                                                                        | Unité          | Béton non armé                                                                                                                | Béton armé                                                                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Longueur de flambement</b>                                          | m              | $0.85 \times 2.85 = 2.42$                                                                                                     | $0.8 \times 2.85 = 2.28$                                                                                                                       |
| <b>Elancement <math>\lambda</math></b>                                 |                | $\frac{l_f \sqrt{12}}{0.2} = 41.945$                                                                                          | $\frac{l_f \sqrt{12}}{0.2} = 39.49$                                                                                                            |
| <b>Coefficient <math>\alpha</math></b>                                 |                | 0.463                                                                                                                         | 0.637                                                                                                                                          |
| <b>Section réduite <math>B_r</math><br/>(par ml avec d=1m)</b>         | m <sup>2</sup> | $(a-0.02)1 = (0.25-0.02)1 = 0.23$                                                                                             | 0.23                                                                                                                                           |
| <b>Contraintes limites</b><br>$\sigma = \frac{N_{u \text{ lim}}}{a d}$ | MPa            | $\sigma_{bna} = \frac{0.463}{1} \left[ \frac{0.23 \times 25}{0.9 \times 1.15 \times 0.25} \right]$<br>$\sigma_{bna} = 10.288$ | $\sigma_{ba} = \frac{0.637}{0.25 \times 1} \left[ \frac{0.23 \times 25}{0.9 \times 1.15} + A_s \frac{500}{1} \right]$<br>$\sigma_{ba} = 15.17$ |

**Remarque :**

$$B_{et} = (0.25)(1)m^2$$

$$A_s = 2.10^{-4} m^2$$

Les valeurs des contraintes dans les voiles données dans les tableaux ci-après correspondant à la combinaison de charge G+Q±E

- **Ferrailage voile P1 :**

On a  $L=4.8\text{m}$  et  $e=25\text{cm}$

Tableau V- 114: Les efforts et contraintes du voile P1 selon le RPA99/2003.

| Niveau  | H    | P (kN)   | M (kNm)  | V (kN)  | $\sigma_t$ | $\sigma_c$ | Cas |
|---------|------|----------|----------|---------|------------|------------|-----|
| Story13 | 3.23 | 161.97   | 1425.98  | 289.69  | 1527.63    | -1265.85   | SPC |
| Story12 | 3.23 | 186.96   | 1124.35  | 490.87  | 1240.57    | -939.94    | SPC |
| Story11 | 3.23 | 134.48   | 1124.29  | 625.12  | 1186.9     | -971.73    | SPC |
| Story10 | 3.23 | 97.39    | 1069.33  | 744.38  | 1005.32    | -856.91    | SPC |
| Story9  | 3.23 | 64.14    | 949.02   | 852.23  | 859.24     | -762.43    | SPC |
| Story8  | 3.23 | -411.13  | 1934.75  | 949.99  | 1314.91    | -1929.67   | SPC |
| Story7  | 3.23 | -479.77  | 2597.52  | 1036.79 | 1782.49    | -2493.26   | SPC |
| Story6  | 3.23 | -557.13  | 3417.47  | 1128.81 | 2400.05    | -3225.42   | SPC |
| Story5  | 3.23 | -650.5   | 4423.96  | 1190.49 | 3097.18    | -4052.05   | SPC |
| Story4  | 3.23 | -774.05  | 5691.25  | 1247.45 | 3952.43    | -5078.32   | SPC |
| Story3  | 3.23 | -931.55  | 7297.85  | 1279.93 | 5014.79    | -6357.56   | SPC |
| Story2  | 3.23 | -1127.13 | 9299.2   | 1264.69 | 6311.64    | -7921.83   | SPC |
| Story1  | 3.23 | -1312.96 | 11440.12 | 1076.05 | 7817.36    | -9693.02   | SPC |

Tableau V- 115: Ferrailage du voile P1 selon le RPA99/2003.

| LT  | As (cm <sup>2</sup> ) | As min (cm <sup>2</sup> ) | Ag (cm <sup>2</sup> ) | Ah (cm <sup>2</sup> ) | Tout le voile | At  | Sh (cm) |
|-----|-----------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|-----|---------|
| 271 | 10.34                 | 13.53                     | 18.5625               | 0.31                  | T12 ep=15     | T12 | 15      |
| 283 | 8.78                  | 14.15                     | 18.6375               | 0.52                  | T12 ep=15     | T12 | 15      |
| 275 | 8.16                  | 13.75                     | 18.75                 | 0.66                  | T12 ep=15     | T12 | 15      |
| 283 | 7.12                  | 14.17                     | 19.6875               | 0.74                  | T12 ep=15     | T12 | 15      |
| 281 | 6.03                  | 14.04                     | 19.875                | 0.84                  | T12 ep=15     | T12 | 15      |
| 217 | 7.13                  | 10.84                     | 20.0625               | 0.93                  | T12 ep=15     | T12 | 15      |
| 225 | 10.03                 | 11.26                     | 20.25                 | 1.01                  | T12 ep=15     | T12 | 15      |
| 229 | 13.82                 | 11.52                     | 20.25                 | 1.1                   | T12 ep=15     | T12 | 15      |
| 236 | 18.28                 | 11.81                     | 20.4375               | 1.15                  | T12 ep=15     | T12 | 15      |
| 241 | 23.79                 | 12.04                     | 20.625                | 1.19                  | T12 ep=10     | T12 | 15      |
| 245 | 30.68                 | 12.24                     | 20.8125               | 1.21                  | T12 ep=10     | T12 | 15      |
| 248 | 39.18                 | 12.42                     | 21                    | 1.19                  | T12 ep=10     | T12 | 15      |
| 250 | 48.86                 | 12.5                      | 21                    | 1.01                  | T12 ep=10     | T12 | 15      |

- **Ferrailage voile P2 :**

On a L=4.8m et e=25cm

Tableau V- 116: Les effortz et contraintes du voile P2 selon le RPA99/2003.

| Niveau  | H    | P (kN)  | M (kNm) | V (kN) | $\sigma_t$ | $\sigma_c$ | Cas |
|---------|------|---------|---------|--------|------------|------------|-----|
| Story13 | 3.23 | 316.23  | 1092.16 | 209.55 | 1401.19    | -874.14    | SPC |
| Story12 | 3.23 | 256.45  | 952.1   | 433.55 | 1205.48    | -778.06    | SPC |
| Story11 | 3.23 | 184.76  | 1038.1  | 562.48 | 1235.32    | -927.38    | SPC |
| Story10 | 3.23 | 154.57  | 1034.1  | 674.55 | 1105.92    | -859.84    | SPC |
| Story9  | 3.23 | 154.78  | 969.94  | 769.16 | 1035.4     | -790.19    | SPC |
| Story8  | 3.23 | -236.75 | 1691.02 | 846.97 | 1389.15    | -1762.36   | SPC |
| Story7  | 3.23 | -191.53 | 2017.48 | 898.2  | 1711.36    | -2011.79   | SPC |
| Story6  | 3.23 | -135.33 | 2585.84 | 961.25 | 2279.88    | -2492.15   | SPC |
| Story5  | 3.23 | -71.6   | 3051.97 | 987.65 | 2732.83    | -2844.59   | SPC |
| Story4  | 3.23 | -17.47  | 3596.95 | 996.89 | 3241.29    | -3268.42   | SPC |
| Story3  | 3.23 | 7.44    | 4290.05 | 986.54 | 3850.37    | -3838.86   | SPC |
| Story2  | 3.23 | -29.77  | 5266.73 | 972.12 | 4651.72    | -4697.51   | SPC |
| Story1  | 3.23 | -153.22 | 6854.75 | 918.28 | 5966.23    | -6201.96   | SPC |

Tableau V- 117: : Ferrailage du voile P2 selon le RPA99/2003.

| LT  | As (cm <sup>2</sup> ) | As min (cm <sup>2</sup> ) | Ag (cm <sup>2</sup> ) | Ah (cm <sup>2</sup> ) | Tout le voile | At  | Sh (cm) |
|-----|-----------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|-----|---------|
| 296 | 10.35                 | 14.78                     | 18                    | 0.23                  | T12 ep=15     | T12 | 15      |
| 292 | 8.79                  | 14.59                     | 18                    | 0.47                  | T12 ep=15     | T12 | 15      |
| 274 | 8.47                  | 13.71                     | 18                    | 0.62                  | T12 ep=15     | T12 | 15      |
| 283 | 7.82                  | 14.14                     | 18.8625               | 0.7                   | T12 ep=15     | T12 | 15      |
| 286 | 7.41                  | 14.32                     | 18.9375               | 0.8                   | T12 ep=15     | T12 | 15      |
| 224 | 7.77                  | 11.19                     | 19.05                 | 0.88                  | T12 ep=15     | T12 | 15      |
| 234 | 10.03                 | 11.72                     | 19.0875               | 0.92                  | T12 ep=15     | T12 | 15      |
| 244 | 13.89                 | 12.18                     | 19.0875               | 0.99                  | T12 ep=15     | T12 | 15      |
| 250 | 17.16                 | 12.56                     | 19.2                  | 1.01                  | T12 ep=15     | T12 | 15      |
| 256 | 20.78                 | 12.82                     | 19.3125               | 1.02                  | T12 ep=15     | T12 | 15      |
| 259 | 24.94                 | 12.96                     | 19.425                | 1                     | T12 ep=10     | T12 | 15      |
| 259 | 30.09                 | 12.94                     | 19.5                  | 0.98                  | T12 ep=10     | T12 | 15      |
| 254 | 38.03                 | 12.75                     | 19.5                  | 0.93                  | T12 ep=10     | T12 | 15      |

- **Ferrailage voile P12 :**

On a  $L=3.5m$  et  $e=25cm$

Tableau V- 118: Les effortz et contraintes du voile P12 selon le RPA99/2003.

| Niveau  | H    | P (kN)   | M (kNm) | V (kN)  | $\sigma_t$ | $\sigma_c$ | Cas |
|---------|------|----------|---------|---------|------------|------------|-----|
| Story13 | 3.23 | -431.84  | 4618.09 | 482.96  | 59.05      | -170.13    | SPC |
| Story12 | 3.23 | -651.97  | 4575.87 | 267.65  | 29.69      | -197.4     | SPC |
| Story11 | 3.23 | -879.95  | 4981.7  | 326.41  | 10.44      | -236.79    | SPC |
| Story10 | 3.23 | -1579.16 | 5477.3  | 385.46  | -67.2      | -339.02    | SEC |
| Story9  | 3.23 | -1866.41 | 5522.37 | 427.09  | -103.02    | -377.08    | SEC |
| Story8  | 3.23 | -2127.89 | 5404.82 | 483.47  | -139.57    | -407.8     | SEC |
| Story7  | 3.23 | -2355.06 | 5077.58 | 547.61  | -176.83    | -428.01    | SEC |
| Story6  | 3.23 | -2705.4  | 4836.48 | 657.22  | -227.78    | -467.03    | SEC |
| Story5  | 3.23 | -2906.76 | 4049.88 | 737.22  | -273.09    | -473.43    | SEC |
| Story4  | 3.23 | -3067.94 | 3352.61 | 840.31  | -311.03    | -476.88    | SEC |
| Story3  | 3.23 | -3210.91 | 2938.68 | 950.37  | -339.63    | -485       | SEC |
| Story2  | 3.23 | -3327.39 | 3073.67 | 1063.83 | -351.25    | -503.3     | SEC |
| Story1  | 3.23 | -3594.26 | 3546.11 | 1116.3  | -373.37    | -548.23    | SEC |

Tableau V- 119: Ferrailage du voile P12 selon le RPA99/2003.

| b  | As (cm <sup>2</sup> ) | As min (cm <sup>2</sup> ) | Ag (cm <sup>2</sup> ) | Ah (cm <sup>2</sup> ) | Poteau G  | Milieux      | Poteau D | At  | Sh (cm) |
|----|-----------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|--------------|----------|-----|---------|
| 80 | 1.18                  | 40.07                     | 11.66                 | 0.08                  | 10x2 T25  | T12<br>ep=20 | 10x2 T25 | T10 | 15      |
| 40 | 0.3                   | 20.33                     | 11.66                 | 0.05                  | 4x2 T20   | T12<br>ep=20 | 4x2 T20  | T10 | 15      |
| 13 | 0.03                  | 6.56                      | 11.66                 | 0.06                  | T12 ep=20 |              |          | T10 | 15      |
| 0  | 0                     | 0                         | 11.66                 | 0.07                  | T12 ep=20 |              |          | T10 | 15      |
| 0  | 0                     | 0                         | 11.66                 | 0.07                  | T12 ep=20 |              |          | T10 | 15      |
| 0  | 0                     | 0                         | 11.662                | 0.08                  | T12 ep=20 |              |          | T10 | 15      |
| 0  | 0                     | 0                         | 11.68                 | 0.09                  | T12 ep=20 |              |          | T10 | 15      |
| 0  | 0                     | 0                         | 11.681                | 0.11                  | T12 ep=20 |              |          | T10 | 15      |
| 0  | 0                     | 0                         | 11.681                | 0.12                  | T12 ep=20 |              |          | T10 | 15      |
| 0  | 0                     | 0                         | 11.681                | 0.14                  | T12 ep=20 |              |          | T10 | 15      |
| 0  | 0                     | 0                         | 11.681                | 0.16                  | T12 ep=20 |              |          | T10 | 15      |
| 0  | 0                     | 0                         | 11.681                | 0.18                  | T12 ep=20 |              |          | T10 | 15      |
| 0  | 0                     | 0                         | 11.7                  | 0.19                  | T12 ep=20 |              |          | T10 | 15      |

**V.4.2. Procédure de ferraillage des linteaux :**

Les linteaux sont des éléments considérés comme des poutres courtes de faible raideur, bi-encastres dans les trumeaux.

Sous l'effet d'un chargement horizontal et vertical, le linteau sera sollicité par un moment  $M$  et un effort normal  $V$ . les linteaux pourront donc être calculés en flexion simple.

La méthode de ferraillage décrite ci-dessus est proposée dans le **R.P.A 99/2003**.

Le **R.P.A 99/2003** limite les contraintes de cisaillement (dans les linteaux et les trumeaux) dans le béton à :  $\tau_b \leq \bar{\tau}_b = 0.2f_{c28}$

$$\tau_b = \frac{\bar{V}}{b_0 d} \quad \text{Avec :} \quad \bar{V} = 1.4V_u^{cal}$$

Ou bien :  $\tau_b = 1.4\tau_u^{cal}$  ( $\tau_u^{cal} = S_{12}$  du fichier résultats du **Etabs 22.0.0**)

Avec :

$b_0$  : Epaisseur de linteau de voile.

$d$  : hauteur utile  $d=0.9h$ .

$h$  : hauteur totale de la section brute.

- **Premier cas :**

Dans ce cas les linteaux sont calculés en flexion simple (avec les efforts  $M$  et  $V$ ).

On devra disposer :

- Des aciers longitudinaux de flexion ( $A_l$ ).
- Des aciers transversaux ( $A_t$ ).
- Des aciers en partie courante, également appelés aciers de peau ( $A_c$ ).

- a. **Aciers longitudinaux :**

Les aciers longitudinaux inférieures ou supérieures sont calculés par ma formule :

$$A_t \geq \frac{M}{Z f_e}$$

Avec :  $Z = h - 2d'$

Où :

$h$  : hauteur totale du linteau

$d'$  : distance d'enrobage

$M$  : moment dû ç l'effort tranchant ( $\bar{V} = 1.4V_u^{cal}$ )

**b. Aciers transversaux :**

Deux cas se présentent :

- **Premier sous cas :** linteaux longs ( $\lambda_g = \frac{l}{h} > 1$ )

On doit avoir : 
$$S \leq \frac{A_t f_e l}{V + A_t f_e}$$

Avec

$$V = \min (V_1 ; V_2)$$

$$V_2 = 2V_u^{cal}$$

$$V_1 = \frac{M_{ci} + M_{cj}}{l_{ij}}$$

Avec :  $M_{ci}$  et  $M_{cj}$  le moment « résistants ultimes » des sections d'about à droite et à gauche du linteau de portée  $l_{ij}$  et calculés par  $M_c = A_t f_e Z$

Avec :  $Z = h - 2d'$

- **Deuxième cas :**  $\tau_b > 0.06f_{c28}$

Dans ce cas il y a lieu de disposer les ferraillages longitudinaux (supérieurs et inférieurs), transversaux et en zone courante (armature de peau) suivant les minimums réglementaires.

Les efforts (M, V) sont repris suivant des bielles diagonales (compression et traction) suivant l'axe moyen des armatures diagonales  $A_D$  à disposer obligatoirement.

Le calcul de  $A_D$  se fait suivant la formule 
$$A_D = \frac{V}{2 f_e \sin \alpha}$$

Avec :  $\tan \alpha = \frac{h-2d}{l}$

Et :  $V = V_u^{cal}$  (sans majoration)  $(\tau_b = \frac{V}{e h} = S_{12})$

**c. Ferraillage minimal :**

$b$  : épaisseur de linteau

$h$  : hauteur totale de linteau

$S$  : espacement des armature transversales

- **Armatures longitudinales  $A_l$  et  $A_l'$  :**

$$(A_l ; A_l') \geq 0.0015 b h \quad (0.15\%) \quad (\text{avec } A_l \text{ lit inférieur et } A_l' \text{ lit supérieur})$$

- **Armatures transversales  $A_t$  :**

- Si  $\tau_b \leq 0.025f_{c28}$  :  $A_t \geq 0.0015 b S$
- Si  $\tau_b > 0.025f_{c28}$  :  $A_t \geq 0.0025 b S$

$$S_t \leq \frac{h}{4} \quad (\text{Espace des cadres})$$



- **Armatures de peau (ou en section courante)  $A_c$  :**

Les armatures longitudinales intermédiaires ou de peau  $A_c$  (2 nappes) doivent être au totale d'un minimum égal à 0.2%

C'est-à-dire  $A_c \geq 0.002 b h$  (en 2 nappes)

- **Armature diagonale  $A_D$  :**

Si  $\tau_b \leq 0.06 f_{c28}$  :  $A_D = 0$

Si  $\tau_b > 0.06 f_{c28}$  :  $A_D \geq 0.0015 b h$

• **Exemple de calcul :**

Soit le linteau suivant :

$$h = 1.10\text{m}$$

$$l = 1.30\text{m}$$

$$b = 0.25\text{m}$$

On a :  $\tau_b = 2.31\text{MPa}$  et  $0.06 f_{c28} = \tau'_b = 1.5\text{MPa}$

$\tau_b > 0.06 f_{c28}$  Donc on est dans le cas N°2

Dans ce cas il y a lieu de disposer les ferrailages longitudinaux (supérieurs et inférieurs), transversaux et en zone courante (armature de peau) suivant les minimums réglementaires suivants :

$$A_l = A'_l \geq 0.0015(0.25)(1.30)10^4 = 6.862\text{cm}^2$$

Soit  $A_l = A'_l = 6T12 = 6.89\text{cm}^2$

$$A_c \geq 0.002(0.25)(1.3)10^4 = 9.15\text{cm}^2$$

Soit  $A_c = 3T14 = 9.24\text{cm}^2$  (repartie en 2 nappes) (soit 2 barres / nappe)

$0.0025 f_{c28} = 0.625\text{MPa}$  :  $\tau_b > 0.025 f_{c28}$  donc :

$$A_t \geq 0.0025 b S = 0.0025(0.25)(0.402)10^4 = 0.805\text{cm}^2$$

$$\text{Car } S_t^{\max} = \frac{h}{4} = 0.402\text{ m}$$

Soit  $A_t = 2T10 = 2.51\text{cm}^2$

$$S_t = \frac{110}{4} = 27.5\text{ cm} \quad \text{or} \quad S_t \leq S_t^{\max}$$

$$A_D = \frac{\tau_u b h}{2 f_e \sin \alpha}$$

$$\text{Avec : } tg\alpha = \frac{h-2d'}{l} = \frac{110-2(3)}{200} = 0.72 \rightarrow \alpha = 48.4^\circ$$

$$A_D = \frac{2.31(200)(950)}{2 \cdot 400 \sin 23.98^\circ} = 11.133 m^2$$

$$\text{Soit } A_D = 2 \times 4T14 = 13.57 cm^2$$

- $A_D \geq 0.0015 b h = 2.85 cm^2$  c'est vérifié
- Longueur d'encrage :  $L_a \geq \frac{h}{4} + 50\phi = \frac{110}{4} + 50(1.2) = 87.5$

Donc on prend  $L_a = 100 cm$

- **Choix des armatures :**

Tableau V- 120: Les efforts du linteau S1.

| Niveau  | H    | V (kN)   | M (kNm)  | Cas  |
|---------|------|----------|----------|------|
| Story13 | 3.23 | 11.08    | -83.486  | 1er  |
| Story12 | 3.23 | 344.975  | 240.213  | 1er  |
| Story11 | 3.23 | -55.274  | -242.581 | 1er  |
| Story10 | 3.23 | -137.528 | -261.704 | 1er  |
| Story9  | 3.23 | -205.567 | -287.276 | 1er  |
| Story8  | 3.23 | 456.434  | 170.578  | 2eme |
| Story7  | 3.23 | 501.351  | 211.609  | 2eme |
| Story6  | 3.23 | 563.063  | 250.279  | 2eme |
| Story5  | 3.23 | 622.603  | 316.503  | 2eme |
| Story4  | 3.23 | 673.912  | 366.424  | 2eme |
| Story3  | 3.23 | 738.469  | 421.899  | 2eme |
| Story2  | 3.23 | 804.127  | 475.485  | 2eme |
| Story1  | 3.23 | 832.488  | 491.176  | 2eme |

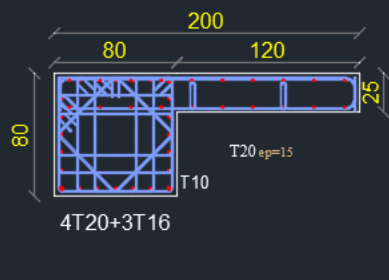
Tableau V- 121: Choix de ferrailage du linteau S1.

| Al (cm <sup>2</sup> ) | At (cm <sup>2</sup> ) | St (cm) | Ac (cm <sup>2</sup> ) | Ad (cm <sup>2</sup> ) | Alpha ° | Choix Al | Choix At | Choix Ac | Choix Ad |
|-----------------------|-----------------------|---------|-----------------------|-----------------------|---------|----------|----------|----------|----------|
| 4.003                 | 0.053                 | 10      | 3.65                  | 0                     |         | 6T12     | 2T10     | 3T14     | 4T14     |
| 4.594                 | 0.805                 | 10      | 9.15                  | 0                     |         |          |          |          |          |
| 4.64                  | 0.129                 | 10      | 9.15                  | 0                     |         |          |          |          |          |
| 5.005                 | 0.321                 | 10      | 9.15                  | 0                     |         |          |          |          |          |
| 5.494                 | 0.48                  | 10      | 9.15                  | 0                     |         |          |          |          |          |
| 6.862                 | 0.625                 | 10      | 9.15                  | 6.104                 | 48.4    |          |          |          |          |
| 6.862                 | 0.625                 | 10      | 9.15                  | 6.705                 | 48.4    |          |          |          |          |
| 6.862                 | 0.625                 | 10      | 9.15                  | 7.53                  | 48.4    |          |          |          |          |
| 6.862                 | 0.625                 | 10      | 9.15                  | 8.326                 | 48.4    |          |          |          |          |
| 6.862                 | 0.625                 | 10      | 9.15                  | 9.013                 | 48.4    |          |          |          |          |
| 6.862                 | 0.625                 | 10      | 9.15                  | 9.876                 | 48.4    |          |          |          |          |
| 6.862                 | 0.625                 | 10      | 9.15                  | 10.754                | 48.4    |          |          |          |          |
| 6.862                 | 0.625                 | 10      | 9.15                  | 11.133                | 48.4    |          |          |          |          |

Dessin de ferrailage :



# Voile avec ouverture

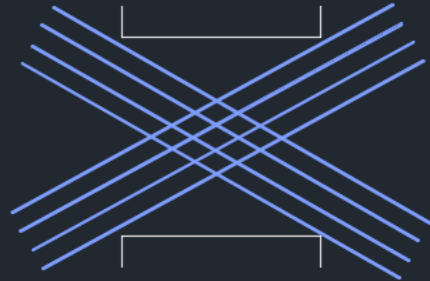


$$A_l = 6T12$$

$$A_t = 2T10$$

$$A_c = 3T14$$

$$A_d = 4T14$$



**V.4.1.3. Préconisation du règlement parasismique algérien RPA2024 :**

- **Vérification de l'effort normal réduit :**

L'article 7.7.2 [1] stipule que dans le but de limiter ou d'éviter le risque de rupture fragile (en flexion composée), sous sollicitations d'ensemble dues aux séisme, l'effort normal de compression de calcul des voiles est limité par la condition suivante :

$$V_d = \frac{N_d}{B_c f_{c28}} \leq 0.4$$

Avec :

$N_d$  : effort normal de compression du voile aux combinaisons sismiques

$B_c$  : surface totale du voile, y compris les éléments de rive

Dans le cas de notre étude

$$B_c = 2(0.8 \times 0.8) + (4.8 \times 0.25) = 2.48 \text{ m}^2$$

$$N_d = -12611.8345 \text{ KN}$$

Ce qui donne:

$$V_d = \frac{12611.8345 \times 10^3}{2.48 \times 25 \times 10^6} = 0.203 \leq 0.4$$

La condition est donc vérifiée

- **Vérification de type des voiles :**

Un voile est dit élancé si la condition suivante satisfaite :

$$\frac{h_w}{l_w} \geq 2.0$$

Avec :

$h_w$  : hauteur du voile

$l_w$  : longueur du voile (y compris les éléments de rive)

$$\frac{h_w}{l_w} = \frac{45.22}{6.4} = 7.06 \geq 2.0$$

La condition étant vérifié, le voile calculé est en effet un voile élancé

• **Evaluation du diagramme des moments de calcul :**

D'après le **R.P.A 99** (article 7.7.4), le diagramme du moment fléchissant de calcul pour un voile élancé, en fonction de la hauteur, est donné par une enveloppe linéaire (du diagramme des moment des moments obtenu sur le logiciel ETABS), déplacée verticalement d'une distance égale à la hauteur de la zone critique du voile. Pour ce faire, il faut :

- Obtenir l'enveloppe linéaire qui joint le moment maximal à la base à celui d sommet
- Décaler l'enveloppe précédente verticalement par la hauteur critique  $h_{cr}$

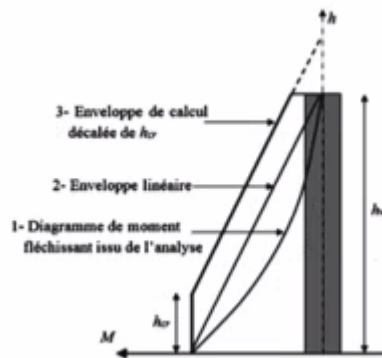


Figure V- 12: Diagramme et enveloppe des moments de calcul du voile.

La hauteur critique se calcule comme suite :

$$h_{cr} = \max(l_w ; \frac{h_w}{6})$$

Ce qui donne:

$$h_{cr} = \max(6.4m ; 7.53m) = 7.53m$$

On doit s'assurer que:

$$h_{cr} \leq \begin{cases} 2l_w & \text{pour } n \leq 6 \text{ niveaux} \\ 2h_e & \text{pour } n > 6 \text{ niveaux} \end{cases}$$

Donc:

$$h_{cr} \leq \begin{cases} 2l_w = 12.8m & \text{vérifiée} \\ 2h_e = 6.46m & \text{non vérifiée} \end{cases}$$

On retient donc :  $h_{cr} = 6.46m$

La hauteur critique a permis d'obtenir le diagramme du moment de calcul suivants :

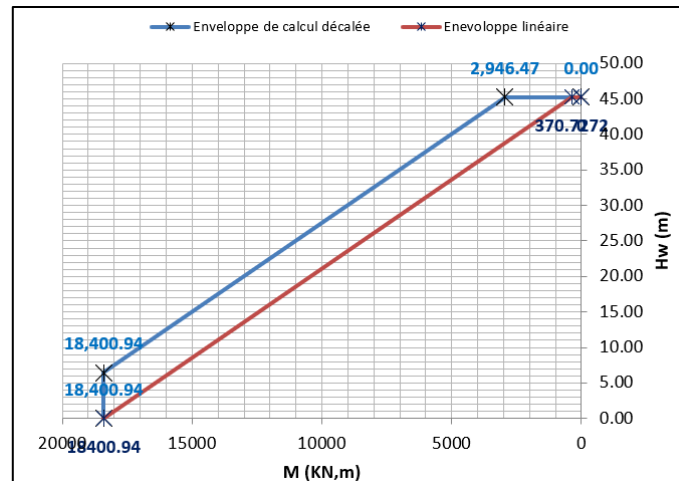


Figure V- 13: diagramme du moment de calcul du voile.

- **Calcul de ferrailage:**
- a) **Calcul de la longueur confinée :**

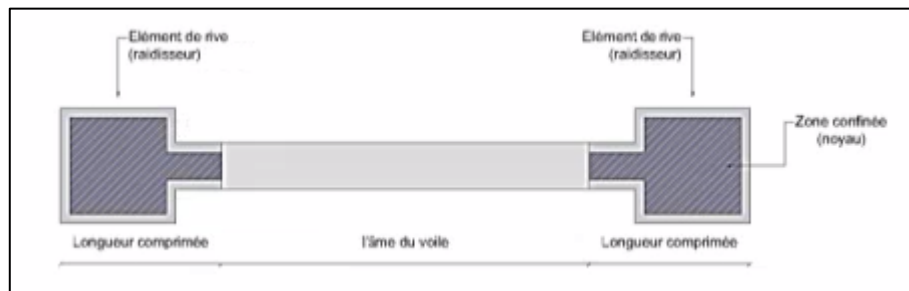


Figure V- 14: Longueur confinée \$l\_c\$ d'un voile avec deux éléments de rive.

D'après l'article 7.7.4 [1], le béton situé aux extrémités des voiles est confiné sur une longueur  $l_c$  mesurée à partir du bord du voile jusqu'au point correspondant à une déformation critique du béton prise égale à 0.35%.

$$l_c = \max(0.15l_w ; 0.15b_w)$$

Avec :

$l_w$  : longueur du voile

$b_w$  : largeur du voile

**b) Vérification des éléments de rive :**

On doit s'assurer que:

$$l_c \geq \max(2b_w ; 0.2l_w)$$

$$\begin{cases} \text{si : } l_c < \max(2b_w ; 0.2l_w) \\ \text{si : } l_c \geq \max(2b_w ; 0.2l_w) \quad b_c \geq \frac{h_e}{15} \end{cases}$$

$$l_c = 0.95m < \max(0.5m ; 0.96m)$$

Donc:

$$b_c \geq \frac{h_e}{15} = \frac{3.23}{15} = 0.23 \text{ m}$$

Alors:

$$b_c = 0.80 \text{ m} > 0.23 \text{ m} \quad \text{condition vérifiée}$$

La condition étant vérifiée, on retient les dimensions des éléments de rive

**c) Calcul des armatures de confinement :**

Le calcul de la section d'armatures se fait en flexion composée, en zone critique, à l'aide du logiciel SOCOTEC (avec un enrobage de 3cm)

Tableau V- 122: Calcul des armatures de confinement du voile.

|                                                                      |              |
|----------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>Hauteur critique <math>h_{cr}</math> (m)</b>                      | 6.46         |
| <b>Effort normal de calcul <math>N</math> (KN)</b>                   | 12611.8345   |
| <b>Moment fléchissant de calcul <math>M</math> (KN.m)</b>            | 18400.9438   |
| <b>Section calculée <math>A_t^{calculée}</math> (cm<sup>2</sup>)</b> | 52,89        |
| <b><math>A_s^{min} = 0.5\% S^{confinée}</math></b>                   | 10           |
| <b>Choix des barres</b>                                              | 2x6T25       |
| <b>Section adoptée <math>A_t^{adoptée}</math> (cm<sup>2</sup>)</b>   | 2x29.45=58.9 |

Les armatures verticales des éléments de rive (armatures de confinement calculées ci-dessus) doivent être confinées avec des cadres et/ou des étriers horizontaux dont l'espacement vertical satisfait la condition suivante :

$$S_t \leq \min\left(\frac{b_0}{3} ; 12.5 \text{ cm} ; 6\phi_t\right)$$

Donc:

$$S_t \leq \min(26.67 ; 12.5 ; 7.2) = 12.5 \text{ cm}$$

On opte pour des cadres avec un espacement de 10 cm



La section d'armatures confinée doit satisfaire les conditions suivantes :

$$\begin{cases} A_t \geq 0.09 S_t \cdot b_0 \cdot \frac{f_{c28}}{f_e} \\ A_t \geq 0.3 S_t \cdot b_0 \cdot \left( \frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \cdot \frac{f_{c28}}{f_e} \end{cases}$$

Où :

$\frac{A_g}{A_c}$  : représente le rapport de la surface totale de l'élément de rive sur sa surface confinée.

$$\begin{cases} A_t = 58.9 \text{ cm}^2 \geq 0.09 \times 10 \times 80 \times \frac{25}{500} = 3.6 \text{ cm}^2 \\ A_t = 58.9 \text{ cm}^2 \geq 0.09 \times 10 \times 80 \times \left( \frac{6550}{4974} - 1 \right) \times \frac{25}{500} = 1.14 \text{ cm}^2 \end{cases}$$

**d) Calcul des armatures de l'âme :**

• **Les aciers verticaux :**

Le diamètre maximal des armatures d'âme doit respecter la condition :

$$8 \text{ mm} \leq \phi_{max} \leq \frac{b_w}{8} = 31.25 \text{ mm}$$

On opte pour des barres : 2x22T10=34.76cm<sup>2</sup> avec un espacement de 25 cm

$$8 \text{ mm} \leq \phi_{max} = 10 \text{ mm} \leq 31.25 \text{ mm}$$

La condition est vérifiée

• **Les aciers horizontaux :**

Le ferrailage nécessaire pour la résistance à l'effort tranchant doit satisfaire la condition suivante :

$$\frac{A_h}{S} \geq \frac{\bar{V}}{Z f_e}$$

Avec :

$\bar{V}$  : effort tranchant de calcul ( $\bar{V} = 1.4V_u$ )

$Z$  : distance entre le centre de gravité des armatures des deux extrémités confinées

$$A_h = \frac{\bar{V} \cdot S}{Z f_e} = \frac{2145.40 \times 10^3 \times 100}{2056 \times 500} \times 10^{-2} = 2.08 \text{ cm}^2$$

On opte pour des barres : 4T10 = 3.14 cm<sup>2</sup>

- **Vérification de la ductilité locale :**

- a) **Vérification du rapport en volume des armatures de confinement :**

D'après l'article 7.7.5 [1], dans les voiles de section rectangulaire, le rapport mécanique en volume des armatures de confinement reprises  $\omega_{wd}$  dans les éléments de rive doit respecter la condition suivante :

$$\alpha \omega_{wd} = 30 \cdot \mu_{\emptyset} \cdot (v_d + \omega_v) \cdot \varepsilon_{syd} \cdot \frac{b_c}{b_0} - 0.035$$

$$\omega_{wd} = \frac{\text{volume des armatures de confinement}}{\text{volume du noyau en béton}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

Avec:

$$\frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{f_e}{f_{c28}} \cdot \frac{\gamma_b}{\gamma_s} = \frac{500}{25} \cdot \frac{1.2}{1} = 24$$

$\varepsilon_{sy}$  : valeur de la déformation à la limite élastique de l'acier donnée comme suit

$$\varepsilon_{sy} = \frac{f_e}{E_s} = \frac{500}{2.1 \times 10^5} = 2.38 \times 10^{-3}$$

$E_s$  : module d'élasticité de l'aciers

$v_d$  : effort normal réduit

$\omega_d$  : pourcentage normalisé des armatures verticales d'âmes

$$\omega_v = \frac{A_{sv}}{(l_w - 2l_c)b_w} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$A_{sv}$  : section d'armatures de l'âme du voile

$\alpha$  : coefficient d'efficacité du confinement égal à  $(\alpha_n ; \alpha_s)$  avec :

$$\begin{cases} \alpha_n = 1 - \sum_n \left( \frac{b_i^2}{6 b_0 h_0} \right) \\ \alpha_s = \left( 1 - \frac{t}{2 b_0} \right) \left( 1 - \frac{t}{2 h_0} \right) \end{cases}$$

$n$  : Nombre total de barres longitudinales latéralement maintenues par des armatures de confinement ou des épingles

$b_i$  : distance entre des barres maintenues consécutives

$b_0; h_0; t$  : grandeurs géométriques

$\mu_{\emptyset}$  : valeur requise du coefficient de ductilité en courbure calculé comme suit :

$$\mu_{\phi} = \begin{cases} 2 \left( \frac{R}{Q_F} \cdot \frac{M_{ed}}{M_{rd}} \right) - 1 & \text{si : } T_0 \geq T_2 \\ 1 + 2 \left[ 2 \left( \frac{R}{Q_F} \cdot \frac{M_{ed}}{M_{rd}} \right) - 1 \right] \cdot \frac{T_2}{T_0} & \text{si : } T_0 < T_2 \end{cases}$$

$M_{ed}$  : moment fléchissant issu de l'analyse à la base du voile

$M_{rd}$  : moment de résistance à la flexion

- **Calcul de pourcentage normalisé des armatures verticales d'âmes**

$$\omega_v = \frac{A_{sv}}{(l_w - 2l_c)b_w} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{34.76}{(640 - 160) \cdot 25} \cdot 24 = 0.0695$$

- **Calcul de coefficient d'efficacité du confinement :**

$$\begin{cases} \alpha_n = 1 - \sum_n \left( \frac{b_i^2}{6 b_0 h_0} \right) = 1 - 20 \left( \frac{14^2}{6(80)(80)} \right) = 0.89 \\ \alpha_s = \left( 1 - \frac{t}{2 b_0} \right) \left( 1 - \frac{t}{2 h_0} \right) = \left( 1 - \frac{10}{2 \times 80} \right) \left( 1 - \frac{10}{2 \times 80} \right) = 0.87 \end{cases}$$

Ce qui donne:

$$\alpha = \alpha_n \times \alpha_s = 0.895 \times 0.87 = 0.778$$

- **Calcul du moment résistant à la flexion :**

Ce dernier peut être calculé à l'aide du logiciel SOCOTEC (application « MR »), le résultat obtenu est le suivant :

$$M_{rd} = 28632 \text{ KN.m}$$

- **Calcul du coefficient de ductilité en courbure :**

Pour  $T_0 \geq T_2$  :

$$\mu_{\phi} = 2 \left( \frac{R}{Q_F} \cdot \frac{M_{ed}}{M_{rd}} \right) - 1 = 2 \left( \frac{4.5}{1.05} \cdot \frac{18400.9438}{28632} \right) - 1 = 4.508$$

On peut à présent calculer  $\omega_{wd}$  et effectuer la vérification de la ductilité :

$$\omega_{wd} = \frac{\text{volume des armatures de confinement}}{\text{volume du noyau en béton}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{540000}{62740000} \cdot 24 = 0.21$$

On doit vérifier que:

$$\omega_{rd} \geq \frac{30 \cdot \mu_{\phi} \cdot (v_d + \omega_v) \cdot \varepsilon_{syd} \cdot \frac{b_c}{b_0} - 0.035}{\alpha}$$

$$\omega_{rd} = 0.21 \geq \frac{30 \cdot \mu_{\phi} \cdot (v_d + \omega_v) \cdot \varepsilon_{syd} \cdot \frac{b_c}{b_0} - 0.035}{\alpha} = 0.125$$

La condition est vérifiée.

**b) Vérification de la longueur comprimée des parties de rive :**

On doit s'assurer que:

$$l_c^{calculée} \geq \max(0.15l_w ; 1.5b_w)$$

Avec :

$l_c^{calculée}$  : longueur comprimée des parties de rive

$$l_c^{calculée} = x_u \left( 1 - \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu.c}} \right)$$

Où :

$\varepsilon_{cu.c}$  : raccourcissement limite à la rupture du béton comprimé

$x_u$  : position de l'axe neutre

**Calcul de raccourcissement limite:**

$$\varepsilon_{cu.c} = 0.0035 + 0.1 \alpha \omega_{wd} = 0.0035 + 1 \times 0.778 \times 0.21 = 0.009686$$

**Calcul de la position de l'axe neutre :**

On doit calculer la position de l'axe neutre  $x_u$  correspondant à la courbure ultime après éclatement du béton situé hors de noyau confiné des éléments de rive :

$$x_u = (v_d + \omega_v) \cdot \frac{l_w b_c}{b_0} = (0.22 + 0.064) \cdot \frac{640 \times 80}{74} = 19.649 \text{ cm}$$

Ce qui donne:

$$l_c^{calculée} = x_u \left( 1 - \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu.c}} \right) = 189.3 \text{ cm} = 1.89 \text{ m}$$

Alors:

$$l_c^{calculée} = 1.89 \text{ m} \geq \max(0.96 \text{ m} ; 0.375 \text{ m})$$

La condition est vérifiée

Les conditions exigées par le **R.P.A 2024** sont satisfaites, la ductilité du voile est alors vérifiée.

**Remarque :**

Pour les autres voiles les valeurs vont être récapituler dans les tableaux suivants.

| Trumeau | $l_w \geq l_{\min}$ | $l_c \geq l_{\min}$ | $b_w \geq b_{\min}$ | $b_c \geq (h_e/15)$ | Vérification |
|---------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------|
| P2      | 4.55                | 455                 | 25                  | 80                  | Vérifiée     |
| P12     | 3.15                | 315                 | 25                  | 25                  | Vérifiée     |

#### V.4.1.4. Ferrailage des trumeaux :

- Ferrailage voile P1 :

On a  $L=4.8\text{m}$  et  $e=25\text{cm}$

Tableau V- 123 : Ferrailage longitudinal du voile P1 selon le RPA2024.

| Niveau  | H    | P (kN)  | M (kNm)  | As Calcul (cm <sup>2</sup> ) | As choix (cm <sup>2</sup> ) | As min | Choix | St (cm) |
|---------|------|---------|----------|------------------------------|-----------------------------|--------|-------|---------|
| Story13 | 3.23 | -37.0   | 5329.0   | 22.17                        | 75.36                       | 68.0   | T20   | 15      |
| Story12 | 3.23 | -86.89  | 6578.71  | 26.94                        |                             | 68.0   |       |         |
| Story11 | 3.23 | -143.68 | 7828.42  | 31.66                        |                             | 68.0   |       |         |
| Story10 | 3.23 | -188.62 | 9078.12  | 36.53                        |                             | 68.0   |       |         |
| Story9  | 3.23 | -216.0  | 10327.83 | 41.62                        |                             | 68.0   |       |         |
| Story8  | 3.23 | -227.88 | 11577.53 | 46.92                        |                             | 68.0   |       |         |
| Story7  | 3.23 | -232.75 | 12827.24 | 52.31                        |                             | 68.0   |       |         |
| Story6  | 3.23 | -237.06 | 14076.94 | 57.73                        |                             | 68.0   |       |         |
| Story5  | 3.23 | -242.1  | 15326.65 | 63.16                        |                             | 68.0   |       |         |
| Story4  | 3.23 | -259.54 | 16576.36 | 68.47                        |                             | 68.0   |       |         |
| Story3  | 3.23 | -293.93 | 17826.06 | 73.61                        |                             | 68.0   |       |         |
| Story2  | 3.23 | -263.2  | 17826.06 | 73.96                        |                             | 68.0   |       |         |
| Story1  | 3.23 | -208.87 | 17826.06 | 74.57                        |                             | 68.0   |       |         |

Tableau V- 124: Ferrailage transversal du voile P1 selon le RPA2024.

| S <sub>h</sub><br>max<br>(cm) | A <sub>h</sub><br>Calcul<br>(cm <sup>2</sup> ) | A <sub>h</sub> choix<br>(cm <sup>2</sup> ) | Choix |
|-------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------|
| 25                            | 1.22                                           | 1.58                                       | 2xT10 |
| 25                            | 1.34                                           |                                            |       |
| 25                            | 1.46                                           |                                            |       |
| 25                            | 1.57                                           |                                            |       |
| 25                            | 1.69                                           |                                            |       |
| 25                            | 1.81                                           |                                            |       |
| 25                            | 1.92                                           |                                            |       |
| 25                            | 2.04                                           |                                            |       |
| 25                            | 2.02                                           |                                            |       |
| 25                            | 2.13                                           |                                            |       |
| 25                            | 2.2                                            |                                            |       |
| 25                            | 2.19                                           |                                            |       |
| 25                            | 1.83                                           |                                            |       |

- **Ferrailage voile P2 :**

On a  $L=4.8\text{m}$  et  $e=25\text{cm}$

Tableau V- 125: Ferrailage longitudinal du voile P2 selon le RPA2024.

| Niveau  | H    | P (kN)  | M (kNm)  | AS Calcul (cm <sup>2</sup> ) | AS choix (cm <sup>2</sup> ) | As min | Choix | St (cm) |
|---------|------|---------|----------|------------------------------|-----------------------------|--------|-------|---------|
| Story13 | 3.23 | -55.94  | 430.41   | 20.72                        | 100.48                      | 64.0   | 2xT20 | 10      |
| Story12 | 3.23 | -54.61  | 720.39   | 25.02                        |                             | 64.0   |       |         |
| Story11 | 3.23 | -26.59  | 1165.15  | 29.65                        |                             | 64.0   |       |         |
| Story10 | 3.23 | 49.05   | 1720.26  | 41.88                        |                             | 64.0   |       |         |
| Story9  | 3.23 | 176.64  | 2342.9   | 48.31                        |                             | 64.0   |       |         |
| Story8  | 3.23 | 356.5   | 3011.21  | 55.26                        |                             | 64.0   |       |         |
| Story7  | 3.23 | 572.93  | 3641.28  | 62.58                        |                             | 64.0   |       |         |
| Story6  | 3.23 | 799.72  | 4716.05  | 70.0                         |                             | 64.0   |       |         |
| Story5  | 3.23 | 1071.65 | 5690.86  | 77.87                        |                             | 64.0   |       |         |
| Story4  | 3.23 | 1351.72 | 6852.98  | 85.83                        |                             | 64.0   |       |         |
| Story3  | 3.23 | 1611.36 | 8368.62  | 93.58                        |                             | 64.0   |       |         |
| Story2  | 3.23 | 1787.5  | 10571.08 | 95.34                        |                             | 64.0   |       |         |
| Story1  | 3.23 | 1766.79 | 13943.13 | 95.13                        |                             | 64.0   |       |         |

Tableau V- 126: Ferrailage longitudinal du voile P2 selon le RPA2024.

| S <sub>h</sub><br>max<br>(cm) | A <sub>h</sub><br>Calcul<br>(cm <sup>2</sup> ) | A <sub>h</sub> choix<br>(cm <sup>2</sup> ) | Choix |
|-------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------|
| 25                            | 1.26                                           | 1.58                                       | 2xT10 |
| 25                            | 1.4                                            |                                            |       |
| 25                            | 1.54                                           |                                            |       |
| 25                            | 1.67                                           |                                            |       |
| 25                            | 1.81                                           |                                            |       |
| 25                            | 1.95                                           |                                            |       |
| 25                            | 2.08                                           |                                            |       |
| 25                            | 2.22                                           |                                            |       |
| 25                            | 2.22                                           |                                            |       |
| 25                            | 2.18                                           |                                            |       |
| 25                            | 2.12                                           |                                            |       |
| 25                            | 2.1                                            |                                            |       |
| 25                            | 1.99                                           |                                            |       |

- **Ferraillage voile P12 :**

On a  $L=3.5\text{m}$  et  $e=25\text{cm}$

Tableau V- 127 : Ferraillage longitudinal du voile P12 selon le RPA2024.

| Niveau  | H    | P (kN)  | M (kNm)  | As Calcul (cm <sup>2</sup> ) | As choix (cm <sup>2</sup> ) | As min | Choix | St (cm) |
|---------|------|---------|----------|------------------------------|-----------------------------|--------|-------|---------|
| Story13 | 3.23 | -230.69 | 1289.85  | 15.0                         | 75.36                       | 56.0   | T20   | 15      |
| Story12 | 3.23 | -458.9  | 1737.42  | 15.95                        |                             | 56.0   |       |         |
| Story11 | 3.23 | -632.22 | 2202.28  | 17.55                        |                             | 56.0   |       |         |
| Story10 | 3.23 | -741.4  | 2665.47  | 19.9                         |                             | 56.0   |       |         |
| Story9  | 3.23 | -780.24 | 3124.73  | 23.08                        |                             | 56.0   |       |         |
| Story8  | 3.23 | -749.58 | 3606.77  | 27.07                        |                             | 56.0   |       |         |
| Story7  | 3.23 | -649.04 | 3980.3   | 31.86                        |                             | 56.0   |       |         |
| Story6  | 3.23 | -523.47 | 4793.31  | 36.95                        |                             | 56.0   |       |         |
| Story5  | 3.23 | -304.38 | 5450.48  | 43.1                         |                             | 56.0   |       |         |
| Story4  | 3.23 | -4.48   | 6184.19  | 50.18                        |                             | 56.0   |       |         |
| Story3  | 3.23 | 335.8   | 7023.83  | 67.85                        |                             | 56.0   |       |         |
| Story2  | 3.23 | 605.82  | 8067.94  | 70.55                        |                             | 56.0   |       |         |
| Story1  | 3.23 | 631.13  | 10157.08 | 70.8                         |                             | 56.0   |       |         |

Tableau V- 128: Ferraillage transversal du voile P12 selon le RPA2024.

| S <sub>h</sub><br>max<br>(cm) | A <sub>h</sub><br>Calcul<br>(cm <sup>2</sup> ) | A <sub>h</sub> choix<br>(cm <sup>2</sup> ) | Choix |
|-------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------|
| 25                            | 1.49                                           | 2.26                                       | 2xT12 |
| 25                            | 1.48                                           |                                            |       |
| 25                            | 1.47                                           |                                            |       |
| 25                            | 1.46                                           |                                            |       |
| 25                            | 1.44                                           |                                            |       |
| 25                            | 1.44                                           |                                            |       |
| 25                            | 1.42                                           |                                            |       |
| 25                            | 1.41                                           |                                            |       |
| 25                            | 2.99                                           |                                            |       |
| 25                            | 3.0                                            |                                            |       |
| 25                            | 2.95                                           |                                            |       |
| 25                            | 2.85                                           |                                            |       |
| 25                            | 2.5                                            |                                            |       |

**V.4.1.5. Ferrailage du linteau :**

Pour les linteaux on a la même méthode de calcul pour les deux versions des RPA99/2003 et RPA2024.

Tableau V- 129: Les efforts du linteau S1.

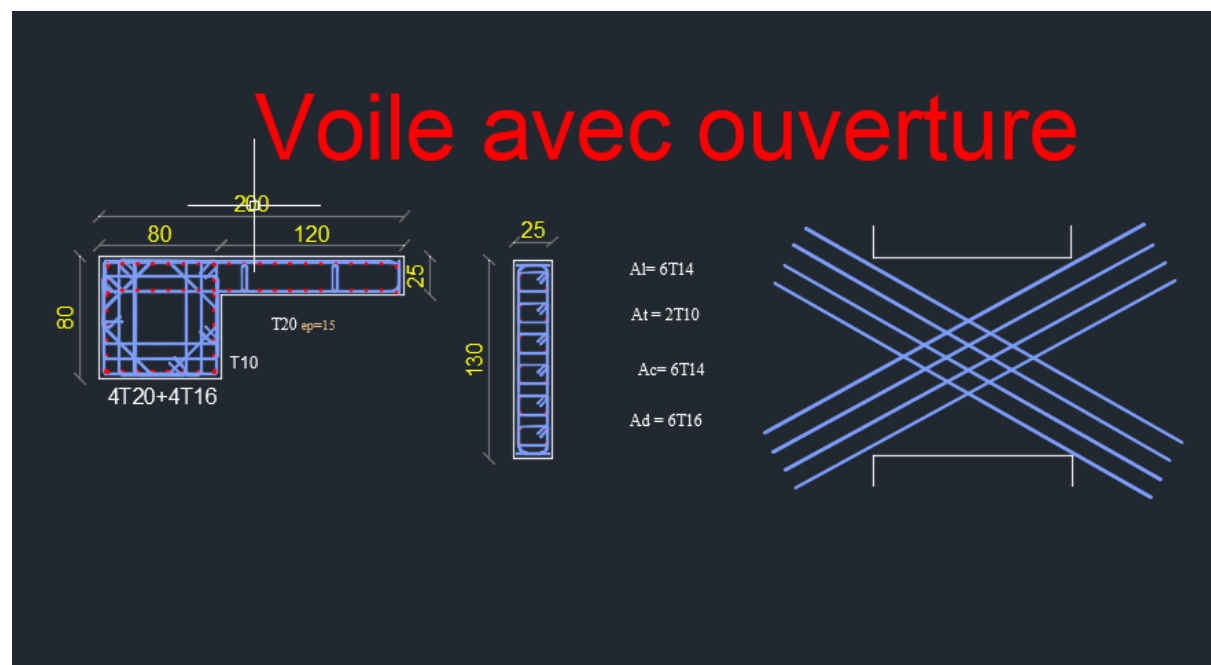
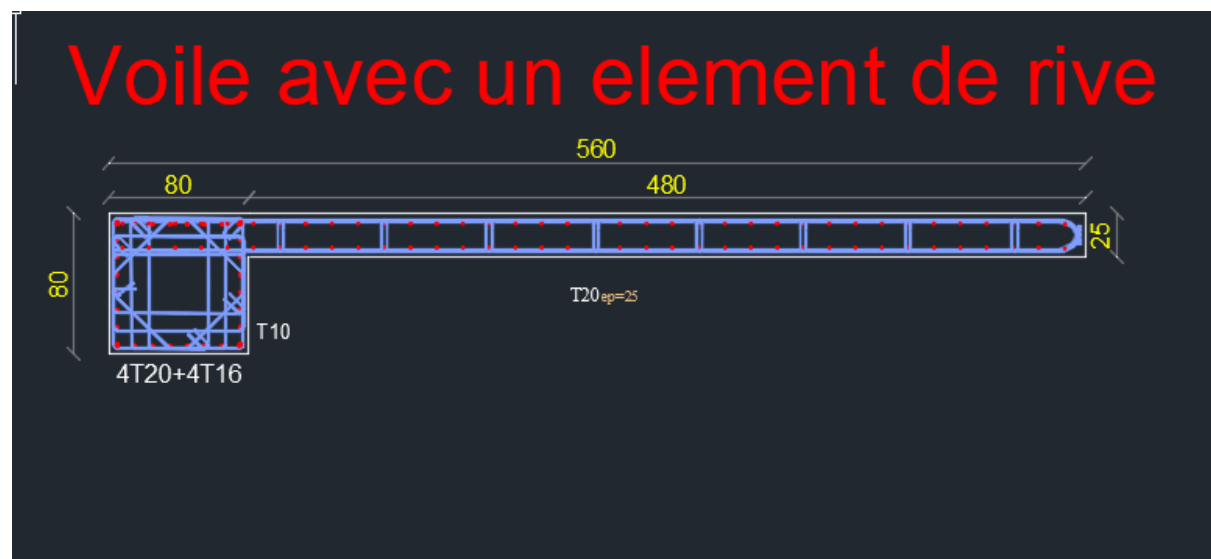
| Niveau  | H    | V (kN)   | M (kNm)  | Cas  |
|---------|------|----------|----------|------|
| Story13 | 3.23 | -88.83   | -48.823  | 1er  |
| Story12 | 3.23 | 47.771   | 149.07   | 1er  |
| Story11 | 3.23 | -299.035 | -171.68  | 1er  |
| Story10 | 3.23 | -363.364 | -204.147 | 1er  |
| Story9  | 3.23 | -422.428 | -234.747 | 1er  |
| Story8  | 3.23 | -474.194 | -209.778 | 1er  |
| Story7  | 3.23 | -539.882 | -240.174 | 1er  |
| Story6  | 3.23 | -616.776 | -339.412 | 1er  |
| Story5  | 3.23 | -681.782 | -376.711 | 2eme |
| Story4  | 3.23 | -737.034 | -404.103 | 2eme |
| Story3  | 3.23 | -806.905 | -437.809 | 2eme |
| Story2  | 3.23 | -854.374 | -470.306 | 2eme |
| Story1  | 3.23 | -859.377 | -470.383 | 2eme |

Tableau V- 130: Choix de ferrailage du linteau S1.

| Al (cm <sup>2</sup> ) | At (cm <sup>2</sup> ) | St (cm) | Ac (cm <sup>2</sup> ) | Ad (cm <sup>2</sup> ) | Alpha ° | Choix Al | Choix At | Choix Ac | Choix Ad |
|-----------------------|-----------------------|---------|-----------------------|-----------------------|---------|----------|----------|----------|----------|
| 2.341                 | 0.426                 | 10      | 3.65                  | 0                     |         | 6T14     | 2T10     | 6T14     | 6T16     |
| 2.229                 | 0.426                 | 10      | 3.65                  | 0                     |         |          |          |          |          |
| 3.113                 | 0.706                 | 10      | 9.65                  | 0                     |         |          |          |          |          |
| 3.702                 | 0.134                 | 10      | 9.65                  | 0                     |         |          |          |          |          |
| 4.257                 | 0.837                 | 10      | 9.65                  | 0                     |         |          |          |          |          |
| 7.238                 | 0.837                 | 10      | 9.65                  | 0                     |         |          |          |          |          |
| 7.238                 | 1.017                 | 10      | 9.65                  | 0                     |         |          |          |          |          |
| 7.238                 | 1.017                 | 10      | 9.65                  | 0                     |         |          |          |          |          |
| 7.238                 | 1.183                 | 10      | 9.65                  | 9.05                  | 54.5    |          |          |          |          |
| 7.238                 | 1.183                 | 10      | 9.65                  | 8.142                 | 54.5    |          |          |          |          |
| 7.238                 | 0.625                 | 10      | 9.65                  | 9.907                 | 54.5    |          |          |          |          |
| 7.238                 | 0.625                 | 10      | 9.65                  | 9.127                 | 54.5    |          |          |          |          |
| 7.238                 | 0.625                 | 10      | 9.65                  | 10.49                 | 54.5    |          |          |          |          |

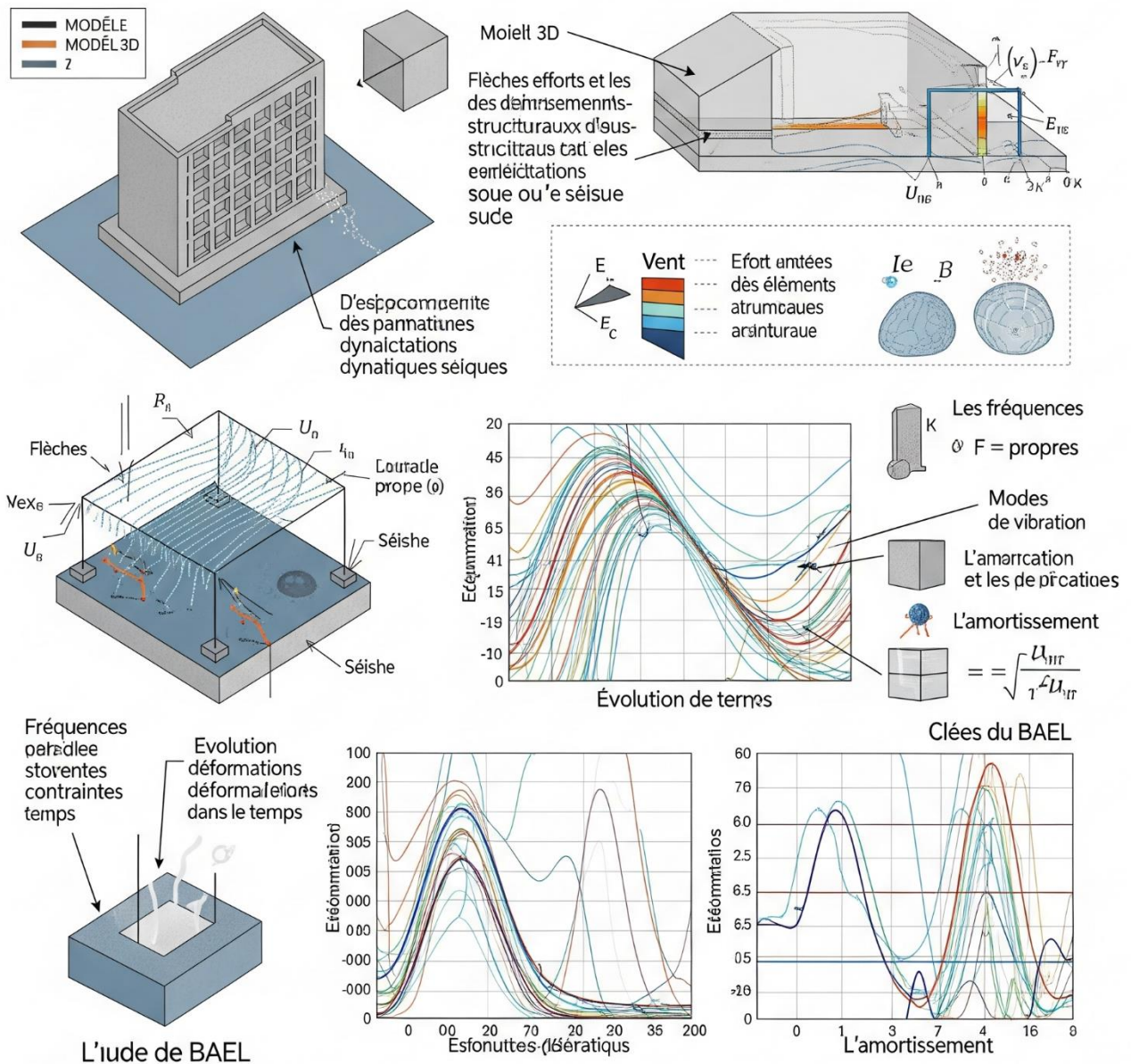


Dessin de ferrailage :



## CHAPITRE VI

## Comparaison Des Résultats Sismiques



## VI.1. Introduction

L'objectif de cette comparaison est d'analyser l'impact de l'évolution des normes parasismiques algériennes (passage de la version 2003 à la version 2024 des RPA) sur la conception et le ferrailage des éléments en béton armé pour un même bâtiment.

D'après les résultats de l'analyse modale selon les deux versions, on peut rapidement constater une majoration des forces sismiques pour tous les éléments de la superstructure impliqué par l'augmentation des coefficients de sécurité (voire le chapitre Etude au séisme) cela explique d'une manière directe le changement des sections d'aciers que se soit diminution ou augmentation de ces efforts.

Un choix de ferrailage a été fait pour tous les éléments structuraux poteaux, poutres et les voiles pour pouvoir faire la comparaison quantitative.

### VI.1.1. La comparaison des résultats de l'étude au séisme

#### VI.1.1.1. Comparaison de la période :

Selon le RPA99/2003

Tableau VI- 1: Résultats de l'analyse modale RPA99/2003.

| Mode | Case  | Period (sc) | Facteur de participation massique (%) |       |       |          |          | Vibration Mode |
|------|-------|-------------|---------------------------------------|-------|-------|----------|----------|----------------|
|      |       |             | Ux %                                  | Uy %  | RZ %  | Sum Ux % | Sum Uy % |                |
| 1    | Modal | 0.741       | 65.08                                 | 0.21  | 0.95  | 65.08    | 0.21     | Translation    |
| 2    | Modal | 0.615       | 0.33                                  | 66.23 | 0.98  | 65.41    | 66.43    | Translation    |
| 3    | Modal | 0.4411      | 0.92                                  | 1.01  | 65.99 | 66.32    | 67.44    | Torsion        |
| 4    | Modal | 0.2058      | 17.53                                 | 0.18  | 0.47  | 83.85    | 67.63    |                |
| 5    | Modal | 0.177       | 0.25                                  | 16.87 | 0.24  | 84.1     | 84.49    |                |
| 6    | Modal | 0.128       | 0.4                                   | 0.37  | 16.52 | 84.5     | 84.86    |                |
| 7    | Modal | 0.0996      | 6.1                                   | 0.13  | 0.42  | 90.6     | 84.99    |                |
| 8    | Modal | 0.0869      | 0.33                                  | 5.84  | 0.12  | 90.93    | 90.83    |                |
| 9    | Modal | 0.0678      | 1.69                                  | 0.44  | 2.26  | 92.62    | 91.27    |                |
| 10   | Modal | 0.0623      | 1.17                                  | 0     | 3.42  | 93.79    | 91.27    |                |

Selon le RPA 2024

Tableau VI- 2: Résultats de l'analyse modale RPA2024.

| Mode | Case  | Period (sc) | Facteur de participation massique (%) |       |       |          |          | Vibration Mode |
|------|-------|-------------|---------------------------------------|-------|-------|----------|----------|----------------|
|      |       |             | Ux %                                  | Uy %  | RZ %  | Sum Ux % | Sum Uy % |                |
| 1    | Modal | 0.7458      | 65.09                                 | 0.16  | 0.96  | 65.09    | 0.21     | Translation    |
| 2    | Modal | 0.6193      | 0.33                                  | 67.19 | 0.98  | 65.42    | 66.45    | Translation    |
| 3    | Modal | 0.444       | 0.92                                  | 0.79  | 66    | 66.34    | 67.46    | Torsion        |
| 4    | Modal | 0.2072      | 17.52                                 | 0.07  | 0.48  | 83.86    | 67.65    |                |
| 5    | Modal | 0.1781      | 0.25                                  | 17.06 | 0.24  | 84.11    | 84.5     |                |
| 6    | Modal | 0.1288      | 0.41                                  | 0.32  | 16.51 | 84.51    | 84.87    |                |
| 7    | Modal | 0.1003      | 6.1                                   | 0.06  | 0.42  | 90.61    | 85       |                |
| 8    | Modal | 0.0874      | 0.33                                  | 5.67  | 0.12  | 90.94    | 90.84    |                |
| 9    | Modal | 0.0682      | 1.7                                   | 0.35  | 2.23  | 92.64    | 91.28    |                |
| 10   | Modal | 0.0627      | 1.15                                  | 0.02  | 3.45  | 93.79    | 91.28    |                |

#### Constatation :

Les périodes ne sont pas égaux vu l'augmentation de l'effort sismique le RPA2024 E1 et E2 systématiquement on aura une petite différence entre les deux valeurs, sinon selon les deux règlements la période et les modes sont vérifiés (voire le détails dans le chapitre étude au séisme).

#### VI.1.1.2. Comparaison de l'effort tranchant a la base

Selon le RPA99/2003

Tableau VI- 3: Les efforts tranchants a le base RPA99/2003.

|                | V              | 0.8V            | r    | Observation |
|----------------|----------------|-----------------|------|-------------|
| V <sub>x</sub> | <b>9291.39</b> | <b>8865.691</b> | 1.03 | Vérifié     |
| V <sub>y</sub> | <b>8972.91</b> | <b>8750.88</b>  | 1    | Vérifié     |

Selon le RPA 2024

Tableau VI- 4: Les efforts tranchants a le base RPA2024.

|                | V         | 0.8V     | r     | Observation |
|----------------|-----------|----------|-------|-------------|
| V <sub>x</sub> | 12608.809 | 12598.19 | 1.184 | Vérifié     |
| V <sub>y</sub> | 12723.54  | 12598.19 | 1     | Vérifié     |

#### Constatation :

On peut facilement constater une augmentation remarquable des efforts tranchants pour le RPA2024 expliqué par les deux combinaisons d'action sismique  $G + Q \pm E$ , les E1 et E2 ont déjà le  $E_x \pm 0.3E_y$  et le contraire, c'est pour cette combinaison des deux  $E_x$  et  $E_y$  dans une seule combinaison qu'on aura des efforts plus importants que le RPA99/2003 qui dépend de  $E_x$  et  $E_y$  dans leurs propres sens.

## VI.1.1.3. Comparaison des déplacements inter étage

Tableau VI- 5: Comparaison des déplacements inter étages.

| Elevation<br>(m) | Selon le RPA99/2003     |                         |                     | Selon le RPA 2024       |                         |                     | Verification |
|------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|--------------|
|                  | $\Delta_k^x(\text{cm})$ | $\Delta_k^y(\text{cm})$ | $\Delta(\text{cm})$ | $\Delta_k^x(\text{cm})$ | $\Delta_k^y(\text{cm})$ | $\Delta(\text{cm})$ |              |
| 45.22            | 0.9576                  | 0.4872                  | 3.23                | 1.13868                 | 0.71532                 | 4.845               | Vérifié      |
| 41.99            | 0.78435                 | 0.4956                  | 3.23                | 0.9324                  | 0.729                   | 4.845               | Vérifié      |
| 38.76            | 0.81165                 | 0.5124                  | 3.23                | 0.96588                 | 0.75384                 | 4.845               | Vérifié      |
| 35.53            | 0.83405                 | 0.53235                 | 3.23                | 0.99216                 | 0.78372                 | 4.845               | Vérifié      |
| 32.3             | 0.8442                  | 0.54635                 | 3.23                | 1.00476                 | 0.80532                 | 4.845               | Vérifié      |
| 29.07            | 0.8414                  | 0.553                   | 3.23                | 1.00188                 | 0.81468                 | 4.845               | Vérifié      |
| 25.84            | 0.82565                 | 0.55055                 | 3.23                | 0.9828                  | 0.81144                 | 4.845               | Vérifié      |
| 22.61            | 0.7945                  | 0.53795                 | 3.23                | 0.94536                 | 0.79344                 | 4.845               | Vérifié      |
| 19.38            | 0.7504                  | 0.5159                  | 3.23                | 0.89352                 | 0.75996                 | 4.845               | Vérifié      |
| 16.15            | 0.68215                 | 0.4774                  | 3.23                | 0.8118                  | 0.70272                 | 4.845               | Vérifié      |
| 12.92            | 0.59605                 | 0.4249                  | 3.23                | 0.70884                 | 0.62532                 | 4.845               | Vérifié      |
| 9.69             | 0.49                    | 0.3563                  | 3.23                | 0.58248                 | 0.52272                 | 4.845               | Vérifié      |
| 6.46             | 0.36225                 | 0.26635                 | 3.23                | 0.42948                 | 0.39024                 | 4.845               | Vérifié      |
| 3.23             | 0.1869                  | 0.1365                  | 3.23                | 0.22104                 | 0.1998                  | 4.845               | Vérifié      |

**Constatation :**

Pour les déplacements aussi on remarque une petite augmentation de 0.3mm a peut près dans tous les étages.

**VI.1.1.3. Comparaison des vérifications spécifique aux sollicitations normales**

Tableau VI- 6: Comparaison des sollicitations normales

| Étages  | Section (cm <sup>2</sup> ) | Selon le RPA99/2003 |        | Selon le RPA 2024 |        | Verification |
|---------|----------------------------|---------------------|--------|-------------------|--------|--------------|
|         |                            | Nu                  | Nu bar | Nu                | Nu bar |              |
| Story14 | 30x30                      | 0.126               | 0.3    | 0.122             | 0.35   | Vérifié      |
| Story13 | 30x30                      | 0.241               | 0.3    | 0.23              | 0.35   | Vérifié      |
| Story12 | 35x35                      | 0.264               | 0.3    | 0.252             | 0.35   | Vérifié      |
| Story11 | 40x40                      | 0.27                | 0.3    | 0.257             | 0.35   | Vérifié      |
| Story10 | 45x45                      | 0.267               | 0.3    | 0.254             | 0.35   | Vérifié      |
| Story9  | 50x50                      | 0.26                | 0.3    | 0.247             | 0.35   | Vérifié      |
| Story8  | 55x55                      | 0.252               | 0.3    | 0.246             | 0.35   | Vérifié      |
| Story7  | 60x60                      | 0.247               | 0.3    | 0.245             | 0.35   | Vérifié      |
| Story6  | 60x60                      | 0.284               | 0.3    | 0.283             | 0.35   | Vérifié      |
| Story5  | 65x65                      | 0.275               | 0.3    | 0.273             | 0.35   | Vérifié      |
| Story4  | 70x70                      | 0.267               | 0.3    | 0.264             | 0.35   | Vérifié      |
| Story3  | 75x75                      | 0.259               | 0.3    | 0.255             | 0.35   | Vérifié      |
| Story2  | 80x80                      | 0.252               | 0.3    | 0.245             | 0.35   | Vérifié      |
| Story1  | 80x80                      | 0.277               | 0.3    | 0.262             | 0.35   | Vérifié      |

**Constatation :**

L'effort normal réduit des poteaux pour notre cas sont pratiquement les mêmes, le Nu bar a été changé dans le RPA2024 et augmenté à 0.35 pour d'autres type d'ouvrages et d'autres systèmes de contreventement qui transmet plus d'effort normal réduit.

VI.1.1.4. Comparaison des justifications vis-à-vis de l'effet P- $\Delta$ Tableau VI- 7: Comparaison des justifications vis-à-vis de l'effet P- $\Delta$ .

|         | Selon le RPA99/2003 |            | Selon le RPA 2024 |            |                   |              |
|---------|---------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|--------------|
| Étages  | $\theta_x$          | $\theta_y$ | $\theta_x$        | $\theta_y$ | $\theta \leq 0.1$ | Verification |
| Story14 | 0.0442              | 0.0303     | 0.004             | 0.0034     | 0.1               | Vérifié      |
| Story13 | 0.0429              | 0.0297     | 0.0039            | 0.0030     | 0.1               | Vérifié      |
| Story12 | 0.0387              | 0.0266     | 0.0035            | 0.0026     | 0.1               | Vérifié      |
| Story11 | 0.0353              | 0.0236     | 0.0033            | 0.0024     | 0.1               | Vérifié      |
| Story10 | 0.0323              | 0.0211     | 0.0031            | 0.0022     | 0.1               | Vérifié      |
| Story9  | 0.0296              | 0.0189     | 0.0029            | 0.0020     | 0.1               | Vérifié      |
| Story8  | 0.0268              | 0.0168     | 0.0028            | 0.0019     | 0.1               | Vérifié      |
| Story7  | 0.0244              | 0.0150     | 0.0026            | 0.0017     | 0.1               | Vérifié      |
| Story6  | 0.0221              | 0.0133     | 0.0024            | 0.0016     | 0.1               | Vérifié      |
| Story5  | 0.020               | 0.0117     | 0.0023            | 0.0014     | 0.1               | Vérifié      |
| Story4  | 0.0179              | 0.0103     | 0.0021            | 0.0013     | 0.1               | Vérifié      |
| Story3  | 0.0160              | 0.0091     | 0.0020            | 0.0012     | 0.1               | Vérifié      |
| Story2  | 0.0142              | 0.0081     | 0.0018            | 0.0011     | 0.1               | Vérifié      |
| Story1  | 0.0162              | 0.0073     | 0.0015            | 0.0010     | 0.1               | Vérifié      |

**Constatation :**

L'effet P-  $\Delta$  est plutôt plus élevé selon le RPA99/2003 que le RPA2024, mais dans les deux cas on est resté dans le premier ordre donc l'effet P-  $\Delta$  est négligé.

**VI.1.1.5. Comparaison des vérifications du renversement**

$$1.3M_r < M_s$$

Tableau VI- 8: Comparaison des vérifications du renversement.

| RPA     | sens | 1.3Mr     | Ms          | Observation |
|---------|------|-----------|-------------|-------------|
| 99/2003 | x-x  | 137082.40 | 1703226.631 | Vérifié     |
|         | y-y  | 137082.40 | 1648283.84  | Vérifié     |
| 2024    | x-x  | 195884.49 | 1725885.5   | Vérifié     |
|         | y-y  | 158105.72 | 1670211.77  | Vérifié     |

**Constatation :**

Les moments de renversement ont augmenté mais les moments stabilisants sont à peu près les mêmes valeurs.

**VI.1.2. Comparaison des résultats de ferrailage des éléments résistants****VI.1.2.1. Les poteaux****a. Ferrailage longitudinal**

Tableau VI- 9: Comparaison des résultats de ferrailage longitudinal des poteaux.

| Niveau                  | Section (cm <sup>2</sup> ) | RPA99/2003          |                    | RPA 2024            |                    |
|-------------------------|----------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
|                         |                            | Choix des armatures | $A_s^{adopté}$     | Choix des armatures | $A_s^{adopté}$     |
|                         |                            |                     | (cm <sup>2</sup> ) |                     | (cm <sup>2</sup> ) |
| <b>RDC</b>              | 80x80                      | 4T25 + 3T20         | 61.8               | 4T25 + 4T20         | 69.84              |
| <b>1<sup>er</sup></b>   | 80x80                      | 4T25 + 3T20         | 61.8               | 4T25 + 4T20         | 69.84              |
| <b>2<sup>eme</sup></b>  | 75x75                      | 9T20                | 56.54              | 4T25 + 3T20         | 69.84              |
| <b>3<sup>eme</sup></b>  | 70x70                      | 7T16                | 48.24              | 8T16                | 56.28              |
| <b>4<sup>eme</sup></b>  | 65x65                      | 6T16                | 40.2               | 7T16                | 48.24              |
| <b>5<sup>eme</sup></b>  | 60x60                      | 6T16                | 40.2               | 7T16                | 48.24              |
| <b>6<sup>eme</sup></b>  | 60x60                      | 6T16                | 40.2               | 7T16                | 48.24              |
| <b>7<sup>eme</sup></b>  | 55x55                      | 5T16                | 32.16              | 6T16                | 40.2               |
| <b>8<sup>eme</sup></b>  | 50x50                      | 5T14                | 32.16              | 5T16                | 32.16              |
| <b>9<sup>eme</sup></b>  | 45x45                      | 4T14                | 18.48              | 4T16                | 24.12              |
| <b>10<sup>eme</sup></b> | 40x40                      | 4T14                | 18.48              | 4T14                | 16.6               |
| <b>11<sup>eme</sup></b> | 35x35                      | 3T14                | 18.48              | 4T14                | 16.6               |
| <b>12<sup>eme</sup></b> | 30x30                      | 3T12                | 18.48              | 3T14                | 10.44              |
| <b>13<sup>eme</sup></b> | 30x30                      | 3T12                | 18.48              | 3T14                | 10.44              |

**Constatation :**

Pour le présent projet toutes les sections des poteaux sont des sections entièrement comprimées donc le ferrailage de ces éléments était fait par la section d'acier minimale 0.9% RPA99/2003 et 1% pour les éléments de le RPA 2024 donc systématiquement on a des sections plus grandes que celle de le RPA99/2003.



## b. Ferrailage transversal

Tableau VI- 10: Comparaison des résultats de ferrailage transversal des poteaux.

| Niveau | Section | RPA99/2003 |                                   | RPA2024 |                                   |
|--------|---------|------------|-----------------------------------|---------|-----------------------------------|
|        |         | Choix      | $A_s^{adp}$<br>(cm <sup>2</sup> ) | Choix   | $A_s^{adp}$<br>(cm <sup>2</sup> ) |
| RDC    | 80x80   | 8T10       | 7.11                              | 8T10    | 7.11                              |
|        |         | 8T10       | 7.11                              | 8T10    | 7.11                              |
| 1      | 80x80   | 8T10       | 7.11                              | 8T10    | 7.11                              |
|        |         | 8T10       | 7.11                              | 8T10    | 7.11                              |
| 2      | 75x75   | 8T10       | 6.32                              | 8T10    | 6.32                              |
|        |         | 8T10       | 6.32                              | 8T10    | 6.32                              |
| 3      | 70x70   | 8T10       | 6.32                              | 6T10    | 5.53                              |
|        |         | 8T10       | 6.32                              | 6T10    | 5.53                              |
| 4      | 65x65   | 8T10       | 6.32                              | 6T10    | 4.74                              |
|        |         | 8T10       | 6.32                              | 6T10    | 4.74                              |
| 5      | 60x60   | 8T8        | 4.0                               | 6T10    | 4.74                              |
|        |         | 8T8        | 4.0                               | 6T10    | 4.74                              |
| 6      | 60x60   | 8T8        | 4.0                               | 6T10    | 4.74                              |
|        |         | 8T8        | 4.0                               | 6T10    | 4.74                              |
| 7      | 55x55   | 6T8        | 3.0                               | 6T8     | 3.0                               |
|        |         | 6T8        | 3.0                               | 6T8     | 3.0                               |
| 8      | 50x50   | 4T8        | 2.5                               | 4T8     | 2.5                               |
|        |         | 4T8        | 2.5                               | 4T8     | 2.5                               |
| 9      | 45x45   | 4T8        | 2.5                               | 4T8     | 2.5                               |
|        |         | 4T8        | 2.5                               | 4T8     | 2.5                               |
| 10     | 40x40   | 4T8        | 2.5                               | 4T8     | 2.5                               |
|        |         | 4T8        | 2.5                               | 4T8     | 2.5                               |
| 11     | 35x35   | 4T8        | 2.5                               | 4T8     | 2.5                               |
|        |         | 4T8        | 2.5                               | 4T8     | 2.5                               |
| 12     | 30x30   | 4T8        | 2.5                               | 4T8     | 2.5                               |
|        |         | 4T8        | 2.5                               | 4T8     | 2.5                               |
| 13     | 30x30   | 4T8        | 2.5                               | 4T8     | 2.5                               |
|        |         | 4T8        | 2.5                               | 4T8     | 2.5                               |

**Constatation :**

On n'a pas des sections de ferrailage transversal différentes comparant avec le ferrailage longitudinal car les efforts tranchants n'ont pas augmenté autant que les efforts normaux. On remarque une augmentation de 5%.

## VI.1.2.2. Les poutres

## a. Ferrailage longitudinal

Tableau VI- 11: Comparaison des résultats de ferrailage longitudinal des poutres.

| Niveau                      | Section (cm <sup>2</sup> ) | Position | RPA99/2003                      |                     |                               | RPA2024                         |                     |                               |
|-----------------------------|----------------------------|----------|---------------------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------|-------------------------------|
|                             |                            |          | $^{cal} A_s$ (cm <sup>2</sup> ) | Choix des armatures | $A_{sadj}$ (cm <sup>2</sup> ) | $^{cal} A_s$ (cm <sup>2</sup> ) | Choix des armatures | $A_{sadj}$ (cm <sup>2</sup> ) |
| 14 <sup>eme</sup>           | PP 35x65                   | Appuis   | 9.58                            | 6T16                | 12.06                         | 12.209                          | 6T16                | 12.06                         |
|                             |                            | Travée   | 5.433                           | 6T16                | 12.06                         | 8.51                            | 6T16                | 12.06                         |
|                             | PP V 35x65                 | Appuis   | 9.494                           | 6T16                | 12.06                         | 8.213                           | 6T16                | 12.06                         |
|                             |                            | Travée   | 6.27                            | 6T16                | 12.06                         | 7.924                           | 6T16                | 12.06                         |
|                             | PS 35x65                   | Appuis   | 2.909                           | 6T16                | 12.06                         | 2.909                           | 3T16                | 6.03                          |
|                             |                            | Travée   | 1.67                            | 3T16                | 6.03                          | 2.026                           | 3T16                | 6.03                          |
|                             | PS V 35x65                 | Appuis   | 18.968                          | 6T20 + 3T16         | 24.87                         | 18.968                          | 6T20+2T16           | 22.88                         |
|                             |                            | Travée   | 11.749                          | 6T16                | 12.06                         | 16.965                          | 6T20+2T16           | 22.88                         |
|                             | PS centrale 35x65          | Appuis   | 17.306                          | 6T20 + 3T14         | 23.46                         | 17.306                          | 6T20 + 2T16         | 22.88                         |
|                             |                            | Travée   | 11.424                          | 6T16                | 12.06                         | 11.424                          | 6T16                | 12.06                         |
|                             | PCH 35x55                  | Appuis   | 7.391                           | 5T16                | 10.05                         | 8.34                            | 5T16                | 10.05                         |
|                             |                            | Travée   | 7.261                           | 5T16                | 10.05                         | 7.261                           | 5T16                | 10.05                         |
|                             | PP 35x65                   | Appuis   | 6.936                           | 5T16                | 10.05                         | 5.99                            | 6T16                | 12.06                         |
|                             |                            | Travée   | 5.009                           | 5T16                | 10.05                         | 5.009                           | 6T16                | 12.06                         |
|                             | PP V 35x65                 | Appuis   | 4.522                           | 3T16                | 6.03                          | 5.747                           | 6T16                | 12.06                         |
|                             |                            | Travée   | 4.254                           | 3T16                | 6.03                          | 5.702                           | 6T16                | 12.06                         |
| Du RDC au 13 <sup>eme</sup> | PS 35x65                   | Appuis   | 3.559                           | 3T16                | 6.03                          | 3.997                           | 3T16                | 6.03                          |
|                             |                            | Travée   | 4.286                           | 3T16                | 6.03                          | 4.286                           | 3T16 + 2T14         | 9.11                          |
|                             | PS V 35x65                 | Appuis   | 10.523                          | 6T16                | 12.06                         | 16.639                          | 6T20+2T16           | 22.88                         |
|                             |                            | Travée   | 11.573                          | 6T16                | 12.06                         | 17.842                          | 6T20+2T16           | 22.88                         |
|                             | PS centrale 35x65          | Appuis   | 7.566                           | 6T16                | 12.06                         | 7.566                           | 6T16                | 12.06                         |
|                             |                            | Travée   | 9.743                           | 6T16                | 12.06                         | 9.743                           | 6T16                | 12.06                         |
|                             | PCH 35x55                  | Appuis   | 8.923                           | 5T16                | 10.05                         | 8.923                           | 5T16                | 10.05                         |
|                             |                            | Travée   | 6.205                           | 5T16                | 10.05                         | 6.205                           | 5T16                | 10.05                         |
|                             | PPal 30x35                 | Appuis   | 0.889                           | 3T16                | 6.03                          | 0.851                           | 3T16                | 6.03                          |
|                             |                            | Travée   | 0.407                           | 3T16                | 6.03                          | 0.407                           | 3T16                | 6.03                          |

## Constatation :

On remarque des sections d'acier plus élevés de 10% dans les poutres en dessus des voiles et aussi bien que les poutres porteuses comme les poutres secondaires qui portent les poutres de chaînage et les poutres principales qui portent les poutrelles.

**b. Ferrailage transversal**

Tableau VI- 12: Comparaison des résultats de ferrailage transversal des poutres.

| Niveau                            | Section (cm <sup>2</sup> ) | RPA99/2003            |       | RPA2024               |       |
|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|
|                                   |                            | As (cm <sup>2</sup> ) | Choix | As (cm <sup>2</sup> ) | Choix |
| <b>14<sup>eme</sup></b>           | <b>PP 35x65</b>            | 1.2                   | 3T8   | 1.2                   | 3T8   |
|                                   | <b>PP V 35x65</b>          | 1.2                   | 3T8   | 1.2                   | 3T8   |
|                                   | <b>PS 35x65</b>            | 1.2                   | 3T8   | 1.2                   | 3T8   |
|                                   | <b>PS V 35x65</b>          | 1.2                   | 3T8   | 1.2                   | 3T8   |
|                                   | <b>PS centrale 35x65</b>   | 1.2                   | 3T8   | 1.2                   | 3T8   |
|                                   | <b>PCH 35x55</b>           | 1.2                   | 3T8   | 1.2                   | 3T8   |
| <b>Du RDC au 13<sup>eme</sup></b> | <b>PP 35x65</b>            | 1.2                   | 3T8   | 1.2                   | 3T8   |
|                                   | <b>PP V 35x65</b>          | 1.2                   | 3T8   | 1.2                   | 3T8   |
|                                   | <b>PS 35x65</b>            | 1.2                   | 3T8   | 1.2                   | 3T8   |
|                                   | <b>PS V 35x65</b>          | 1.2                   | 3T8   | 1.2                   | 3T8   |
|                                   | <b>PS centrale 35x65</b>   | 1.2                   | 3T8   | 1.2                   | 3T8   |
|                                   | <b>PCH 35x55</b>           | 1.2                   | 3T8   | 1.2                   | 3T8   |
|                                   | <b>PPal 30x35</b>          | 1.2                   | 3T8   | 1.2                   | 3T8   |

**Constatation :**

Pour le ferrailage transversal des poutres on a opté pour les mêmes sections d'aciers pour les deux versions des RPA.

**VI.1.2.3. Les voiles**

Avec le RPA 2003

La méthode repose sur le calcul de la longueur tendue des voiles, basée sur les contraintes de traction. Cette approche, issue de l'ancien code parasismique français PS92, consiste à répartir la force de traction sur la longueur tendue pour déterminer l'armature longitudinale nécessaire.

Avec le RPA 2024

- La méthode s'aligne désormais sur l'Eurocode 8.
- Détermination de la hauteur critique pour confiner les zones plastiques.
- Définition des éléments d'extrémité (bouts confinés des voiles).
- Calcul de l'armature longitudinale à partir de l'enveloppe du moment fléchissant et de l'effort normal.
- Distribution des armatures concentrées principalement dans les zones confinées (éléments d'extrémité).

**a. Comparaison du ferrailage des trumeaux**

Tableau VI- 13: Comparaison du ferrailage du voile P1.

| Niveau         | RPA99/2003 |           | RPA2024   |           |
|----------------|------------|-----------|-----------|-----------|
|                | Al         | At        | Al        | At        |
| <b>Story13</b> | T12 ep=15  | T12 ep=15 | T20 ep=15 | T10 ep=25 |
| <b>Story12</b> | T12 ep=15  | T12 ep=15 | T20 ep=15 | T10 ep=25 |
| <b>Story11</b> | T12 ep=15  | T12 ep=15 | T20 ep=15 | T10 ep=25 |
| <b>Story10</b> | T12 ep=15  | T12 ep=15 | T20 ep=15 | T10 ep=25 |
| <b>Story9</b>  | T12 ep=15  | T12 ep=15 | T20 ep=15 | T10 ep=25 |
| <b>Story8</b>  | T12 ep=15  | T12 ep=15 | T20 ep=15 | T10 ep=25 |
| <b>Story7</b>  | T12 ep=15  | T12 ep=15 | T20 ep=15 | T10 ep=25 |
| <b>Story6</b>  | T12 ep=15  | T12 ep=15 | T20 ep=15 | T10 ep=25 |
| <b>Story5</b>  | T12 ep=15  | T12 ep=15 | T20 ep=15 | T10 ep=25 |
| <b>Story4</b>  | T12 ep=15  | T12 ep=15 | T20 ep=15 | T10 ep=25 |
| <b>Story3</b>  | T12 ep=15  | T12 ep=15 | T20 ep=15 | T10 ep=25 |
| <b>Story2</b>  | T12 ep=15  | T12 ep=15 | T20 ep=15 | T10 ep=25 |
| <b>Story1</b>  | T12 ep=15  | T12 ep=15 | T20 ep=15 | T10 ep=25 |

Tableau VI- 14 : Comparaison du ferrailage du voile P2.

|                | <b>RPA99/2003</b> |           | <b>RPA2024</b> |           |
|----------------|-------------------|-----------|----------------|-----------|
| <b>Niveau</b>  | <b>Al</b>         | <b>At</b> | <b>Al</b>      | <b>At</b> |
| <b>Story13</b> | T12 ep=15         | T12 ep=15 | T20 ep=15      | T10 ep=25 |
| <b>Story12</b> | T12 ep=15         | T12 ep=15 | T20 ep=15      | T10 ep=25 |
| <b>Story11</b> | T12 ep=15         | T12 ep=15 | T20 ep=15      | T10 ep=25 |
| <b>Story10</b> | T12 ep=15         | T12 ep=15 | T20 ep=15      | T10 ep=25 |
| <b>Story9</b>  | T12 ep=15         | T12 ep=15 | T20 ep=15      | T10 ep=25 |
| <b>Story8</b>  | T12 ep=15         | T12 ep=15 | T20 ep=15      | T10 ep=25 |
| <b>Story7</b>  | T12 ep=15         | T12 ep=15 | T20 ep=15      | T10 ep=25 |
| <b>Story6</b>  | T12 ep=15         | T12 ep=15 | T20 ep=15      | T10 ep=25 |
| <b>Story5</b>  | T12 ep=15         | T12 ep=15 | T20 ep=15      | T10 ep=25 |
| <b>Story4</b>  | T12 ep=15         | T12 ep=15 | T20 ep=15      | T10 ep=25 |
| <b>Story3</b>  | T12 ep=15         | T12 ep=15 | T20 ep=15      | T10 ep=25 |
| <b>Story2</b>  | T12 ep=15         | T12 ep=15 | T20 ep=15      | T10 ep=25 |
| <b>Story1</b>  | T12 ep=15         | T12 ep=15 | T20 ep=15      | T10 ep=25 |

Tableau VI- 15: Comparaison du ferrailage du voile P12.

|                | <b>RPA99/2003</b> |           | <b>RPA2024</b> |           |
|----------------|-------------------|-----------|----------------|-----------|
| <b>Niveau</b>  | <b>Al</b>         | <b>At</b> | <b>Al</b>      | <b>At</b> |
| <b>Story13</b> | T25 ep=20         | T10 ep=15 | T20 ep=10      | T12 ep=25 |
| <b>Story12</b> | T20 ep=20         | T10 ep=15 | T20 ep=10      | T12 ep=25 |
| <b>Story11</b> | T12 ep=15         | T10 ep=15 | T20 ep=10      | T12 ep=25 |
| <b>Story10</b> | T12 ep=15         | T10 ep=15 | T20 ep=10      | T12 ep=25 |
| <b>Story9</b>  | T12 ep=15         | T10 ep=15 | T20 ep=10      | T12 ep=25 |
| <b>Story8</b>  | T12 ep=15         | T10 ep=15 | T20 ep=10      | T12 ep=25 |
| <b>Story7</b>  | T12 ep=15         | T10 ep=15 | T20 ep=10      | T12 ep=25 |
| <b>Story6</b>  | T12 ep=15         | T10 ep=15 | T20 ep=10      | T12 ep=25 |
| <b>Story5</b>  | T12 ep=15         | T10 ep=15 | T20 ep=10      | T12 ep=25 |
| <b>Story4</b>  | T12 ep=15         | T10 ep=15 | T20 ep=10      | T12 ep=25 |
| <b>Story3</b>  | T12 ep=15         | T10 ep=15 | T20 ep=10      | T12 ep=25 |
| <b>Story2</b>  | T12 ep=15         | T10 ep=15 | T20 ep=10      | T12 ep=25 |
| <b>Story1</b>  | T12 ep=15         | T10 ep=15 | T20 ep=10      | T12 ep=25 |

**b. Comparaison du ferrailage des linteaux**

Tableau VI- 16: Comparaison du ferrailage du linteau.

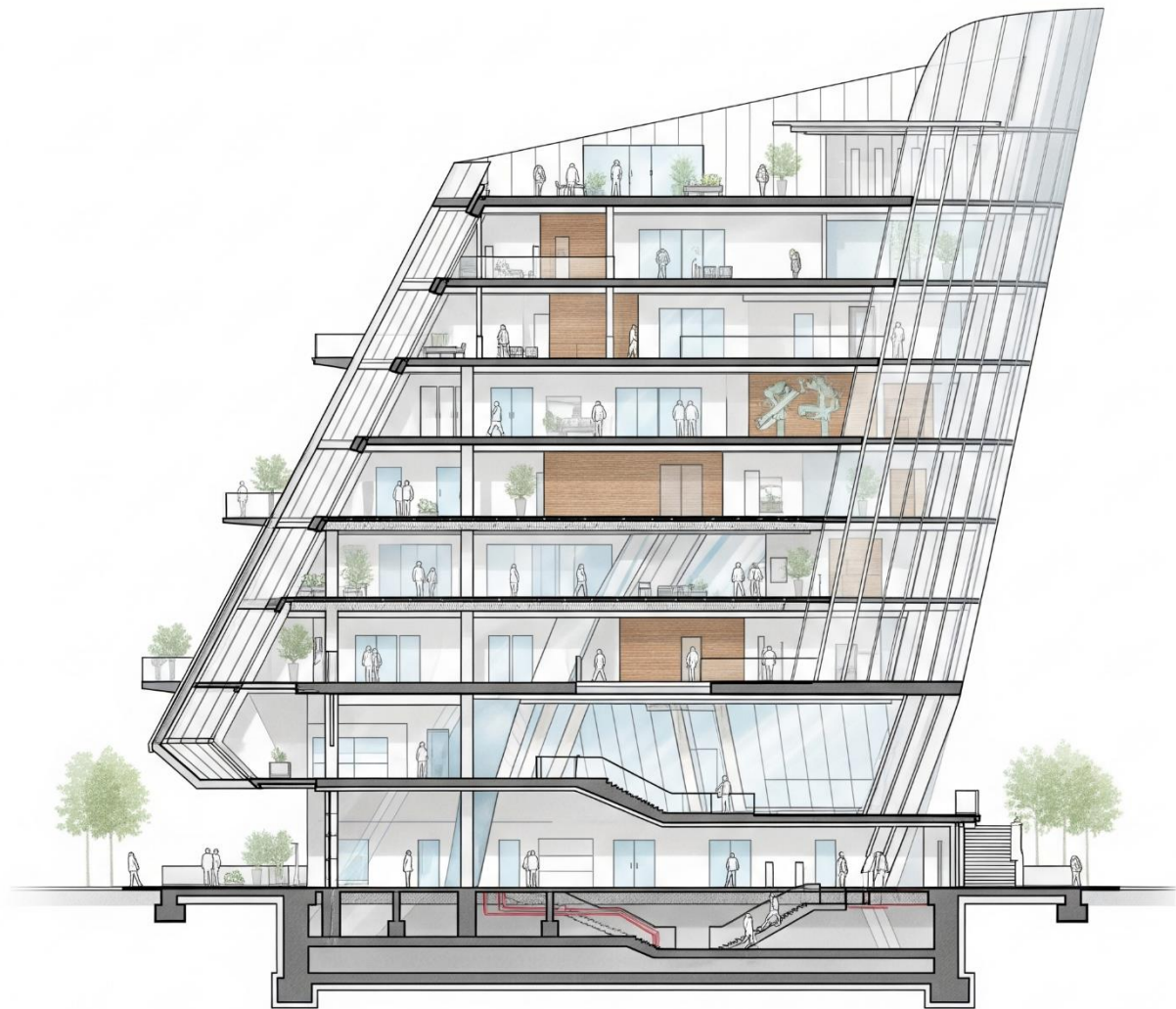
|                | <b>RPA99/2003</b> |                 |                 |                 | <b>RPA2024</b>  |                 |                 |                 |
|----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Niveau</b>  | <b>Choix Al</b>   | <b>Choix At</b> | <b>Choix Ac</b> | <b>Choix Ad</b> | <b>Choix Al</b> | <b>Choix At</b> | <b>Choix Ac</b> | <b>Choix Ad</b> |
| <b>Story13</b> | 6T12              | 2T10            | 3T14            | 4T14            | 6T14            | 2T10            | 6T14            | 6T16            |
| <b>Story12</b> |                   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| <b>Story11</b> |                   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| <b>Story10</b> |                   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| <b>Story9</b>  |                   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| <b>Story8</b>  |                   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| <b>Story7</b>  |                   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| <b>Story6</b>  |                   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| <b>Story5</b>  |                   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| <b>Story4</b>  |                   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| <b>Story3</b>  |                   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| <b>Story2</b>  |                   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| <b>Story1</b>  |                   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |

**Constatation :**

Pour le ferrailage des voiles il est bien clair selon l'étude et le calcul de ferrailage que y a une augmentation remarquable des sections d'aciers selon le RPA2024 de 60%.

# *CHAPITRE VII*

## *Etude De L'infrastructure*



### VII.1. Introduction

Les fondations sont des éléments qui sont directement en contact avec le sol, elles assurent ainsi la transmission et la répartition des charges de la superstructure vers le sol sur lequel elles reposent. Donc elles représentent une partie essentielle de l'ouvrage.

L'instabilité des constructions lors d'un séisme majeur est souvent causée par le sous dimensionnement des fondations. Celles-ci doivent transmettre au sol les charges verticales et les charges sismiques horizontales. Cela exige d'une part une liaison efficace des fondations avec la superstructure, et d'autre part un bon ancrage au niveau du sol.

### VII.2. Fonctionnalités des fondations

Dans le cas général, un élément de la structure peut transmettre à sa fondation

- Un effort normal : charges verticale centrée dont il convient de connaître les valeurs extrêmes.
- Une force horizontale résultante dû à l'actions du vent ou du séisme qui peut être variable en grandeur et en directions.
- Un moment qui peut être de grandeur variable et s'exerce dans des plans différents.

Compte tenu de ces sollicitations, la conception générale des fondations doit assurer la cohérence du projet vis-à-vis du site, du sol, de l'ouvrage et l'interaction sol structure.

Elles servent aussi à :

- Réaliser l'encastrement de la superstructure
- La bonne répartition des charges
- Limiter les tassements des sols

### VII.3. Classification des fondations

Fondé un ouvrage consiste essentiellement à répartir les charges qu'ils supportent sur le sol ou dans le sol suivant l'importance des charges et la résistance du terrain.

Lorsque les couches de terrain capable de supportée l'ouvrage sont à une faible profondeur on réalise les fondations superficielles (semelles isolées, filantes ou radier général).

Lorsque les couches de terrain capable de supportée l'ouvrage sont à une grande profondeur on réalise les fondations profondes et semi profondes (puits ou pieux).

### VII.4. Choix du type de fondation

Avec une capacité portante du terrain égale à 2.2 bars pour un ancrage de 6.46m à partir du terrain naturel, la première approche de semelles filantes et filantes croisées nous conduit à des dimensions très importantes (largeur de la semelle) favorisant ainsi le chevauchement des bulbes de pression sous semelles voisines engendrant inévitablement l'instabilité de l'ouvrage.

Notre choix portera sur un radier nervuré, qui est un système de fondations composé d'une dalle occupant la totalité de la surface de l'emprise de la structure et des nervures, il présente les avantages suivants :

- Une meilleure rigidité (disposition de nervure)
- Une répartition équitable des charges
- Evite les tassements différentiels importants.



- Facilité de coffrage et de mise en œuvre du béton.
- Rapidité d'exécution.

#### VII.4.1 Justification pour le choix de des fondations :

Le choix de type de fondation est en fonction de plusieurs paramètres qui sont :

- Les caractéristiques du sol
- Le type de la structure
- Les charges transmises au sol

#### VII.4.2. Confirmation de choix :

Si nous proposons en premier lieu des semelles filantes, la surface minimale nécessaire pour que celles-ci transmettent au sol une contrainte inférieure à la contrainte admissible :

$$S_s = \frac{N_{ser}}{\sigma_{adm}} \geq 50\% S_{bat}$$

Avec :

$S_s$ : la surface des semelles.

$\sigma_{adm}$ : contrainte admissible du sol.

Calcul de la surface  $S_s$

La somme des efforts normaux apportés par les poteaux et les voiles à la base à l'ELS  $N_{ser}$

$$N_{ser} = 128741.36 \text{ KN} \quad \sigma_{sol} = 220 \text{ KN/m}^2$$

$$S_s = \frac{128741.36}{220} = 585.188 \text{ m}^2 < S_{bat} = 0.5 \times 1293.6 = 646.8 \text{ m}^2 \dots\dots\dots \text{CNV}$$

La surface nécessaire pour la fondation dépasse 50% de la surface d'emprise du bâtiment,

Pour cela on a opté pour un radier général nervuré comme type de fondation pour fonder l'ouvrage. Ce type de fondation présente plusieurs avantages qui sont :

- L'augmentation de la surface de la semelle qui minimise la forte pression apportée par la structure.
- La réduction des tassements différentiels.
- La facilité d'exécution.

#### Remarque :

Des calculs et des vérifications sur logiciel Etabs ont été menés pour les semelles isolés et les semelles filantes, ces derniers ont montrés que ces types de fondations ne conviennent pas à notre structure, pour cela nous avons opté pour un radier général.

### VII.5. Etude du radier général :

Un radier est une dalle pleine réalisée sous toute la surface de la structure. Cette dalle peut être massive ou nervurée, dans ce cas la dalle est mince mais raidie par des nervures croisées de grande hauteur.

Dans notre cas on optera pour un radier nervuré (plus économique que pratique) renversé.

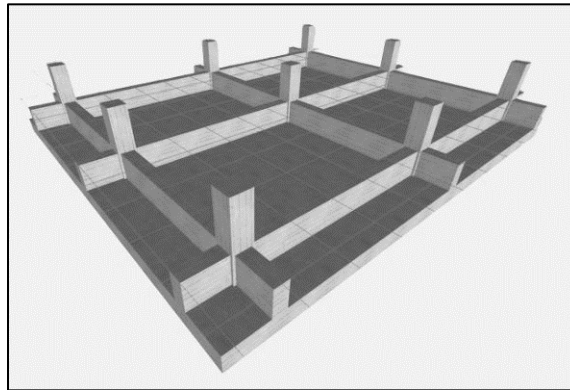


Figure VII- 1: Coupe 3D d'un radier nervuré.

#### VII.5.1. Combinaison d'action

Les combinaisons d'actions à prendre en compte lors du calcul du radier sont :

- ELU :  $1.35G + 1.5Q$
- ELS :  $G + Q$

#### VII.5.2. Prédimensionnement de radier

Le radier est assimilé à un plancher nervuré renversé soumis à la réaction du sol. Son prédimensionnement doit satisfaire les conditions suivantes :

- La plus grande portée :  $L_{\max} = 8.00\text{m}$ .
- La largeur de la nervure :  $b_0 \leq b_{\text{poteau}}$   $b_0 \leq 0.75\text{m}$ , on adopte :  $b_0 = 0.50\text{m}$
- Epaisseur de l'hourdis :  $h_0 \geq \frac{L_{\max}}{20} = \frac{8}{20} = 0.40\text{m}$ , on adopte  $h_0 = 0.50\text{m}$
- La hauteur de la nervure :  $h_t \geq \frac{L_{\max}}{10} = \frac{8}{10} = 0.75\text{m}$

Afin que la répartition des contraintes sous le radier soit linéaire, il faut s'assurer que le radier est de type rigide, pour cela la hauteur totale « h » de la nervure doit satisfaire la condition de la longueur élastique

- La condition de la longueur élastique

$$L_{max} \leq \frac{\pi}{2} l_e \cdot a$$

Avec :  $l_e = \sqrt[4]{\frac{4 \times E \times I}{K \times b_{sf}}} \quad l_e = 6.811 \text{ m}$

Portée max entre deux nervures successive (entre axe).

$l_e$ : La longueur élastique de la semelle.

E : Module d'élasticité différé du béton  $E = 3700 \sqrt[3]{f_{c28}} = 10818865.631 \text{ kPa}$

I : l'inertie de la semelle

b : la largeur de la semelle  $b_{sf} = 2 \text{ m}$

K: le coefficient de raideur du sol.

On peut prendre pour  $\sigma_{adm} = 2.2 \text{ bars}$  et  $K = 44000 \text{ (KN/m}^2/\text{m)}$

Alors la relation devient:

$$h_n \geq \sqrt[3]{\frac{48 \times K \times b_{sf} \times l^4}{E \times b_n \times \pi^4}}$$

**Remarque :**

$h_n$  est calculé par l'inertie d'une section rectangulaire pour faciliter les calculs mais pour une section plus économique on doit la calculer pour section tee on ajoute les ailes de la semelle

**VII.5.3. Résultats de de calcul selon le RPA99/2003 :**

Tableau VII- 1: Les dimensions qui vérifient le RPA99/2003.

|                                                                 |          |
|-----------------------------------------------------------------|----------|
| $a_p$ (mm)                                                      | 800      |
| $h_s$ (mm)                                                      | 400      |
| $b_{sf}$ (mm)                                                   | 4950     |
| $b_n$ (mm)                                                      | 500      |
| $h_n$ (mm)                                                      | 1300     |
| k module élastique du sol (MN/m <sup>3</sup> )                  | 44       |
| E module de young du béton en (MPa)<br>donner pour un $f_{c28}$ | 10818.86 |
| Portée entre Axe (mm)                                           | 8000     |
| Portée entre nœuds d'appuis (mm)                                | 7200     |

|                        |                       |
|------------------------|-----------------------|
| I inetie de la nervure | mm <sup>4</sup>       |
| section T              | 3.46x10 <sup>12</sup> |

$$8m \leq \frac{\pi}{2} l_e \cdot a = 1.27m$$

Alors la condition de la longueur élastique est vérifiée.

### Le choix final :

Epaisseur de la dalle du radier :  $h = 40 \text{ cm}$ .

Les dimensions de la nervure :

$$h_N = 130 \text{ cm}$$

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

- **Vérifications nécessaires:**
- **Vérification des contraintes sous le radier :**
- a. **Calcul des contraintes manuel :**

Le rapport du sol offre la contrainte de sol, déterminée par les différents essais in-situ et au laboratoire :  $\sigma_{sol} = 2.2 \text{ bars}$

Les contraintes du sol sont données par :

Tableau VII- 2: Les donnees du modele pour la verification des contraintes RPA99/2003.

| Nu         | Ns          | f <sub>c28</sub> | $\sigma_{sol}$ | S <sub>0 radier</sub> | L <sub>max</sub> | Lx   | Ly | Ix             | Iy             |
|------------|-------------|------------------|----------------|-----------------------|------------------|------|----|----------------|----------------|
| kN         | kN          | MPa              | Bars           | m <sup>2</sup>        | m                | m    | m  | m <sup>4</sup> | m <sup>4</sup> |
| 201940.092 | 148108.6249 | 25               | 2.2            | 1293.6                | 8                | 30.8 | 42 | 102263.392     | 190159.2       |

### - Sollicitation du premier genre:

On doit vérifier que:

$$\sigma_{ser} = \frac{N_{ser}}{S_{rad}} \leq \bar{\sigma}_{sol}$$

$$\sigma_{ser} = \frac{N_{ser}}{S_{rad}} = \frac{148108.6244}{1293.6} = 99.52 \leq \bar{\sigma}_{sol} = 220 \dots\dots\dots \text{C.V}$$

### - Sollicitation du second genre :

On doit vérifier les contraintes sous le radier ( $\sigma_1 ; \sigma_2$ )

Avec :

$$\sigma_1 = \frac{N}{S_{rad}} + \frac{M}{I} V$$

$$\sigma_2 = \frac{N}{S_{rad}} - \frac{M}{I} V$$

On vérifie que :

$\sigma_1$  : ne doit pas dépasser  $1.5 \sigma_{sol}$

$\sigma_2$  : reste toujours positif pour éviter des tractions sous le radier.

$$\sigma \left( \frac{L}{4} \right) = \frac{3\sigma_1 + \sigma_2}{4} \text{ Reste toujours inférieur à } 1.33\sigma_{sol}$$

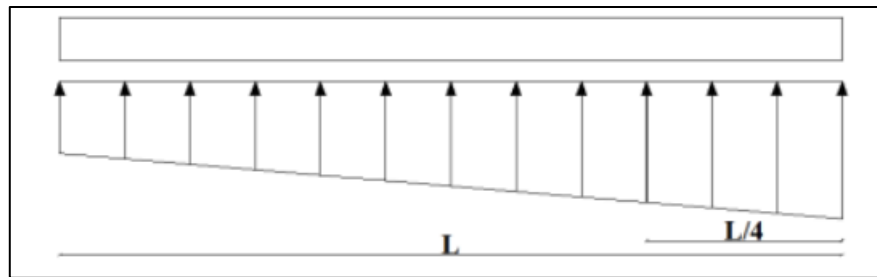


Figure VII- 2: Contrainte sous le radier.

Tableau VII- 3: Verification des contraintes RPA99/2003.

| ELS        | ELU         | Stotale        | $\sigma_s$ | $\sigma_u$ | $\sigma_{adm}$ | $\sigma_{adm u}$ |
|------------|-------------|----------------|------------|------------|----------------|------------------|
| kN         | kN          | m <sup>2</sup> | bar        | bar        | bar            | bar              |
| 201940.092 | 148108.6249 | 1293.6         | 1.00       | 1.37       | 2.2            | 3.3              |

| $\sigma_1$    | $\sigma_2$    | $\sigma_{adm}$     |
|---------------|---------------|--------------------|
| 1.38          | 1.26          | 1.50               |
| $\sigma_1'$   | $\sigma_2'$   | $\sigma_{adm}$     |
| 0.62          | 0.74          | 1.50               |
| $\sigma_{m1}$ | $\sigma_{m2}$ | $1,33\sigma_{adm}$ |
| 1.19          | 1.13          | 2.93               |

- Résultats suivant le logiciel

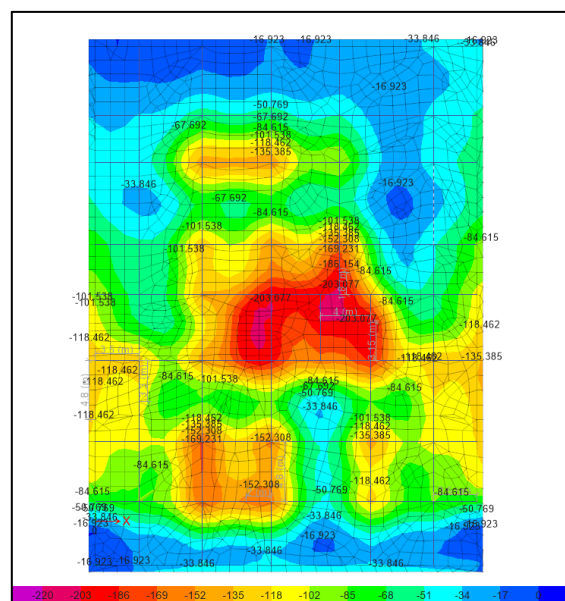


Figure VII- 3: Verification des contraintes sous radier avec L'Etabs RPA99/2003.

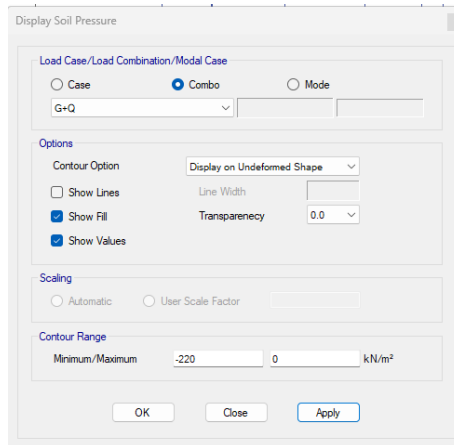


Figure VII- 4: Donnee de la verification des contraintes avec l'Etabs RPA99/2003.

$$\bar{\sigma} = 220 \text{ Mpa} > \sigma_{\text{etabs}} = 205.13 \text{ MPa}$$

- **Vérification de la contrainte tangentielle du béton :**

- **Calcul des contraintes manuel :**

On doit vérifier que :

$$\tau_u \leq \bar{\tau}_u = \min(0.1 f_{c28} ; 4 \text{ MPa}) = 3.26 \text{ MPa}$$

Avec :

$$\tau_u = \frac{T_u}{b d}$$

$$T_u = \frac{q_u L}{2}$$

$$\bar{\tau}_{u1} = \min \left\{ \frac{0.15 \times f_{c28}}{1.15} ; 4 \text{ MPa} \right\}$$

Tableau VII- 4: Verification des contrainte tangentielle RPA99/2003.

|       |             |
|-------|-------------|
| qu=   | 137.40 kN/m |
| Tmax= | 549.62 kN   |
| τl    | 3.26 MPa    |
| hl    | 21.85 cm    |

$$\tau_u = 3.2 \text{ MPa} \leq \bar{\tau}_u = 3.26 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{Vérifié CBA93 A.5.2.1}$$

- **Verification suivant le logiciel Etabs :**

**Sens S12 :**

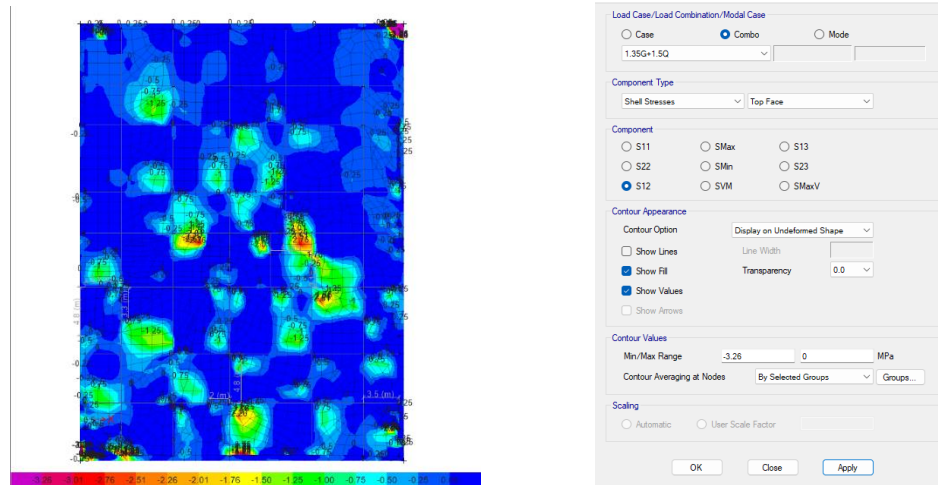


Figure VII- 5: Verification du sens S12-TOP selon le RPA99/2003.

$$\tau_u \text{ etabs} \leq \overline{\tau_u} = 3.26 \text{ MPa}$$

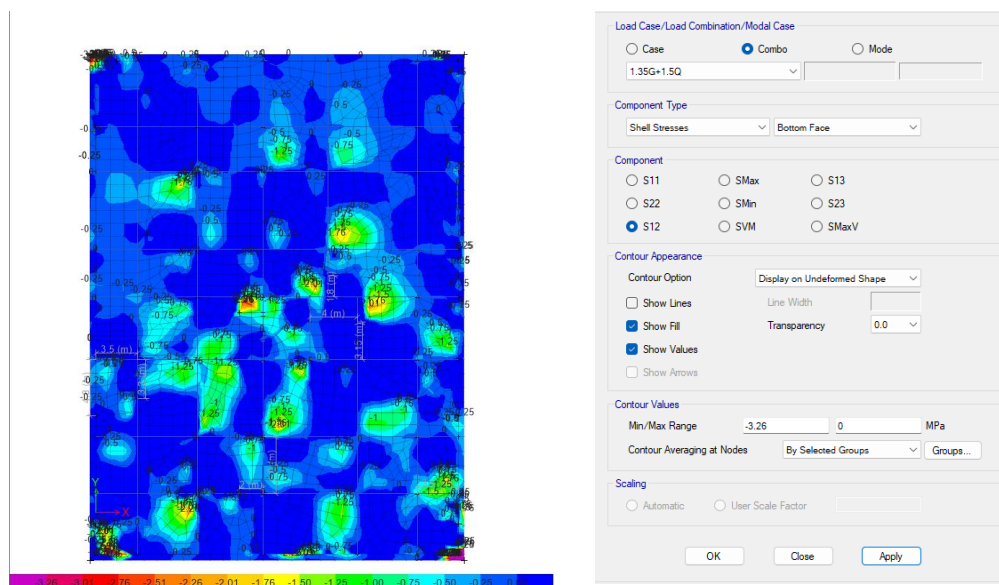


Figure VII- 6: : Verification du sens S12-BOT selon le RPA99/2003.

$$\tau_u \text{ etabs} \leq \overline{\tau_u} = 3.26 \text{ MPa}$$

## Sens S13 :

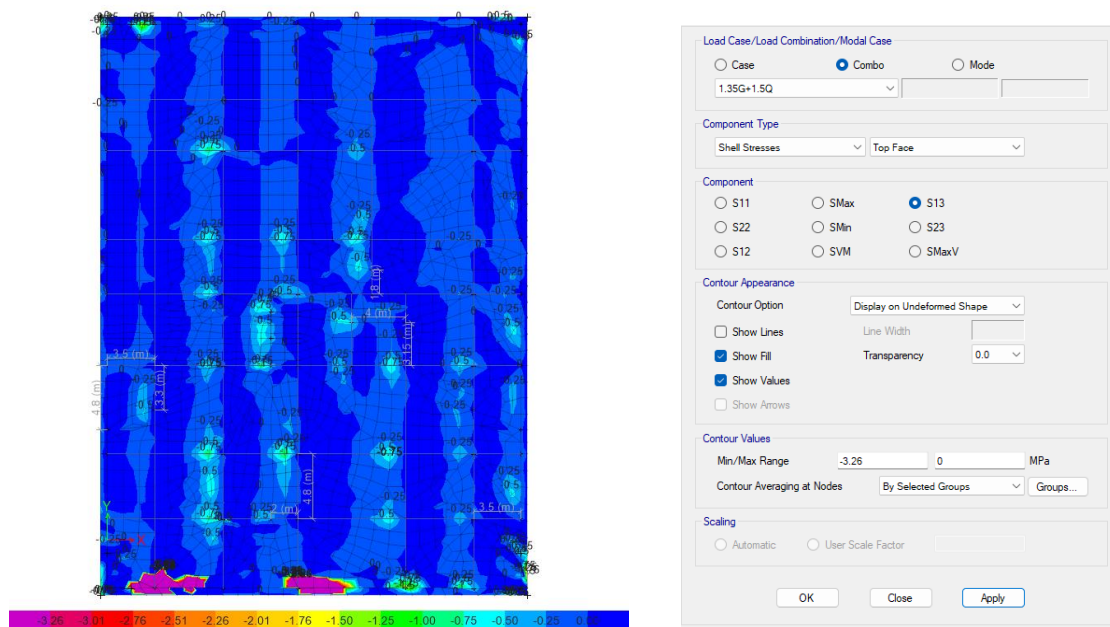


Figure VII- 7: Verification du sens S13-TOP selon le RPA99/2003.

$$\tau_u \text{ etabs} \leq \overline{\tau_u} = 3.26 \text{ MPa}$$

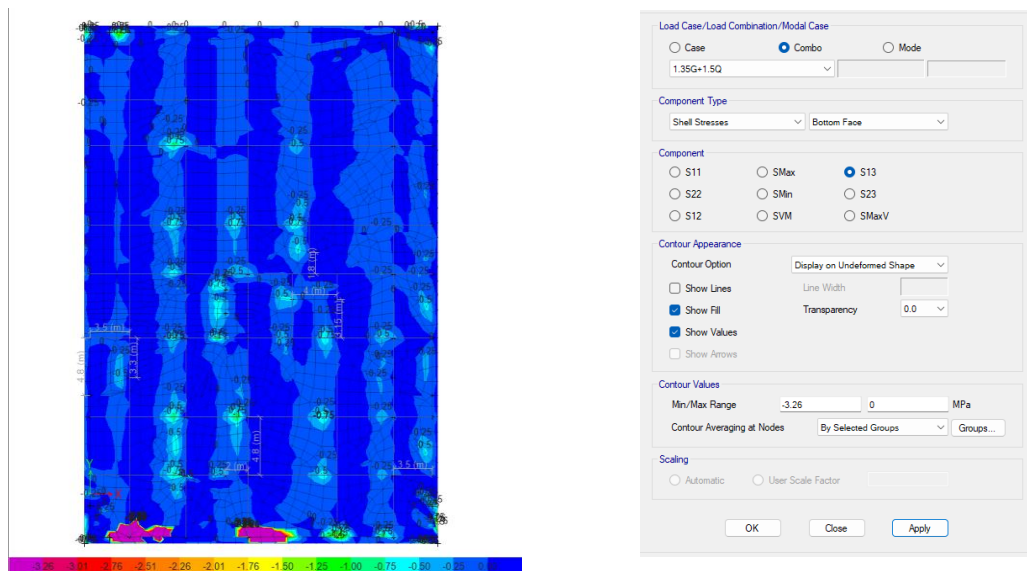


Figure VII- 8/ Verification du sens S13-BOT selon le RPA99/2003.

$$\tau_u \text{ etabs} \leq \overline{\tau_u} = 3.26 \text{ MPa}$$

## Remarque :

Les points singuliers on les négligés car on a des coefficients de sécurité, et le sol n'as pas un comportement unique sur toute la surface comme il est déjà supposé.



- **Vérification de poinçonnement :**

$$\mu c = (a + b + 2h) \times 2$$

$$N_{rd} < 0.045 \cdot h \cdot \mu c \cdot f_{cj} / \gamma_b$$

$\mu c$ : facteur de poinçonnement

$a, b$ : dimensions de poteaux.

$h$  : hauteur de poteau.

$N_{rd}$  : efforts normal du poteau le plus sollicité C18.

Tableau VII- 5: Verification de poinçonnement RPA99/2003.

|                              |              |
|------------------------------|--------------|
| <b>h</b>                     | 3230 mm      |
| <b>a</b>                     | 800 mm       |
| <b>b</b>                     | 800 mm       |
| <b>uc</b>                    | 15920 mm     |
| <b>fcj</b>                   | 25 MPa       |
| <b><math>\gamma_b</math></b> | 1.5 MPa      |
| <b>Nrd</b>                   | 38566.2 kN   |
| <b>Nu C18</b>                | 4360.1692 kN |

$$N_{rd} = 38566.2 \text{ kN} > N_u = 4360.1692 \text{ kN}$$

On pas de risque de poinçonnement.

**a. Ferrailage du radier :**

Le radier fonctionne comme un plancher renversé dont les appuis sont constitués par les poteaux et les poutres qui sont soumises à une pression uniforme provenant du poids propre de l'ouvrage et des surcharges.

La fissuration est considérée très préjudiciable

• **Vérifications nécessaires :**

- **Condition de non fragilité :**

$$A_s^{min} = 0.23 b d \frac{f_{t28}}{f_e} = 6.279 \text{ cm}^2$$

$$A_s^{min} = 6.279 \text{ cm}^2 \leq A_s^{adp} \text{ Pour que la condition soit vérifiée.}$$

**Sens y-y :**

- Nappe supérieur T14 chaque 15cm.

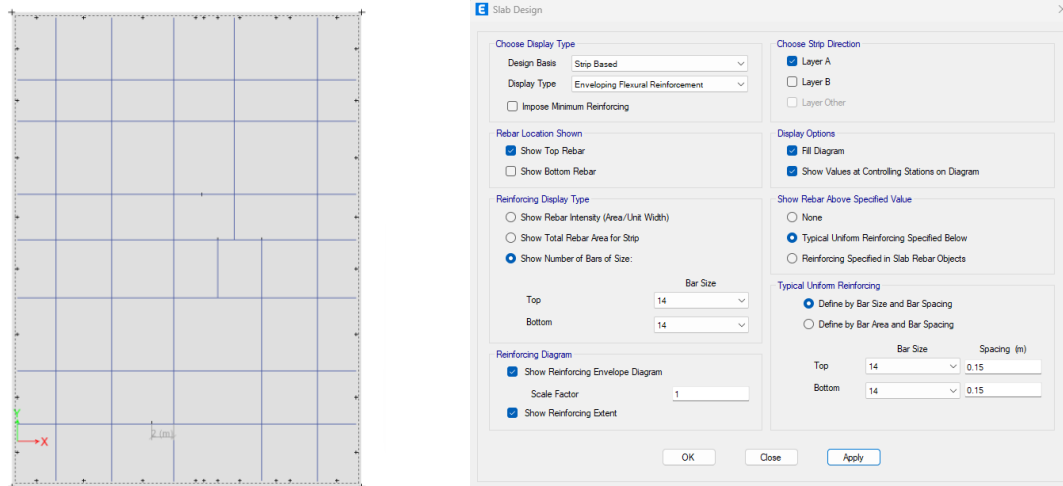


Figure VII- 9: Ferrailage du radier sens y - face TOP RPA99/2003.

- Nappe inférieure T16 chaque 15cm avec des barres de renforcement T14 dans les zones indiquées sur la capture d'écran.

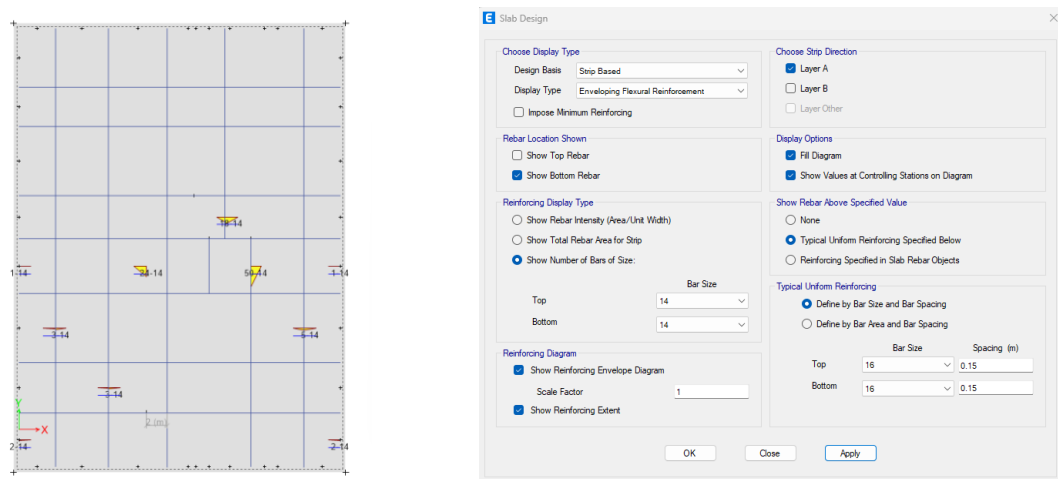


Figure VII- 10: Ferrailage du radier sens y - face BOT RPA99/2003.

**Sens x-x :**

- Nappe supérieur T14 chaque 15cm avec des barres de renforcement T14 dans les zones indiquées sur la capture d'écran.

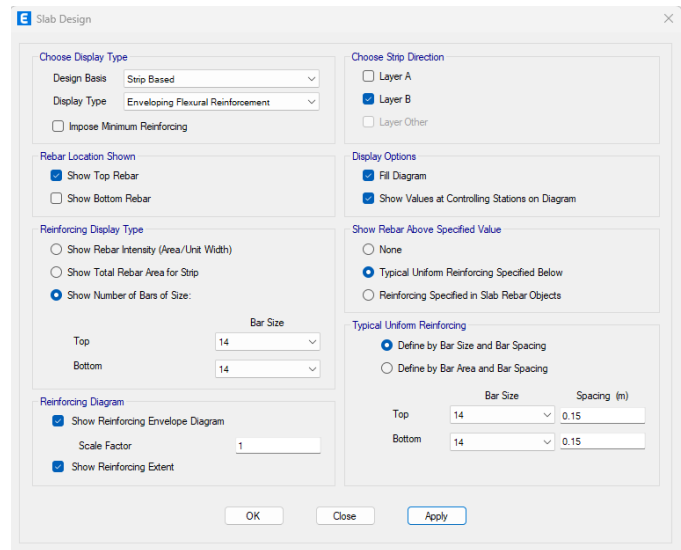
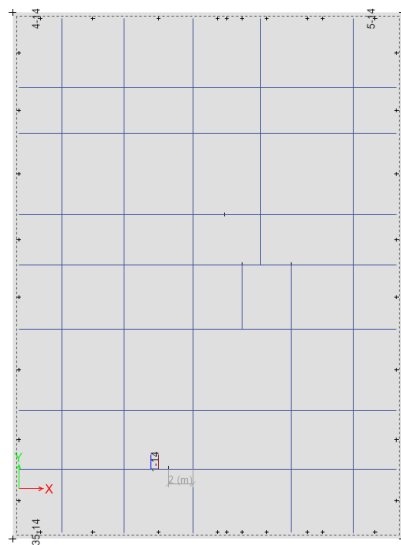


Figure VII- 11: Ferrailage du radier sens x - face TOP RPA99/2003.

- Nappe inférieure T16 chaque 15cm avec des barres de renforcement T14 dans les zones indiquées sur la capture d'écran.

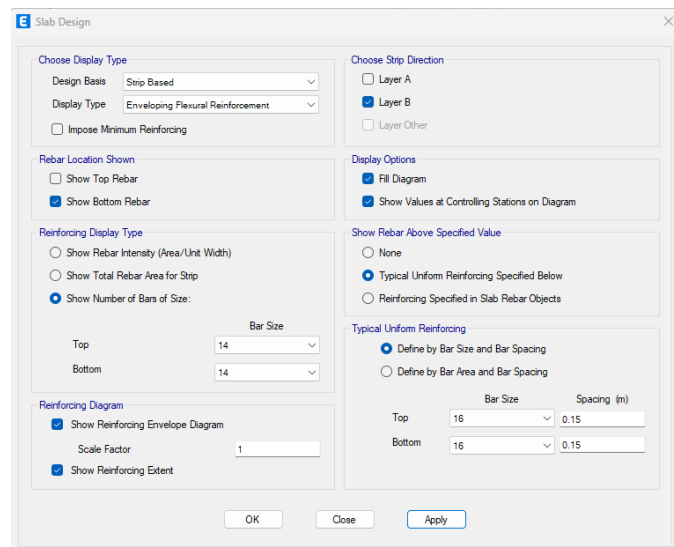
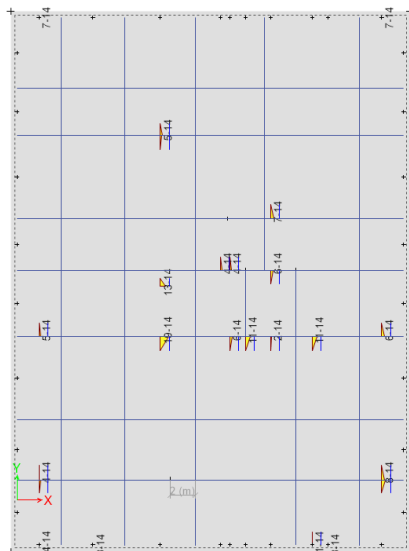


Figure VII- 12: Ferrailage du radier sens x - face BOT RPA99/2003.

**b. Ferrailage des nervures :**

- **Vérification de la contrainte tangentielle du béton :**

On doit vérifier que:

$$\tau_u \leq \overline{\tau_u} = \min(0.1 f_{c28} ; 4 \text{ MPa}) = 3.26 \text{ MPa}$$

Avec :

$$\tau_u = \frac{T_u}{b d}$$

$$T_u = \frac{q_u L}{2}$$

$$\tau_u = \leq \overline{\tau_u} = 3.26 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{Vérifié}$$

- **Vérifications nécessaires :**
- **Condition de non fragilité :**

$$A_s^{min} = 0.23 b d \frac{f_{t28}}{f_e} = 6.279 \text{ cm}^2$$

| Position | $A_s^{adp}$<br>(cm <sup>2</sup> ) | $A_s^{min}$<br>(cm <sup>2</sup> ) | Vérification |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| Travée   | 10.12                             | 6.279                             | Vérifié      |
| Appuis   | 44.27                             | 6.279                             | Vérifié      |

**c. Armatures transversales :**

**BAEL91 modifier 99 [1] :**

$$\frac{A_t}{b_0 S_t} \geq \frac{\tau_u - 0.3 f_e K}{0.8 f_e} \quad (k = 1 \text{ pas de reprise de bétonnage})$$

$$S_t \leq \min(0.9d ; 40\text{cm})$$

$$\frac{A_t f_e}{b_0 S_t} \geq \max\left(\frac{\tau_u}{2} ; 0.4 \text{ MPa}\right)$$

**RPA 2003/99:**

$$\frac{A_t}{S_t} = 0.003 b_0$$

$$S_t \leq \min\left(\frac{h}{4} ; 12\phi_l\right) = 29.5 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{zone nodale}$$

$$S_t \leq \frac{h}{2} = 37.5 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{zone courante}$$

Avec :

$$\phi_t \leq \min\left(\frac{h}{35}; \phi_l; \frac{b}{10}\right) = \text{cm}$$

On trouve :

St = 20 cm .....zone nodale

St = 30 cm .....zone courbée

**d. Armatures de peau :**

Les armatures dénommées « armatures de peau » sont réparties sur les parements des poutres de grande hauteur, leur section est au moins  $3\text{cm}^2/\text{ml}$  par mètre de longueur et paroi mesuré perpendiculairement à leur direction.

$$h = 75 \text{ cm } A_p = 3 \times 2.7 = 8.1 \text{ cm}^2$$

On choisit  $A_p = 8\text{T}14$   $A_s = 9\text{T}25$

**VII.5.3. Résultats de de calcul selon le RPA 2024 :**

Tableau VII- 6 :: Les dimensions qui vérifié l e RPA2024.

|                                                                           |          |
|---------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>a<sub>p</sub> (mm)</b>                                                 | 800      |
| <b>h<sub>s</sub> (mm)</b>                                                 | 400      |
| <b>b<sub>sf</sub> (mm)</b>                                                | 4950     |
| <b>b<sub>n</sub> (mm)</b>                                                 | 500      |
| <b>h<sub>n</sub> (mm)</b>                                                 | 130      |
| <b>k module elastique du sole (MN/m<sup>3</sup>)</b>                      | 44       |
| <b>E module de young du beton en (MPa) donner pour un f<sub>c28</sub></b> | 10818.86 |
| <b>Porté entre Axe (mm)</b>                                               | 8000     |
| <b>Porté entre nue d'appuis (mm)</b>                                      | 7250     |

|                               |                       |
|-------------------------------|-----------------------|
| <b>I inetie de la nervure</b> | mm <sup>4</sup>       |
| <b>section T</b>              | 3.46x10 <sup>12</sup> |

$$L_{\max} = 8\text{m} \leq 1.27 \text{ m}$$

Alors la condition de la longueur élastique est vérifiée.

**Remarque :**

On a gardé les mêmes sections pour pouvoir faire la comparaison.

- **Le choix final :**

Epaisseur de la dalle du radier :  $h = 40 \text{ cm}$ .

Les dimensions de la nervure :

$$h_N = 130 \text{ cm}$$

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

- **Vérifications nécessaires :**

- **Vérification des contraintes sous le radier :**

- a. **Calcul des contraintes manuel :**

Le rapport du sol offre la contrainte de sol, déterminée par les différents essais in-situ et au laboratoire :  $\sigma_{sol} = 2.2 \text{ bars}$

Les contraintes du sol sont données par :

Tableau VII- 7: Les données du modèle pour la vérification des contraintes RPA2024.

| Nu          | Ns          | f <sub>c28</sub> | σ <sub>sol</sub> | S <sub>0</sub><br>radier | L <sub>max</sub> | débord | Lx   | Ly | Ix             | Iy             |
|-------------|-------------|------------------|------------------|--------------------------|------------------|--------|------|----|----------------|----------------|
| kN          | kN          | MPa              | Bars             | m <sup>2</sup>           | m                | cm     | m    | m  | m <sup>4</sup> | m <sup>4</sup> |
| 231537.4169 | 169320.9378 | 25               | 2.2              | 1293.6                   | 8                | 50     | 30.8 | 42 | 102263.392     | 190159.2       |

- **Sollicitation du premier genre:**

On doit vérifier que:

$$\sigma_{ser} = \frac{N_{ser}}{S_{rad}} \leq \bar{\sigma}_{sol}$$

$$\sigma_{ser} = \frac{N_{ser}}{S_{rad}} = \frac{169320.9378}{1293.6} = 130.89 \leq \bar{\sigma}_{sol} = 220 \dots\dots\dots \text{C.V}$$

- **Sollicitation du second genre:**

On doit vérifier les contraintes sous le radier ( $\sigma_1 ; \sigma_2$ )

Avec :

$$\sigma_1 = \frac{N}{S_{rad}} + \frac{M}{I} V$$

$$\sigma_2 = \frac{N}{S_{rad}} - \frac{M}{I} V$$

On vérifie que :

$\sigma_1$  : ne doit pas dépasser  $1.5 \sigma_{sol}$

$\sigma_2$  : reste toujours positif pour éviter des tractions sous le radier.

$$\sigma \left( \frac{L}{4} \right) = \frac{3\sigma_1 + \sigma_2}{4} \text{ Reste toujours inférieur à } 1.33\sigma_{sol}$$

Tableau VII- 8: Verification des contraintes RPA2024.

| ELS       | ELU       | S totale       | $\sigma_s$ | $\sigma_u$ | $\sigma_{adm}$ | $\sigma_{adm u}$ |
|-----------|-----------|----------------|------------|------------|----------------|------------------|
| kN        | kN        | m <sup>2</sup> | bar        | bar        | bar            | bar              |
| 169320.94 | 231537.42 | 1293.6         | 1.041      | 1.43       | 2.2            | 3.3              |

| $\sigma_1$    | $\sigma_2$    | $\sigma_{adm}$     |
|---------------|---------------|--------------------|
| 1.69          | 1.57          | 1.50               |
| $\sigma_1'$   | $\sigma_2'$   | $\sigma_{adm}$     |
| 0.93          | 1.05          | 1.50               |
| $\sigma_{m1}$ | $\sigma_{m2}$ | $1,33\sigma_{adm}$ |
| 1.50          | 1.44          | 2.93               |

- Resultats suivant le logiciel

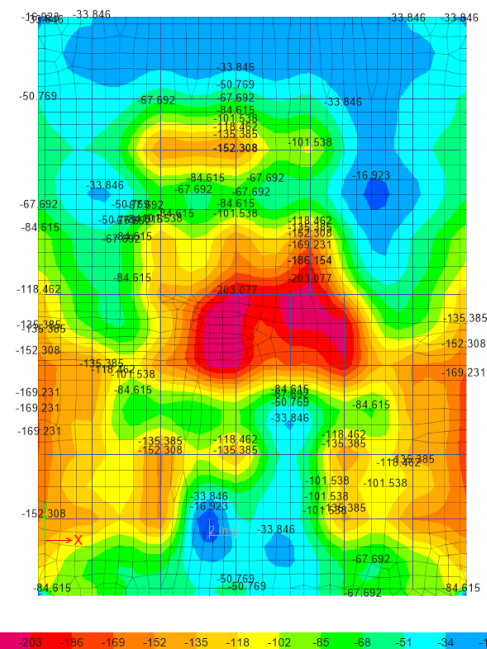


Figure VII- 13: Verification des contraintes sous radier avec L'Etabs RPA2024.

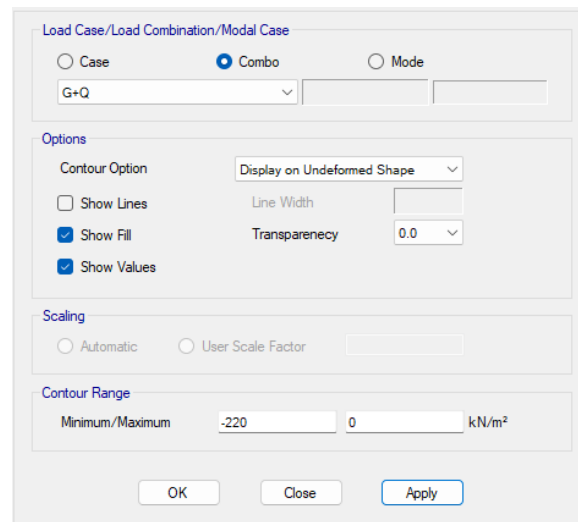


Figure VII- 14:Donnee de la verification des contraintes avec l'Etabs RPA2024.

$$\bar{\sigma} = 220 \text{ Mpa} > \sigma_{\text{etabs}} = 203.1 \text{ MPa}$$

- **Vérification de la contrainte tangentielle du béton :**
  - Calcul des contraintes manuel :**

On doit vérifier que :

$$\tau_u \leq \bar{\tau}_u = \min(0.1 f_{c28} ; 4 \text{ MPa}) = 3.26 \text{ MPa}$$

Avec :

$$\tau_u = \frac{T_u}{b d}$$

$$T_u = \frac{q_u L}{2}$$

$$\bar{\tau}_{u1} = \min \left\{ \frac{0.15 \times f_{c28}}{1.15} ; 4 \text{ MPa} \right\}$$

Tableau VII- 9:Verification des contrainte tangentielle RPA2024.

|             |        |       |
|-------------|--------|-------|
| <b>Qu</b>   | 142.88 | kN/m  |
| <b>Tmax</b> | 571.55 | kN    |
| <b>τ1</b>   | 3.26   | (MPa) |
| <b>h1</b>   | 26.955 | cm    |

$$\tau_u = 3.2 \text{ MPa} \leq \bar{\tau}_u = 3.26 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{Vérifié CBA93 A.5.2.1}$$



- **Verification suivant le logiciel Etabs :**

**Sens S12 :**

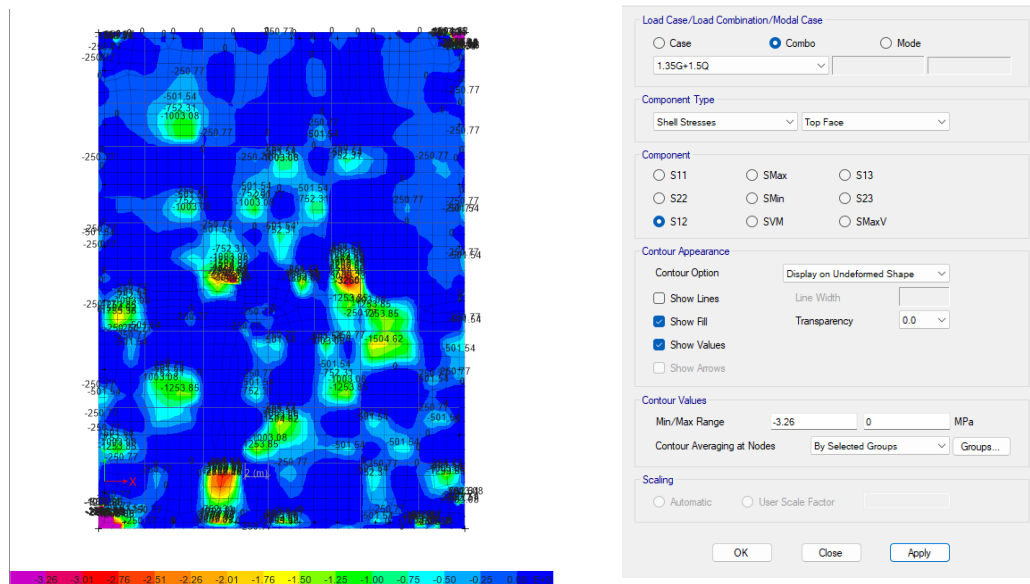


Figure VII- 15: Verification du sens S12-TOP selon le RPA2024.

$$\tau_u \text{ etabs} \leq \overline{\tau_u} = 3.26 \text{ MPa}$$

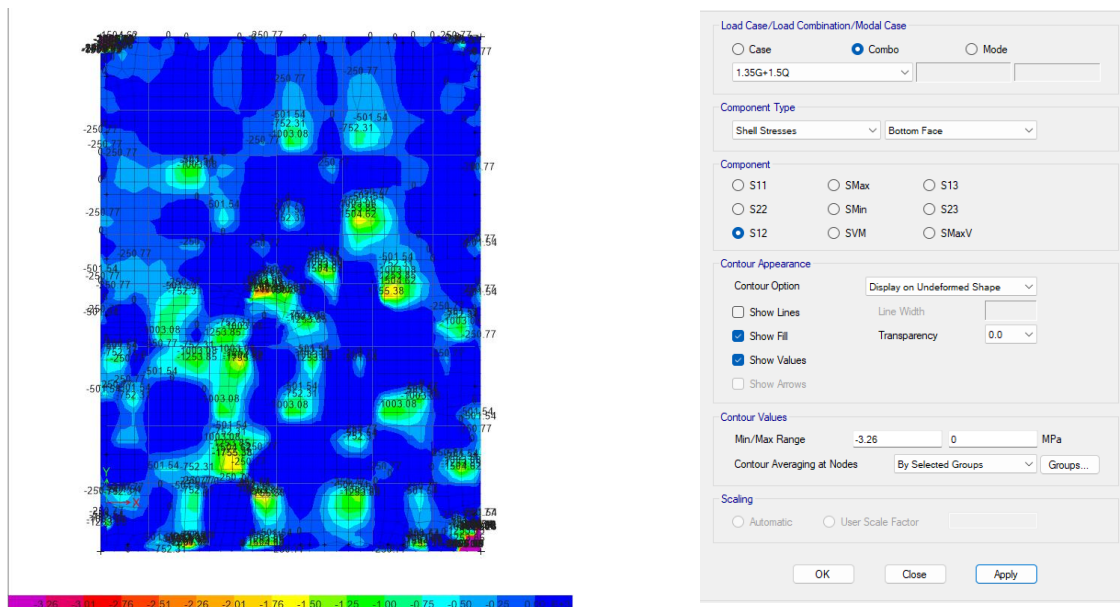


Figure VII- 16: Verification du sens S12-BOT selon le RPA2024.

$$\tau_u \text{ etabs} \leq \overline{\tau_u} = 3.26 \text{ MPa}$$

Sens S13 :

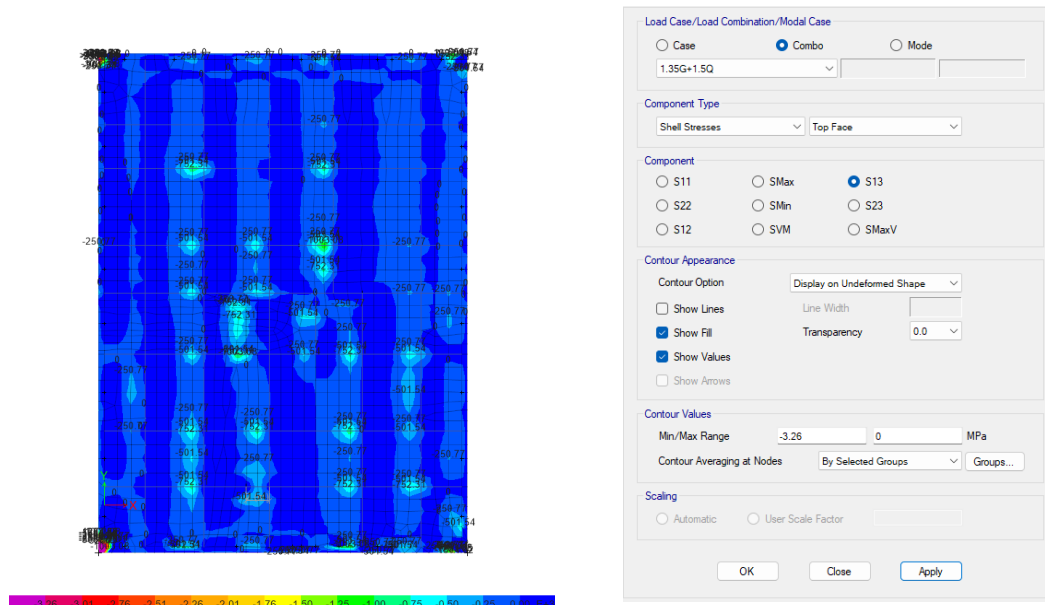


Figure VII- 17: Verification du sens S13-TOP selon le RPA2024.

$$\tau_u \text{ etabs} \leq \overline{\tau_u} = 3.26 \text{ MPa}$$

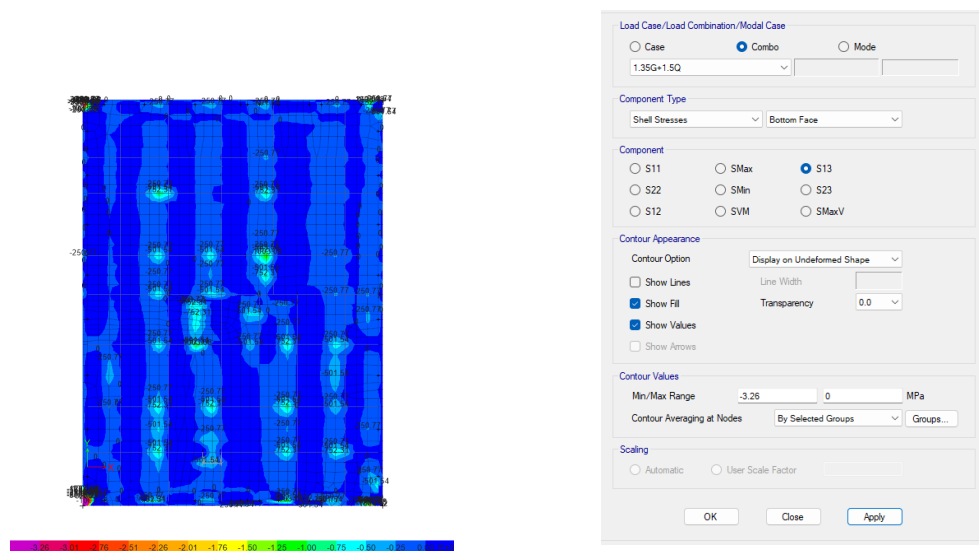


Figure VII- 18: Verification du sens S13-BOT selon le RPA2024.

$$\tau_u \text{ etabs} \leq \overline{\tau_u} = 3.26 \text{ MPa}$$

- **Vérification de poinçonnement :**

$$\mu c = (a + b + 2h) \times 2$$

$$N_{rd} < 0.045 \cdot h \cdot \mu c \cdot f_{cj} / \gamma_b$$

$\mu c$ : facteur de poinçonnement

$a, b$ : dimensions de poteaux.

$h$  : hauteur de poteau.

$N_{rd}$  : efforts normal du poteau le plus sollicité C18.

Tableau VII- 10: Verification de poinçonnement RPA2024.

|                              |           |     |
|------------------------------|-----------|-----|
| <b>h</b>                     | 3230      | mm  |
| <b>a</b>                     | 800       | mm  |
| <b>b</b>                     | 800       | mm  |
| <b>uc</b>                    | 15920     | mm  |
| <b>fcj</b>                   | 25        | MPa |
| <b><math>\gamma_b</math></b> | 1.5       | MPa |
| <b>Nrd</b>                   | 38566.2   | kN  |
| <b>Nu C124</b>               | 5196.3456 | kN  |

$$N_{rd} = 38566.2 \text{ kN} > N_u = 5196.3456 \text{ kN}$$

Le poinçonnement est vérifié.

- **Ferraillage du radier :**

Le radier fonctionne comme un plancher renversé dont les appuis sont constitués par les poteaux et les poutres qui sont soumises à une pression uniforme provenant du poids propre de l'ouvrage et des surcharges.

La fissuration est considérée très préjudiciable

- **Vérifications nécessaires :**

**Condition de non fragilité :**

$$A_s^{min} = 0.23 b d \frac{f_{t28}}{f_e} = 6.279 \text{ cm}^2$$

$$A_s^{min} = 6.279 \text{ cm}^2 \leq A_s^{adp} \text{ pour que la condition sera vérifier.}$$

## Sens y-y :

- Nappe supérieur T14 chaque 15cm.

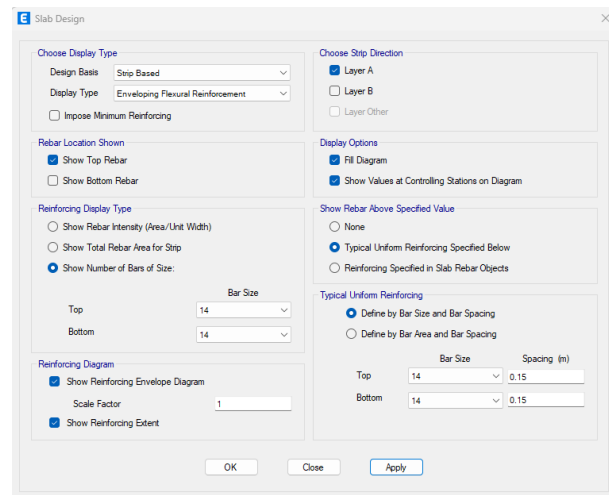
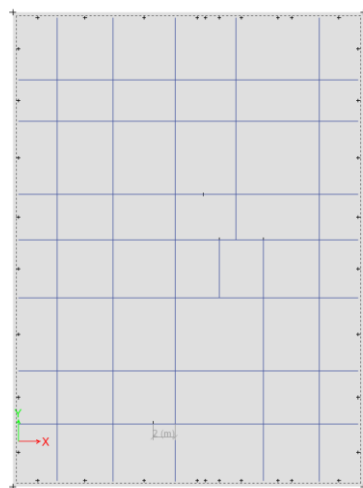


Figure VII- 19: Ferrailage du radier sens y - face TOP RPA2024.

- Nappe inférieure T16 chaque 15cm avec des barres de renforcement T14 dans les zones indiquées sur la capture d'écran.

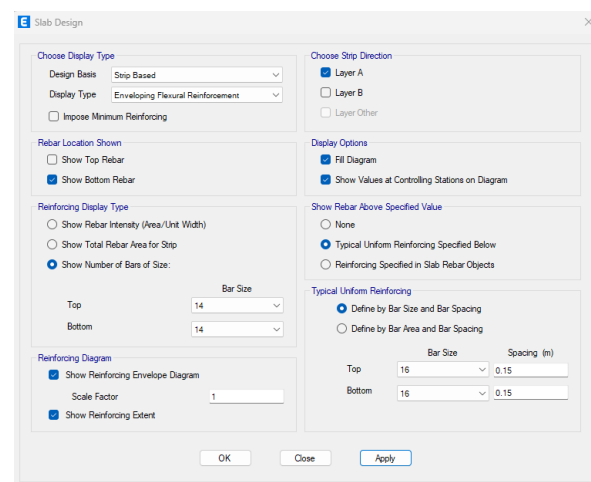
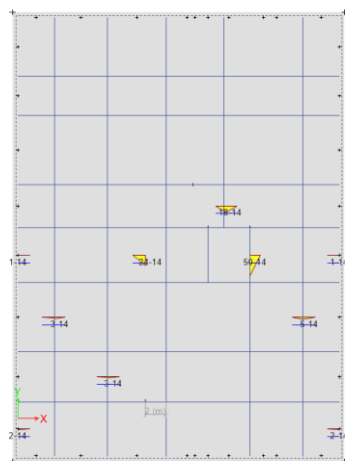


Figure VII- 20: Ferrailage du radier sens y - face BOT RPA2024.

**Sens x-x :**

- Nappe supérieur T14 chaque 15cm avec des barres de renforcement T14 dans les zones indiquées sur la capture d'écran.

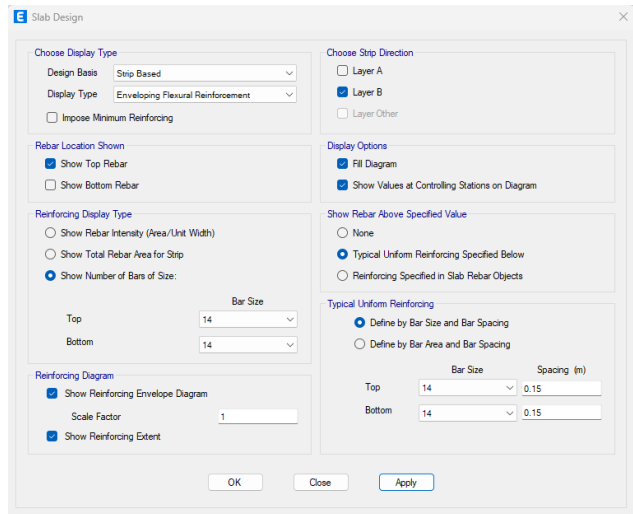
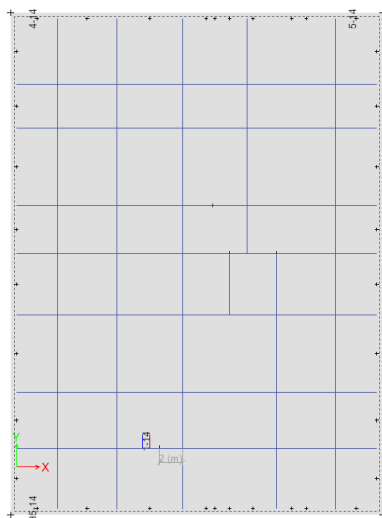


Figure VII- 21: Ferrailage du radier sens x - face TOP RPA2024.

- Nappe inférieure T16 chaque 15cm avec des barres de renforcement T14 dans les zones indiquées sur la capture d'écran.

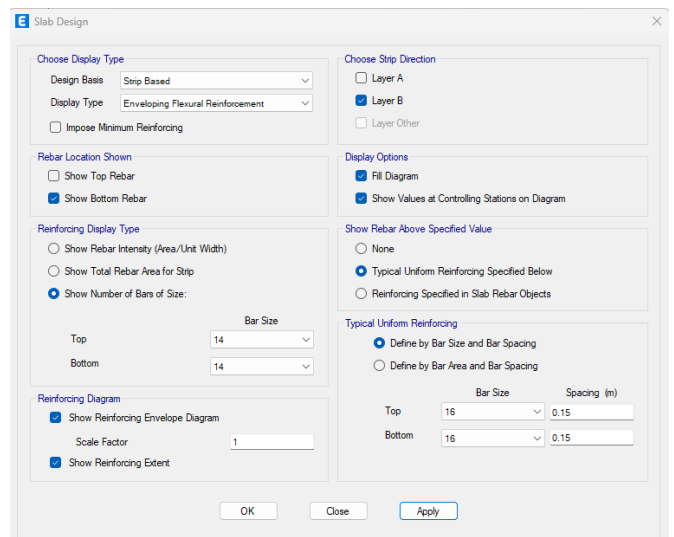
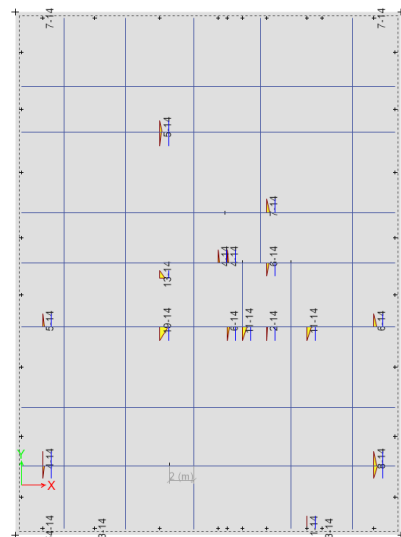


Figure VII- 22: Ferrailage du radier sens y - face BOT RPA2024.

- **Ferraillage des nervures :**
- **Vérification de la contrainte tangentielle du béton :**

On doit vérifier que:

$$\tau_u \leq \overline{\tau_u} = \min(0.1 f_{c28} ; 4 \text{ MPa}) = 3.26 \text{ MPa}$$

Avec :

$$\tau_u = \frac{T_u}{b d}$$

$$T_u = \frac{q_u L}{2}$$

$$\tau_u = \leq \overline{\tau_u} = 3.26 \text{ MPa} \dots\dots \text{Vérifié}$$

- **Vérifications nécessaires :**

**Condition de non fragilité :**

$$A_s^{min} = 0.23 b d \frac{f_{t28}}{f_e} = 6.279 \text{ cm}^2$$

| Position | $A_s^{adp}$<br>(cm <sup>2</sup> ) | $A_s^{min}$<br>(cm <sup>2</sup> ) | Vérification |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| Travée   | 15.06                             | 6.279                             | Vérifié      |
| Appuis   | 14.27                             | 6.279                             | Vérifié      |

- **Armatures transversales :**

**BAEL91 modifier 99 [1] :**

$$\frac{A_t}{b_0 S_t} \geq \frac{\tau_u - 0.3 f_e K}{0.8 f_e} \quad (k = 1 \text{ pas de reprise de bétonnage})$$

$$S_t \leq \min(0.9d ; 40\text{cm})$$

$$\frac{A_t f_e}{b_0 S_t} \geq \max\left(\frac{\tau_u}{2} ; 0.4 \text{ MPa}\right)$$

**RPA99/2003 et RPA 2024:**

$$\frac{A_t}{S_t} = 0.003b_0$$

$$S_t \leq \min\left(\frac{h}{4}; 12\phi_l\right) = 29.5 \text{ cm} \dots \dots \dots \text{zone nodale}$$

$$S_t \leq \frac{h}{2} = 37.5 \text{ cm} \dots \dots \dots \text{zone courante}$$

Avec :

$$\phi_t \leq \min\left(\frac{h}{35}; \phi_l; \frac{b}{10}\right) = \text{ cm}$$

On trouve :

$S_t = 20 \text{ cm} \dots \dots \dots \text{zone nodale}$

$S_t = 30 \text{ cm} \dots \dots \dots \text{zone courante}$

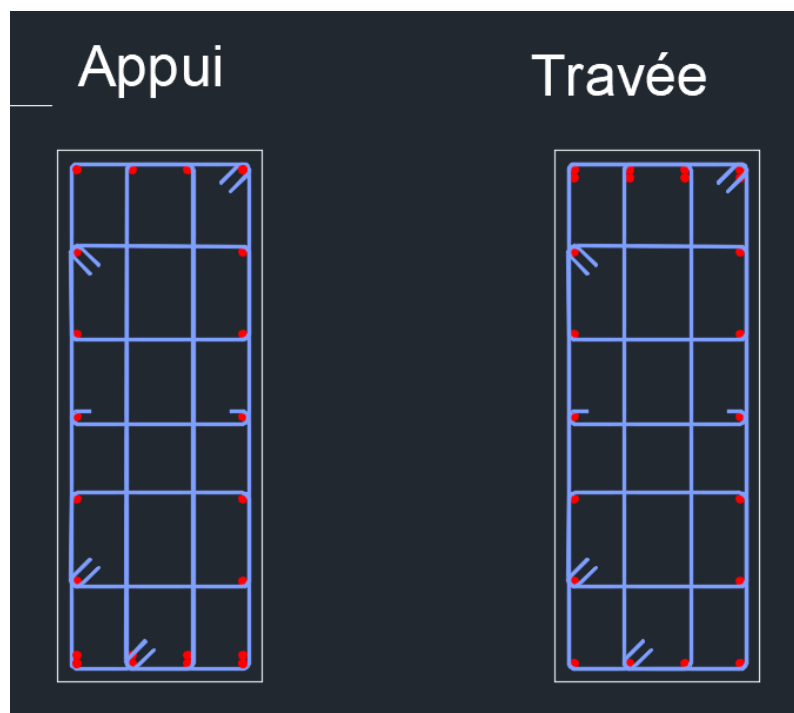
- **Armatures de peau :**

Les armatures dénommées « armatures de peau » sont réparties sur les parements des poutres de grande hauteur, leur section est au moins  $3\text{cm}^2/\text{ml}$  par mètre de longueur et paroi mesuré perpendiculairement à leur direction.

$$h = 75 \text{ cm} \quad A_p = 3 \times 2.7 = 8.1 \text{ cm}^2$$

On choisit  $A_p = 5\text{T}16$

- **Schéma de ferrailage des nervures :**



### VII.6. Voile périphérique :

Notre structure comporte un voile périphérique de soutènement qui s'élève du niveau de fondation jusqu'au niveau du plancher de RDC.

Il forme par sa grande rigidité qu'il crée à la base un caisson rigide et indéformable avec les planchers du RDC et les fondations.

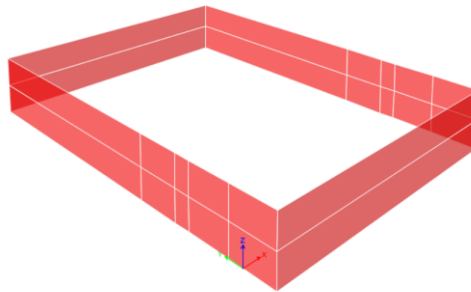


Figure VII- 23: Vue 3D du voile périphérique.

#### VII.6.1. Prédimensionnement :

Pour le pré dimensionnement du voile périphérique, on se réfère aux prescriptions du **RPA99/2003** et le **RPA 2024**, qui stipule d'après l'article 10.1.2.

Les ossatures au-dessous du niveau de base comportent un voile périphérique continu entre le niveau de fondation et le niveau de base

Ce voile doit avoir les caractéristiques minimales ci-dessous :

- Epaisseur  $e \geq 15\text{cm}$ . RPA99/2003  $e \geq 20\text{ cm}$  RPA 2024.
- Les armatures sont constituées de deux nappes.
- Le pourcentage minimum des armatures est de  $0.1\%B$  dans les deux sens (horizontal et vertical)
- Les ouvertures dans ce voile ne doivent pas réduire sa rigidité d'une manière importante.
- La longueur de recouvrement est de  $50\phi$  avec disposition d'équerres de renforcement dans les angles

Avec B : la section du voile



### VII.6.2. Evaluation des charges :

On considère le voile comme une dalle pleine reposant sur quatre appuis, et qui supporte les charges horizontales dues aux poussées des terres. On considère le tronçon le plus défavorable.

Les charges et surcharges prise uniformément répartie sur une bande de 1m se situe à la base du voile (cas le plus défavorable).

$$L_x = 30. ; L_y = 42 \text{ m} ; e = 20c$$

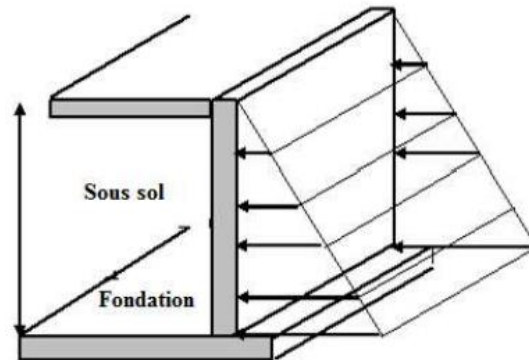


Figure VII- 24: poussées de terres.

La charge de poussées des terres est donnée par :

$$Q = A \times \gamma \times h$$

Avec :

$Q$  : contrainte sur une bande de 1m

$\gamma$  : poids spécifique des terres

$h$  : hauteur du voile

$A$  : coefficient numérique en fonction de l'angle de frottement interne

On suppose un remblai derrière de densité  $\gamma = 20.81 \text{ KN/m}^3$  avec un angle de frottement

La poussée horizontale sur le mur est égale à  $Q = A. \gamma. h$

Angle de frottement =  $10^\circ$

$$A = tg^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) = 0.70$$

D'où :  $Q = 47.26 \text{ kN/m}$  ;  $Q_u = 1.35Q = 63.79 \text{ kN/m}$

**VII.6.3. Effort dans le voile périphérique :**

$$\rho = \frac{L_x}{L_y} = \geq 0.4$$

**VII.6.4. Ferrailage du voile périphérique :**

$$b = 100\text{cm}; h = 20\text{cm}; d = 0.9h = 18\text{cm}; f_e = 500\text{MPa}; f_{c28} = 25\text{MPa}$$

$$f_{t28} = 2.1\text{MPa}; \sigma_s = 435\text{MPa}; f_{bc} = 14.2\text{MPa}$$

$\mu_x$  et  $\mu_y$  sont donnés par l'abaque de calcul des dalles rectangulaire

$$\rho = \frac{L_x}{L_y} = \frac{3.23}{8} = \begin{cases} \mu_x = 0.1101 \\ \mu_y = 0.25 \end{cases}$$

$$M_x = \mu_x q_x L_x^2 = 73.28\text{ kN}$$

$$M_y = \mu_y M_x = 18.32\text{ kN}$$

**Moments en travées :**

$$M_{tx} = 0.85M_x = 54.96\text{KN.m}$$

$$M_{ty} = 0.85M_y = 13.74\text{KN.m}$$

**Moments en appuis:**

$$M_{ax} = M_{ay} = 0.5M_x = 36.64\text{KN.m}$$

|               | Sens | $M_u$<br>(KN.m) | $A_s^{cal}$<br>(cm <sup>2</sup> ) | Choix | $A_s^{adp}$<br>(cm <sup>2</sup> ) | Esp<br>(cm) |
|---------------|------|-----------------|-----------------------------------|-------|-----------------------------------|-------------|
| <b>Travée</b> | x-x  | 54.96           | 6.43                              | HA12  | 7.53                              | 15          |
|               | y-y  | 13.74           | 1.45                              | HA12  | 7.53                              | 15          |
| <b>Appuis</b> | x-x  | 36.64           | 4.2                               | HA12  | 7.53                              | 15          |
|               | y-y  | 9.16            | 1.02                              | HA12  | 7.53                              | 15          |

- Condition exigée par les RPA99/2003**

Le RPA préconise un pourcentage minimum de 0.1% de la section dans les deux sens disposées en deux nappes

$$A_L \geq 0.1 \times 20 \times 100 = 2\text{cm}^2 \dots\dots\dots \text{vérifie}$$

$$A_T \geq 0.1 \times 20 \times 100 = 2\text{cm}^2 \dots\dots\dots \text{vérifie}$$

- **Condition de non fragilité :**

Pour les voiles travaillent dans les deux sens et dont l'épaisseur est comptée entre 12 et 30 cm

On a :

$$12 \leq e \leq 30$$

$$h = e = 20 \text{ cm} ; b = 100 \text{ cm}$$

$$\begin{cases} A_x \geq A_x^{min} ; A_x^{min} = \rho_0 \left[ 3 - \frac{L_x}{L_y} \right] \frac{bh}{2} \\ A_y \geq A_y^{min} ; A_y^{min} = \rho_0 b h \end{cases}$$

$\rho_0 = 0.0008$  Pour les barres de FeE500

$$A_x^{min} = 0.0008 \left[ 3 - \frac{L_x}{L_y} \right] \frac{100 \times 20}{2}$$

$$A_y^{min} = 0.0008 \times 100 \times 20 = 1.6 \text{ cm}^2$$

**En travée :**

$$\begin{cases} A_x = 7.53 \geq A_x^{min} \\ A_y = 7.53 \geq A_y^{min} = 1.6 \text{ cm}^2 \end{cases}$$

**Sur appuis :**

$$\begin{cases} A_x = 7.53 \geq A_x^{min} \\ A_y = 7.53 \geq A_y^{min} = 1.6 \text{ cm}^2 \end{cases}$$

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

Il faut vérifier que :

$$\tau_u = \frac{T_u^{max}}{b d} \leq \bar{\tau}_u = 0.05 f_{c28} = 1.25 \text{ MPa}$$

$$T_x = \frac{q_u L_x L_y}{2L_x + L_y} = \frac{63.79 \times 3.23 \times 8}{2 \times 3.23 + 8} = 113.99 \text{ KN}$$

$$T_y = \frac{q_u L_x}{3} = \frac{63.79 \times 3.23}{3} = 68.68 \text{ KN}$$

$$T_u^{max} = \max(T_x ; T_y) = 113.99 \text{ KN}$$

$$\tau_u = \frac{113.99}{200 \times 1000} = 0.66 \leq \overline{\tau_u} = 0.05 f_{c28} = 1.25 \text{ MPa}$$

- **Vérification à l'E.L.S :**

### Vérification des contraintes :

Il faut vérifier que :

$$\sigma_{bc} \leq \overline{\sigma_{bc}} = 0.6 f_{c28} = 15 \text{ MPa}$$

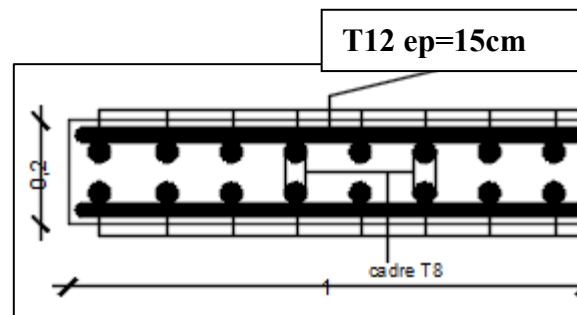


Figure VII- 25: Ferrailage du voile périphérique.

## *Conclusion générale*

Ce mémoire a analysé l'évolution du Règlement Parasismique Algérien (RPA) entre les versions de 2003 et 2024, dans le but d'identifier les améliorations apportées à la conception des structures soumises aux sollicitations sismiques. À travers une comparaison approfondie des prescriptions normatives et une application à des cas d'étude concrets, nous avons mis en évidence des différences significatives dans les exigences de dimensionnement et de renforcement des éléments structuraux.

Les résultats révèlent une augmentation notable des dimensions et des armatures des poteaux, poutres et voiles dans le RPA 2024, visant à renforcer leur ductilité et leur capacité de dissipation de l'énergie sismique. Cette évolution témoigne d'une prise en compte accrue des retours d'expérience post-sismiques ainsi que des avancées en ingénierie parasismique. En parallèle, les voiles présentent une augmentation encore plus marquée, tant en rigidité qu'en résistance, soulignant leur rôle fondamental dans la stabilité globale des structures selon les nouvelles normes.

Ce travail contribue ainsi à une meilleure compréhension des implications pratiques du RPA 2024 pour les ingénieurs et concepteurs en Algérie, en mettant en lumière les ajustements nécessaires pour garantir la sécurité des constructions. Toutefois, ces nouvelles exigences peuvent engendrer des défis économiques et techniques, en particulier pour les projets de petite envergure, ce qui constitue une limite importante à prendre en considération.

Pour approfondir cette étude, il serait pertinent d'analyser l'impact de ces évolutions sur les coûts de construction, ou d'en évaluer l'efficacité à travers des simulations dynamiques appliquées à des structures réelles. Ce mémoire établit ainsi les bases de futures recherches et d'applications concrètes, afin d'accompagner la mise en œuvre du RPA 2024 et de renforcer la résilience sismique du bâti en Algérie.

# **Bibliographie**

## Les documents techniques

- D.T. BAEL 91/99.
- D.T.R. C.B.A 93.
- D.T.R. Règles Parasismiques Algeriennes 99/2003 et 2024.
- D.T.R. Charges Permanentes et Surcharges d'exploitations.
- D.T. EUROCODE 2.

## Les livres :

- VICTOR DAVIDOVICI, Formulaire du béton armé : volume 1 et 2.
- P. C. Varghese: Design of Reinforced Concrete Foundations.

## Les cours:

- Béton armé Master 2, Master 1 et Licence 3.
- Résistance des Matériaux Master 2, Master 1 et Licence 2&3.
- Dynamique des Structures Master 1.
- Parasismique Master 2.
- Recherche Documentaire et conception des mémoires Master 2.
- Fondation Master 1.

## Les logiciels :

- Etabs 22.0.0.
- Autocad 2025.
- Autocad Structural Detailing 2015.
- Socotec.
- Acier.
- Fer.
- RPA99.
- Spectra.
- Microsoft office Word.
- Microsoft office Excel.

**IV.1.1- DESCRIPTION LITHOLOGIQUE :** Le sondage carotté, dont les photos en annexe, a mis en évidence la succession lithologique suivante :

| Profondeur (m) |       | Nature Lithologique.                                   |
|----------------|-------|--------------------------------------------------------|
| 00,00          | 03,00 | Couche d'argile limoneuse de couleur marron            |
| 03,00          | 05,00 | Couche de sol gréseux bien cimenté de couleur jaunâtre |
| 05,00          | 14,00 | Couche de marne grise compacte en profondeur           |
| Fin de sondage |       | 14,00 m                                                |

**IV.1.2- INTERPRETATION DES RESULTATS DE SONDAGE :** D'après le rapport de sondage on peut classer le sol dans les catégories des sols fins.

Sachant que les sondages ont ressortis l'existence de deux principales couches à savoir :

- Couche d'argile limoneuse de couleur marron.
- Couche de sol gréseux bien cimenté de couleur jaunâtre.
- Couche de marne grise compacte en profondeur.

#### IV.1.3- RESULTATS DES ESSAIS PRESSIOMETRIQUE:

| Prof (m) | E(bars) | PL (bars) | Pf (bars) | E/PL  |
|----------|---------|-----------|-----------|-------|
| 2        | 131,49  | 8,01      | 4,24      | 16,41 |
| 4        | 81,02   | 7,60      | 5,53      | 10,66 |
| 6        | 429,76  | 11,24     | 5,23      | 38,23 |
| 8        | 944,85  | 20,52     | 19,50     | 46,04 |
| 10       | 933,39  | 23,60     | 19,67     | 39,55 |
| 12       | 1015,03 | 23,72     | 19,77     | 42,78 |
| 14       | 1015,03 | 23,72     | 19,77     | 42,78 |

- **Conclusion :** les résultats obtenus par les essais présumétrique atteste un sol normalement consolidé en surface et sur consolidé en profondeur ( à partie de 3ml).

#### IV.2- TRAVAUX DES ESSAIS PENETROMETRIQUE :

- **But de l'essai :** en vue de mesurer la résistance de sol, six essais au pénétromètre dynamique ont été prévu.

L'essai de pénétration dynamique permet d'apprécier :

- ✓ Avoir une estimation qualitative de résistance du sol et de son degré d'homogénéité.
- ✓ Estimer empiriquement la contrainte admissible du sol.
- ✓ Fixer d'une manière approximative le type et la profondeur d'ancrage des fondations.

La résistance dynamique du sol, « **Rp** » est obtenus par la formule suivante :



#### IV.6- CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS :

Après avoir finalisé et interprété les résultats obtenus par la campagne géotechnique (essai in-situ, essais de laboratoire) on peut conclure ce qui suit:

- ✚ Le sondage réalisé sur place a donné la succession lithologique suivante :
  - Couche d'argile limoneuse de couleur marron.
  - Couche de sol gréseux bien cimenté de couleur jaunâtre.
  - Couche de marne grise compacte en profondeur.
- ✚ Les essais pressiométrique atteste un sol normalement consolidé en surface et sur consolidé en profondeur.
- ✚ Les essais au laboratoire réalisés sur des échantillons jugés représentatifs montrent un sol à matrice fine, moyennement dense, non saturé, meuble (S3) en surface et ferme (S2) en profondeur.
- ✚ L'analyse chimique atteste un sol ayant une agressivité chimique faible, ce qui va permettre d'utiliser un ciment ordinaire pour la confection de béton des fondations.
- ✚ Le site d'étude est classé dans la catégorie des sols meuble « S3 ».
- ✚ Le tassement calculé à l'aide des essais pressiométrique est admissible.
- ✚ Une présence d'eau a été détectée à **3,40 m**  
✚ de profondeur.

Compte tenu des résultats de cette étude et des calculs effectués nous nous recommandons ce qui suit :

- ✚ Nous proposons des fondations superficielles selon le choix et la conception de bureau d'étude en assurant un ancrage de **03,00m** prenant comme référence la cote de terrain naturelle lors de la campagne géotechnique, pour une contrainte admissible « **Qadm= 02,20 bars** » en assurant une assise homogène.
- ✚ Il est recommandé de badigeonner le béton des fondations.
- ✚ Il est recommandé de préserver le futur ouvrage des infiltrations des eaux aux fondations.

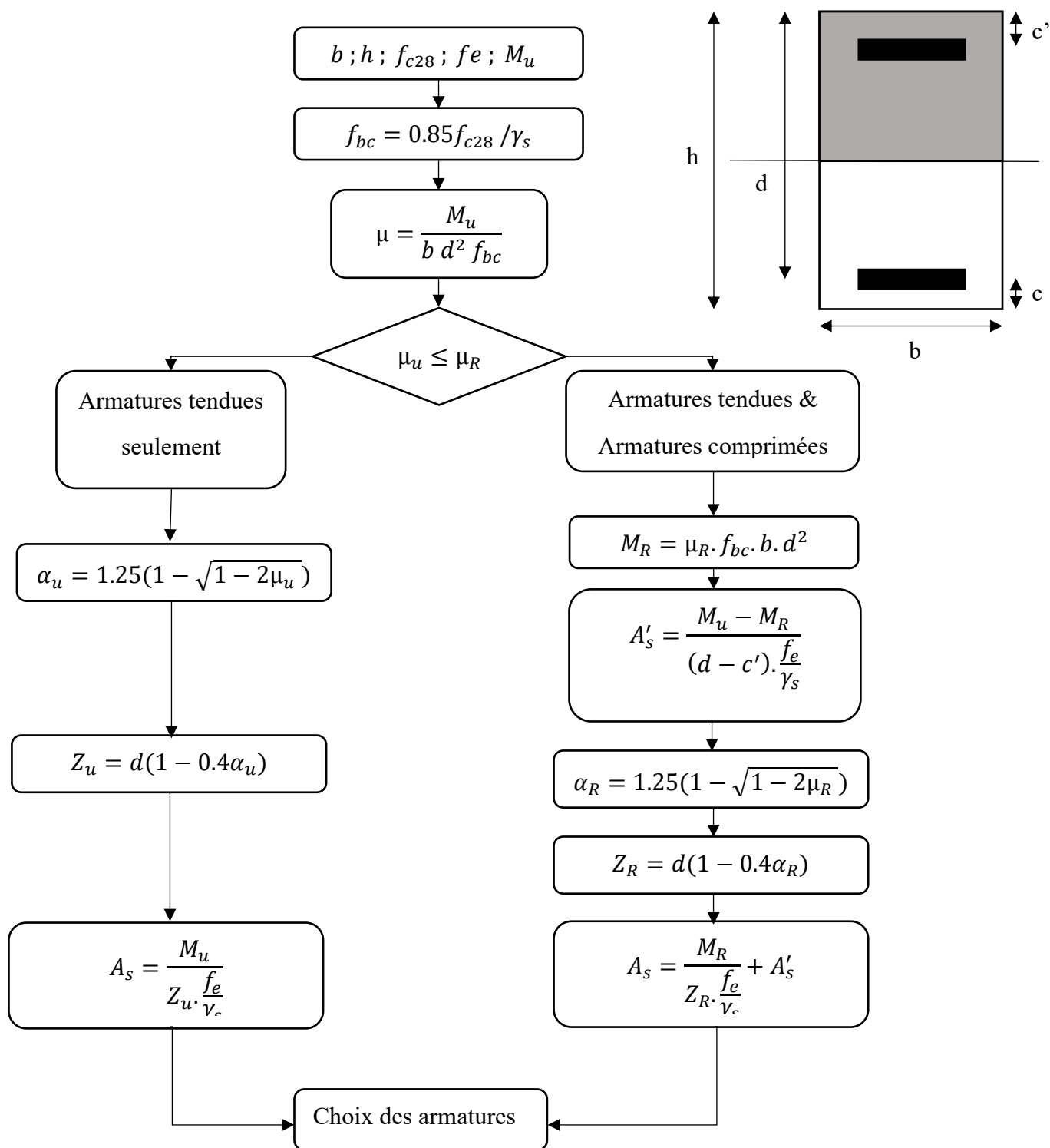
**NB01** : en l'absence des données réelles de l'ouvrage, les solutions et recommandations données par le laboratoire reste que des propositions, le bureau d'étude peut les modifier et les améliorer en exploitant les résultats du présent rapport.

**L'ingénieur chargé d'études**  
**BELAL Brahim Ing Agrée**



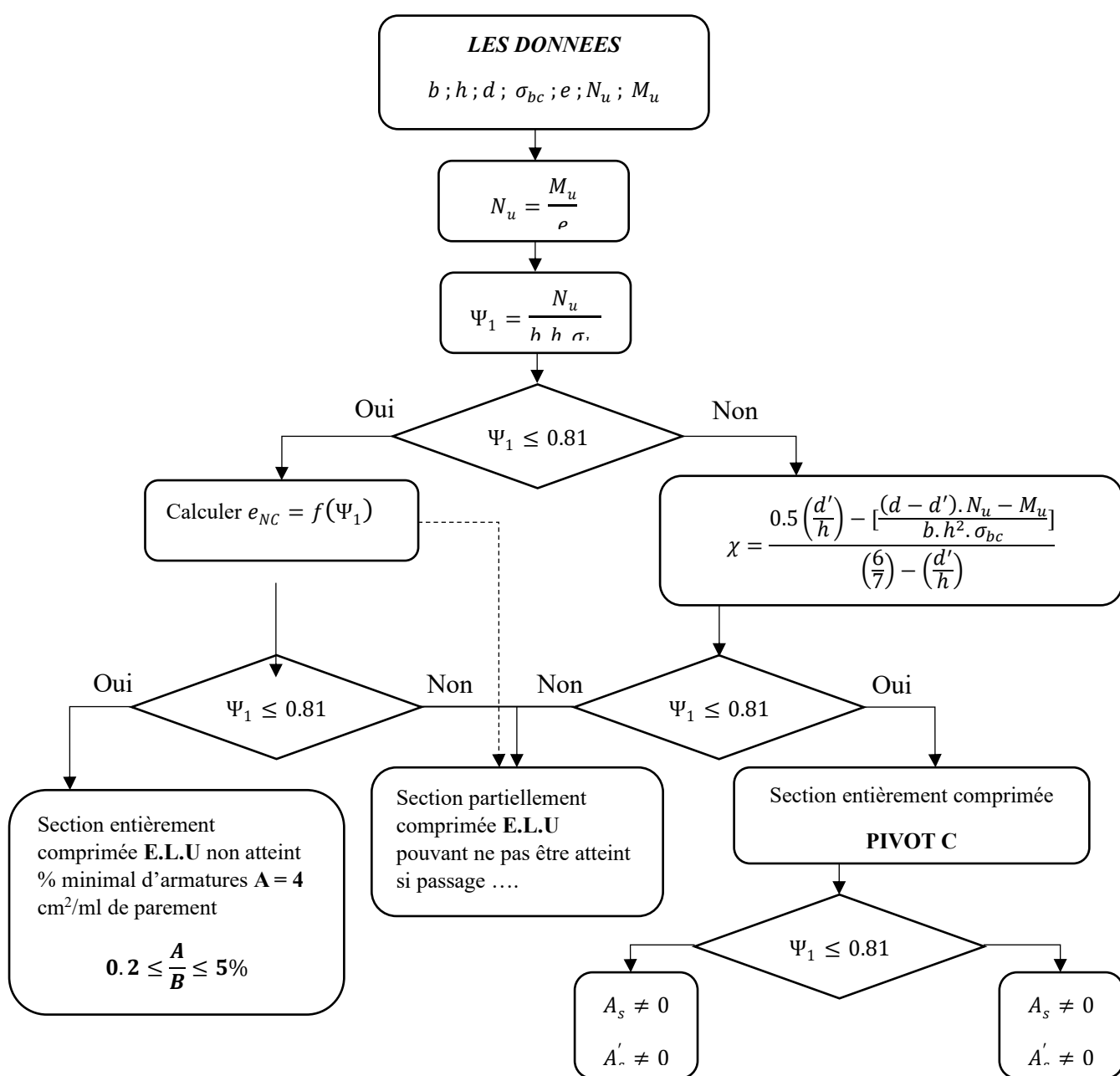
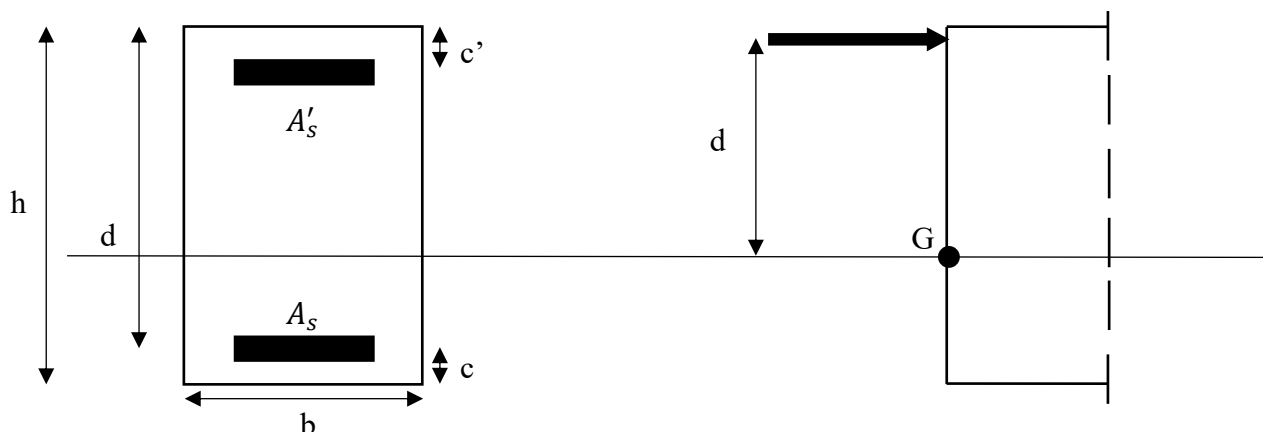


**ORGANIGRAMME -I-**  
**SECTION RECTANGULAIRE A E.L.U EN FLEXION SIMPLE**

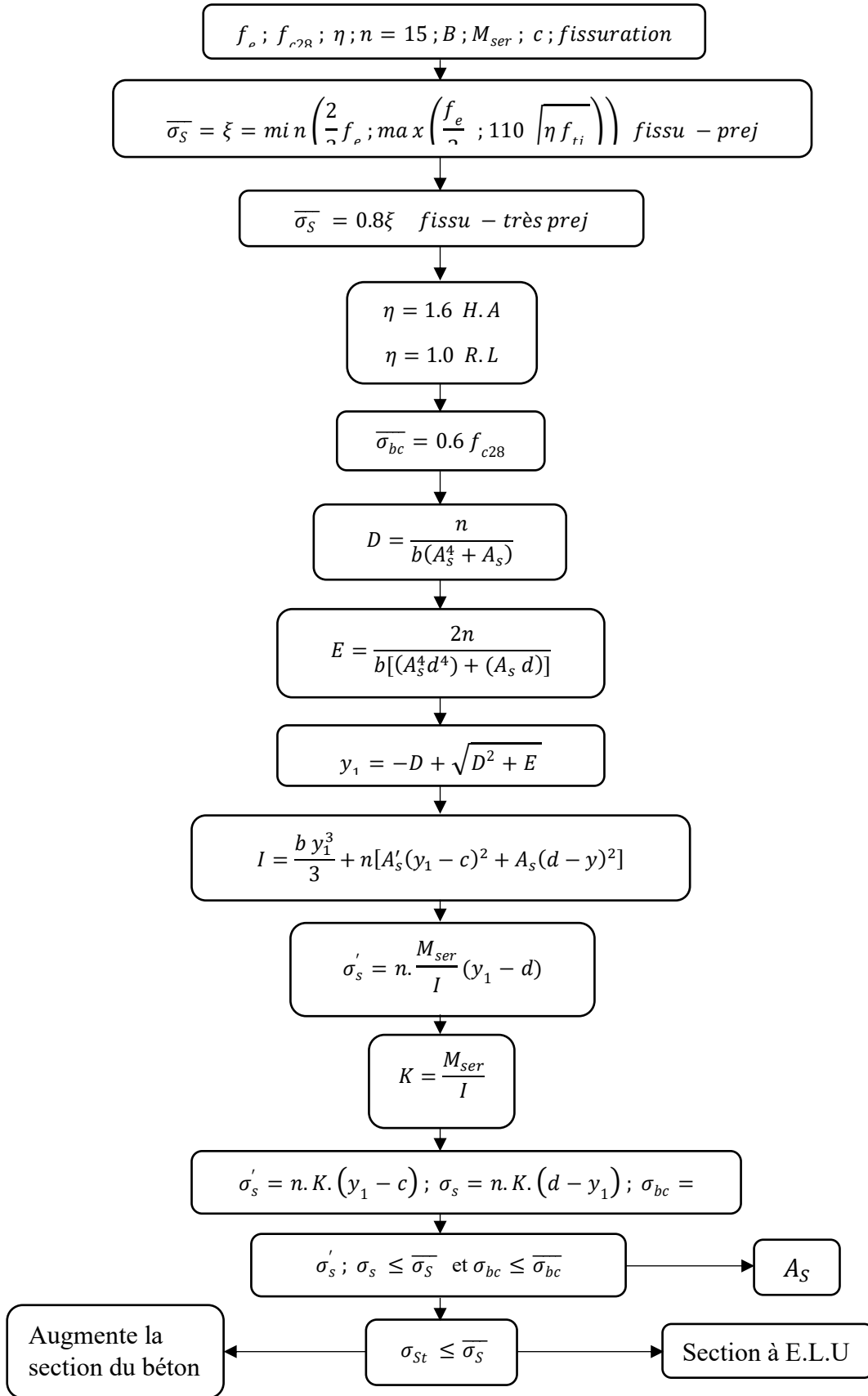


| Nuance | Co,binaison durable<br>$\gamma_s = 1.15 \quad \gamma_b = 1.5 / \gamma_b = 1.2$ |       |       | Combinaison accidentelles<br>$\gamma_s = 1 \quad \gamma_b = 1.15$ |       |       |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------------------------------------------------------------------|-------|-------|
|        |                                                                                |       |       |                                                                   |       |       |
| FeE400 | 348                                                                            | 0.668 | 0.391 | 400                                                               | 0.636 | 0.379 |
| FeE500 | 435                                                                            | 0.617 | 0.371 | 500                                                               | 0.583 | 0.358 |

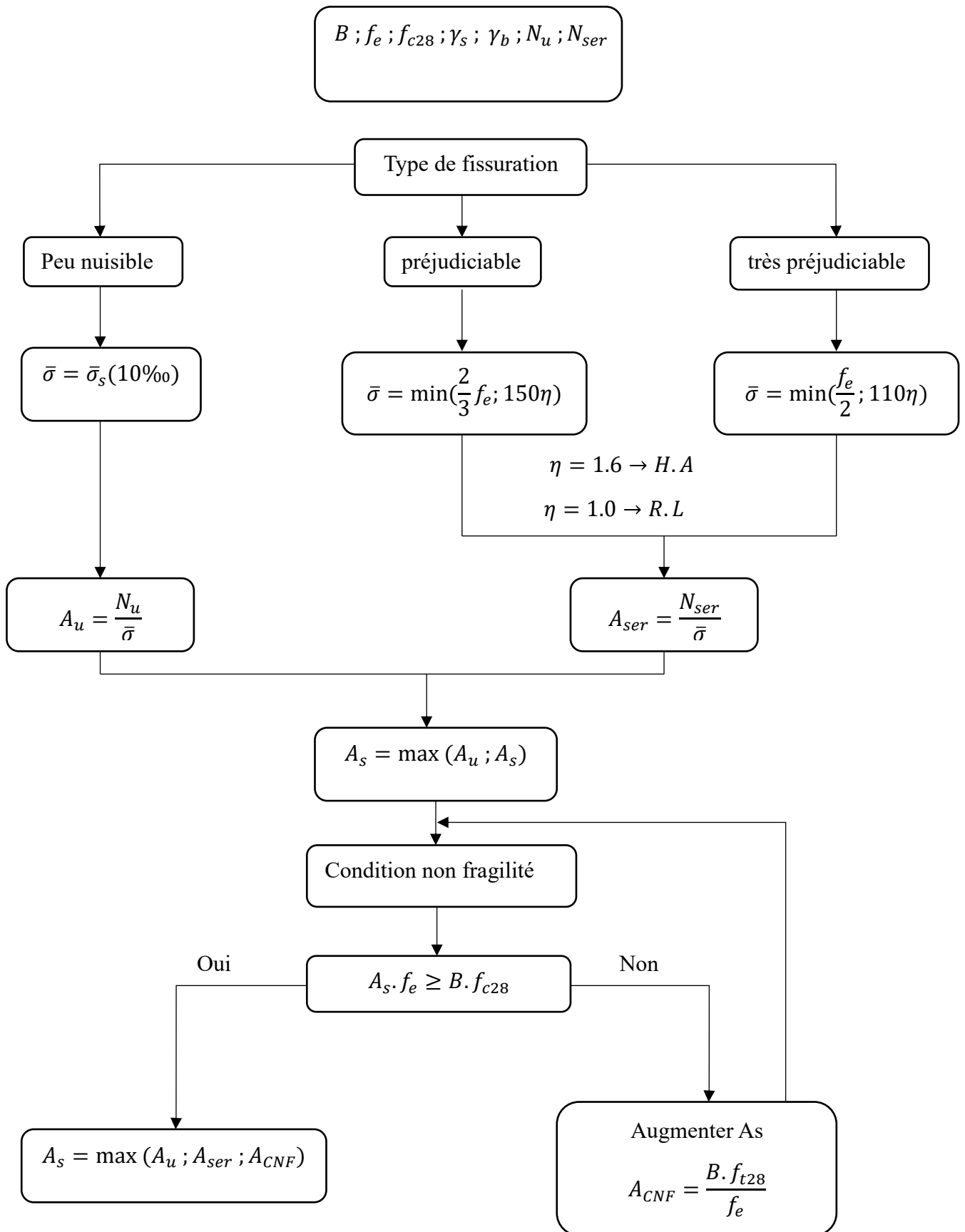
**ORGANIGRAMME -II-**  
**CALCUL D'UNE SECTION RECTANGULAIRE A L'E.L.U EN FLEXION COMPOSÉE**



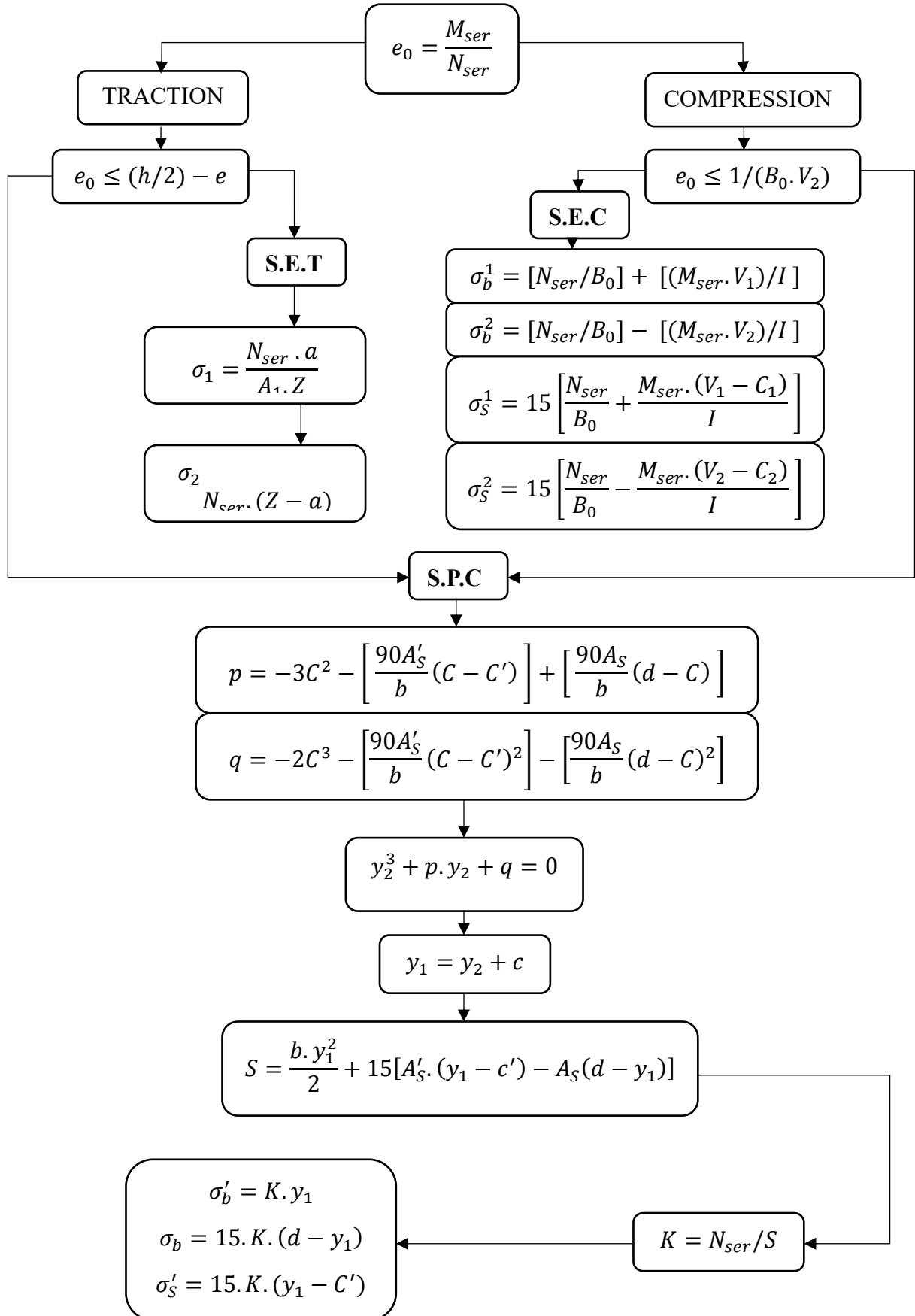
**ORGANIGRAMME -III-**  
**VERIFICATION D'UNE SECTION RECTANGULAIRE A L'E.L.S**



**ORGANIGRAMME -VI-**  
**TRACTION SIMPLE**



**ORGANIGRAMME -V**  
**FLEXION COMPOSÉE A L'E.L.S**



**DALLES RECTANGULAIRES UNIFORMÉMENT CHARGÉES**  
**ARTICULÉE SUR LEUR CONTOUR**

| $\alpha = \frac{L_x}{L_y}$ | ELU $\nu=0$ |         | ELS $\nu=0,2$ |         | $\alpha = \frac{L_x}{L_y}$ | ELU $\nu=0$ |         | ELS $\nu=0,2$ |         |
|----------------------------|-------------|---------|---------------|---------|----------------------------|-------------|---------|---------------|---------|
|                            | $\mu_x$     | $\mu_y$ | $\mu_x$       | $\mu_y$ |                            | $\mu_x$     | $\mu_y$ | $\mu_x$       | $\mu_y$ |
| <b>0,40</b>                | 0,1101      | 0,2500  | 0,1121        | 0,2854  | <b>0,71</b>                | 0,0671      | 0,4471  | 0,0731        | 0,594   |
| <b>0,41</b>                | 0,1088      | 0,2500  | 0,1110        | 0,2924  | <b>0,72</b>                | 0,0658      | 0,4624  | 0,0719        | 0,6063  |
| <b>0,42</b>                | 0,1075      | 0,2500  | 0,1098        | 0,3000  | <b>0,73</b>                | 0,0646      | 0,4780  | 0,0708        | 0,6188  |
| <b>0,43</b>                | 0,1062      | 0,2500  | 0,1087        | 0,3077  | <b>0,74</b>                | 0,0633      | 0,4938  | 0,0696        | 0,6315  |
| <b>0,44</b>                | 0,1049      | 0,2500  | 0,1075        | 0,3155  | <b>0,75</b>                | 0,0621      | 0,5105  | 0,0684        | 0,6447  |
| <b>0,45</b>                | 0,1036      | 0,2500  | 0,1063        | 0,3234  | <b>0,76</b>                | 0,0608      | 0,5274  | 0,0672        | 0,658   |
| <b>0,46</b>                | 0,1022      | 0,2500  | 0,1051        | 0,3319  | <b>0,77</b>                | 0,0596      | 0,5440  | 0,0661        | 0,671   |
| <b>0,47</b>                | 0,1008      | 0,2500  | 0,1038        | 0,3402  | <b>0,78</b>                | 0,0584      | 0,5608  | 0,0650        | 0,6841  |
| <b>0,48</b>                | 0,0994      | 0,2500  | 0,1026        | 0,3491  | <b>0,79</b>                | 0,0573      | 0,5786  | 0,0639        | 0,6978  |
| <b>0,49</b>                | 0,0980      | 0,2500  | 0,1013        | 0,3580  | <b>0,80</b>                | 0,0561      | 0,5959  | 0,0628        | 0,7111  |
| <b>0,50</b>                | 0,0966      | 0,2500  | 0,1000        | 0,3671  | <b>0,81</b>                | 0,0550      | 0,6135  | 0,0617        | 0,7246  |
| <b>0,51</b>                | 0,0951      | 0,2500  | 0,0987        | 0,3758  | <b>0,82</b>                | 0,0539      | 0,6313  | 0,0607        | 0,7381  |
| <b>0,52</b>                | 0,0937      | 0,2500  | 0,0974        | 0,3853  | <b>0,83</b>                | 0,0528      | 0,6494  | 0,0596        | 0,7518  |
| <b>0,53</b>                | 0,0922      | 0,2500  | 0,0961        | 0,3949  | <b>0,84</b>                | 0,0517      | 0,6678  | 0,0586        | 0,7655  |
| <b>0,54</b>                | 0,0908      | 0,2500  | 0,0948        | 0,4050  | <b>0,85</b>                | 0,0506      | 0,6864  | 0,0576        | 0,7794  |
| <b>0,55</b>                | 0,0894      | 0,2500  | 0,0936        | 0,4150  | <b>0,86</b>                | 0,0496      | 0,7052  | 0,0566        | 0,7932  |
| <b>0,56</b>                | 0,0880      | 0,2500  | 0,0923        | 0,4254  | <b>0,87</b>                | 0,0486      | 0,7244  | 0,0556        | 0,8074  |
| <b>0,57</b>                | 0,0865      | 0,2582  | 0,0910        | 0,4357  | <b>0,88</b>                | 0,0476      | 0,7438  | 0,0546        | 0,8216  |
| <b>0,58</b>                | 0,0851      | 0,2703  | 0,0897        | 0,4462  | <b>0,89</b>                | 0,0466      | 0,7635  | 0,0537        | 0,5358  |
| <b>0,59</b>                | 0,0836      | 0,2822  | 0,0884        | 0,4565  | <b>0,90</b>                | 0,0456      | 0,7834  | 0,0528        | 0,8502  |
| <b>0,60</b>                | 0,0822      | 0,2948  | 0,0870        | 0,4672  | <b>0,91</b>                | 0,0447      | 0,8036  | 0,0518        | 0,8646  |
| <b>0,61</b>                | 0,0808      | 0,3075  | 0,0857        | 0,4781  | <b>0,92</b>                | 0,0437      | 0,8251  | 0,0509        | 0,8799  |
| <b>0,62</b>                | 0,0794      | 0,3205  | 0,0844        | 0,4892  | <b>0,93</b>                | 0,0428      | 0,8450  | 0,0500        | 0,8939  |
| <b>0,63</b>                | 0,0779      | 0,3338  | 0,0831        | 0,5004  | <b>0,94</b>                | 0,0419      | 0,8661  | 0,0491        | 0,9087  |
| <b>0,64</b>                | 0,0765      | 0,3472  | 0,0819        | 0,5117  | <b>0,95</b>                | 0,0410      | 0,8875  | 0,0483        | 0,9236  |
| <b>0,65</b>                | 0,0751      | 0,3613  | 0,0805        | 0,5235  | <b>0,96</b>                | 0,0401      | 0,9092  | 0,0474        | 0,9385  |
| <b>0,66</b>                | 0,0737      | 0,3753  | 0,0792        | 0,5351  | <b>0,97</b>                | 0,0392      | 0,9322  | 0,0465        | 0,9543  |
| <b>0,67</b>                | 0,0723      | 0,3895  | 0,0780        | 0,5469  | <b>0,98</b>                | 0,0384      | 0,9545  | 0,0457        | 0,9694  |
| <b>0,68</b>                | 0,0710      | 0,4034  | 0,0767        | 0,5584  | <b>0,99</b>                | 0,0376      | 0,9771  | 0,0449        | 0,9847  |
| <b>0,69</b>                | 0,0697      | 0,4181  | 0,0755        | 0,5704  | <b>1</b>                   | 0,0368      | 1       | 0,0441        | 1       |