REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil
Spécialité : Structure

Etude d'un bâtiment à usage multiple

(Sous-sol + RDC + 9 étages)

Présenté par

KHATIB Mohammed Akram Ismail

SAIF Mahran Ahmed Farhan

Proposé et Dirigé par

Mme : HERIHRI Wided

Promotion 2019

Remerciements

Au terme de ce travail nous tenons à faire louange à « ALLAH » qui nous a donné la force d'achever cette réalisation.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre promoteur : Madame HERIHRI Wided pour ses Conseils et son aide précieuse.

Nos sincères remerciements vont également à tous les enseignants du département de génie civil qui nous ont offert tout ce savoir.

Nous remercions également monsieur OULD TURKI Benaissa Pour les diverses guides et conseils enrichissants.

Nos gratitudes à tous les membres de jury qui nous ont font l'honneur de juger notre travail.

Nous n'oublions pas nos parents et nos familles pour leur contribution, leur soutien et Leur patience. Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours soutenus et encouragés au cours de la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

C’est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères au monde pour leurs sacrifices :

A ma chère mère et mon père vous m’avez accueilli à bras ouverts dans votre famille. En témoignage de l’attachement, de l’amour et de l’affection que je porte pour vous.

A mes frères : Ahmed et Saddam.

A mes sœurs : Neda’a, Feda’a, Doa’a, Sajeda, Ala’a, Que Dieu les assistes.

A toute la famille « KHATIB » sans exception.

A mes chers collègues : Kheiro, Fouad, Abdeldjalil, Abdallah, Imad, Sido, Yousef, Mohammed Amine, Said, Salim, Abdessalem, Bouchra,

A mes amis qui ont emporté avec moi aliénation : Emad, Amjad Asakra, Hamido, Ahmad Tomaizy, Ayham, Flora, Nezar, Haitham, Firas, Ibrahim, Khaled, Ezzet, Ahmed Al Bitawi, Mohammed AL Qutati, Amjad Moulki, Mahran, Hasan, Majed, Mohammed Ramzi, Mujammel, Montaser, Zayd, Adnan AL Awadi,

A mes chers amis : Ali, Jebreel, Jihad, Iyad, Ahmed Asawdah, Mohammed Awwad, Anes, Rahim, Marwan, Mohammed Tomaizy, Jalloul, Ismail, Mustafa, Khadidja, Meriem, Assia, Sabrina, Chaima, Fella.

A tous mes amis.

A notre professeur Abdellah el hadj et à notre cher collègue kader qui nous ont quitté cette anneé, paix à leurs âmes.

A mon cher ami Ghassan Najib qui m'a quitté cette semaine, Miséricorde sur son esprit pur.

Mohammed Khatib

Dédicace

C’est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères au monde pour leurs sacrifices :

A Mes chers parents que dieu les gardes et préserve.

A Mes frères : Mohammed, Ibrahim, Ya’qoub

A Mes sœurs : Marwa, Chaimaa, Maya

A toute la famille « SAIF» sans exception.

A tous mes amis et mes collègues.

A notre professeur Abdellah el hadj et à notre cher collègue kader qui nous ont quitté cette anneé, paix à leurs âmes.

Mahran SAIF

ملخص

هذا المشروع يهدف إلى دراسة بناية من الخرسانة المسلحة **(**طابق تحت الأرض+طابق ارضي+تسعة طوابق) ذات استعمال سكني والمقرر بناؤها في ولاية الجزائر المصنفة ضمن منطقة ذات زلزال قوي **(**منطقة **III).**

مقاومة البناية لكل الحمولات الأفقية محققة بواسطة نظام الجدران المسلحة.

قياس الأبعاد والتسليح بالفولاذ لكل العناصر المقاومة تم طبقا للمعايير و القوانين المعمولة بها في الجزائر: قانون الخرسانة المسلحة (**CBA93)** والقواعد الجزائرية المضادة للزلزال **(RPA99 v2003)**.

تمت الدراسة الزلزالية وفق الطريقة الرقمية باستعمال برنامج تحليل الهياكل **(SAP2000 V21.0.2)**

وفي الاخير درسنا البنية التحتية للبناية حساب الأساسات.

RESUME

Ce projet consiste à étudier un bâtiment en sous-sol+ RDC + 9 étages, à usage habitation. Il est implanté à Alger. Cette région est classée en zone sismique **(III)** selon le **RPA99 version 2003**.

La résistance de la structure aux charges horizontales est assurée par un système de contreventement mixte.

Le dimensionnement de tous les éléments résistants sont établis conformément aux Règlements Algériens en vigueur (**CBA93 et RPA99 version2003**).

L'analyse sismique de la structure a été menée par la méthode numérique basée sur la méthode des éléments finis moyennant le logiciel (**SAP2000V21.0.2)**

Finalement nous avons étudié l'infrastructure en calculant les fondations.

ABSTRACT

This project deals with the study of a building with underground, ground floor and 9 floors in the state of Algeria**,** this is classified in a strong seismicity region(**III**) according to the Algerian seismic rules **RPA99 version2003.**

The resistance of structure to horizontals loads assured by a system (beams and shear walls).

The measurements and the design of reinforcement of all elements were according with the Algerian standards (**CBA93 and RPA99 version 2003**)**.**

The seismic analysis has been realized by the numerical method based on finite elements method, using the program **(SAP2000 21.0.2).**

Finally, we have studied the infrastructure by calculating the foundations.

Sommaire

CHAPITRE I : Présentation de l'ouvrage

I.1. Présentation de l'ouvrage……1
I.2. Caractéristiques géométriques de l'ouvrage…… 1
I.2.1. Dimensions en plan du bâtiment……..... 1
I.2.2. Dimensions en élévation du bâtiment……...1
I.3. Caractéristiques structurelles……... 1
I.3.1. Système de contreventement…… 1
I.3.2.Planchers……1
I.3.3. Maçonnerie……... 2
I.3.4. L'acrotère……..2
I.3.5. Les escaliers…….....2
I.3.6. Infrastructure…… 2
I.4. Caractéristiques mécaniques des matériaux……..... 2
I.4.1. Le béton ……2
I.4.2. Les aciers…… 3
I.4.2.1. Types d'acier……..... 3

CHAPITRE II : Pré dimensionnement

II.1. Introduction……..... 5
II.2. Pré dimensionnement des planchers…….. 5
II.2.1. Planchers à corps creux…….....5
II.2.2. Planchers dalles pleines…….....6
II.3. Pré dimensionnement des poutres…….. 6
II.4. Pré dimensionnement des poteaux…… 7
II.4.1. Etapes de pré dimensionnement……..8
II.4.1.1. Calcul de la capacité portante N…….. 9
II.4.1.2. Choix du poteau le plus sollicité……..... 9
II.5. Evaluation des charges (DTR B.C 2.2)…….....10
II.5.1. Charges permanentes……...10

II.5.1.1. Maçonnerie……...10
II.5.1.2. Plancher terrasse……...11
II.5.1.3. Plancher courant……...13
II.5.2. Charges d'exploitation……14
II.5.3. Charges permanentes totale……14
II.5.4. Charges d'exploitation totale……..... 14
II.5.5. L'effort normal ultime Nu……... 14
II.5.6. Vérification selon le (RPA99 v2003)……..15
II.6. Pré dimensionnement des voiles…… 16

CHAPITRE III : Calcul des éléments secondaires

III.1. Acrotère…… 17
III.1.1. Principe de calcul……...17
III.1.2. Evaluation des charges et surcharges…… 17
III.1.3. Détermination des efforts……...17
III.1.4. Calcul de ferraillage……...17
III.1.4.1. Vérification à l'état limite de service (ELS)……18
III.1.4.2. Vérification des contraintes de cisaillement à l'ELU…… 18
III.2. Plancher à corps creux…….. 19
III.2.1. La dalle de compression……19
III.2.2. Les poutrelles ……20
III.2.2.1. Poutrelle d'étage courant……..... 20
III.3. Les escaliers……..26
III.3.1. Escalier d'étage courant…… 26
III.3.1.1. Dimensionnement……... 26
III.3.1.2. Evaluation des charges et surcharges……..26
III.3.1.3. Détermination des sollicitations…….....27
III.3.1.4. Détermination des efforts……28
III.3.1.5. Ferraillage……... 28
III.3.1.6. Vérification à l'ELS ……29
III.3.1.7. Vérification de l'effort tranchant…….....29

III.3.1.8. Vérification de la flèche…….....30
III.3.2. Escalier de sous-sol…….....30
III.3.2.1. Dimensionnement…….... 30
III.3.2.2. Evaluation des charges et surcharges…….....30
III.3.2.3. Détermination des sollicitations…….....31
III.3.2.4. Détermination des efforts ……..….32
III.3.2.5. Ferraillage……... 32
III.3.2.5.1. Armatures longitudinales……32
III.3.2.6. Vérification à l'ELS…… 33
III.3.2.7. Vérification de l'effort tranchant……33
III.3.2.8. Vérification de la flèche……..33
III.4. Calcul de la Poutre palière…… 34
III.4.1. Charges revenant à la poutre……..34
III.4.2. Calcul des efforts……... 34
III.4.3. Calcul de ferraillage……...35
III.4.3.1. Armatures longitudinales…… 35
III.4.3.2. Armatures transversales (RPA99 v2003 Art.7.5.2.2)……..... 35
III.4.3.3. Vérification à l'ELS……35
III.4.3.4. Vérification des contraintes de cisaillement à l'ELU…… 35
III.4.3.5. Vérification selon (RPA99 v2003 Art.7.5.2.1)…… 35
III.4.3.6. Vérification de la flèche…… 36
III.5. Les dalles pleines…….. 36
III.5.1. Introduction……36
III.5.2. Détermination des charges……36
III.5.3. Ferraillage…….. 37
III.6. Dalle machine……... 39
III.6.1. Introduction……39
III.6.2. Détermination de l'épaisseur……..39
III.6.3. La charge permanente et la charge d'exploitation…… 40
III.6.4. Ferraillage…….. 40

CHAPITRE IV : Etude sismique

IV.1. Introduction……..... 43
IV.2. Caractéristique géométrique de la structure……. 43
IV.2.1. Centre de masse…… 43
IV.2.2. Centre de torsion……43
IV.3. Choix de la méthode de calcul…… 45
IV.3.1. Introduction……45
IV.3.2. Méthode dynamique modale spectrale (RPA99 v2003 Art.4.3.7)……46
IV.3.2.1. Principe de la méthode……46
IV.3.2.2. Modélisation…… 46
IV.3.2.3. Le spectre de réponse de calcul…… 46
IV.3.3. Résultats de l'analyse dynamique…….. 48
IV.3.3.1. Analyse modale…….. 48
IV.3.3.2. Analyse statique et dynamique……... 50
IV.4. Conclusion…… 58

CHAPITRE V : Ferraillage des éléments structuraux

V.1. Introduction……...59
V.2. Ferraillage des poutres…….. 59
V.2.1. Ferraillage longitudinal des poutres…… 59
V.2.1.1. Vérification des contraintes à l'ELS…… 59
V.2.1.2. Vérification de la flèche……...60
V.2.1.3. Vérification des contraintes de cisaillement à l'ELU……..... 61
V.2.2. Ferraillage transversal des poutres……..61
V. 3. Ferraillage des poteaux……. 62
V.3.1. Armatures longitudinales……... 62
V.3.2. Vérification des contraintes à l'ELS…… 64
V.3.3. Armatures transversales…… 65
V.4. Ferraillage des voiles……. 65
V.4.1. Ferraillage des trumeaux……....66

V.4.1.1. Calcul d'armatures verticales…….....66
V.4.1.2. Vérification des contraintes à l'ELS et à l'ELU…….. 80
V.4.1.3. Armatures horizontales…… 88
V.4.1.4. Armatures transversales……... 88
V.4.2. Ferraillage des linteaux……..... 88

CHAPITRE VI : Calcul des fondations

VI.1. Introduction……...91
VI.2. Types de fondations…….....91
VI.3. Caractéristiques du sol……..91
VI.4. Choix du type de fondations……92
VI.4.1. Semelle isolée sous poteau…… 92
VI.4.2. Semelle filante……... 94
VI.4.2.1. Poutre de Libage……95
VI.5. Les longrines……98
VI.6. Les voiles périphériques…….. 100
VI.6.1. Calcul de la poussée des terres…….. 100
VI.6.2. Calcul de ferraillage……...101
VI.6.3. Vérification des contraintes à l'ELS……..101
VI.6.4. Vérification au cisaillement à l'ELU……101

Listes des tableaux

CHAPITRE I : Présentation de l'ouvrage

Tableau I.1**:** Résistance f_{c28} du béton à 7,14 et 90 jours……...……2
Tableau I.2**:** Autres caractéristiques du béton…….....3
Tableau I.3**:** Les types d'aciers utilisés et leurs nuances…….……4
Tableau I.4**:** Autres caractéristiques de l'acier……4

CHAPITRE II : Pré dimensionnement

Tableau II.1**:** Pré dimensionnement des poutres…….7
Tableau II.2**:** Capacité portante $\overline{N}$ pour chaque section de poteau…….……9
Tableau II.3: Charge permanente du mur intérieur…….……..10
Tableau II.4**:** Charge permanente du mur extérieur…..……10
Tableau II.5: Charge permanente du plancher terrasse a corps creux…….……11
Tableau II.6: Charge permanente du plancher terrasse a dalle pleine…….……12
Tableau II.7 : Charge permanente du plancher courant à corps creux……13
Tableau II.8: Charge permanente du plancher courant à dalle pleine…...……..13
Tableau II.9: Charges permanentes cumulées des surfaces reprises……...……..14
Tableau II.10 : Charges d'exploitation cumulées des surfaces reprises……....14
Tableau II.11: Vérification de l'effort normal des poteaux…….……15
Tableau II.12: Vérification des sections selon le RPA99 version2003…..……15
Tableau II.13: Vérification des dimensions selon le RPA99 version2003……15

CHAPITRE III : Calcul des éléments secondaires

Tableau III.1: Evaluation des charges et surcharges sur l'acrotère……17
Tableau III.2: Les efforts exercés sur l'acrotère……...……..17
Tableau.III.3 : le ferraillage adopté……...……18
Tableau III.4: vérification de la flèche pour la poutrelle d'étage courant…..……..21
Tableau III.5: les Moments d'encastrement exercés sur la poutrelle à l'ELU…….21
Tableau III.6: Section d'armatures longitudinales dans la poutrelle d'étage courant……..……22
Tableau III.7**:** les Moments d'encastrement exercés sur la poutrelle d'étage courant à l'ELS....22
Tableau III.8: vérification à l'ELS de la poutrelle d'étage courant……..……23
Tableau III.9: Vérification des contraintes de cisaillement à l'ELU……..23
Tableau III.10: Vérification de la flèche de poutrelle d'étage courant …….……..23
Tableau III.11: les Moments d'encastrement exercés sur la poutrelle à l'ELU……...……..24

Tableau III.12: Section d'armatures longitudinales dans la poutrelle de la terrasse…..……..24
Tableau III.13: les Moments d'encastrement exercés sur la poutrelle de la terrasse à l'ELS…..…25
Tableau III.14: vérification à l'ELS de la poutrelle du terrasse…….……..25
Tableau III.15: Vérification des contraintes de cisaillement à l'ELU ……25
Tableau III.16 : Vérification de la flèche de poutrelle de la terrasse….....26
Tableau III.17: Charge permanente de la paillasse…….……27
Tableau III.18: Charge permanente du palier de repos…….……..27
Tableau III.19: Combinaisons des charges dans l'escalier d'étage courant…….……28
Tableau III.20**:** Détermination des efforts…….…….28
Tableau III.21: Section d'armatures longitudinales dans l'escalier d'étage courant……..……29
Tableau III.22: Vérification de la section d'armatures……...……29
Tableau III.23: Section d'armatures de répartition dans l'escalier d'étage courant…..……29
Tableau III.24: Vérification de ferraillage de l'escalier d'étage courant à l'ELS…….……29
Tableau III.25: Vérification de l'effort tranchant de l'escalier d'étage courant…..……..29
Tableau III.26: Vérification de la flèche……30
Tableau III.27: Charge permanente de la paillasse…….……31
Tableau III.28: Charge permanente du palier de repos……...31
Tableau III.29: Combinaisons des charges dans l'escalier de sous-sol……...32
Tableau III.30: Détermination des efforts……..32
Tableau III.31: Section d'armatures longitudinales dans l'escalier de sous-sol……..32
Tableau III.32: Vérification de la section d'armatures……..….33
Tableau III.33: Section d'armatures de répartition dans l'escalier de sous-sol……33
Tableau III.34: Vérification de ferraillage de l'escalier de sous-sol à l'ELS……...33
Tableau III.35: Vérification de l'effort tranchant……...…33
Tableau III.36: Vérification de la flèche……..……..33
Tableau III.37: Sollicitations de la poutre palière…….……35
Tableau III.38: Armatures transversales de la poutre palière……..…….35
Tableau III.39: Vérification de la poutre palière de sous-sol à l'ELS…….……35
Tableau III.40: Vérification des contraintes de cisaillement à l'ELU **…..……**35
Tableau III.41: Vérification de la poutre palière de sous-sol selon le RPA99 v2003……..36
Tableau III.42: Armatures longitudinales des dalles pleines……..36
Tableau III.43: Travail externe de dalle pleine (1.40X3.60)m^2……37
Tableau III.44: Travail interne de dalle plaine (1.40X3.60)m^2……..……38

Tableau III.45: Section d'armatures longitudinales dans la dalle machine…….……38
Tableau III.46: Condition de non fragilité des dalles pleines …….38
Tableau III.47: Vérification des dalles pleines à l'ELS……..39
Tableau III.48: Vérification de l'effort tranchant……..…….39
Tableau III.49: Vérification de la flèche de dalle pleine……...……..39
Tableau III.50: Poids de la machine……...…40
Tableau III.51: Les charges de la dalle machine……....40
Tableau III.52: Travail externe d'une dalle pleine (3.40X2.95)m^2……40
Tableau III.53: Travail externe d'une dalle plaine (3.40X2.95)m^2……41
Tableau III.54: Section d'armatures longitudinales dans la dalle machine……41
Tableau III.55: Vérification de la section d'armatures dans la dalle machine……41
Tableau III.56: Vérification de ferraillage de la dalle machine à l'ELS……...41
Tableau III.57: Vérification de l'effort tranchant de la dalles machine…….……..41
Tableau III.58: Vérification au poinçonnement…...……..42

CHAPITRE IV : Etude sismique

Tableau IV.1 : Centre de masse et centre de torsion…….……44
Tableau IV.2 : Excentricité suivant les deux directions…….……....45
Tableau IV.3 : Distribution des sollicitations suivant X……..……..47
Tableau IV.4 : Distribution des sollicitations suivant Y……47
Tableau IV.5 : Facteur de qualité…..…….……48
Tableau IV.6: Comportement des trois premiers modes…….…….…..48
Tableau IV.7: La participation massique……...……..…….……49
Tableau IV.8 : Les valeurs de la force sismique……..…….……..51
Tableau IV.9 : Vérification de la résultante des forces sismiques de calcul……...51
Tableau VI.10 : Valeurs des moments de stabilité et de renversement……...……52
Tableau IV.11: Vérification de la stabilité au renversement…….…….52
Tableau IV.12 : Vérification des déplacements inter-étage suivant X……...…53
Tableau IV.13 : Vérification des déplacements inter-étage suivant Y…..……..53
Tableau IV.14 : Vérification de l'effet P-Δ.....*54*
Tableau IV.15 : Vérification de cisaillement des poutres…….……55
Tableau VI.16 : Vérification de cisaillement des voiles…….……55
Tableau IV.17 : Vérification de l'effort normal réduit…….……...……...57
Tableau IV.18 : Dimensions finales des éléments…….……58

CHAPITRE V : Ferraillage des éléments structuraux

Tableau V.1: La section calculée et la section choisie d'armatures des poutres……59
Tableau V.2: Vérification des contraintes des poutres à l'ELS……60
Tableau V.3: Vérification de section d'armatures……60
Tableau V.4: Vérification de la flèche des poutres……60
Tableau V.5: Vérification des contraintes de cisaillement……61
Tableau V.6: La section d'armatures transversales……61
Tableau V.7: La section d'armatures des poteaux……63
Tableau V.8: Vérification des contraintes à l'ELS……64
Tableau V.9: La section d'armatures transversales des poteaux……65
Tableau V.10: La section calculée d'armatures verticales des voiles (Suivant Y)……66
Tableau V.11: La section choisie d'armatures des voiles (Suivant Y)……70
Tableau V.12: La section calculée d'armatures verticales des voiles (Suivant X)……74
Tableau V.13: La section choisie d'armatures verticales des voiles (Suivant X)……77
Tableau V.14: Vérification des contraintes des voiles (Suivant Y)……81
Tableau V.15: Vérification des contraintes des voiles (Suivant x)……84
Tableau V.16: Choix de la méthode de calcul……88
Tableau V.17: La section choisie et calculée d'armatures des linteaux (Suivant Y)……89

CHAPITRE VI : Calcul de fondation

Tableau VI.1: Dimensionnement des semelles isolées à l'ELS……93
Tableau VI.2: Dimensionnement des semelles filantes à l'ELS. ……94
Tableau VI.3: Les Sections choisie et calculée des semelles filantes……95
Tableau VI.4: Dimensionnement de la poutre de libage……96
Tableau VI.5: Détermination des valeurs de (q) de la poutre de libage……96
Tableau VI.6: Détermination des sollicitations de la poutre de libage……96
Tableau VI.7: Calcul des armatures longitudinales de la poutre de libage à L'ELU……97
Tableau VI.8: Vérifications des armatures longitudinales de la poutre de libage à l'ELS……97
Tableau VI.9: Calcul des armatures transversales de la poutre de libage……97
Tableau VI.10: Ferraillage longitudinal des longrines……99
Tableau VI.11: Vérification de contrainte à L'ELS des longrines……99
Tableau VI.12: Calcul des armatures transversales des longrines……99
Tableau VI.13: Calcul des moments de flexion des lignes de rupture……101
Tableau VI.14: La section d'armatures du voile périphérique……101
Tableau VI.15: Vérification des contraintes à l'ELS……101

.

Listes des Figures

CHAPITRE II : Pré dimmensionnement

Figure II.1**:** Coupe du plancher à corps creux…….....1
Figure II.2: Surface reprise par le poteau le plus sollicité……..…12

CHAPITRE III : Calcul des elements secondaires

Figure III.1*:* L'acrotère (dimensions et charges exercées……17
Figure III.2: Section de béton armé dans l'acrotère……18
Figure III.3: Ferraillage de l'acrotère……..……18
Figure.III.4 : Disposition des armatures de la dalle de compression……..20
Figure.III.5: Chargement dans la poutrelle d'étage courant…….21
Figure.III.6: Digramme des moments d'encastrement de la poutrelle d'étage courant à ELU…….22
Figure.III.7**:** Diagramme des efforts tranchants de la poutrelle d'étage courant à ELU…….22
Figure.III.8: Diagramme des moments dans la poutrelle d'étage courant l'ELS……....23
Figure.III.9: Chargement dans la poutrelle de la terrasse……...…….24
Figure III.10: Digramme des moments d'encastrement de la poutrelle de la terrasse à…….24
Figure.III.11 : Diagramme des moments dans la poutrelle de la terrasse à l'ELS……..……25
Figure III.12: Schéma statique d'une volée d'escalier d'étage courant…….……26
Figure III.13 Chargement dans l'escalier d'étage courant……..…….28
Figure III.14: Diagramme des moments dans l'escalier d'étage courant à l'ELU……...…28
Figure III.15: Diagramme des efforts tranchant dans l'escalier d'étage courant à l'ELU……..28
Figure III.16: Schéma statique d'une volée d'escalier de sous-sol……..30
Figure III.17: Chargement dans l'escalier de sous-sol……...32
Figure III.18: Diagramme des moments dans l'escalier de sous sol à l'ELU……..32
Figure III.19: Diagramme des efforts tranchant dans l'escalier de sous-sol à l'ELU……..32
Figure III.20**:** Chargement dans la poutre palière……..……...……..34
Figure III.21: Diagramme des moments de la poutre palière à l'ELU……..……..34
Figure III.22: Diagramme des efforts tranchants de la poutre palière à l'ELU….…….34
Figure III.23: Diagramme des moments de la poutre palière à l'ELS……....……35
Figure III.24: Ferraillage de la poutre palière…….……36
Figure III.25: Dalle plaine (1.40X3.60)m^2…….....……..37

Figure III.26: Travail externe de dalle pleine (1.40X3.60)m^2…….37
Figure III.27: Travail interne de dalle pleine (1.40X3.60)m^2……..……..38
Figure III.28: Travail externe d'une dalle pleine (3.40X2.95)m^2……..40
Figure III.29: Travail interne d'une dalle plaine (3.40X2.95)m^2……40

CHAPITRE V : Ferraillage des elements structuraux

Figure V.1: Dessin de ferraillage des poutres principales 01…….……61
Figure V.2: Dessin de ferraillage des poutres principales 02……...62
Figure V.3: Dessin de ferraillage des poutres secondaire 01……..62
Figure V.4: Dessin de ferraillage des poutres secondaire 02……..62
Figure V.5: Dessin de ferraillage des Poteaux……...…….....65

CHAPITRE VI : Calcul des fondations

Figure V.1: chevauchement des bulles de pression sous la semelle……...……93
Figure V.2: Ferraillage de la semelle filante 1 sur x……...98
Figure V.3: Ferraillage de la longrine……..……..…..99
Figure V.4: Schéma statique du voile périphérique……..……100
Figure V.5: les lignes de ruptures…….…….……101

Notations

Majuscules romaines

A : Section d'acier tendu.

A' : Section d'acier comprimé.

A_{max}, A_{min} : Section d'acier maximale et minimale.

A : Section d'un cours d'armatures transversales.

A_t : Section d'armatures verticales.

A_h : Section d'armatures horizontales.

A_c : Section d'armatures en partie courante (armatures de peau).

A_D : Section d'armatures diagonales.

B : Aire du béton.

B_r : Section réduite du béton d'un poteau.

B_t : Section de la partie tendue.

L_t : Largeur de la section tendue.

ELS : Etat Limite de Service.

ELU : Etat Limite Ultime.

E_v : Module de déformation longitudinale différée du béton.

E_i : Module de déformation longitudinale instantanée du béton.

E_s : Module de déformation longitudinale de l'acier.

I : Moment d'inertie.

I_e : Moment d'inertie équivalent.

M : Moment fléchissant.

M_t : Moment fléchissant en travée d'une poutre.

M_a : Moment fléchissant en appui d'une poutre.

M_u : Moment fléchissant à l'ELU.

M_{ser} : Moment fléchissant à l'ELS.

N : Effort normal.

N_{ser} : Effort normal à l'ELS service.

N_u : Effort normal à l'ELU.

T_u : Effort tranchant à l'ELU.

G : Charge permanente.

Q : Charge d'exploitation.

E : Charge sismique.

W : poids.

Minuscules romaines

h : Hauteur de la section du béton.

b : Largeur de la section du béton.

b_0 : Largeur de la nervure du béton (section en Té.)

c,c' : Enrobage supérieur et inférieur.

d : Hauteur utile d'une section.

f : Flèche.

f_{cj} : Résistance caractéristique du béton à la compression à « j » jours.

f_{c28} : Résistance caractéristique du béton à la compression à « 28 » jours.

f_e : Limite d'élasticité de l'acier.

f_{tj} : Résistance conventionnelle de la traction du béton à « j » jours.

f_{t28} : Résistance conventionnelle de la traction de béton à «28 » jours.

i : Rayon de giration.

l_f : Longueur de flambement,

S_t : Espacement de cours d'armature transversale.

S_h : Espacement de cours d'armature horizontale.

S_v : Espacement des armatures verticales.

MAJUSCULES GRECQUES

Δ : Variation.

Σ : sommation.

Φ : Diamètre nominal d'une barre d'aciers.

Minuscules grecques

α : Angle.

γ : Coefficient de sécurité.

ε : Déformation relative.

η : Coefficient de fissuration.

λ : Élancement mécanique.

μ : Coefficient de frottement.

ν: Coefficient de POISSON.

ρ : Rapport de deux dimensions

ζ : Contrainte normale.

η : Contrainte tangentielle.

δ : Déplacement d'un niveau.

INTRODUCTION GENERALE

Le projet de fin d'études représente la dernière phase de notre cycle de formation au sein de l'université de MEDEA, il consiste à appliquer l'ensemble des connaissances acquises tout le long de notre parcours sur un projet réel du domaine de Génie Civil.

La proposition est particulièrement bien adaptée à l'élaboration d'un projet de fin d'études, En effet il s'agit d'un sujet permettant d'associer le dimensionnement et le calcul d'exécution.

Le présent document est une synthèse des travaux effectués. Il détaillera les démarches de calculs utilisés et donnera les références sur lesquelles nous nous sommes appuyés.

Nous allons à présent étudier successivement plusieurs points :

1) Présentation de l'ouvrage et les caractéristiques des matériaux utilisés ;
2) Pré dimensionnement des éléments structuraux ;
3) Calcul des éléments secondaires (acrotère, plancher, escalier, dalle pleine, dalle machine) ;
4) Etude dynamique et sismique, on a utilisé le logiciel de calcul par élément finis (SAP2000 version 21.0.2) ;
5) Etude la structure sous l'action des différentes combinaisons des efforts verticaux et horizontaux et l'adoption du ferraillage de la structure ;
6) Estimation des sollicitations envisagées au niveau de l'infrastructure, choix du type de Fondation le plus convenable, calcul et ferraillage de l'ensemble des éléments assurent la stabilité de la superstructure ;
7) Récapitulation du travail réalisé résumé dans la conclusion générale.

CHAPITRE I

Présentation de l'ouvrage

I.1. Présentation de l'ouvrage

Le projet réalisant est un bâtiment en béton armé de type (1 sous-sol + RDC + 9 étages) à multi usages (parking et habitation) qui sera implanté à Alger. C'est une zone de forte sismicité (zone III) selon la classification du RPA 99 version 2003.

Notre étude sera menée conformément aux exigences des règles de conception et de calcul des ouvrages en béton armé CBA93 ainsi que le règlement parasismiques RPA99 version 2003.

I.2. Caractéristiques géométriques de l'ouvrage

I.2.1. Dimensions en plan du bâtiment

- Longueur totale du bâtiment : 26.50 m.
- Largeur totale du bâtiment : 29.90 m.

I.2.2. Dimensions en élévation du bâtiment

- Hauteur du Sous-sol : 4.59 m.
- Hauteur du RDC et Etages courants : 3.40 m.
- Hauteur du dernier étage : 3.00 m
- Hauteur totale du bâtiment : 38.19 m.

I.3. Caractéristiques structurelles

I.3.1. Système de contreventement

Notre bâtiment comporte 11 niveaux y compris le sous-sol qui font une hauteur de 38.19 m, le RPA99 Version 2003 limite les structures en portiques auto stables dans la zone III en 8m, ce qui nous oblige d'insérer des voiles de contreventement et d'obtenir par conséquence un système de contreventement assuré par des portiques et des voiles.

I.3.2. PLANCHERS

Nous avons utilisé deux types de planchers, dont le rôle est de supporter les charges verticales et les transmettre aux poutres qui aussi transmettre ces dernières aux éléments verticaux de la structure :

- Planchers à cops creux.
- Planchers à dalle pleine.

I.3.3. Maçonnerie

Le remplissage en maçonnerie du bâtiment sera assuré par la brique creuse.

- Murs extérieurs (en double cloison) : deux (02) cloisons en briques creuses de 10cm d'épaisseurs séparées par une lame d'air de 10 cm pour assurer l'isolation thermique entre le milieu extérieur et l'intérieur du bâtiment.
- Murs intérieurs (en simple cloison) : ce sont des cloisons de séparations de 10cm d'épaisseur.

I.3.4. L'acrotère

Au niveau de la terrasse, la structure est entourée par un acrotère conçu en béton armé de 60cm de hauteur et de 10cm d'épaisseur. Son rôle principal est protéger l'étanchéité, et la protection contre l'infiltration des eaux pluviales.

I.3.5. Les escaliers

La circulation verticale entre les étages est assurée par des escaliers droits à deux volets.

I.3.6. Infrastructure

C'est la partie d'interaction structure-sol, qui forme un ensemble rigide assurant l'encastrement de la structure dans le terrain ainsi que la transmission des charges apportées par la structure au bon sol.

I.4. Caractéristiques mécaniques des matériaux

Les caractéristiques mécaniques des matériaux utilisés dans la construction seront conformes aux règles techniques de conception et de calcul des ouvrages en béton armé (CBA 93).

I.4.1. Le béton

Nous utiliserons un béton ayant un dosage en ciment CPJ-CEMII42,5 de 350Kg/m³ ce qui donne une résistance à la compression à 28 jours égale à $f_{c28} = 25\ MPa$.

Tableau I.1**:** *Résistance f_{c28} du béton à 7,14 et 90 jours.*

f_{c28}	16	20	22	25	30	35	40
7 jours	10.6	13.2	14.6	16.5	19.9	23.2	26.5
14 jours	13.7	17.9	18.8	21.4	25.6	29.9	34.2
90 jours	17.6	22	24.2	27.5	33	38.5	44

- **Résistance du béton à la traction**

La résistance à la traction est notée par « f_{tj} », elle est définie par la relation :

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

$$f_{c28} = 25MPa \quad Donc: \quad f_{t28} = 2.1MPa$$

Tableau I.2**:** *Autres caractéristiques du béton.*

Module d'élasticité instantané E_{ij}		32164.20 MPa
Module d'élasticité différé E_{vj}		10818.86 MPa
Coefficient de poisson (υ)	***ELU***	0
	ELS	0.2
Contrainte de cisaillement (τ_u)	***Fissuration préjudiciable ou très préjudiciable***	2.50 MPa
	Fissuration peu nuisible	3.33 MPa
Contrainte en compression (σ_{bc})	***Situation durable***	14.20 MPa
	Situation accidentelle	18.50Pa

I.4.2. Les aciers

I.4.2.1. Types d'acier

1. L'acier utilisé en béton armé se distingue du reste des aciers par sa forme géométrique et sa nuance, Sa surface externe (surface de contact avec le béton) présente deux types distincts : une surface lisse et une surface rugueuse, chacune ayant sa propre utilité.

Tableau I.3**:** *Les types d'aciers utilisés et leurs nuances.*

Type d'acier	***Nuances***	***Limite d'élasticité(MPa)***	***Utilisations***
Rond lisse	$\boldsymbol{FeE220}$	215	Cadres, étiers des poteaux et des poutres, pièces préfabriqués
	$\boldsymbol{FeE240}$	235	
Acier HA Type 1	$\boldsymbol{FeE400}$	400	Tous les travaux en béton armé
	$\boldsymbol{FeE500}$	500	
Acier HA Type 2	$\boldsymbol{FeE400}$	400	Emplois sous forme de barres directes ou sous forme de treille
	$\boldsymbol{FeE500}$	500	
Treillis soudés	$\boldsymbol{TLE520}$	520	Emplois courant pour : Radier, Voile, Planchers, Dallage
	$\boldsymbol{TLE500}$	500	

Tableau I.4**:** *Autres caractéristiques de l'acier.*

Module d'élasticité longitudinale $(\boldsymbol{E_s})$				200000 MPa
Contraintes limites $(\boldsymbol{\sigma_s})$	**ELU**	***Situation durable*** σ_s		348 MPa
		Situation accidentelle σ_s		400 MPa
	ELS	***Fissuration préjudiciable***	***Armatures à haute adhérence*** $\overline{\boldsymbol{\sigma_s}}$	201.63 MPa
			Ronds lisse $\overline{\boldsymbol{\sigma_s}}$	159.40MPa
		Fissuration très préjudiciable	***Armatures à haute adhérence*** $\overline{\boldsymbol{\sigma_s}}$	165 MPa
			Ronds lisse $\overline{\boldsymbol{\sigma_s}}$	130.42 MPa
		Fissuration peu nuisible		Aucune vérification à faire

II.1. Introduction

Le pré dimensionnement s'agit de déterminer des dimensions prévisionnelles des éléments de l'ossature tels que les planchers, les dalles pleines, les poutres, les poteaux et les voiles.

Nous dimensionnons dans le présent chapitre les éléments de la structure suivant : **RPA99 v2003**, **DTR.B.C.2.2**, **C.B.A 93.**

II.2. Pré dimensionnement des planchers

Les planchers sont des éléments horizontaux séparant les étages d'un bâtiment, ils ont pour rôle de :

- Supporter les charges verticales afin de les transmettre aux éléments porteurs.
- Assurer la transmission des charges horizontales aux éléments de contreventement (Diaphragme rigide).
- Remplir la condition d'isolation acoustique et la sécurité d'incendie.

II.2.1. Planchers à corps creux

Ces planchers sont constitués par des poutrelles préfabriquées associées à des corps creux, l'épaisseur du plancher, et elle est calculée à l'aide des deux formules suivantes :

$$\frac{L}{25} \leq h_t \leq \frac{\mathrm{L}}{20}$$

$$h_t \geq \frac{\mathrm{L}}{22.5}$$

h_t: l'épaisseur du plancher ;

L : la plus longue portée des poutrelles (mesurée à nu d'appuis).

Pour notre projet : L=5,70 m

$$\frac{570}{25} \leq h_t \leq \frac{570}{20} \quad \Rightarrow \quad 22.8 \text{ cm} \leq h_t \leq 28.5 \text{ cm}$$

On adopte : h_t = 24 cm

$h_t = d + e \Rightarrow h_t$= 20+4 cm.

Avec :

d : l'épaisseur du corps creux ;

e : l'épaisseur de la dalle de compression.

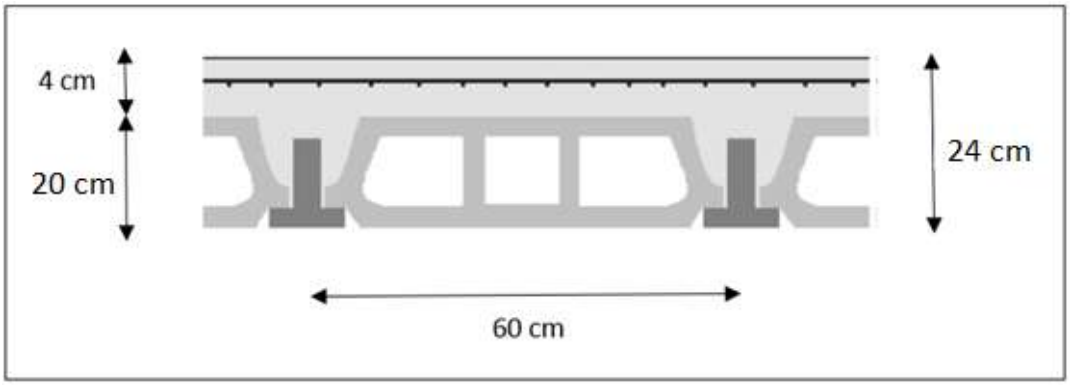


Figure II.1**:** *Coupe du plancher à corps creux*

II.2.2. Planchers dalles pleines

On va utiliser ce type de plancher pour les panneaux qui ont une forme triangulaire, l'épaisseur doit vérifier la condition de résistance, donnée en fonction de la nature des appuis sur lesquels repose la dalle, dans notre cas les dalles reposent sur deux appuis

a) Critère de résistance

$$\frac{L}{35} \leq e \leq \frac{L}{30}$$

L : la plus grande portée mesurée entre nus des appuis.

e : épaisseur de la dalle.

Pour le cas de notre structure, on a : L = 1.40 m.

$$\frac{140}{35} \leq e \leq \frac{140}{30} \Rightarrow 3.66\,cm \leq e \leq 4.66\,cm$$

b) Sécurité contre l'incendie :

e = 7 cm : peut assurer un coupe-feu d'une heure.

e = 11cm : peut assurer un coupe-feu de deux heures.

On choisit : e = 15 cm.

II.3. Pré dimensionnement des poutres

Les poutres sont des éléments linéaires dont leur section est rectangulaire ou en T, leur portée est largement supérieure aux dimensions de la section. Elles sont des éléments structuraux horizontaux chargés de la transmission des charges verticales et horizontales aux éléments verticaux (poteaux, voiles), Elles sont dimensionnées d'après les conditions de résistance et de la flèche.

$$\frac{L}{20} \leq h \leq \frac{L}{16} \quad , \quad 0.27h \leq b \leq 0.36h$$

L : la longueur de la poutre ayant la plus grande portée mesurée au nu d'appui ;

h : la hauteur de la poutre ;

b : la largeur de la poutre.

Tableau II.1**:** *Pré dimensionnement des poutres*

	Poutres principales	***Poutres secondaires***
Conditions de Résistance	L= 665cm ⇒ 33.25cm ≤ h ≤ 41.56cm On adopte : **h = 45cm** ⇒ 12.15cm ≤ b ≤ 16.2cm On adopte : **b=30cm**	L= 570cm ⇒ 28.5cm ≤ h ≤ 35.62cm On adopte : **h=35cm** ⇒ 9.45cm ≤ b ≤ 12.6cm On adopte : **b=30cm**
Vérification selon le (RPA99 v2003 Art.7.5)	b = 30cm ≥ 20cm h = 45cm ≥ 30cm h/b = 1.29≤ 4.0 **Conditions vérifiées**	b = 30cm ≥ 20cm h = 35cm ≥ 30cm h/b = 1.17 ≤ 4.0 **Conditions vérifiées**

Conclusion

Pour les poutres principales, on adopte la section : (b×h) = 30×45 cm².

Pour les poutres principales, on adopte la section : (b×h) = 30×35 cm².

II.4. Pré dimensionnement des poteaux

Les poteaux sont des éléments porteurs verticaux en béton armé, son rôle est de transmettre les charges verticales aux points d'appuis (fondations).

Pour le pré dimensionnement des poteaux, on utilise un calcul basé sur la capacité portante ($N_u \leq \bar{N}$)et la descente des charges permanentes et des charges d'exploitations à l'état limite ultime.

Selon l'Article B.8.11 du CBA93, cette charge peut être majorée de 10% pour les poteaux intermédiaires voisins des poteaux de rive dans le cas des bâtiments comportant au moins trois travées. Donc, dans notre cas, cette charge devienne :

$$N_u^* = 1.1N_u$$

II.4.1. Etapes de pré dimensionnement

- Calcul de la capacité portante $\bar{N}$ du poteau.
- Choix du poteau le plus sollicité.
- Calcul de la surface reprise par le poteau.
- Evaluation des charges.
- Détermination des charges permanentes et d'exploitation revenant à ce poteau.
- Vérification de l'effort normal ultime majoré.
- Vérification des dimensions de la section transversale des poteaux selon les conditions du (RPA99 v2003 Art 7.4.1)

  Pour les poteaux rectangulaires (carrés), on doit respecter la formule suivante :

$$N_u \leq \bar{N} = \alpha\left(\frac{B_r . f_{c28}}{0.9\,.\gamma_b} + A\frac{f_e}{\gamma_s}\right)$$

A : la section d'acier comprimé prise en compte dans le calcul. A=B/1000 ;

B_r : la section réduite du poteau obtenue en réduisant de sa section réelle en cm d'épaisseur sur toute sa périphérie.

$$\alpha = \frac{0.85}{1 + 0.2(\frac{\lambda}{35})^2} \quad Si\ \lambda \leq 50$$

$$\alpha = 0.30\left(\frac{50}{\lambda}\right)^2 \quad Si\ \ 50 \leq \lambda \leq 70$$

$$\lambda = \frac{l_f}{i} \quad . \quad l_f = 0.7 l_0$$

λ : l'élancement mécanique;

i : rayon de giration;

l_0 : longueur du poteau ;

l_f: longueur de flambement.

$i = \sqrt{I/b^2}$

I : moment d'inertie du poteau ;

b : largeur du poteau.

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad ; \quad b = h \quad ; \quad I = \frac{b^4}{12} \quad ; \quad i = \sqrt{(\frac{b^4}{12})/b^2} \quad ; \quad i = \frac{b}{\sqrt{12}}$$

f_{c28}=25 MPa ;f_e=400 MPa ;Situation durable : (γ_b=1.5 ; γ_s=1.15)

II.4.1.1. Calcul de la capacité portante $\bar{N}$

Tableau II.2**:** *Capacité portante $\bar{N}$ pour chaque section de poteau*

Etages	*B (mm^2)*	*Br (mm^2)*	$l_f(m)$	*i (m)*	λ	α	$A_s(mm^2)$	$\bar{N}$ *(KN)*
9	350*350	108900	2.10	101.04	20.78	0.79	122.50	1635.06
8	350*350	108900	2.38	101.04	23.56	0.78	122.50	1604.98
7	400*400	144400	2.38	115.4701	20.61	0.79	160.00	2169.77
6	400*400	144400	2.38	115.4701	20.61	0.79	160.00	2169.77
5	400*400	144400	2.38	115.4701	20.61	0.79	160.00	2169.77
4	450*450	184900	2.38	129.9038	18.32	0.81	202.50	2816.01
3	450*450	184900	2.38	129.9038	18.32	0.81	202.50	2816.01
2	450*450	184900	2.38	129.9038	18.32	0.81	202.50	2816.01
1	500*500	230400	2.38	144.3376	16.49	0.81	250.00	3543.29
RDC	500*500	230400	2.38	144.3376	16.49	0.81	250.00	3543.29
Sous-sol	550*550	280900	3.21	144.3376	22.26	0.79	302.50	4173.37

II.4.1.2. Choix du poteau le plus sollicité

Le poteau le plus sollicité dans notre projet est un poteau voisin de poteau de rive.

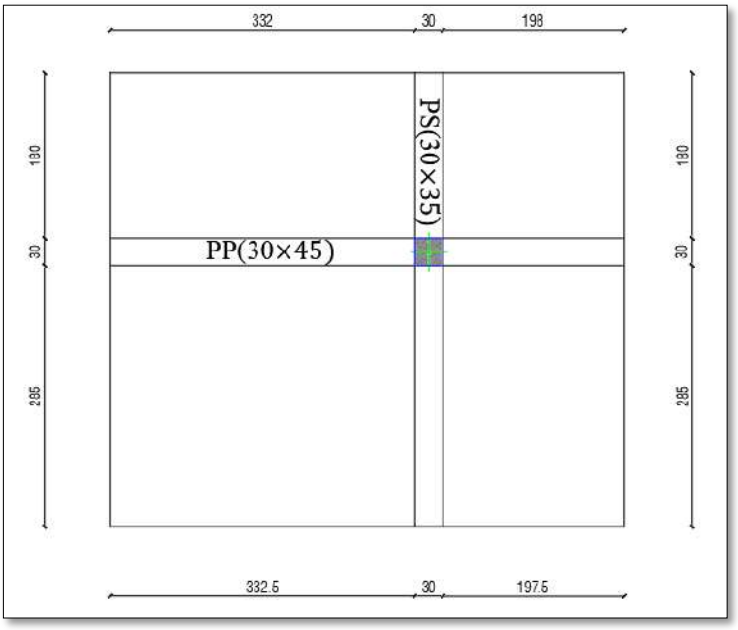


Figure II.2: *Surface reprise par le poteau le plus sollicité.*

- **Calcul de la surface reprise par le poteau**

$S_{totale} = (2.85 + 0.30 + 1.80) * (3.325 + 0.3 + 1.975) \Rightarrow S_{totale} = 27.72\ m^2$

$S_{plancher} = (2.85 + 1.80) * (3.325 + 1.975) \Rightarrow S_{plancher} = 24.64\ m^2$

II.5. Evaluation des charges (DTR B.C 2.2)

II.5.1. Charges permanentes

II.5.1.1. Maçonnerie

a) Murs intérieurs (simple cloison) :

Tableau II.3: *Charge permanente du mur intérieur*

/	Composants	Epaisseur (m)	Poids volumique (kN/m³)	Poids surfacique (kN/m²)	Article de référence
1	Enduit en ciment	0.02	0.18	0.36	DTR B.C. 2.2 C.2-Enduits
2	Brique creuse	0.10	9	0.90	DTR B.C. 2.2 C.1 maçonnerie
3	Enduit en ciment	0.02	0.18	0.36	DTR B.C. 2.2 C.2- Enduits
TOTAL				**1.62**	

b) Murs extérieurs (double cloison)

Tableau II.4**:** *Charge permanente du mur extérieur*

	Composants	Epaisseur (m)	Poids volumique (kN/m³)	Poids surfacique (kN/m²)	Article de référence
1	Enduit en ciment	0.02	18	0.36	DTR B.C. 2.2 C.2- Enduits
2	Brique creuse	0.10	90	0.90	DTR B.C. 2.2 C.1 maçonnerie
3	Lame d'air	0.05	/	/	/
4	Brique creuse	0.10	90	0.90	DTR B.C. 2.2 C.1 maçonnerie
5	Enduit en ciment	0.02	18	0.36	DTR B.C. 2.2 C.2- Enduits
TOTAL				**2.52**	

II.5.1.2. Plancher terrasse

Tableau II.5: *Charge permanente du plancher terrasse a corps creux*

N°	*Composants*	*Epaisseur (m)*	*Poids volumique (kN/m³)*	*Poids surfacique (kN/m²)*	*Article de référence*
1	***Gravillon roulé***	0.04	20	0.80	DTR B.C. 2.2 C.5-TOITURES
2	***Etanchéité multicouche***	0 .02	6	0.12	DTR B.C. 2.2 C.5-TOITURES
3	***Papier Kraft***	/	/	0.05	DTR B.C. 2.2 C.5-TOITURES
4	***Forme de pente***	0.10	22	2.20	DTR B.C. 2.2 C.5-TOITURES
5	***Film polyane***	/	/	0.01	DTR B.C. 2.2 C.5-TOITURES
6	***Plaque de liège***	0.04	4	0.03	DTR B.C 2.2 B-POIDS VOLUMIQUE
7	***Pare vapeur***	/	/	0.06	DTR B.C. 2.2 C.5-TOITURES
8	***Plancher corps creux (20+4)***	0.24	/	3.30	DTR B.C. 2.2 C.3-PLANCHERS
9	***Enduit en plâtre***	0.02	10	0.20	DTR B.C. 2.2 C.2-ENDUITS
TOTAL				**6.77**	

Tableau II.6: *Charge permanente du plancher terrasse a dalle pleine*

N°	*Composants*	*Epaisseur (m)*	*Poids volumique (kN/m³)*	*Poids surfacique (kN/m²)*	*Article de référence*
1	***Gravillon roulé***	0.04	20	0.80	DTR B.C. 2.2 C.5-TOITURES
2	***Etanchéité multicouche***	0 .02	6	0.12	DTR B.C. 2.2 C.5-TOITURES
3	***Papier Kraft***	/	/	0.05	DTR B.C. 2.2 C.5-TOITURES
4	***Forme de pente***	0.10	22	2.20	DTR B.C. 2.2 C.5-TOITURES
5	***Film polyane***	/	/	0.01	DTR B.C. 2.2 C.5-TOITURES
6	***Plaque de liège***	0.04	4	0.03	DTR B.C 2.2 B-POIDS VOLUMIQUE
7	***Pare vapeur***	/	/	0 .06	DTR B.C. 2.2 C.5-TOITURES
8	***Dalle pleine***	0.15	/	3.75	DTR B.C. 2.2 C.3-PLANCHERS
9	***Enduit en plâtre***	0.02	10	0.20	DTR B.C. 2.2 C.2-ENDUITS
TOTAL				**7.22**	

II.5.1.3. Plancher courant

Tableau II.7 : *Charge permanente du plancher courant à corps creux*

N°	*Composants*	*Epaisseur (m)*	*Poids volumique (kN/m³)*	*Poids surfacique (kN/m²)*	*Article de référence*
1	*Carrelage*	0.02	20	0.40	DTR B.C. 2.2 C.4-Revetement du plancher
2	*Mortier de pose*	0.02	/	0.40	DTR B.C. 2.2 C.4-Revetement du plancher
3	*Lit de sable*	0.03	18	0.54	DTR B.C. 2.2 ANNEXE VI-A
4	*Plancher corps creux (16+4)*	0.20	/	3.30	DTR B.C. 2.2 C.3-PLANCHERS
5	*Enduit en plâtre*	0.02	10	0.20	DTR B.C. 2.2 C.2-ENDUITS
6	*Cloison simple*	0.10	/	1.62	DTR B.C. 2.2 C.1-MACONNERIE
TOTAL				**6.46**	

Tableau II.8: *Charge permanente du plancher courant à dalle pleine*

N°	*Composants*	*Epaisseur (m)*	*Poids volumique (kN/m³)*	*Poids surfacique (kN/m²)*	*Article de référence*
1	*Carrelage*	0.02	20	0.40	DTR B.C. 2.2 C.4-Revêtement du plancher
2	*Mortier de pose*	0.02	/	0.40	DTR B.C. 2.2 C.4-Revêtement du plancher
3	*Lit de sable*	0.03	18	0.54	DTR B.C. 2.2 ANNEXE VI-A
4	*Dalle pleine*	0.15	/	3.75	DTR B.C. 2.2 C.3-PLANCHERS
5	*Enduit en plâtre*	0.02	10	0.20	DTR B.C. 2.2 C.2-ENDUITS
6	*Cloison simple*	0.10	/	1.62	DTR B.C. 2.2 C.1-MACONNERIE
TOTAL				**6.91**	

II.5.2. Charges d'exploitation

- Terrasse inaccessible : Q=1 kN/m²
- Terrasse accessible : Q=1.5kN/m²
- Habitation : Q=1.5 kN/m²
- Parking : Q=2.5 kN/m²

II.5.3. Charges permanentes totale

Tableau II.9: *Charges permanentes cumulées des surfaces reprises*

Étages	$G_{poteau}(kN)$	$G_{pp}(kN)$	$G_{ps}(kN)$	$G_{plancher}(kN)$	$G_{niveau}(kN)$	$G_{cumulée}(kN)$
9	9.19	6.67	7.42	37.77	61.04	61.04
8	10.41	17.89	12.08	157.49	197.87	258.91
7	13.60	17.89	12.08	157.49	201.06	459.97
6	13.60	17.89	12.08	157.49	201.06	661.03
5	13.60	17.89	12.08	157.49	201.06	862.08
4	17.21	17.89	12.08	157.49	204.67	1066.75
3	17.21	17.89	12.08	157.49	204.67	1271.42
2	17.21	17.89	12.08	157.49	204.67	1476.09
1	21.25	17.89	12.08	157.49	208.71	1684.80
RDC	21.25	17.89	12.08	157.49	208.71	1893.51
Sous sol	34.71	17.89	12.08	157.49	222.17	2115.68

II.5.4. Charges d'exploitation totale

Pour déterminer les charges d'exploitation, on utilise la loi de dégression voir annexe 1.

Tableau II.10 : *Charges d'exploitation cumulées des surfaces reprises*

Étages	Q (kN)	(3+n)/2n	$Q_{cumulée}$(kN)
9	7.16	-	7.16
8	41.58	1	48.74
7	41.58	0.95	86.16
6	41.58	0.9	119.43
5	41.58	0.85	148.53
4	41.58	0.8	173.48
3	41.58	0.75	194.27
2	41.58	0.71	213.81
1	41.58	0.68	233.36
RDC	41.58	0.66	254.15
Sous sol	41.58	0.65	277.43

II.5.5. L'effort normal ultime N_u

- $N_u = 1.35G + 1.5Q$

- $Nu^* = N_u + 10\%N_u = 1.1N_u$

Tableau II.11: *Vérification de l'effort normal des poteaux*

Étages	*G (kN)*	*Q (kN)*	N_u *(kN)*	*Nu* (kN)*	$\bar{N}$ *(kN)*	Verification
9	61.04	7.16	93.146	102.46	1635.06	Oui
8	258.91	48.74	422.64	464.90	1604.98	Oui
7	459.97	86.16	750.20	825.22	2169.77	Oui
6	661.03	119.43	1071.52	1178.68	2169.77	Oui
5	862.08	148.53	1386.61	1525.27	2169.77	Oui
4	1066.75	173.48	1700.34	1870.37	2816.01	Oui
3	1271.42	194.27	2007.83	2208.61	2816.01	Oui
2	1476.09	213.81	2313.44	2544.79	2816.01	Oui
1	1684.80	233.36	2624.51	2886.96	3543.29	Oui
RDC	1893.51	254.15	2937.45	3231.20	3543.29	Oui
Sous sol	2115.68	277.43	3272.30	3599.54	4173.38	Oui

II.5.6. Vérification selon le (RPA99 v2003)

a) Vérification des sections :(RPA99 v2003 Art.7.4.1)

Tableau II.12: *Vérification des sections selon le RPA99 version2003*

Condition à vérifier	*Application de condition*	*Vérification*
Zone III ***Min (b, h) ≥ 30 cm*** ***Min (b, h) ≥ h_e /20*** ***0.25 ≤ (b/h) ≤ 4***	Min (b, h) = 30cm h_e /20 = (340-0.35) /20 = 15cm 0.25 ≤ (b/h) =1 ≤ 4	Oui

b) Vérification aux zones nodales (RPA 99 v 2003 Art.7.5)

Il nous reste à vérifier :

- $b_{max} \leq 1.5h_1 + b_1$
- $d \leq Max\left(\frac{b_1}{2}, \frac{h_1}{2}\right)$

Tableau II.13: *Vérification des dimensions selon le RPA99 version2003*

Section des poteaux (cm)	$b_{max}(cm)$	$h_1(cm)$	b_1 (cm)	$b_{max} \leq 1.5h_1 + b_1$	$d\,(cm)$	$Max(\frac{b_1}{2}, \frac{h_1}{2})$	$d \leq Max(\frac{b_1}{2}, \frac{h_1}{2})$
35*35	30	35	35	Oui	2.5	17.5	Oui
40*40	30	40	40	Oui	5	20	Oui
45*45	30	45	45	Oui	7.5	22.5	Oui
50*50	30	50	50	Oui	10	25	Oui
55*55	30	55	55	Oui	12.5	27.5	Oui

II.6. Pré dimensionnement des voiles

Les voiles sont des murs réalisés en béton armé, ils auront pour rôle le contreventement du bâtiment et éventuellement supporter une fraction des charges verticales ainsi qu'une partie des charges horizontales.

On considère comme voiles les éléments satisfaisant à la condition L ≥ 4a. Dans le cas contraire, ces éléments sont considérés comme des éléments linéaires.

Le (RPA99 v2003 Art7.7.1) exige une épaisseur minimale de 15 cm, de plus, l'épaisseur doit être déterminée en fonction de la hauteur libre d'étage $h_e$et des conditions de rigidité aux extrémités.

Pour le Sous-sol :

$$a \geq Max\left[15cm, \frac{h_e}{22}\right] \quad \Rightarrow \quad a \geq Max\left[15cm, \frac{(459-35)}{22} = 19.72cm\right]$$

On adopte a *=20 cm .*

Pour les autres étages :

$$a \geq Max\left[15cm, \frac{h_e}{22}\right] \quad \Rightarrow \quad a \geq Max\left[15cm, \frac{(340-35)}{22} = 13.86cm\right]$$

On adopte $a = 15cm$.

Conclusion

Les sections de pré dimensionnement des poteaux de tous les niveaux sont suffisantes par rapport aux efforts normaux ultimes (due aux charges statiques), et satisfaites aux conditions du RPA99 version 2003.

On peut adopter une épaisseur de 20cm pour le Sous-sol en raison de l'impact de la poussée des terres et de 15cm pour les autres étages de calcul (zone III, bâtiment en 11 niveaux).

III.1. Acrotère

L'acrotère est un élément en béton armé placé à la périphérie du plancher terrasse. Il a pour rôle de protéger l'étanchéité, empêcher les eaux de ruissellement de s'introduire derrière les relevés d'étanchéité, protéger les enduit et revêtements des façades.

III.1.1. Principe de calcul

Dans le calcul, l'acrotère est considéré comme une console encastrée dans le plancher terrasse. Le calcul de ferraillage se fait pour une bande de 1m de largeur, C'est un système isostatique assimilé à une console de 100cm de largeur, encastrée au plancher terrasse et soumise à un effort normal dû à son poids propre et un moment à l'encastrement dû à une charge d'exploitation de 1kN/ml appliquée à son extrémité. La fissuration est considérée comme préjudiciable car l'acrotère est sujet aux intempéries.

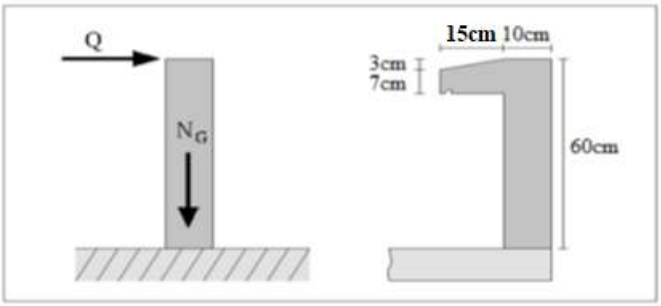


Figure III.1: *L'acrotère (dimensions et charges exercées)*

III.1.2. Evaluation des charges et surcharges

Tableau III.1: *Evaluation des charges et surcharges sur l'acrotère*

Charges permanents	G=1.82 kN/ml
Charges d'exploitation	Q=1 kN/ml

III.1.3. Détermination des efforts

Tableau III.2: *Les efforts exercés sur l'acrotère*

	ELU	***ELS***
Effort normal	$N_u = 1.35G = 2.46$ kN	$N_u = G = 1.82$ kN
Moment d'encastrement	$M_u = 1.5\ Q.h = 0.9$ kN.m	$M_{ser} = Q.h = 0.6$ kN.m
Effort tranchant	$T_u = 1.5\ Q = 1.5$ kN	$T_{ser} = Q = 1$ kN

III.1.4. Calcul de ferraillage

Le calcul de ferraillage se fait par une section rectangulaire (100x10) cm² soumise à la flexion composée et en situation durable à l'état limite ultime.

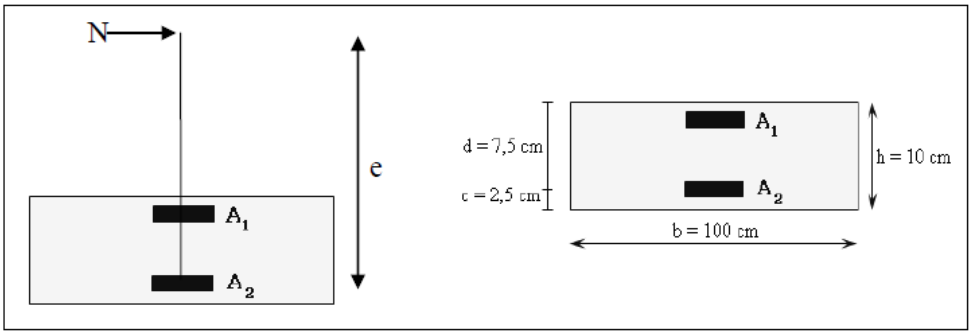


Figure III.2: *Section de béton armé dans l'acrotère*

Tableau.III.3 : *le ferraillage adopté.*

Section ***(cm²)***	A_1 ***(cm²)***	A_2 ***(cm²)***	$A_{1\,Choisie}$ ***(cm²)***	$A_{2\ choisie}$ ***(cm²)***	$A_{rép}$ ***(cm²)***	***St*** ***(cm)***	$St_{rép}$ ***(cm)***
100x10	4.40	4.40	7HA10 = 5.5	7HA10 = 5.5	4HA8 = 2.01	15	15

III.1.4.1. Vérification à l'état limite de service (ELS)

On doit vérifier ces trois conditions : $\begin{cases}\sigma_b \le \overline{\sigma_b} \\ \sigma_s \le \overline{\sigma_s} \\ \sigma_s{}' \le \overline{\sigma_s}\end{cases}$

Fissuration préjudiciable, donc :

$$\overline{\sigma_s} = Min\left[\frac{2}{3}f_e\,;110\sqrt{\eta.f_{tj}}\right] = 201.63 \qquad \overline{\sigma_b} = 0.6f_{c28} = 15\ MPa$$

$$\sigma_b = 0.34\ MPa \le \overline{\sigma_b} = 15\ MPa \quad \Rightarrow \quad condition\ vérifiée$$

$$\sigma_s = 2.22\ MPa \le \overline{\sigma_s} = 201.63\ MPa \quad \Rightarrow \quad condition\ vérifiée$$

$$\sigma_s' = 2.70\ MPa \le \overline{\sigma_s} = 201.63\ MPa \quad \Rightarrow \quad condition\ vérifiée$$

III.1.4.2. Vérification des contraintes de cisaillement à l'ELU

$$\tau_{adm} = Min\left[\frac{0.15f_{c28}}{\gamma_b}; 4MPa\right] = Min\,[\,2.5MPa\,;4MPa\,] \Rightarrow \tau_{adm} = 2.5\ MPa$$

$$\tau = \frac{T_u}{b.d} = \frac{1.5*10^3}{1000*75} = 0.02MPa \le \tau_{adm} = 2.5\ MPa \quad \Rightarrow \quad condition\ vérifiée.$$

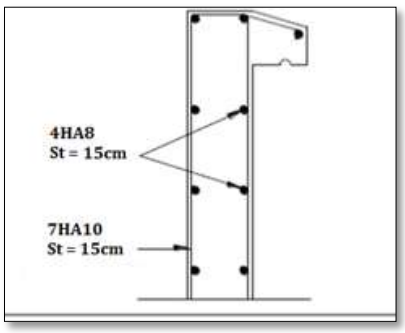


Figure III.3: *Ferraillage de l'acrotère*

III.2. Plancher à corps creux

Ce type de plancher est très couramment utilisé dans les bâtiments d'habitation, il est constitué de :

- Poutrelles préfabriquées en béton armé, disposées parallèlement de 60 cm d'espacement ;
- Entrevous (corps creux) en béton de forme adaptée aux poutrelles ;
- Une dalle de compression supérieure en béton de 4 cm d'épaisseur ;

Le calcul des planchers se fait exclusivement sous l'action des charges verticales, et pour les planchers à corps creux, le calcul se fera pour deux éléments :

- La dalle de compression ;
- Les poutrelles.

III.2.1. La dalle de compression

Sert à la bonne distribution des charges verticales sur les poutrelles, et pour limiter le risque de fissuration ainsi que pour résister aux efforts appliqués sur la dalle ; on prévoit un ferraillage en quadrillage.

La section d'armature à prévoir doit être satisfaite aux conditions suivantes :

- Espacement pour les armatures perpendiculaires aux nervures au plus égale à 20 cm ;
- Espacement pour les armatures parallèles aux nervures au plus égale à 33 cm ;
- La section d'armatures dans le sens perpendiculaire aux nervures est donnée par :

$$A_t \geq \frac{200}{f_e} \qquad si : L \leq 50cm$$

$$A_t \geq 0.02\, L \frac{200}{f_e} = \frac{4L}{f_e} \qquad si : 50cm \leq L \leq 80cm$$

Avec :

L : espacements entre axes des nervures (60 cm dans notre ouvrage).

F_e : nuance de l'acier FeE520 ($F_e = 520$).

Le treillis soudé qui sera utilisé sera à maillage carré de 20cm x 20 cm

A_{t1}: Section d'armatures perpendiculaires aux nervures.

On a: $L = 60cm \quad \Rightarrow \quad A_{t1} \geq 0.02\, L \frac{200}{F_e} = \frac{4L}{F_e} = \frac{240}{520} = 0.46cm^2/ml$

- La section d'armatures dans le sens parallèle aux nervures est donnée par :

$$A_{t2} = \frac{A_{t1}}{2} = \frac{0.5}{2} = 0.25cm^2/ml$$

$$On\ choisira :\ A_{t1} = 5\ \emptyset\ 5 = 0.98cm^2 avec\ un\ espacement\ de\ 20cm.$$

$$A_{t2} = 4\ \emptyset\ 5 = 0.78cm^2 avec\ un\ espacement\ de\ 25cm.$$

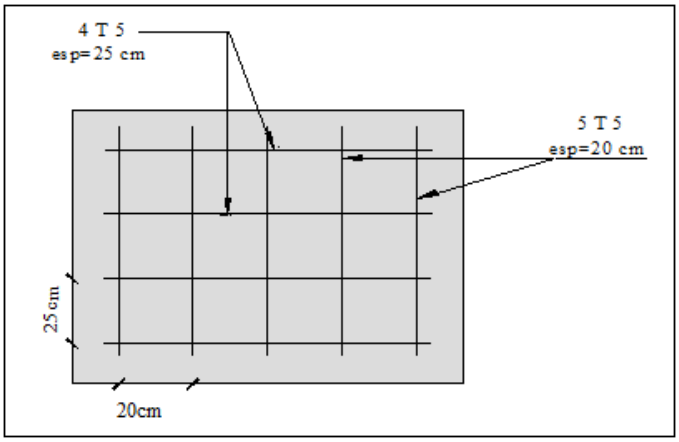


Figure.III.4 : *Disposition des armatures de la dalle de compression.*

III.2.2. Les poutrelles

III.2.2.1. Poutrelle d'étage courant

Les poutrelles sont préfabriquées, elles sont calculées par les sollicitations (G, Q), la surface revenant à chaque poutrelle est S = 0,60*L, on dispose les poutrelles dans le sens de la petite portée, le calcul des poutrelles se fait en deux étapes :

- Avant coulage
- Après coulage

III.2.2.1.1. Avant coulage

La poutrelle avant coulage est une poutre isostatique soumise aux charges suivantes

- Son poids propre.
- Le poids de corps creux (entrevous).
- Une charge concentrée à son milieu dont l'intensité est la plus grande de 1 kN ou (0.5∗L) kN, qui représente le poids d'un ouvrier.

  La méthode exposée en annexe 2 Il y a une méthode simplifiée, consiste à calculer la section en BA de 12x4 en flexion simple. Le fait que A'≠ 0, on rajoute des étaiements jusqu'on obtient $\mu \leq \mu_l$

Tableau III.4: *vérification de la flèche pour la poutrelle d'étage courant*

Nombre d'étais	$L\ (m)$	$G\ (kN/ml)$	$Q\ (kN)$	$E\ (MPa)$	$I\ (m^4)$	$f\ (mm)$	$\bar{f}\ (mm)$	$f \leq \bar{f}$
0	6.00	0.72	3	210000	$6.4 * 10^{-7}$	137.4	11	Non
1	3.00	0.72	1.5	210000	$6.4 * 10^{-7}$	11.92	6	Non
2	2.00	0.72	1	210000	$6.4 * 10^{-7}$	2.35	4	Oui

III.2.2.1.2. Après coulage

L'ensemble des poutrelles est considéré comme une poutre continue. Dans notre bâtiment, on doit calculer deux types des poutres continues qui sont :

- Poutrelle à 2 travées (étage courante).
- Poutrelle à 3 travées (Terrasse).

Le calcul de ferraillage se fera soit par la méthode de Caquot, voir annexe 2

Type 1 : La fil de poutrelles (étage courant).

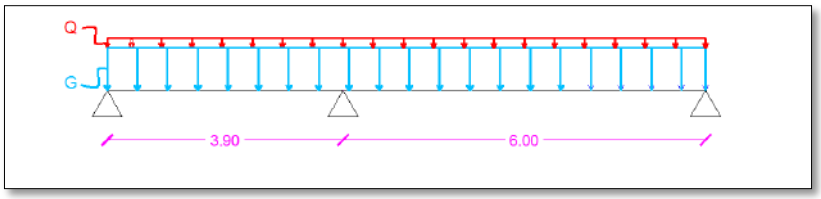


Figure.III.5: *Chargement dans la poutrelle d'étage courant*

$G = 3.67\ kN/ml\ ,\ \ Q = 1.50\ kN/ml \quad \Rightarrow \quad P_u = 1.35G + 1.5Q \Rightarrow\ P_u = 7.21kN$

Tableau III.5: *les Moments d'encastrement exercés sur la poutrelle à l'ELU*

Travée	***AB***		***BC***	
$M_t\ (kN.m)$	2.94		15.43	
$M_a\ (kN.m)$	M_A	M_B	M_B	M_C
$M_a\ (kN.m)$	0.74	-22.82	-22.82	3.86
$T\ (kN)$	T_w	T_e	T_w	T_e
$T\ (kN)$	-6.99	18.68	-23.55	15.95

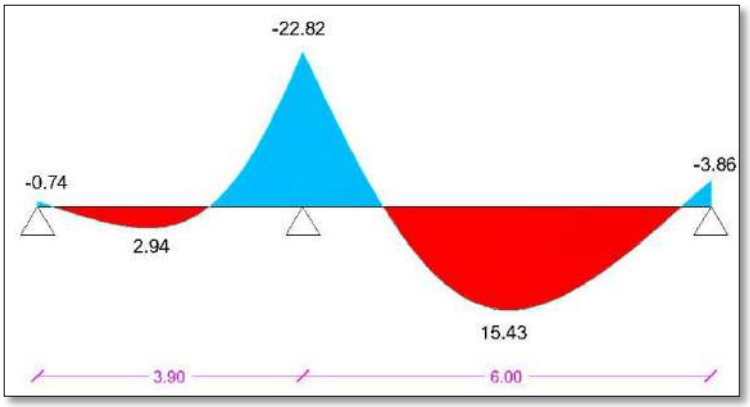


Figure.III.6: *Digramme des moments d'encastrement de la poutrelle d'étage courant à ELU*

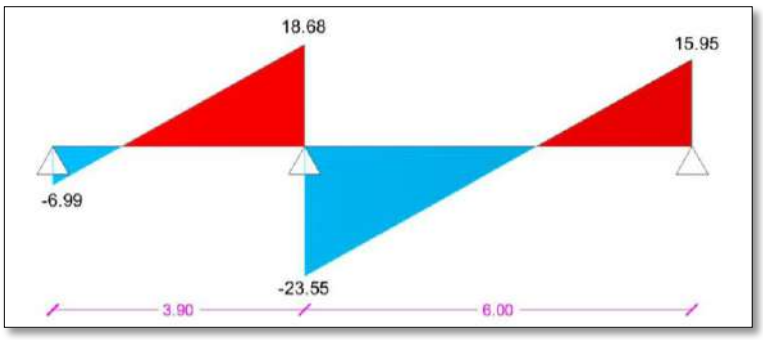


Figure.III.7**:** *Diagramme des efforts tranchants de la poutrelle d'étage courant à ELU*

Tableau III.6: *Section d'armatures longitudinales dans la poutrelle d'étage courant*

Poutrelles	$M_{t\,max}\,(kN.m)$	$M_{a\,max}\,(kN.m)$	$A_1\,(cm^2)$	$A_2\,(cm^2)$	$A_{1_{ch}}\,(cm^2)$	$A_{2_{ch}}\,(cm^2)$
travée 1	2.94	- 22.82	0.4	4.3	3HA10=2.36	1HA14+2HA14= 4.62
travée 2	15.43	- 22.82	2.1	4.3	3HA10=2.36	1HA14+2HA14= 4.62

- **Vérification des contraintes à l'ELS**

G=3.67 kN/ml , Q=1.5kN/ml $\Rightarrow\ P_{ser} = G + Q \Rightarrow P_{ser} = 5.17kN$

Tableau III.7**:** *les Moments d'encastrement exercés sur la poutrelle d'étage courant à l'ELS*

Travée	***AB***		***BC***	
$M_t\,(kN.m)$	2.14		11.2	
$M_a\,(kN.m)$	M_A	M_B	M_B	M_C
$M_a\,(kN.m)$	-0.53	-16.54	-16.54	-2.8

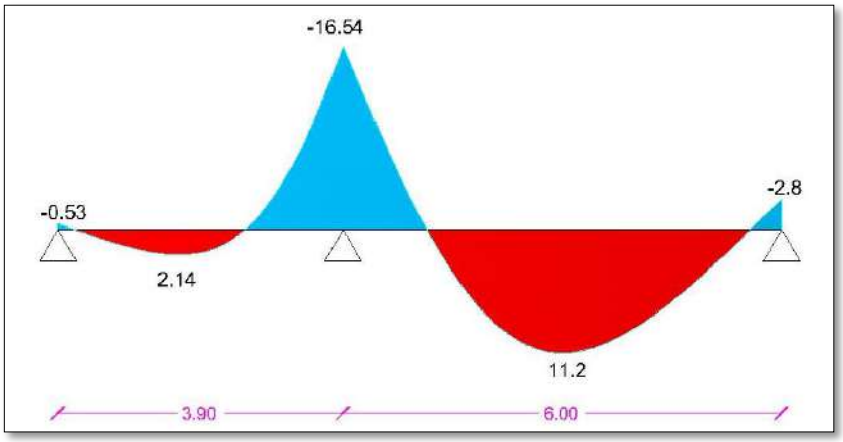


Figure.III.8: *Diagramme des moments dans la poutrelle d'étage courant l'ELS*

La fissuration est peu nuisible, Donc il suffit de vérifier : $\sigma_b \leq \overline{\sigma_b}$

Tableau III.8: *vérification à l'ELS de la poutrelle d'étage courant*

Longueur	***Sollicitation à l'ELS***		***Contraintes***		***Contraintes admissible***	***Vérification***
	M_t	M_a	$\sigma_{b\ travée}$	$\sigma_{b\ appui}$	$\overline{\sigma_b}$	
3.90	2.14	-16.54	0.01	12.1	15	Oui
6.00	11.20	-16.54	4.00	12.1	15	Oui

➢ Vérification des contraintes de cisaillement à l'ELU

Tableau III.9: *Vérification des contraintes de cisaillement à l'ELU*

Longueur	$T_u(kN)$	$\tau_u(MPa)$	$\overline{\tau_u}(MPa)$	***Vérification***	Z_N	Z_C	$\emptyset$	A_t
3.9	18.68	1.08	3.33	CV	20	20	5	2HA5=0.39
6	-23.55	1.36	3.33	CV	20	20	5	2HA5=0.39

➢ Vérification de la flèche

La vérification de la flèche n'est pas nécessaire si les trois inégalités de la méthode forfaitaire sont vérifiées (Voir annexe 4). Tant qu'une inégalité n'est pas vérifiée dans notre cas, on doit vérifier alors la flèche selon la méthode montrée en annexe 2 dont les résultats sont présentés dans le tableau III.10.

Tableau III.10: *Vérification de la flèche de poutrelle d'étage courant*

Travée et section				***Sollicitations à l'ELS***	***Armatures principales***		***flèche***		***vérification***
	L	B	H	M travée	A_1	A_2	$[f]_t$	$[f]_{adm}$	
N°	$[m]$	$[cm]$	$[cm]$	$[KN.m]$	$[cm^2]$		$[mm]$	$[mm]$	Oui/Non
1	3.9	8	24	*2.14*	*2.36*	*1.54*	*0.1*	*7.8*	*Oui*
2	6	8	24	*11.2*	*2.36*	*1.54*	*10.4*	*11*	*Oui*

Type 2 : La fil de poutrelles (plancher terrasse)

$G = 4.03\ kN/ml$, $Q = 0.6\ kN/ml$ $\Rightarrow$ $P_u = 1.35G + 1.5Q \Rightarrow P_u = 6.34kN$

Tableau III.11: *les Moments d'encastrement exercés sur la poutrelle à l'ELU*

	AB		***BC***		***CD***	
$\boldsymbol{M_t\ (kN.m)}$	7.76		0.12		7.42	
$\boldsymbol{M_a\ (kN.m)}$	$\boldsymbol{M_A}$	$\boldsymbol{M_B}$	$\boldsymbol{M_B}$	$\boldsymbol{M_C}$	$\boldsymbol{M_C}$	$\boldsymbol{M_D}$
$\boldsymbol{M_a\ (kN.m)}$	−1.94	−10.20	−10.20	−9.67	−9.67	−1.86

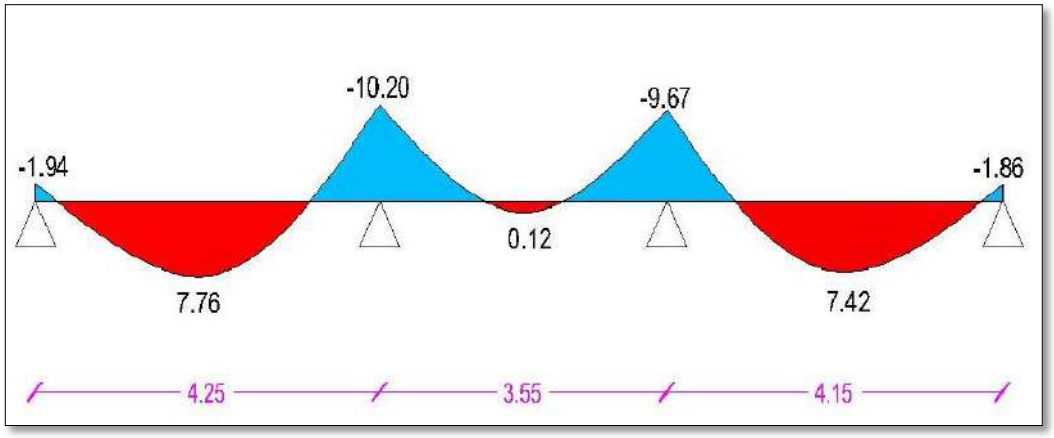


Figure III.10: *Digramme des moments d'encastrement de la poutrelle de la terrasse à l'ELU*

Tableau III.12: *Section d'armatures longitudinales dans la poutrelle de la terrasse*

	$\boldsymbol{M_{t\,max}\ (kN.m)}$	$\boldsymbol{M_{a\,max}\ (kN.m)}$	$\boldsymbol{A_1\ (cm^2)}$	$\boldsymbol{A_2\ (cm^2)}$	$\boldsymbol{A_{1_{ch}}\ (cm^2)}$	$\boldsymbol{A_{2_{ch}}\ (cm^2)}$
Travée 1	-7.76	-10.20	1.02	1.60	2HA10 = 1.57	1HA10+1$_{ch}$HA12= 1.92
Travée 2	0.12	- 10.20	0.37	1.60	2HA10 = 1.57	1HA10+1$_{ch}$HA12= 1.92
Travée 3	7.42	-9.67	0.98	1.51	2HA10 = 1.57	1HA10+1$_{ch}$HA12= 1.92

- **Vérification des contraintes à l'ELS**

Type 1 : G=4.03kN/ml , Q=0.6kN/ml$\Rightarrow P_{ser} = G + Q \Rightarrow P_{ser} = 4.63kN$

Tableau III.13: *les Moments d'encastrement exercés sur la poutrelle de la terrasse à l'ELS*

Travée	***AB***		***BC***		***CD***	
$M_t\ (kN.m)$	5.66		0.09		5.41	
$M_a\ (kN.m)$	M_A	M_B	M_B	M_C	M_C	M_D
$M_a\ (kN.m)$	−1.42	−7.45	−7.45	−7.06	−7.06	−1.35

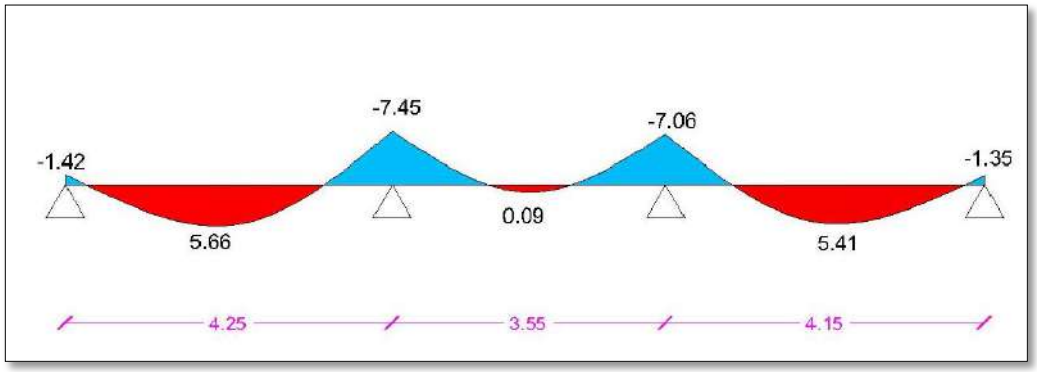


Figure.III.11 : *Diagramme des moments dans la poutrelle de la terrasse à l'ELS*

La fissuration est peu nuisible, Donc il suffit de vérifier : $\sigma_b \leq \overline{\sigma_b}$

Tableau III.14: *vérification à l'ELS de la poutrelle du terrasse*

Poutrelles	***Sollicitation à l'ELS***		***Contraintes***		***Contraintes admissible***	***Vérification***
	M_t	M_a	$\sigma_{b\ travée}$	$\sigma_{b\ appui}$	$\overline{\sigma_b}$	
Travée 1	5.66	-7.45	2.41	7.51	15	Oui
Travée 2	0.09	-7.45	0	7.51	15	Oui
Travée 3	5.41	-7.06	2.31	7.12	15	Oui

- **Vérification des contraintes de cisaillement à l'ELU**

Tableau III.15: *Vérification des contraintes de cisaillement à l'ELU*

Longueur	T_u (kN)	τ_u (MPa)	$\overline{\tau_u}$ (MPa)	***Vérification***	Z_N (cm)	Z_c (cm)	$\emptyset$ (mm)	**At (cm²)**
4.25	15.97	0.92	3.33	Oui	20	20	3	2HA3=0.14
3.55	-11.48	0.66	3.33	Oui	20	20	3	2HA3=0.14
4.15	-15.58	0.90	3.33	Oui	20	20	3	2HA3=0.14

- **Vérification de la flèche**

Tant qu'une inégalité n'est pas vérifiée dans notre cas (voir annexe 4), on doit vérifier alors la flèche selon la méthode montrée en annexe 2 dont les résultats sont présentés dans le tableau III.17.

Tableau III.16 : *Vérification de la flèche de poutrelle de la terrasse*

Travée et section				***Sollicitations à l'ELS***	***Armatures principales***	***flèche***		***vérification***
	L	*B*	*H*	*M travée*	A_1	$[f]_t$	$[f]_{adm}$	
N°	$[m]$	$[cm]$	$[cm]$	$[KN.m]$	$[cm^2]$	$[mm]$	$[mm]$	*Oui/Non*
1	*4.25*	8	24	*5.66*	*1.57*	*6.40*	*8.5*	*Oui*
2	3.55	8	24	*0.09*	*1.57*	*-0.30*	*8.5*	*Oui*
3	4.15	8	24	*5.41*	*1.57*	*6.00*	*8.5*	*Oui*

III.3. Les escaliers

Un escalier est une suite des plans horizontaux disposés en gradins, afin de permettre de se déplacer d'un niveau à un autre.

III.3.1. Escalier d'étage courant

III.3.1.1. Dimensionnement

Le schéma statique de ce type d'escalier est comme présenté dans la figure suivante :

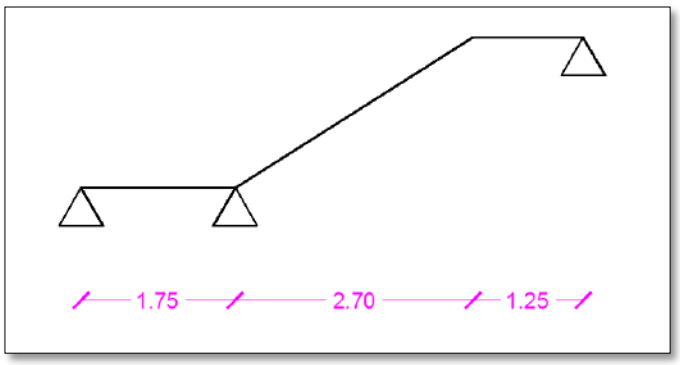


Figure III.12: *Schéma statique d'une volée d'escalier d'étage courant*

- **Calcul d'épaisseur de la paillasse**

Les deux volées ont la même longueur de paillasse.

$$\frac{L}{35} \leq e \leq \frac{L}{30} \Rightarrow \quad 13.37cm \leq e \leq 15.6cm$$

On prendra : e=18cm

III.3.1.2. Evaluation des charges et surcharges

III.3.1.2.1. Charges permanentes

Tableau III.17: *Charge permanente de la paillasse*

N°	*Composants*	*Epaisseur (m)*	*Poids volumique (kN/m3)*	*Poids surfacique (kN/m2)*	*Article de référence*
1	*Carrelage*	0.02	20	0.40	DTR B.C. 2.2 C.4- Revêtement du plancher
2	*Mortier de pose*	0.02	20	0.40	DTR B.C. 2.2 C.2-ENDUITS
3	*Lit de sable*	0.03	18	0.54	DTR B.C. 2.2 ANEXES VI -A
4	*Poids propre de la paillasse*	0.18/cosα	25	5.17	DTR B.C. 2.2 B-POIDS VOLUMIQUE
5	*Poids propre de la marche*	0.17/2	25	2.13	DTR B.C. 2.2 B-POIDS VOLUMIQUE
6	*Enduit en ciment*	0.02	18	0.36	DTR B.C. 2.2 C.2-ENDUITS
TOTAL				9.01	

Tableau III.18: *Charge permanente du palier de repos*

N°	*Composants*	*Epaisseur (m)*	*Poids volumique (kN/m3)*	*Poids surfacique (kN/m2)*	*Article de référence*
1	*Carrelage*	0.02	20	0.40	DTR B.C. 2.2 C.4- Revêtement du plancher
2	*Mortier de pose*	0.02	20	0.40	DTR B.C. 2.2 C.2-ENDUITS
3	*Lit de sable*	0.03	18	0.54	DTR B.C. 2.2 ANEXES VI -A
4	*Poids propre du palier*	0.18	25	4.50	DTR B.C. 2.2 B-POIDS VOLUMIQUE
5	*Enduit en ciment*	0.02	18	0.36	DTR B.C. 2.2 C.2-ENDUITS
TOTAL				6.20	

III.3.1.2.2 Charges d'exploitation

- Pour le palier de repos et la paillasse : $Q=2.5\ kN/m2$

Remarque : Le calcul de ferraillage des escaliers se fait pour une bande de 1 m de largeur.

III.3.1.3. Détermination des sollicitations

$\boldsymbol{ELU}$: $P_u = 1.35\ G + 1.5\ Q$

$\boldsymbol{ELS}$: $P_{ser} = G + Q$

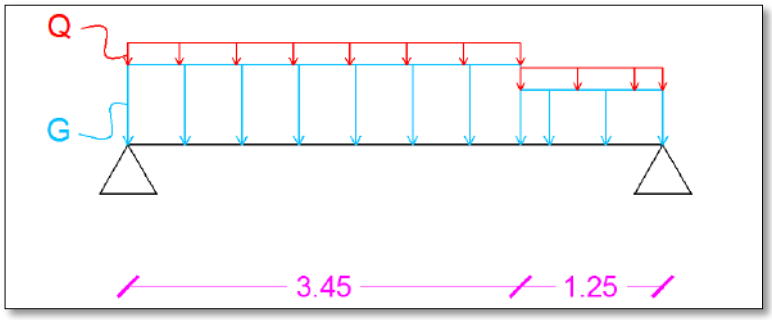


Figure III.13 *Chargement dans l'escalier d'étage courant*

Tableau III.19: *Combinaisons des charges dans l'escalier d'étage courant*

	G(kN/ml)	***Q(kN/ml)***	$P_u(kN/ml)$	$P_{ser}(kN/ml)$
Paillasse	9.01	2.5	15.91	11.51
Palier	6.20	2.5	12.12	8.70

III.3.1.4. Détermination des efforts

Tableau III.20**:** *Détermination des efforts*

Sollicitations	$M_t(kN.m)$	$M_a(kN.m)$	$T(kN)$
ELU	40.06	-23.75	-38.73
ELS	28.94	-17.03	/

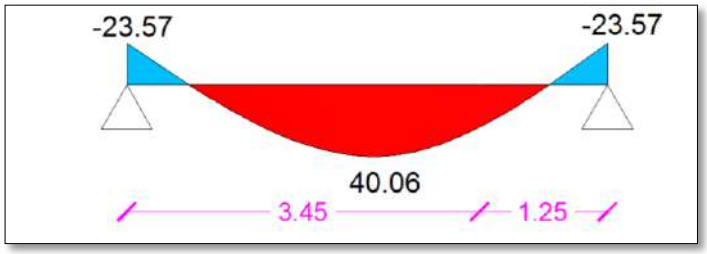


Figure III.14: *Diagramme des moments dans l'escalier d'étage courant à l'ELU*

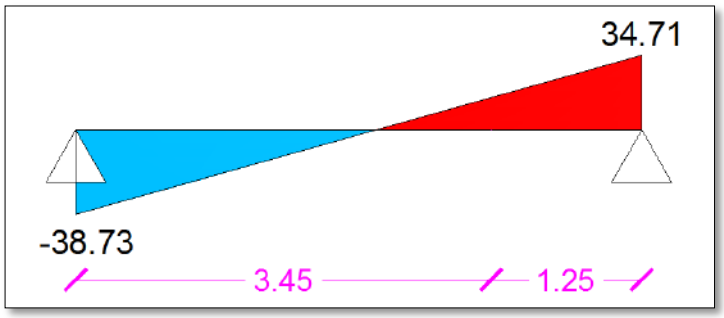


Figure III.15: *Diagramme des efforts tranchant dans l'escalier d'étage courant à l'ELU*

III.3.1.5. Ferraillage

III.3.1.5.1. Armatures longitudinales

Le calcul de ferraillage se fera par la méthode forfaitaire pour une bonde de 1m.

Tableau III.21: *Section d'armatures longitudinales dans l'escalier d'étage courant*

	M_{max} $(kN.m)$	$A_{calculée}(cm^2)$	$A_{choisie}(cm^2)$	$S_t(cm)$	$\bar{S_t}(cm)$	$S_t \leq \bar{S_t}$
Travée	40.06	7.93	10HA12=11.31	10	33	Oui
Appuis	-23.57	4.53	10HA12=11.31	20	33	Oui

- **Condition de non fragilité ($A \geq A_{min} = \frac{B}{1000}$)**

Tableau III.22: *Vérification de la section d'armatures*

	$A(cm^2)$	$A_{min}(cm^2)$	$A_{min} \leq A$
Travée	11.31	1.80	Oui
Appuis	11.31	1.80	Oui

III.3.1.5.2. Armatures de répartition

Tableau III.23: *Section d'armatures de répartition dans l'escalier d'étage courant*

	$A_{rép} = A/4\ (cm^2)$	$A_{adoptée}(cm^2)$	$S_t(cm)$	$\bar{S_t}(cm)$	$S_t \leq \bar{S_t}$
En travée	2.83	5HA10=3.93	20	45	Oui
En appuis	2.83	5HA10=3.93	20	45	Oui

III.3.1.6. Vérification à l'ELS

La fissuration est considérée comme peu nuisible, donc on ne doit vérifier que :

$$\sigma_b \leq \overline{\sigma_b}$$

$$\overline{\sigma_b} = 0.6f_{c28} = 0.6x25 \quad \Rightarrow \quad \overline{\sigma_b} = 15MPa$$

Tableau III.24: *Vérification de ferraillage de l'escalier d'étage courant à l'ELS*

	A(cm²)	M_{ser}**(kN .m)**	$\sigma_b(MPa)$	$\overline{\sigma_b}(MPa)$	$\sigma_b \leq \overline{\sigma_b}$
En travée	11.31	28.94	7.23	15	Oui
En appuis	11..31	-23.57	3.65	15	Oui

III.3.1.7. Vérification de l'effort tranchant

Tableau III.25: *Vérification de l'effort tranchant de l'escalier d'étage courant*

section	**T(kN)**	$\tau(MPa)$	$\bar{\tau}(MPa)$	$\tau \leq \bar{\tau}$
100X18	-38.73	0.25	3.33	Oui

III.3.1.8. Vérification de la flèche

Puisque les conditions préliminaires ne sont pas vérifiées, donc la vérification de la flèche est nécessaire. Elle est donnée par le tableau III.26 selon la méthode présentée à l'annexe2.

Tableau III.26: *Vérification de la flèche*

Escalier		***Sollicitations à l'ELS***	***Armatures principales***	***flèche***		***vérification***
$b(cm)$	$e(cm)$	$M_t(KN.m)$	$A_1(cm^2)$	$[f]_t(mm)$	$[f]_{adm}(mm)$	
100	18	28.94	11.31	*8.4*	*9.36*	*Oui*

III.3.2. Escalier de sous-sol

III.3.2.1. Dimensionnement

Le schéma statique de ce type d'escalier est comme présenté dans la figure ci-dessous :

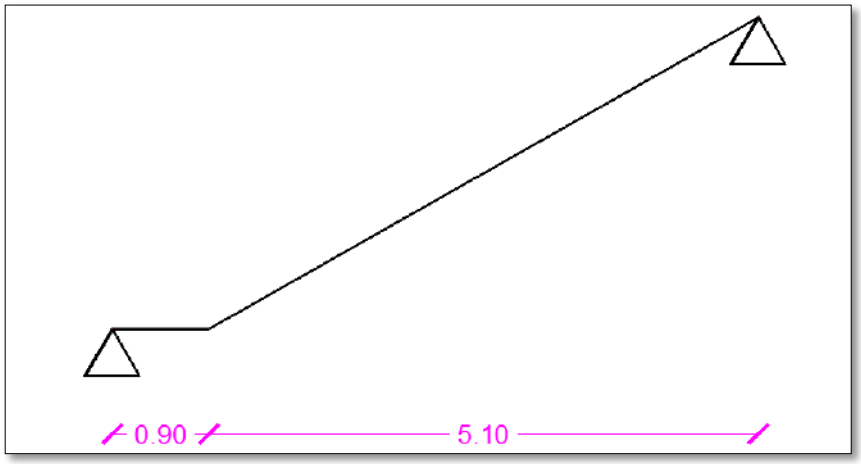


Figure III.16: *Schéma statique d'une volée d'escalier de sous-sol*

- **Calcul d'épaisseur de la paillasse**

$L = 0.9 + 5.86 \Rightarrow \quad L = 6.76m$

$\frac{L}{35} \leq e \leq \frac{L}{30} \Rightarrow \quad 19.31cm \leq e \leq 22.53cm$

On prendra : e=25cm

III.3.2.2. Evaluation des charges et surcharges

III.3.2.2.1. Charges permanentes

Tableau III.27: *Charge permanente de la paillasse*

N°	*Composants*	*Epaisseur (m)*	*Poids volumique (kN/m3)*	*Poids surfacique (kN/m2)*	*Article de référence*
1	***Carrelage***	0.02	20	0.40	DTR B.C. 2.2 C.4-Revêtement du plancher
2	***Mortier de pose***	0.02	20	0.40	DTR B.C. 2.2 C.2-ENDUITS
3	***Lit de sable***	0.03	18	0.54	DTR B.C. 2.2 ANEXES VI - A
4	***Poids propre de la paillasse***	0.25/cosα	25	7.18	DTR B.C. 2.2 B-POIDS VOLUMIQUE
5	***Poids propre de la marche***	0.17/2	25	2.13	DTR B.C. 2.2 B-POIDS VOLUMIQUE
6	***Enduit en ciment***	0.02	18	0.36	DTR B.C. 2.2 C.2-ENDUITS
TOTAL				11.02	

Tableau III.28: *Charge permanente du palier de repos*

N°	*Composants*	*Epaisseur (m)*	*Poids volumique (kN/m3)*	*Poids surfacique (kN/m2)*	*Article de référence*
1	***Carrelage***	0.02	20	0.40	DTR B.C. 2.2 C.4-Revêtement du plancher
2	***Mortier de pose***	0.02	20	0.40	DTR B.C. 2.2 C.2-ENDUITS
3	***Lit de sable***	0.03	18	0.54	DTR B.C. 2.2 ANEXES VI - A
4	***Poids propre du palier***	0.25	25	6.25	DTR B.C. 2.2 B-POIDS VOLUMIQUE
5	***Enduit en ciment***	0.02	18	0.36	DTR B.C. 2.2 C.2-ENDUITS
TOTAL				7.95	

III.3.2.2.2. Charges d'exploitation

III.3.2.3. Détermination des sollicitations

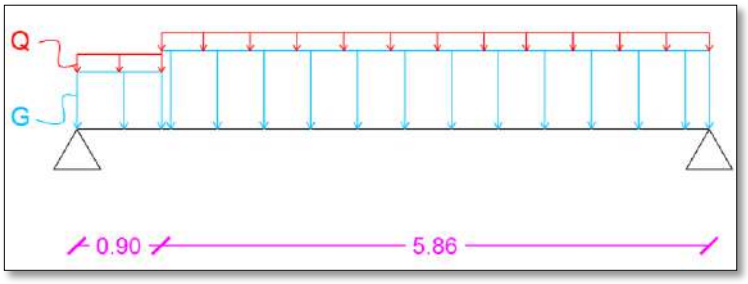


Figure III.17: *Chargement dans l'escalier de sous-sol*

Tableau III.29: *Combinaisons des charges dans l'escalier de sous-sol*

	G(kN/ml)	***Q(kN/ml)***	$P_u(kN/ml)$	$P_{ser}(kN/ml)$
Paillasse	11.02	2.5	18.62	13.52
Palier	7.95	2.5	14.48	10.45

III.3.2.4. Détermination des efforts :

Tableau III.30: *Détermination des efforts*

	$M_t(kN.m)$	$M_a(kN.m)$	$T(kN)$
ELU	67.96	-39.98	-54.58
ELS	49.32	-29.01	/

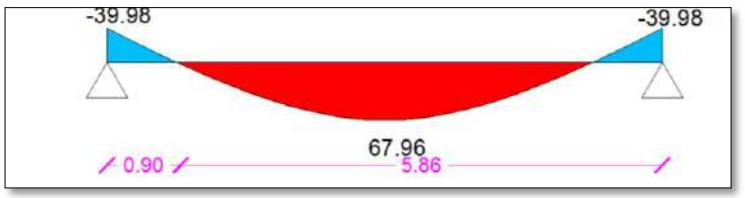


Figure III.18: *Diagramme des moments dans l'escalier de sous-sol à l'ELU*

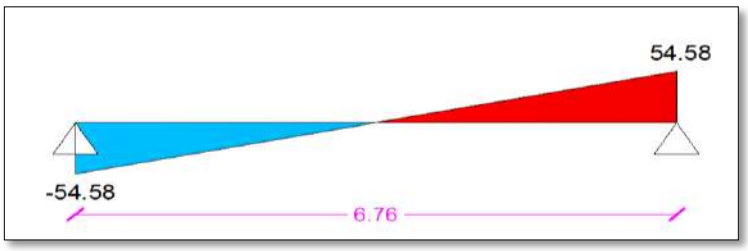


Figure III.19: *Diagramme des efforts tranchant dans l'escalier de sous-sol à l'ELU*

III.3.2.5. Ferraillage

III.3.2.5.1. Armatures longitudinales

Tableau III.31: *Section d'armatures longitudinales dans l'escalier de sous-sol*

	M_{max} $(kN.m)$	$A_{calculée}(cm^2)$	$A_{choisie}(cm^2)$	$S_t(cm)$	$\bar{S}_t(cm)$	$S_t \leq \bar{S}_t$
Travée	67.96	10.86	7HA16=14.07	15	33	Oui
Appuis	-39.98	5.26	7HA16=14.07	15	33	Oui

Tableau III.32: *Vérification de la section d'armatures*

	$A(cm^2)$	$A_{min}(cm^2)$	$A_{min} \leq A$
Travée	14.07	2.5	Oui
Appuis	14.07		

III.3.2.5.2. Armatures de répartition

Tableau III.33: *Section d'armatures de répartition dans l'escalier de sous-sol*

	$A_{rép} = A/4\ (cm^2)$	$A_{adoptée}(cm^2)$	$S_t(cm)$	$\overline{S_t}(cm)$	$S_t \leq \overline{S_t}$
travée	3.51	5HA10=3.93	20	45	Oui
appuis	3.51	5H110=3.93	20	45	Oui

III.3.2.6. Vérification à l'ELS

Tableau III.34: *Vérification de ferraillage de l'escalier de sous-sol à l'ELS*

	A(cm²)	Mser(kN .m)	$\sigma_b(MPa)$	$\overline{\sigma_b}(MPa)$	$\sigma_b \leq \overline{\sigma_b}$
travée	14.07	49.32	6.31	15	Oui
appuis	14.07	-29.01	3.01	15	Oui

III.3.2.7. Vérification de l'effort tranchant

Tableau III.35: *Vérification de l'effort tranchant*

section	T(kN)	$\tau(MPa)$	$\bar{\tau}(MPa)$	$\tau \leq \bar{\tau}$
100X25	39.62	0.176	3.33	Oui

III.3.2.8. Vérification de la flèche

Puisque les conditions préliminaires ne sont pas vérifiées, donc la vérification de la flèche est nécessaire. Elle st donnée par le tableau III.36 selon la méthode présentée à l'annexe2.

Tableau III.36: *Vérification de la flèche*

Escalier		***Sollicitations à l'ELS***	***Armatures principales***	***flèche***		***vérification***
b	*e*	*M travée*	A_1	$[f]_t$	$[f]_{adm}$	
$[cm]$	$[cm]$	$[KN.m]$	$[cm^2]$	$[mm]$	$[mm]$	*Oui/Non*
100	25	49.32	14.07	*8.2*	*10.86*	*Oui*

III.4. Calcul de la Poutre palière

La poutre palière est la poutre située au niveau du palier de repos, elle a pour rôle de supporter le poids de l'escalier, elle sera calculée en flexion simple.

III.4.1. Charges revenant à la poutre

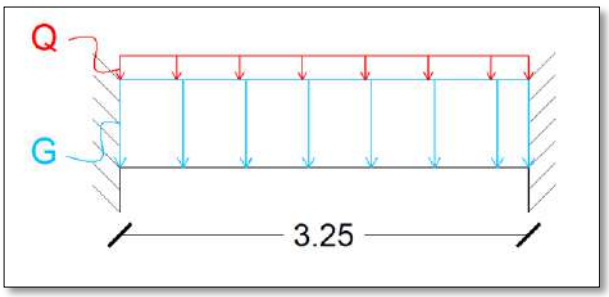


Figure III.20**:** *Chargement dans la poutre palière*

- $G = 22.06 kN/ml$; $Q = 4.55\ kN/ml$
- $P_u = 36.61\ kN/ml \Rightarrow R_A = 33.58\ kN/ml$; $R_B = 33.58\ kN/ml$
- $P_{ser} = 26.61\ kN/ml \Rightarrow R_A = 24.37\ kN/ml$; $R_B = 24.37\ kN/ml$

III.4.2. Calcul des efforts

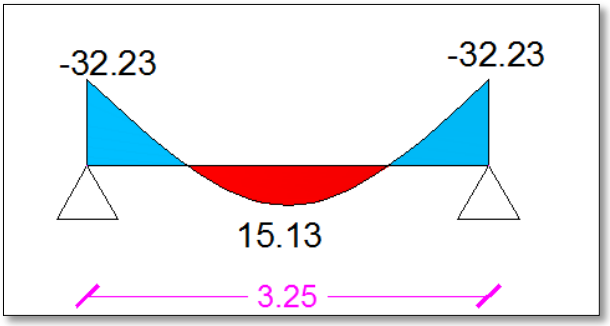


Figure III.21: *Diagramme des moments de la poutre palière à l'ELU*

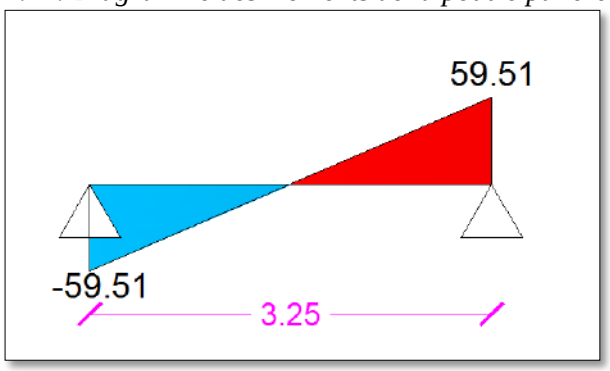


Figure III.22: *Diagramme des efforts tranchants de la poutre palière à l'ELU*

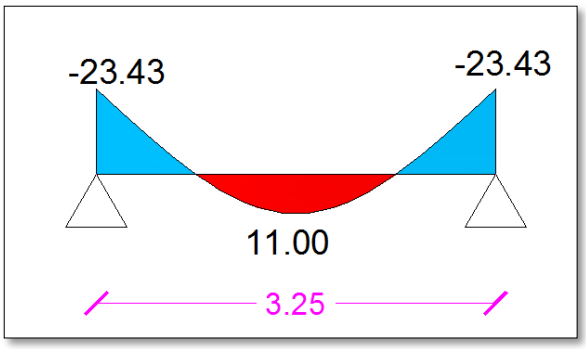


Figure III.23: *Diagramme des moments de la poutre palière à l'ELS*

III.4.3. Calcul de ferraillage

III.4.3.1. Armatures longitudinales

Tableau III.37: *Sollicitations de la poutre palière*

	M_{max} $(kN.m)$	$A_{calculée}(cm^2)$	$A_{choisie}(cm^2)$
Travée	15.13	1.62	3HA12=3.39
Appuis	-32.23	3.56	3HA12+$2_{ch}HA12$=5.65

III.4.3.2. Armatures transversales (RPA99 v2003 Art.7.5.2.2)

Tableau III.38: *Armatures transversales de la poutre palière*

Espacements		***Armatures***	
Zone nodale (cm)	***Zone courante (cm)***	$\emptyset(mm)$	$A_t(cm^2)$
10	15	8	4HA8 = 2.01

III.4.3.3. Vérification à l'ELS

Tableau III.39: *Vérification de la poutre palière de sous-sol à l'ELS*

	A(cm²)	$M_{ser}(kN.m)$	$\sigma_b(MPa)$	$\overline{\sigma_b}(MPa)$	$\sigma_b \leq \overline{\sigma_b}$
En travée	3.39	11.00	3.09	15	Oui
En appuis	5.65	-23.43	5.52	15	Oui

III.4.3.4. Vérification des contraintes de cisaillement à l'ELU

Tableau III.40: *Vérification des contraintes de cisaillement à l'ELU*

Section	**T(kN)**	$\tau(kN)$	$\bar{\tau}(kN)$	$\tau \leq \bar{\tau}$
30X30	32.23	0.39	3.33	Oui

III.4.3.5. Vérification selon (RPA99 v2003 Art.7.5.2.1)

- $A_{min} = 0.5\%b.h$
- $A_{max} = 4\%b.h$ ($Zone\ courante$)

Tableau III.41: *Vérification de la poutre palière de sous-sol selon le RPA99 v2003*

	$A\ (cm^2)$	$A_{min}(cm^2)$	$A_{max}(cm^2)$	$A_{min} \leq A \leq A_{max}$
En travée	6.78	4.50	36.00	Oui
En appuis	9.04			

III.4.3.6. Vérification de la flèche

La vérification de la flèche n'est pas nécessaire si les trois inégalités sont vérifiées :

$$\begin{cases} \frac{h}{l} \geq \frac{1}{16} \Rightarrow \frac{30}{325} = 0.092 \geq 0.0625 & Condition\ vérifiée \\ \frac{h}{l} \geq \frac{M_t}{10M_0} \Rightarrow \frac{30}{325} = 0.092 \geq \frac{15.13}{10 * 18.91} = 0.08 & Condition\ vérifiée \\ \frac{A}{b * d} \leq \frac{4.2}{f_e} \Rightarrow \frac{3.39}{30 * 27.5} = 0.0041 \leq \frac{4.2}{400} = 0.01 & Condition\ vérifiée \end{cases}$$

Toutes les conditions sont vérifiées, donc la vérification de la flèche n'est pas nécessaire.

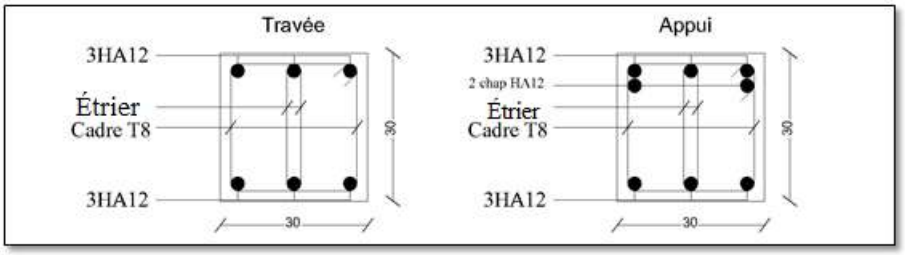


Figure III.24: *Ferraillage de la poutre palière*

III.5. Les dalles pleines

III.5.1. Introduction

Les dalles pleines sont des pierres minces et planes dont la largeur est supérieure à l'épaisseur, reposant avec ou sans continuité sur deux, trois ou quatre appuis.

Dalle encastrée sur deux cotés

$$\frac{L_{max}}{35} \leq e \leq \frac{L_{max}}{30} \Rightarrow 4 \leq e \leq 4.67$$

On prend e=15cm

III.5.2. Détermination des charges

Tableau III.42: *Armatures longitudinales des dalles pleines*

	G(kN/m)	***Q(kN/m)***	***P(kN/m)***
ELU	6.46	1.50	10.97
ELS			7.96

III.5.3. Ferraillage

Dans notre calcul on a dalle pleine rectangulaires encastrée sur 2 côtés de (1.40X3.60) m².

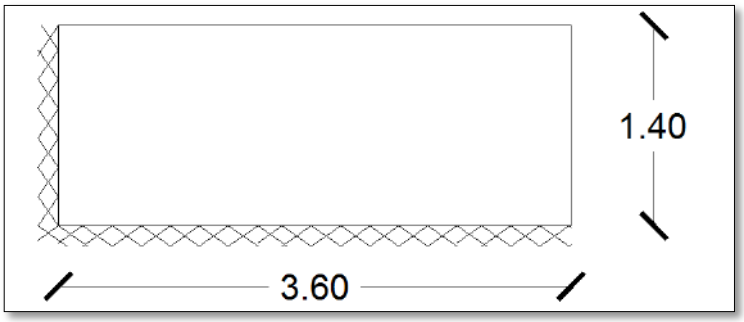


Figure III.25: *Dalle plaine (1.40X3.60)m²*

- **Principe de calcul**

La méthode des lignes de rupture est une méthode de détermination des moments de flexion pour les panneaux de dalles pleines valable pour tous les cas de charges, tous les types d'appuis et toutes les formes géométriques possibles.

Le principe de calcul se base sur la théorie du travail virtuel qui consiste à assurer l'équilibre statique du point de vue travail tel que Σ $travaux$ = 0, voir annexe 5.

➢ **Travail externe**

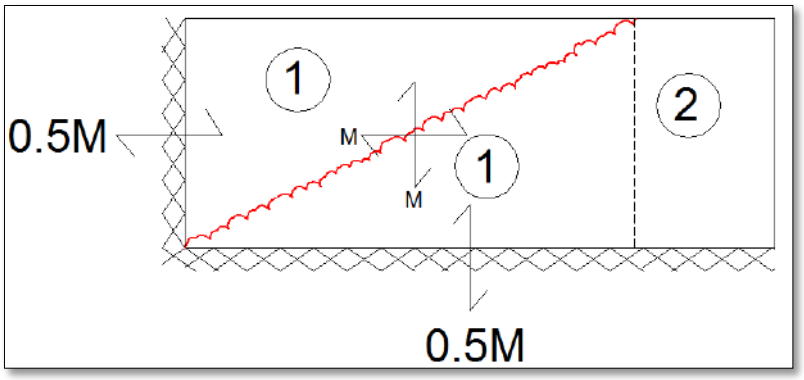


Figure III.26: *Travail externe de dalle pleine (1.40X3.60)m²*

Tableau III.43: *Travail externe de dalle pleine (1.40X3.60)m²*

Eléments	Travail externe
1	q.f.(0.23y)
2	q.f.(2.52-0.7y)
∑	q.f(2.52-0.24y)

➢ **Travail interne**

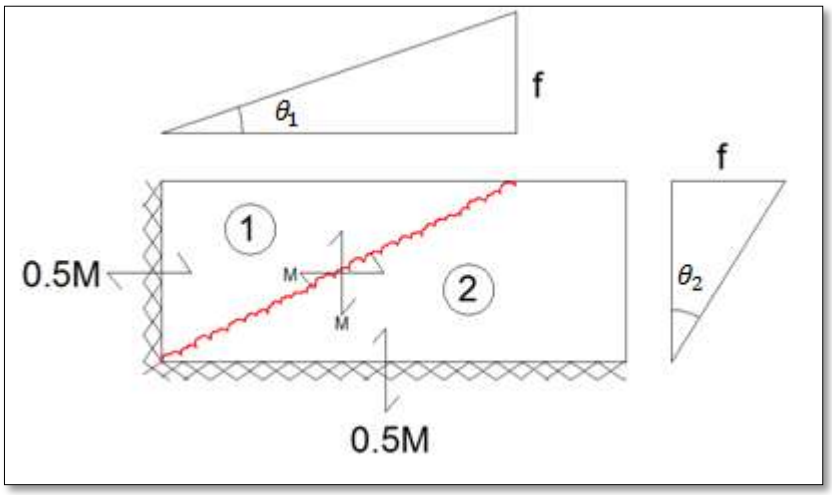


Figure III.27: *Travail interne de dalle pleine (1.40X3.60)m²*

Tableau III.44: *Travail interne de dalle plaine (1.40X3.60)m²*

Eléments	Travail interne
1	$2.10\frac{M.f}{y}$
2	$M.f(\frac{y}{1.40}+1.28)$
$\sum$	$M.f(\frac{2.1}{y}+\frac{y}{1.40}+1.28)$

ΣTravaux externes = ΣTravaux internes

$$q=\frac{M(\frac{2.1}{y}+\frac{y}{1.40}+1.28)}{(2.52-0.24y)}\frac{dM}{dy}=0 \Rightarrow y=1.365m$$

$$M_{tx}=M_{ty}=6.33kN.m$$

$$M_{ax}=M_{ay}=3.17kN.m$$

Tableau III.45: *Section d'armatures longitudinales dans la dalle machine*

	$M_x=M_y$ $(kN.m)$	$A_{calculée}(cm^2)$ $A_x=A_y$	$A_{choisie}(cm^2)$ $A_x=A_y$	$S_t(cm)$	$\overline{S_t}(cm)$	$S_t \leq \overline{S_t}$
Travée	6.33	1.75	5HA10=3.93	20	33	Oui
Appuis	-3.17	1.75	5HA10=3.93	20	33	Oui

Tableau III.46: *Condition de non fragilité des dalles pleines*

	$A(cm^2)$	$A_{min}(cm^2)$	$A_{min} \leq A$
Travée	3.93	1.50	Oui
Appuis	3.93	1.50	Oui

- **Vérification à l'ELS**

La fissuration est considérée comme préjudiciable, donc on doit vérifier que :

$$\sigma_b \leq \overline{\sigma_b} \quad , \quad \overline{\sigma_b}=15$$

$$\sigma_s \leq \overline{\sigma_s} \quad , \quad \overline{\sigma_s} = 201.63$$

Tableau III.47: *Vérification des dalles pleines à l'ELS*

	A(cm²)	M_{ser}(kN .m)	$\sigma_b(MPa)$	$\sigma_s, \sigma_s'(MPa)$	$\sigma_b \leq \overline{\sigma_b}$	$\sigma_s \leq \overline{\sigma_s}$
En travée	3.93	4.59	1.11	11.08	Oui	Oui
En appuis	3.93	2.29	0.55	5.53	Oui	Oui

- **Vérification de l'effort tranchant**

$$T_e = -\frac{qL_xL_y}{2L_y+L_x} \quad , \quad T_w = \frac{PL_x}{3} \quad , \quad \tau = \frac{T_{max}}{bXd}$$

Tableau III.48: *Vérification de l'effort tranchant*

Section(cm)	T_{max}(kN)	$\tau(MPa)$	$\bar{\tau}(MPa)$	$\tau \leq \bar{\tau}$
100X15	-6.42	0.051	3.33	Oui

- **Vérification de la flèche**

Puisque les conditions préliminaires ne sont pas vérifiées, donc la vérification de la flèche est nécessaire. Elle est donnée par le tableau III.57 selon la méthode présentée à l'annexe 2.

Tableau III.49: *Vérification de la flèche de dalle pleine*

Dalle pleine		***Sollicitations à l'ELS***	***Armatures principales***	***flèche***		***vérification***
b	*h*	*M travée*	A_1	$[f]_t$	$[f]_{adm}$	
$[cm]$	$[cm]$	$[KN.m]$	$[cm^2]$	$[mm]$	$[mm]$	*Oui/Non*
100	15	4.59	3.93	*1.40*	*7.20*	*Oui*

III.6. Dalle machine

III.6.1. Introduction

La dalle machine est une dalle pleine, qui reprend un chargement important par rapport à celle des dalles de l'étage courant ou terrasse, cela est due au mouvement de l'ascenseur ainsi qu'à son poids, en tenant compte de la variation des efforts de la machine par rapport à la dalle.

III.6.2. Détermination de l'épaisseur

- **Dalle encastrée sur quatre cotés**

$\frac{L_{max}}{45} \leq e \leq \frac{L_{max}}{40} \Rightarrow 7.55 \leq e \leq 8.50$

$on\ prend\ e = 25cm.$

III.6.3. La charge permanente et la charge d'exploitation

Tableau III.50: *Poids de la machine*

P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9
84	**32**	**2**	**6**	**8**	**12.5**	**7.5**	**11**	**10**

$$q = \frac{\sum P}{S} = 17.25 kN/m^2$$

Tableau III.51: *Les charges de la dalle machine*

	G(kN/m)	*Q(kN/m)*	*P(kN/m)*
ELU	23.5	5	39.23
ELS			28.50

III.6.4. Ferraillage

- **Travail externe**

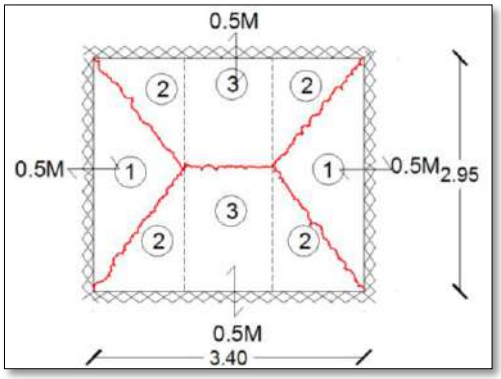


Figure III.28: *Travail externe d'une dalle pleine (3.40X2.95)m^2*

Tableau III.52: *Travail externe d'une dalle pleine (3.40X2.95)m^2*

Elements	**1**	**2**	**3**	$\sum$
Travail externe	q.f.y.(0.491)	q.f.y(0.245)	q.f(2.50-1.475y)	q.f(5-0.988y)

- **Travail interne**

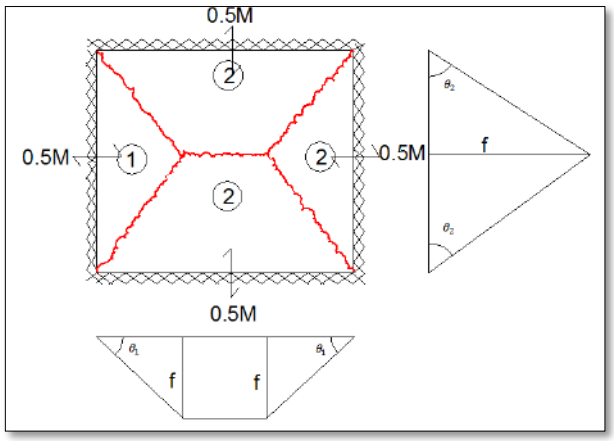


Figure III.29: *Travail interne d'une dalle plaine (3.40X2.95)m^2*

Tableau III.53: *Travail externe d'une dalle plaine (3.40X2.95)m^2*

Eléments	1	2	∑
Travail interne	$4.425(\frac{M.f}{2})$	3.45M.f	$M.f(\frac{8.85}{y}+6.90)$

ΣTravaux externes = ΣTravaux internes

$q=\frac{M(\frac{8.85}{y}+6.90)}{(5-0.988y)}\frac{dM}{dy}=0 \Rightarrow$ y=1.57m

$$M_{tx}=M_{ty}=10.78kN.m$$
$$M_{ax}=M_{ay}=5.39kN.m$$

Tableau III.54: *Section d'armatures longitudinales dans la dalle machine*

	$M_x=M_y$ $(kN.m)$	$A_{calculée}(cm^2)$ $A_x=A_y$	$A_{choisie}(cm^2)$ $A_x=A_y$	$S_t(cm)$	$\bar{S_t}(cm)$	$S_t \leq \bar{S_t}$
Travée	10.78	2.70	7HA10=5.50	15	33	Oui
Appuis	5.39	2.70	7HA10=5.50	15	33	Oui

Tableau III.55: *Vérification de la section d'armatures dans la dalle machine*

	$A(cm^2)$	$A_{min}(cm^2)$	$A_{min} \leq A$
Travée	3.93	2.50	Oui
Appuis	3.93	2.50	Oui

- **Vérification à l'ELS**

Tableau III.56: *Vérification de ferraillage de la dalle machine à l'ELS*

	A(cm²)	T_{max}(kN .m)	$\sigma_b(MPa)$	$\overline{\sigma_b}(MPa)$	$\sigma_b \leq \overline{\sigma_b}$
En travée	5.50	7.83	0.67	15	Oui
En appuis	5.50	3.92	0.33	15	Oui

- **Vérification de l'effort tranchant**

$$T_e=-\frac{qL_xL_y}{2L_{y+}L_x} \quad , \quad T_w=\frac{PL_x}{3} \quad \tau=\frac{T_{max}}{bXd}$$

Tableau III.57: *Vérification de l'effort tranchant de la dalles machine*

section	T(kN)	$\tau(MPa)$	$\bar{\tau}(MPa)$	$\tau \leq \bar{\tau}$
100X25	17.74	0.078	1.16	Oui

- **Vérification de la flèche**

La vérification de la flèche n'est pas nécessaire si les trois inégalités sont vérifiées :

$$\begin{cases} \frac{h}{l} \geq \frac{1}{16} \Rightarrow \frac{25}{340} = 0.073 \geq 0.0625 & Condition\ vérifiée \\ \frac{h}{l} \geq \frac{M_t}{15M_0} \Rightarrow \frac{25}{340} = 0.073 \geq \frac{7.83}{15 * 9.21} = 0.056 & Condition\ vérifiée \\ \frac{A}{b * d} \leq \frac{3.6}{f_e} \Rightarrow \frac{5.50}{100 * 22.5} = 0.0024 \leq \frac{3.6}{400} = 0.009 & Condition\ vérifiée \end{cases}$$

Toutes les conditions sont vérifiées, donc la vérification de la flèche n'est pas nécessaire.

- **Vérification au poinçonnement**

Si la condition suivante est vérifiée, aucune disposition supplémentaire n'est nécessaire.

$$\mathrm{Q_u} \leq F_{limite} = 0.045\ \mathrm{U_c}\ \mathrm{h}\ \frac{\mathrm{f_{c28}}}{\gamma_\mathrm{b}}$$

$U_c = (a + b + 2h)x2$

Avec :

h : La hauteur totale du dalle.

a ,b : Dimension de la surface d'application de la charge concentrée.

Tableau III.58: Vérification au poinçonnement

$\mathbf{Q_u}$ **(kN/m²)**	**h (cm)**	$\mathbf{f_{c28}}$ **(Mpa)**	$\gamma_\mathbf{b}$	**a (cm)**	**b (cm)**	$\mathbf{U_c}$ **(cm)**	F_{limite} **(kN)**	$\mathbf{Q_u} \leq F_{limite}$
39.23	25	25	1.5	20	25	200	375.00	Oui

IV.1. Introduction

L'étude sismique revient à étudier le comportement de la structure sous l'action sismique, Pour cela on fait l'analyse dynamique qui nécessite initialement la création d'un modèle de calcul qui représente le mieux notre structure, Ce modèle est ensuite introduit dans un code de calcul afin de déterminer les caractéristiques dynamiques de la structure.

IV.2. Caractéristique géométrique de la structure

Les caractéristiques géométriques qui interviennent dans l'évaluation des efforts horizontaux d'origine sismique sont :

- Le centre de Masse.
- Le centre de Torsion.

IV.2.1. Centre de masse

Les masses sont considérées comme concentrées au niveau des planchers, il est donc nécessaire de connaître les centres de masse qui représentent les points d'application des forces sismiques latérales. Le centre de masse sera déterminé pour chaque niveau en considérant tous les éléments qui ont une influence sur la stabilité du bâtiment (poteaux, poutres, murs, escaliers, voiles…) ; Il est défini par la formule suivante :

$$X_G = \frac{\sum W_i . X_i}{\sum W_i} \quad , \quad Y_G = \frac{\sum W_i . Y_i}{\sum W_i}$$

Avec :

W_i : Le poids total de la masse concentrée de l'élément (i) du niveau considéré.

X_i, Y_i: Les coordonnées du centre de gravité de l'élément (i) par rapport au repère global.

X_G, Y_G: Les coordonnées du centre de masse du niveau par rapport au repère global.

IV.2.2. Centre de torsion

Il se présente dans le plan horizontal. C'est le point à travers lequel si on applique une force horizontale ne se produit qu'un mouvement de translation sans rotation du plancher. Pour chaque étage on détermine le centre de torsion du plancher, en tenant compte que les éléments de contreventements : poteaux et voiles.

Notre bâtiment est de forme irrégulière, donc le centre de torsion ne coïncide pas avec le centre de gravité : d'où le risque de torsion d'axe vertical. Pour diminuer ce risque on envisage la disposition de refends en béton armé avec interaction avec les portiques comme système de contreventement.

Les coordonnées du centre de torsion sont données par la formule suivante :

$$X_R = \frac{\sum I_{yi} X_i}{\sum I_{yi}} \quad , \quad Y_R = \frac{\sum I_{xi}.Y_i}{\sum I_{xi}}$$

Avec :

I_x, I_y: Les inerties suivant les axes x et y respectivement de chaque élément de Contreventement (poteau, voile).

Pour les poteaux : $I_i = \frac{h * b^3}{12}$ ou $I_i = \frac{b * h^3}{12}$

Pour les voiles : $I_i = \frac{L * e^3}{12}$ ou $I_i = \frac{e * L^3}{12}$

Avec :

X_i, Y_i: Coordonnées du centre de torsion des éléments de contreventement par rapport au repère global choisi.

X_R, Y_R: Coordonnées du centre de torsion du niveau par rapport au repère global choisi.

On va récapituler les résultats du centre de masse et centre de torsion dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV.1 : *Centre de masse et centre de torsion.*

Niveau (m)	Masse et centre de Masse			Inertie et centre d'inertie	
	Poids (kN)	X_G (m)	Y_G (m)	X_R (m)	Y_R (m)
0.51	9677.270	13.535	13.310	23.293	12.719
3.91	8411.722	13.472	13.464	18.706	12.467
7.31	8370.672	13.469	13.417	17.784	12.447
10.71	8288.910	13.467	13.425	17.447	12.495
14.11	8213.100	13.465	13.433	17.275	12.557
17.51	8138.448	13.464	13.441	17.177	12.622
20.91	8069.858	13.462	13.449	17.116	12.686
24.31	8002.315	13.460	13.457	17.079	12.750
27.71	7940.945	13.459	13.464	17.056	12.814
31.11	6508.579	13.463	13.631	17.049	12.877
34.51	1858.289	13.005	11.677	17.037	12.979

IV.2.3. Excentricité

C'est la distance entre le centre de masse et le centre de torsion suivant les deux axes, elle est calculée comme suit :

$$E_{X\,thé} = |X_G - X_R| \quad , \quad E_{Y\,thé} = |Y_G - Y_R|$$

En suivant l'article 4.3.7 de l'RPA2003, on doit ajouter à la valeur de l'excentricité dans les deux direction une excentricité additionnelle qui est égale à :

$$E_{X\,add} = 5\% * L_X \quad , \quad E_{Y\,add} = 5\% * L_Y$$

Avec :

L : La dimension du plancher perpendiculaire à la direction de l'action sismique.

Alors les valeurs de l'excentricité deviennent :

$$E_X = E_{X\,thé} + E_{X\,add} \quad , \quad E_Y = E_{Y\,thé} + E_{Y\,add}$$

Tableau IV.2 : *Excentricité suivant les deux directions.*

Niveau (m)	*Excentricité suivant X*			*Excentricité suivant Y*		
	E_x(m)	E_{adm}(m)	Vérification	E_y(m)	E_{adm}(m)	Vérification
0.51	9.758	3.975	Non	0.591	4.485	Oui
3.91	5.234	3.975	Non	0.997	4.485	Oui
7.31	4.315	3.975	Non	0.970	4.485	Oui
10.71	3.980	3.975	Oui	0.930	4.485	Oui
14.11	3.810	3.975	Oui	0.876	4.485	Oui
17.51	3.713	3.975	Oui	0.819	4.485	Oui
20.91	3.654	3.975	Oui	0.763	4.485	Oui
24.31	3.619	3.975	Oui	0.707	4.485	Oui
27.71	3.597	3.975	Oui	0.650	4.485	Oui
31.11	3.586	3.975	Oui	0.754	4.485	Oui
34.51	4.032	3.975	Oui	1.302	4.485	Oui

Tant qu'il y a trois niveaux qui ne sont pas vérifiés, donc la forme de notre bâtiment est irrégulière (RPA99 v2003 Art.3.5.1).

À chaque niveau et pour chaque direction de calcul, la distance entre le centre de gravité des masses et le centre des rigidités ne dépassent pas 15% de la dimension du bâtiment mesurée perpendiculairement à la direction de l'action sismique considérée.

IV.3. Choix de la méthode de calcul

IV.3.1. Introduction

On admet toujours que les efforts horizontaux s'appliquent au niveau des planchers. Pour analyser ces efforts, on utilise généralement trois méthodes :

- Méthode statique équivalente ;
- Méthode d'analyse modale spectrale ;
- Méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes.

Pour notre projet, les conditions d'application de la méthode statique équivalente ne sont pas toutes vérifiées (Forme irrégulière, Zone III, Groupe d'usage 2, et la hauteur de notre

bâtiment dépasse 17m), Donc on doit faire le calcul dynamique avec la méthode d'analyse modale spectrale.

Le calcul se fait par le logiciel d'analyse « SAP2000.v21.0.2 »

IV.3.2. Méthode dynamique modale spectrale (RPA99 v2003 Art.4.3.7)

IV.3.2.1. Principe de la méthode

Par cette méthode, il est recherché pour chaque mode de vibration, le maximum des 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.

IV.3.2.2. Modélisation

Le modèle choisi dans la modélisation sur le « SAP2000.v21.0.2 » est le diaphragme rigide, la théorie du plancher rigide. Suite à la concentration de la masse, son mouvement est donné par le mouvement du plancher.

IV.3.2.3. Le spectre de réponse de calcul

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

$$\frac{S_a}{g} = \begin{cases} 1.25A\left(1+\frac{T}{T_1}\left(2.5\eta\frac{Q}{R}-1\right)\right) & pour: 0 \le T \le T_1 \\ 2.5\eta(1.25A)\left(\frac{Q}{R}\right) & pour: T_1 \le T \le T_2 \\ 2.5\eta(1.25A)\left(\frac{Q}{R}\right)\left(\frac{T_2}{T}\right)^{2/3} & pour: T_2 \le T \le 3\,\text{sec} \\ 2.5\eta(1.25A)\left(\frac{Q}{R}\right)\left(\frac{T_2}{T}\right)^{2/3}\left(\frac{3}{T}\right)^{2/3} & pour: T > 3\,sec \end{cases}$$

a) Coefficient d'accélération A (RPA99 v2003 Tab 4.1)

A : est en fonction de la zone ainsi que le groupe d'usage, pour notre ouvrage on a :

(Zone III, groupe d'usage 2) ⇒ A=0.25

b) Facteur de correction d'amortissement η

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2+\xi}} \quad , \quad \xi = 10 \quad \Rightarrow \quad \eta = 0.76$$

c) Coefficient de comportement R

Les voiles de notre bâtiment reprennent plus de 20% des sollicitations dues aux charges verticales, ce qui nous oblige de considérer que les sollicitations horizontales est reprisent uniquement par les voiles.

Donc : R=3.5

Tableau IV.3 : *Distribution des sollicitations suivant X.*

Niveau	Sollicitation dues aux charges verticales		Sollicitation dues aux charges	
(m)	$N_{z\,(poteaux)}$ (%)	$N_{z\,(voiles)}$ (%)	$T_{x\,(poteaux)}$ (%)	$T_{x\,(voiles)}$ (%)
0.51	78.812	21.188	0.000	100.000
3.91	56.552	43.448	0.000	100.000
7.31	61.722	38.278	0.000	100.000
10.71	62.536	37.464	0.000	100.000
14.11	65.333	34.667	0.000	100.000
17.51	66.162	33.838	0.000	100.000
20.91	68.611	31.389	0.000	100.000
24.31	69.372	30.628	0.000	100.000
27.71	71.621	28.379	0.000	100.000
31.11	72.980	27.020	0.000	100.000
34.51	56.429	43.571	0.000	100.000

Tableau IV.4 : *Distribution des sollicitations suivant Y.*

Niveau	Sollicitation dues aux charges		Sollicitation dues aux charges	
(m)	$N_{z\,(poteaux)}$ (%)	$N_{z\,(voiles)}$ (%)	$T_{y\,(poteaux)}$ (%)	$T_{y\,(voiles)}$ (%)
0.51	52.140	47.860	0.000	100.000
3.91	49.271	50.729	0.000	100.000
7.31	53.208	46.792	0.000	100.000
10.71	54.552	45.448	0.000	100.000
14.11	57.970	42.030	0.000	100.000
17.51	62.228	37.772	0.000	100.000
20.91	61.788	38.212	0.000	100.000
24.31	62.450	37.550	0.000	100.000
27.71	65.341	34.659	0.000	100.000
31.11	65.820	34.180	0.000	100.000
34.51	59.323	40.677	0.000	100.000

d) Facteur de qualité Q

La valeur de Q est déterminée par la formule suivants :$Q = 1 + \sum_1^6 P_q$

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

Tableau IV.5 : *Facteur de qualité.*

Critère (q)	*Suivant X*		*Suivant X*	
	Observé	*Valeur*	*Observé*	*Valeur*
Conditions minimales sur les files de contreventement	Oui	0	Oui	0
Redondance en plan	Oui	0	Oui	0
Régularité en plan	Non	0.05	Non	0.05
Régularité en élévation	Oui	0	Oui	0
Contrôle de la qualité des matériaux	Non	0.05	Non	0.05
Contrôle de la qualité de l'exécution	Oui	0	Oui	0
Totale	0.1		0.1	
Q	1.1		1.1	

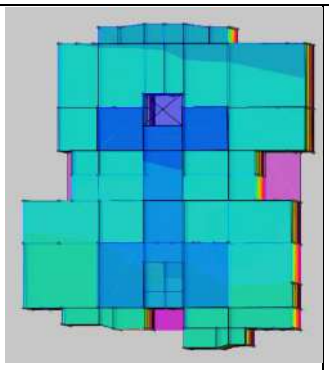
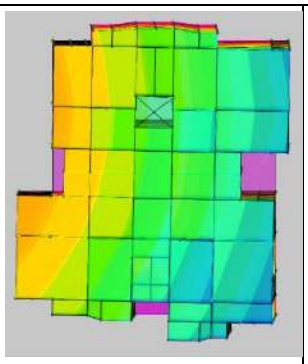
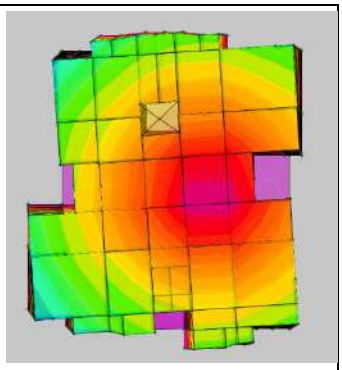
IV.3.3. Résultats de l'analyse dynamique

IV.3.3.1. Analyse modale

IV.3.3.1.1. Comportement modal

Tableau IV.6: *Comportement des trois premiers modes.*

Modes	*1*	*2*	*3*
Période (s)	0.701	0.525	0.422
Participation massique suivant X	62.63	2.41	0.10
Participation massique suivant Y	2.40	56.77	6.72
Participation massique suivant Z	0.08	6.27	57.18

Image			
Comportement	Translation suivant l'axe X	Translation suivant l'axe Y	Rotation autour l'axe Z

IV.3.3.1.2. Participation massique (dissipation d'énergie)

Pour les structures représentées par des modèles plans dans deux directions orthogonales, le nombre des modes de vibration à retenir dans chacune des deux directions d'excitation doit être tel que : La somme des masses modales effectives pour les modes retenus soit égale à 90% au moins de la masse totale de la structure d'après (RPA99 v2003 Art.4.3.4.a).

Tableau IV.7: *La participation massique.*

Mode N°	***Période (s)***	***Cumule des périodes (s)***	***Cumules des masses modales effectives (%)***		
			U_X	U_Y	R_Z
1	0.701	0.701	62.63	2.40	0.08
2	0.525	1.226	2.41	56.77	6.27
3	0.422	1.648	0.10	6.72	57.18
4	0.179	1.827	17.06	0.33	0.00
5	0.131	1.958	0.32	18.69	1.06
6	0.114	2.072	0.00	0.00	3.01
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
167	0.047	13.041	92.88	92.81	90.21

La structure a dissipé moins de 90 % de l'énergie stockée au 167 mode avec un temps égale à « T=13.041 sec » à cause de sa rigidité au niveau du sous-sol.

IV.3.3.2. Analyse statique et dynamique

IV.3.3.2.1. Stabilité de la structure

a) Vérification de la résultante des forces sismiques de calcul (RPA99 v2003 Art.4.3.6)

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

Donc, il faut vérifier que :

$$\frac{V_t}{V} \geq 80\%$$

Calcul de la force sismique totale V (RPA99 v2003 Art.4.2.3)

La force sismique totale V doit être calculée dans les deux directions X, Y selon la formule :

$$V_x = \frac{A * D_x * Q_x}{R} W \quad , \quad V_x = \frac{A * D_x * Q_x}{R} W$$

Avec :

A : Coefficient d'accélération de zone. (Zone III, Groupe 2) $\Rightarrow$ A=0.25

D : Facteur d'amplification dynamique moyen

$$D = \begin{cases} 2.5\eta & pour: 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta \left(\frac{T_2}{T}\right)^{2/3} & pour: T_2 \leq T \leq 3sec \\ 2.5\eta \left(\frac{T_2}{T}\right)^{2/3} \left(\frac{3}{T}\right)^{5/3} & pour: T \geq 3 \text{ sec} \end{cases}$$

T_2: Période caractéristique. (Site 2) $\Rightarrow$ $T_2 = 0.4\ sec$

η: Facteur de correction d'amortissement.

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2+\xi}} \quad , \quad \xi = 10 \quad \Rightarrow \quad \eta = 0.76$$

T : Période fondamentale suivant les deux directions.

$$T = \frac{0.09h_n}{\sqrt{D}} \quad \Rightarrow \quad T_x = \frac{0.09 * 38.19}{\sqrt{26.50}} = 0.667 \quad , \quad T_y = \frac{0.09 * 38.19}{\sqrt{29.90}} = 0.628$$

$$\Rightarrow \quad D_x = 1.356 \quad , \quad D_y = 1.412$$

R : Coefficient de comportement global de la structure. R = 3.5

Q : Facteur de qualité. $Q_x = Q_y = 1.1$

W : Poids total de la structure.

$$W = \sum_{i=1}^{n} W_i \quad , \quad W_i = W_{G\,i} + \beta W_{Q\,i} \quad , \quad \beta = 0.2$$

Tableau IV.8 : *Les valeurs de la force sismique.*

A	D_x	D_y	Q_x	Q_y	R	$W(kN)$	$V_x(kN)$	$V_y(kN)$
0.25	1.356	1.412	1.1	1.1	3.5	89988.49	9594.239	9988.163

Les valeurs de la force sismique donnés par la fonction spectrale qu'on les a calculés par le logiciel « SAP2000 V.21.0.2 » sont :

$$V_{tx} = 7687.036\ kN \quad , \quad V_{ty} = 8000.577\ kN$$

Tableau IV.9 : *Vérification de la résultante des forces sismiques de calcul.*

	$V(kN)$	$V_t(kN)$	$\frac{V_t}{V}$	$\frac{V_t}{V} \geq 0.8$
Sens X	9267.129	7687.036	0.801	Oui
Sens Y	9647.623	8000.577	0.801	Oui

b) Vérification de la stabilité au renversement

Le moment de renversement égale à :

$$M_{Rx} = \sum_{i=1}^{n} F_{ix}.h_i \quad , \quad M_{Ry} = \sum_{i=1}^{n} F_{iy}.h_i$$

Avec :

F_{ix}, F_{iy}: Les forces distribuées à chaque niveau suivant x et y.

h_i: La hauteur de l'étage par rapport à la base.

Le moment de stabilité égale à :

$$M_{Sx} = W_i.X_G \quad , \quad M_{Sy} = W_i.Y_G$$

Avec :

X_G, Y_G: Les coordonnées du centre de gravité de la structure.

W_i: La masse du plancher de chaque niveau.

- **Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur**

$$F_i = \frac{W_i * h_i}{\sum W_i * h_i}(V_t - F_t)$$

$$F_t = \begin{cases} 0.07\ T\ V_t \leq 0.25 V_t & Si: T \geq 0.7\ sec \\ 0 & Si: T < 0.7\ sec \end{cases}$$

On a: $T_x = 0.667\ sec$, $T_y = 0.628\ sec$ $\Rightarrow$ $F_t = 0$

$$F_{ix} = \frac{W_i * h_i}{\sum W_i * h_i} V_{tx} \quad , \quad F_{iy} = \frac{W_i * h_i}{\sum W_i * h_i} V_{ty}$$

Tableau VI.10 : *Valeurs des moments de stabilité et de renversement.*

$h_i(m)$	$W_i(kN)$	$W_i h_i$	$F_{ix}(kN)$	$F_{iy}(kN)$	$M_{Rxi}(kN.m)$	$M_{Ryi}(kN.m)$	$M_{Sxi}(kN.m)$	$M_{Syi}(kN.m)$
34.51	1813.97	69275.40	334.87	348.53	12788.87	13310.50	23597.90	21183.51
31.11	6380.23	224520.22	1085.32	1129.59	38192.50	39750.30	85877.87	87102.87
27.71	7775.60	247186.39	1194.89	1243.63	37985.55	39534.92	104605.18	104822.89
24.31	7829.95	222292.27	1074.55	1118.38	30506.55	31750.86	105344.14	105500.74
20.91	7829.95	195670.44	945.86	984.44	23637.13	24601.25	105344.14	105500.74
17.51	7890.87	170363.88	823.53	857.12	17780.07	18505.29	106179.54	106266.34
14.11	7952.08	144648.41	699.23	727.75	12718.90	13237.69	107011.20	107035.05
10.71	7952.08	117611.32	568.53	591.72	8408.54	8751.51	107011.20	107035.05
7.31	8019.97	91347.45	441.57	459.58	5029.48	5234.63	107940.77	107884.63
3.91	8055.58	64364.08	311.13	323.82	2485.96	2587.36	108444.21	108661.71
0.51	9353.84	42934.10	207.54	216.01	952.62	991.47	126557.39	124649.21
Somme		1590213.97	/	/	190486.18	198255.78	1087913.53	1085642.74

Pour qu'on puisse dire que notre bâtiment est stable vis-à-vis au renversement, on doit vérifier les deux directions avec la formule suivante :

$$\frac{M_S}{M_R} \geq 1.5$$

Tableau IV.11: Vérification de la stabilité au renversement.

	M_S	M_R	M_S/M_R	*Verification*
Sens x	1087913.53	190486.18	5.71	*Oui*
Sens y	1085642.74	198255.78	5.48	*Oui*

La structure est stable vis-à-vis au renversement dans les deux directions.

c) Vérification des déplacements inter-étage (RPA99 v2003 Art.4.4.3)

Le déplacement horizontal à chaque niveau k de la structure est calculé comme suit :

$$\delta_k = R.\delta_{ek}$$

Avec :

δ_k: Déplacement dû au force sismique.

R : Coefficient de comportement.

Le déplacement relatif au niveau k_i par rapport au niveau k_{i-1} (inter-étage) est égal à :

$$\Delta = \delta_k - \delta_{k-1}$$

le déplacement horizontal relatif d'un étage par rapport aux autres qui sont adjacents ne doivent pas dépasser le déplacement admissible $\Delta_{adm} = 0.01h_e$ (RPA99 v2003 Art.5.10).

Tableau IV.12 : *Vérification des déplacements inter-étage suivant X.*

Niveau	$h_e(m)$	$\delta_{ek}(cm)$	$\delta_k(cm)$	$\Delta_k(cm)$	$\Delta_{adm}(cm)$	$\Delta_k \leq \Delta_{adm}$	ε	ε_{adm}
34.51	3	2.45	8.58	0.39	3.00	Oui	1.30	3.50
31.11	3.4	2.34	8.19	0.91	3.40	Oui	2.68	3.50
27.71	3.4	2.08	7.28	0.98	3.40	Oui	2.88	3.50
24.31	3.4	1.80	6.30	1.01	3.40	Oui	2.97	3.50
20.91	3.4	1.51	5.29	1.05	3.40	Oui	3.09	3.50
17.51	3.4	1.21	4.24	1.02	3.40	Oui	3.00	3.50
14.11	3.4	0.92	3.22	0.94	3.40	Oui	2.76	3.50
10.71	3.4	0.65	2.28	0.88	3.40	Oui	2.59	3.50
7.31	3.4	0.40	1.40	0.77	3.40	Oui	2.26	3.50
3.91	3.4	0.18	0.63	0.49	3.40	Oui	1.44	3.50
0.51	4.59	0.04	0.14	0.14	4.59	Oui	0.31	3.50

Tableau IV.13 : *Vérification des déplacements inter-étage suivant Y.*

Niveau	$h_e(m)$	$\delta_{ek}(cm)$	$\delta_k(cm)$	$\Delta_k(cm)$	$\Delta_{adm}(cm)$	$\Delta_k \leq \Delta_{adm}$	ε	ε_{adm}
34.51	3	1.57	5.5	0.38	3.00	Ok	1.27	3.50
31.11	3.4	1.68	5.88	0.73	3.40	Ok	2.15	3.50
27.71	3.4	1.47	5.15	0.70	3.40	Ok	2.06	3.50
24.31	3.4	1.27	4.45	0.74	3.40	Ok	2.18	3.50
20.91	3.4	1.06	3.71	0.73	3.40	Ok	2.15	3.50
17.51	3.4	0.85	2.98	0.74	3.40	Ok	2.18	3.50
14.11	3.4	0.64	2.24	0.63	3.40	Ok	1.85	3.50
10.71	3.4	0.46	1.61	0.59	3.40	Ok	1.74	3.50
7.31	3.4	0.29	1.02	0.53	3.40	Ok	1.56	3.50
3.91	3.4	0.14	0.49	0.35	3.40	Ok	1.03	3.50
0.51	4.59	0.04	0.14	0.14	4.59	Ok	0.31	3.50

d) Vérification de l'effet P-Δ

Les effets du $2^{éme}$ ordre (ou l'effet P-Δ) peuvent être négligés si la condition suivante est satisfaite à tous les niveaux :

$$\theta = \frac{P_k . \Delta_k}{V_k . h_k} \leq 0.10$$

P_k : Poids du niveau " k " et des charges d'exploitation associées au-dessus du niveau ;

V_k : Effort tranchant de l'étage au niveau " k " ;

Δ_k: Déplacement relatif du niveau " k " par rapport au niveau " k-1 " ;

h_k : Hauteur de l'étage " k ".

Tableau IV.14 : *Vérification de l'effet P-Δ.*

Niveau (m)	P_k ***(kN)***	Δ_{kx} ***(cm)***	Δ_{ky} ***(cm)***	V_{kx} ***(kN)***	V_{ky} ***(kN)***	h_k ***(cm)***	θ_{kx}	θ_{ky}	$\theta \leq 0.1$
34.51	1858.29	0.39	0.38	317.10	330.03	300	0.008	0.007	Oui
31.11	6508.58	0.91	0.73	1023.37	1065.11	340	0.017	0.013	Oui
27.71	7940.95	0.98	0.70	1127.95	1173.96	340	0.020	0.014	Oui
24.31	8002.32	1.01	0.74	1015.10	1056.51	340	0.023	0.017	Oui
20.91	8069.86	1.05	0.73	901.07	937.83	340	0.028	0.019	Oui
17.51	8138.45	1.02	0.74	785.10	817.12	340	0.031	0.022	Oui
14.11	8213.10	0.94	0.63	667.53	694.75	340	0.034	0.022	Oui
10.71	8288.91	0.88	0.59	547.76	570.11	340	0.039	0.025	Oui
7.31	8370.67	0.77	0.53	426.00	443.38	340	0.045	0.029	Oui
3.91	8411.72	0.49	0.35	300.30	312.55	340	0.040	0.028	Oui
0.51	9677.27	0.14	0.14	198.47	206.56	459	0.015	0.014	Oui

IV.3.3.2.2. Résistance des éléments

a) Vérification de cisaillement des éléments

- **Les poutres**

On doit vérifier que : $\tau \leq \bar{\tau}$

$$\tau = \frac{V_u}{b_0 . d}$$

Tableau IV.15 : *Vérification de cisaillement des poutres.*

Eléments	***Section(cm²)***	$V_u(kN)$	***Combinaison***	$\tau(MPa)$	***Type de fissurations***	$\bar{\tau}(MPa)$	$\tau \leq \bar{\tau}$
Poutres principales	30X55	414.53	ACC	2.632	préjudiciable	3.26	Oui
Poutres secondaires	30X35	-152.295	ACC	1.562	peu nuisible	4.35	Oui
Longrines	30X30	34.338	ELU	0.416	préjudiciable	2.50	Oui
Chainage	30X30	87.94	ELU	1.07	préjudiciable	2.50	Oui
Poutre palier	30X30	32.23	ELU	0.39	peu nuisible	3.33	Oui

- **Les voiles**

Pour les voiles, la vérification de la résistance au cisaillement se fait avec la valeur de l'effort tranchant trouvé à la base du voile majoré de 40%.

La contrainte de cisaillement est égale :

$$\tau = \frac{1.4|V_u|}{b.d}$$

Avec :

V_u : L'effort tranchant.

b : l'épaisseur de voile.

d = 0.9*L.

La contrainte limite de cisaillement : $\bar{\tau} = 0.2.f_{c28}$

Tableau VI.16 : *Vérification de cisaillement des voiles.*

Direction	***Voile***	***b***	***L***	$\|V_u\|$	***Combinaison***	$\tau(MPa)$	$\bar{\tau}(MPa)$	$\tau \leq \bar{\tau}$
Suivant x	**1**	20	165	256.78	$G+Q-V_{tx}$	1.210	5	Oui
	2	20	955	2459.25	$G+Q+V_{tx}$	2.003	5	Oui
	3	20	775	2258.25	$G+Q+V_{tx}$	2.266	5	Oui
	4	20	580	302.57	$G+Q-V_{tx}$	0.406	5	Oui
	5	20	325	436.75	$G+Q+V_{tx}$	1.045	5	Oui
	6	20	775	522.58	$G+Q+V_{tx}$	0.524	5	Oui
	7	20	325	414.32	$G+Q+V_{tx}$	0.992	5	Oui
	8	20	155	203.75	$G+Q-V_{tx}$	1.022	5	Oui
	9	20	120	119.17	$G+Q+V_{tx}$	0.772	5	Oui

	10	20	165	214.00	$G+Q-V_{tx}$	1.009	5	Oui
	11	20	150	126.61	$G+Q+V_{tx}$	0.656	5	Oui
	12	20	250	337.05	$G+Q-V_{tx}$	1.049	5	Oui
	13	20	370	307.39	$G+Q-V_{tx}$	0.646	5	Oui
	14	20	605	2034.04	$G+Q+V_{tx}$	2.615	5	Oui
	15	20	180	245.88	$G+Q-V_{tx}$	1.062	5	Oui
	16	20	950	3155.83	$G+Q-V_{tx}$	2.584	5	Oui
	17	20	165	316.56	$G+Q+V_{tx}$	1.449	5	Oui
Suivant y	**1**	20	190	1209.42	$G+Q+V_{ty}$	4.951	5	Oui
	2	20	390	1148.08	$G+Q+V_{ty}$	2.290	5	Oui
	3	20	390	228.23	$G+Q+V_{ty}$	0.325	5	Oui
	4	20	150	190.75	$G+Q+V_{ty}$	0.706	5	Oui
	5	20	190	679.37	$G+Q-V_{ty}$	1.986	5	Oui
	6	20	180	594.33	$G+Q-V_{ty}$	1.834	5	Oui
	7	20	150	679.37	$G+Q+V_{ty}$	2.516	5	Oui
	8	20	180	549.33	$G+Q+V_{ty}$	1.695	5	Oui
	9	20	190	594.33	$G+Q+V_{ty}$	1.738	5	Oui
	10	20	230	448.01	$G+Q+V_{ty}$	1.082	5	Oui
	11	20	760	1148.04	$G+Q+V_{ty}$	0.839	5	Oui
	12	20	990	1152.63	$G+Q+V_{ty}$	0.647	5	Oui
	13	20	400	206.6	$G+Q-V_{ty}$	0.287	5	Oui
	14	20	990	1156.4	$G+Q+V_{ty}$	0.649	5	Oui
	15	20	600	703.48	$G+Q+V_{ty}$	0.651	5	Oui

- **Les poteaux**

L'effort tranchant dans les poteaux est nul vu qu'on a, considéré que les sollicitations horizontales sont reprises uniquement par les voiles (R=3.5).

b) Vérification de l'effort normal réduit dans les poteaux

On doit vérifier que :

$$\nu = \frac{N_d}{B_c . f_{c28}} \leq 0.3$$

N_d: Effort normal réduit ;

B_c: Section brute du béton.

Tableau IV.17 : *Vérification de l'effort normal réduit.*

Niveau	*b(cm)*	*h(cm)*	$N_d(kN)$	$B_c(cm^2)$	*combinaison*	ν	$\nu \leq 0.3$
Sous-sol	60	60	2170.96	336400	$G+Q+V_{tx}$	0.258	Oui
	60	60	2219.01	336400	$G+Q+V_{ty}$	0.264	Oui
RDC	60	60	2390.05	336400	$G+Q+V_{tx}$	0.284	Oui
	60	60	2540.66	336400	$G+Q+V_{ty}$	0.300	Oui
1ier	60	60	2095.87	336400	$G+Q+V_{tx}$	0.249	Oui
	60	60	2235.30	336400	$G+Q+V_{ty}$	0.266	Oui
2éme	55	55	1801.73	280900	$G+Q+V_{tx}$	0.257	Oui
	55	55	1928.25	280900	$G+Q+V_{ty}$	0.275	Oui
3éme	55	55	1520.37	280900	$G+Q+V_{tx}$	0.216	Oui
	55	55	1633.85	280900	$G+Q+V_{ty}$	0.233	Oui
4éme	50	50	1246.80	230400	$G+Q+V_{tx}$	0.216	Oui
	50	50	1345.77	230400	$G+Q+V_{ty}$	0.234	Oui
5éme	50	50	987.55	230400	$G+Q+V_{tx}$	0.171	Oui
	50	50	1070.53	230400	$G+Q+V_{ty}$	0.186	Oui
6éme	45	45	736.55	184900	$G+Q+V_{tx}$	0.159	Oui
	45	45	802.12	184900	$G+Q+V_{ty}$	0.174	Oui
7éme	45	45	497.37	184900	$G+Q+V_{tx}$	0.108	Oui
	45	45	544.82	184900	$G+Q+V_{ty}$	0.118	Oui
8éme	40	40	265.85	144400	$G+Q+V_{tx}$	0.074	Oui
	40	40	294.34	144400	$G+Q+V_{ty}$	0.082	Oui
9éme	40	40	148.94	144400	$G+Q+V_{tx}$	0.041	Oui
	40	40	129.02	144400	$G+Q+V_{ty}$	0.036	Oui

IV.4. CONCLUSION

Les dimensions finales à prendre sont récapitulées dans les deux tableaux suivants :

Tableau IV.18: *Dimensions finales des éléments.*

Eléments		**Section**
Poutres principales		30x55
Poutres secondaires		30x35
Poutre Chainage		30x30
Poutre palière		30x30
Longrines		30x30
Voiles périphérique		20xL
Voile de contreventement		20xL
Poteaux	**8éme , 9éme**	40x40
	6émé, 7éme	45x45
	4éme, 5éme	50x50
	2éme, 3éme	55x55
	Sous-sol, RDC, 1^{ier}	60x60

V.1. Introduction

Le calcul de ferraillage se fait conformément aux règlements CBA93 et RPA99 version2003 en utilisant leurs combinaisons.

a) Combinaisons données par le CBA93 ELS : G + Q

- ELU : 1.35G + 1.5Q

b) Combinaisons données par le RPA99 version2003

- G+Q±E
- 0.8G±E

Avec :

G : charges permanentes.

Q : charges d'exploitation.

E : charges sismiques.

V.2. Ferraillage des poutres

Le calcul de ferraillage des poutres se fait en flexion simple, on doit faire le calcul de ferraillage longitudinal et transversal de tous les types des poutres (poutres principales, poutres secondaires).

V.2.1. Ferraillage longitudinal des poutres

L'acier choisi pour le ferraillage longitudinal est de type barres à haut adhérence F_eE400.

Tableau V.1: *La section calculée et la section choisie d'armatures des poutres.*

Elément	(bxh)	$M_t(kN.m)$	*Combinaison*	A_{S1} (cm^2)	$A_{S1\ choisie}$ (cm^2)	$M_a(kN.m)$	*Combinaison*	$A_{S2}(cm^2)$	$A_{S2\ choisie}$ (cm^2)
Poutres principales 1	30x55	/	/	/	3HA16 + 5_{CH}HA16 = 16.08	292.85	$G+Q+E_x$	14.09	3HA16 + 5_{CH}HA16 = 16.08
Poutres principales 2	30x55	96.01	$1.35G+1.5Q$	5.49	3HA16 = 6.03	-145.75	1.35G+1.5Q	8.55	3HA16 + 2_{CH}HA14 = 9.11
Poutres secondaires 1	30x35	/	/	/	3HA14 + 4_{CH}HA14 = 10.78	-111.33	$G+Q+E_x$	9.58	3HA14 + 4_{CH}HA14 = 10.78
Poutres secondaires 2	30x35	/	/	/	3HA14 + 2_{CH}HA12 = 6.88	-77.73	$G+Q+E_x$	6.44	3HA14 + 2_{CH}HA12 = 6.88

V.2.1.1. Vérification des contraintes à l'ELS

$$\sigma_b \leq \overline{\sigma_b} \quad , \quad \sigma_s \leq \overline{\sigma_s} \quad , \quad \sigma_s{}' \leq \overline{\sigma_s}$$

Tableau V.2: *Vérification des contraintes des poutres à l'ELS.*

Elément	Sollicitation à l'ELS		Contraintes en travées			Contraintes en appuis			Contraintes admissibles		Vérification
	$M_{t\,ser}$ $(kN.m)$	$M_{a\,ser}$ $(kN.m)$	σ_b (MPa)	σ_s (MPa)	$\sigma_s{}'$ (MPa)	σ_b (MPa)	σ_s (MPa)	$\sigma_s{}'$ (MPa)	$\overline{\sigma_b}$ (MPa)	$\overline{\sigma_s}$ (MPa)	
Poutres principales 1	76.91	-172.62	5.85	/	/	7.59	201.63	97.77	15	201.63	Oui
Poutres principales 2	70.27	-105.94	5.34	/	/	7.03	/	/	15	201.63	Oui
Poutres secondaires 1	66.14	-76.57	8.97	/	/	12.15	/	/	15	201.63	Oui
Poutres secondaires 2	45.75	-44.03	8.41	/	/	6.53	/	/	15	201.63	Oui

Section minimale

$A_{min} = 0.5\%\ b.h\ (cm^2)$ $(RPA99\ v2003\ Art.7.5.2.1)$

$Section\ tendue: A_{tmin} = 0.1\%\ b.h\ (cm^2)$ $(CBA93\ Art\ B.6.4)$.

Tableau V.3: *Vérification de section d'armatures.*

Elément	$A_t(cm^2)$	$A_a(cm^2)$	$A_{min}(cm^2)$	$A_{tmin}(cm^2)$	Vérification
Poutres principales 1	12.06	32.16	8.25	1.65	Oui
Poutres principales 2	12.06	15.14	8.25	1.65	Oui
Poutres secondaires 1	9.24	21.56	5.25	1.05	Oui
Poutres secondaires 2	9.24	13.76	5.25	1.05	Oui

V.2.1.2. Vérification de la flèche

Tableau V.4: *Vérification de la flèche des poutres.*

Elément	L(m)	$M_t(KN.m)$	f(mm)	$\bar{f}$(mm)	$f \leq \bar{f}$
Poutres principales 1	*2.85*	*76.91*	*0.80*	*5.70*	*Oui*
Poutres principales 2	*2.50*	*70.72*	*0.60*	*5.00*	*Oui*
Poutres secondaires 1	*2.35*	*66.14*	*0.01*	*4.70*	*Oui*
Poutres secondaires 2	*2.35*	*44.75*	*1.70*	*4.70*	*Oui*

V.2.1.3. Vérification des contraintes de cisaillement à l'ELU

$$\tau = \frac{V_u}{b_0 d} \leq \bar{\tau}$$

Tableau V.5: *Vérification des contraintes de cisaillement.*

Elément	Section	$V_{max}(kN)$	Combinaison	$\tau\ (MPa)$	$\bar{\tau}\ (MPa)$	$\tau \leq \bar{\tau}$
Poutres principales 1	30x55	414.53	$G+Q+E_x$	2.63	3.26	Oui
Poutres principales 2	30x55	332.94	$G+Q+E_x$	2.11	3.26	Oui
Poutres secondaires 1	30x35	-152.39	$G+Q+E_x$	1.56	4.35	Oui
Poutres secondaires 2	30x35	-110.47	$G+Q+E_x$	1.13	4.35	Oui

V.2.2. Ferraillage transversal des poutres

Tableau V.6: *La section d'armatures transversales.*

Elément	$\tau_u(MPa)$	$S_{adoptée}(cm)$		$A_{t\ choisie}$ (cm^2)
		$S(ZN)$ (cm)	$S'(ZC)$ (cm)	
Poutres principales 1	2.63	10	15	$3HA8 = 1.51$
Poutres principales 2	2.11	10	15	$3HA8 = 1.51$
Poutres secondaires 1	1.56	10	15	$3HA8 = 1.51$
Poutres secondaires 2	1.13	10	15	$3HA8 = 1.51$

Avec ce choix de section d'armatures, toutes les vérifications sont vérifiées, voir (annexe 6).

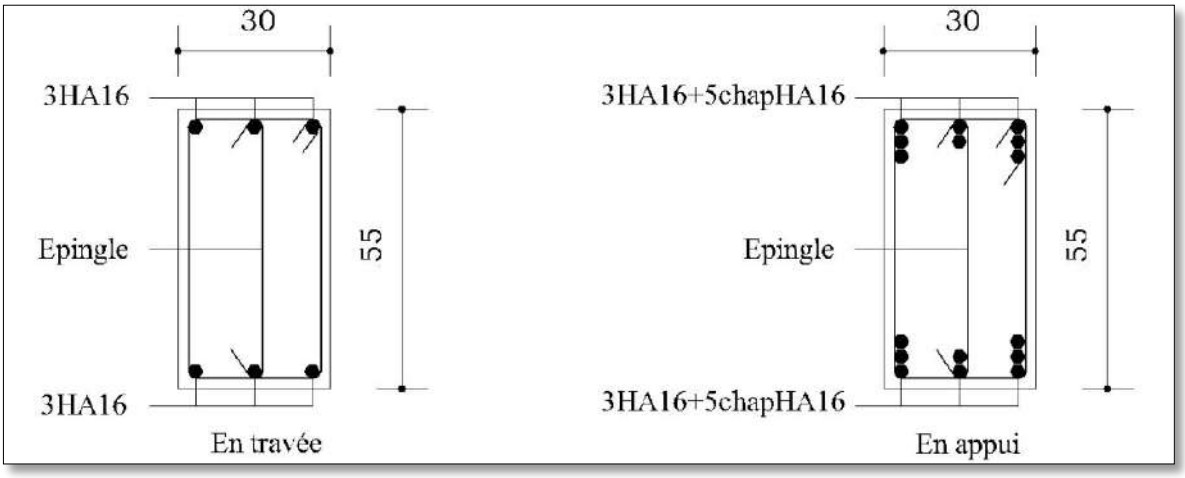


Figure V.1: *Dessin de ferraillage des poutres principales 01.*

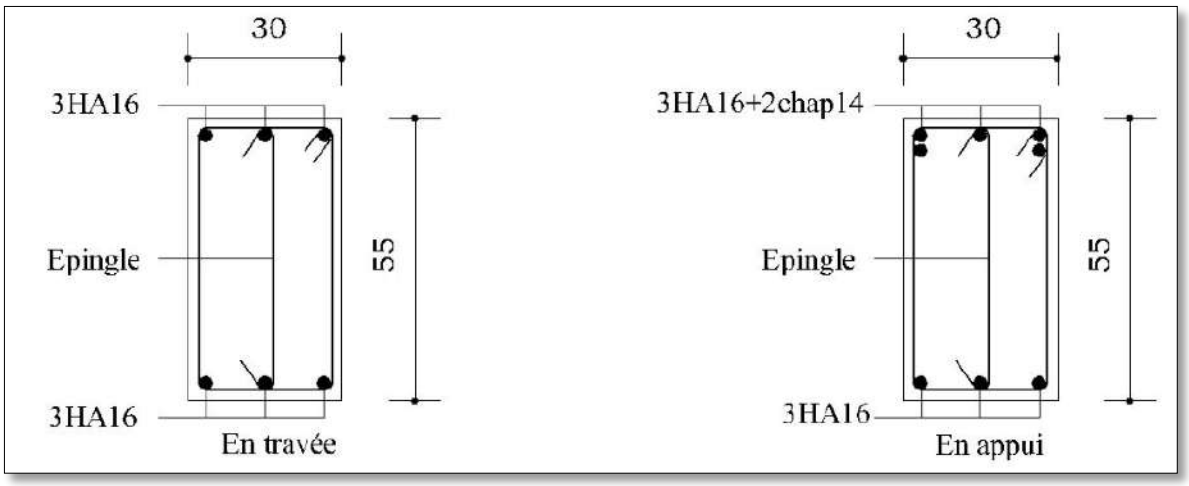


Figure V.2: *Dessin de ferraillage des poutres principales 02.*

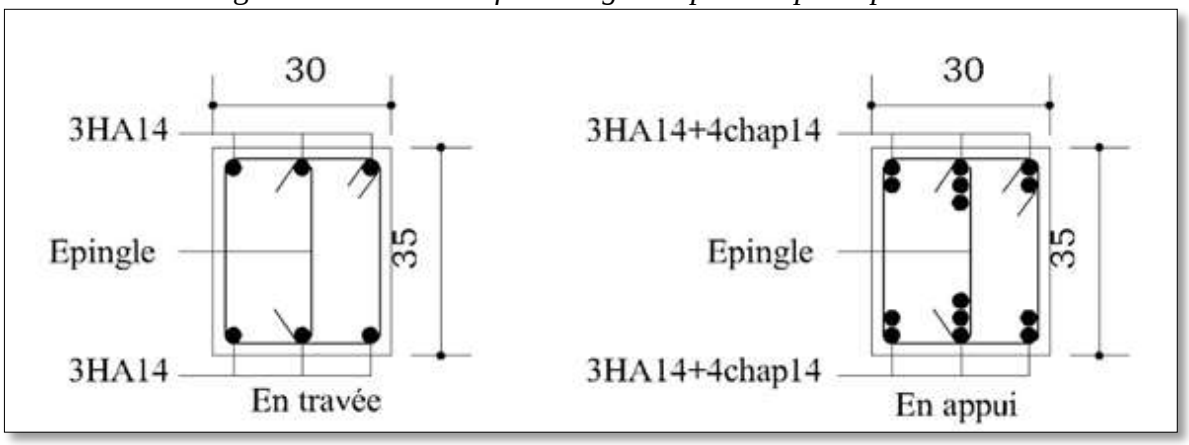


Figure V.3: *Dessin de ferraillage des poutres secondaire 01.*

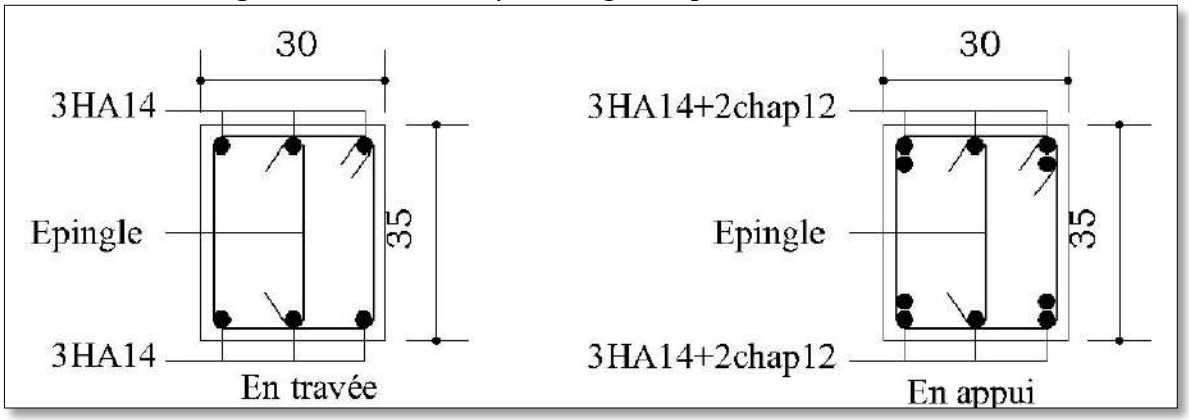


Figure V.4: *Dessin de ferraillage des poutres secondaire 02.*

V. 3. Ferraillage des poteaux

Les poteaux sont soumis aux charges verticales et horizontales, donc, le calcul de ferraillage se fait en flexion composée déviée(N, M_x, M_y).

V.3.1. Armatures longitudinales

Recommandation Selon le **CBA93** et **RPA v2003 Art.7.4.2.1,** voir annexe 7.

On va récapituler toutes les quantités de ferraillage de tous les poteaux dans le tableau suivant :

Remarque :

Les sollicitations sont calculées avec la combinaison 1.35G+1.5Q parce que les charges horizontales sont reprises uniquement par les voiles.

Tableau V.7: *La section d'armatures des poteaux.*

Etage	Section	Sollicitations						$A_{calculée}$ (cm²)	A_{min} (cm²)	$A_{choisie}$ (cm²)
Sous-sol	60x60	N_{max}	2836.75	$M_{x\,corr}$	-7.27	$M_{y\,corr}$	-1.53	9.60	32.40	4HA20+12HA16= 36.69
		N_{min}	1924.20	$M_{x\,corr}$	25.03	$M_{y\,corr}$	20.63	9.60		
		M_{max}	26.40	N_{corr}	2642.59	M_{corr}	1.05	9.60		
RDC	60x60	N_{max}	2874.20	$M_{x\,corr}$	47.08	$M_{y\,corr}$	8.78	9.60	32.40	4HA20+12HA16= 36.69
		N_{min}	1173.22	$M_{x\,corr}$	8.87	$M_{y\,corr}$	-22.96	9.60		
		M_{max}	89.06	N_{corr}	2094.44	M_{corr}	-9.53	9.60		
1ier	60x60	N_{max}	2497.88	$M_{x\,corr}$	42.57	$M_{y\,corr}$	33.24	9.60	32.40	4HA20+12HA16=3 6.69
		N_{min}	1043.57	$M_{x\,corr}$	12.41	$M_{y\,corr}$	-29.06	9.60		
		M_{max}	82.10	N_{corr}	1788.23	M_{corr}	4.50	9.60		
2éme	55x55	N_{max}	2137.96	$M_{x\,corr}$	36.02	$M_{y\,corr}$	25.25	8.80	27.23	16HA16=32.17
		N_{min}	909.85	$M_{x\,corr}$	12.94	$M_{y\,corr}$	-27.08	8.80		
		M_{max}	67.08	N_{corr}	1534.37	M_{corr}	5.60	8.80		
3éme	55x55	N_{max}	1801.58	$M_{x\,corr}$	41.04	$M_{y\,corr}$	30.82	8.80	27.23	16HA16=32.17
		N_{min}	770.32	$M_{x\,corr}$	17.04	$M_{y\,corr}$	-34.70	8.80		
		M_{max}	75.57	N_{corr}	1285.83	M_{corr}	7.82	8.80		
4éme	50x50	N_{max}	1478.69	$M_{x\,corr}$	32.57	$M_{y\,corr}$	25.08	8.00	22.50	12HA16=24.13
		N_{min}	632.12	$M_{x\,corr}$	14.70	$M_{y\,corr}$	-30.64	8.00		
		M_{max}	59.29	N_{corr}	1047.90	M_{corr}	7.43	8.00		
5éme	50x50	N_{max}	1174.95	$M_{x\,corr}$	37.72	$M_{y\,corr}$	28.97	8.00	22.50	12HA16=24.13
		N_{min}	491.24	$M_{x\,corr}$	18.25	$M_{y\,corr}$	-38.69	8.00		
		M_{max}	67.02	N_{corr}	814.91	M_{corr}	9.83	8.00		
6éme	45x45	N_{max}	881.15	$M_{x\,corr}$	28.86	$M_{y\,corr}$	22.09	7.20	18.23	12HA14=18.47
		N_{min}	353.38	$M_{x\,corr}$	14.83	$M_{y\,corr}$	-33.15	7.20		
		M_{max}	50.94	N_{corr}	591.40	M_{corr}	8.52	7.20		
7éme	45x45	N_{max}	600.54	$M_{x\,corr}$	33.68	$M_{y\,corr}$	24.78	7.20	18.23	12HA14=18.47
		N_{min}	214.79	$M_{x\,corr}$	16.89	$M_{y\,corr}$	-38.51	7.20		
		M_{max}	57.75	N_{corr}	324.06	M_{corr}	29.40	7.20		
8éme	40x40	N_{max}	327.08	$M_{x\,corr}$	23.21	$M_{y\,corr}$	16.23	6.40	14.40	4HA14+8HA12= 15.21
		N_{min}	78.10	$M_{x\,corr}$	20.00	$M_{y\,corr}$	-43.09	6.40		
		M_{max}	53.61	N_{corr}	159.57	M_{corr}	11.12	6.40		
9éme	40x40	N_{max}	213.63	$M_{x\,corr}$	-9.78	$M_{y\,corr}$	2.63	6.40	14.40	4HA14+8HA12=

		N_{min}	25.96	$M_{x\,corr}$	-50.74	$M_{y\,corr}$	-3.91	6.40		15.21
		M_{max}	56.27	N_{corr}	111.43	M_{corr}	-2.00	6.40		

V.3.2. Vérification des contraintes à l'ELS

$\overline{\sigma_b}$=15MPa $\quad\quad$ $\overline{\sigma_s} = 201.63MPa$

Tableau V.8: *Vérification des contraintes à l'ELS.*

Etage	Section	Sollicitations						Type de fissuration	σ_b (MPa)	σ_s (MPa)	$\sigma_i \leq \bar{\sigma}_i$
Sous-sol	60x60	N_{max}	2075.72	$M_{x\,corr}$	-5.32	$M_{y\,corr}$	-1.12	Peu nuisible	4.45	/	Vérifiée
		N_{min}	1408.20	$M_{x\,corr}$	18.30	$M_{y\,corr}$	15.03	Peu nuisible	3.71	/	Vérifiée
		M_{max}	19.30	N_{corr}	1933.64	M_{corr}	0.84	Peu nuisible	4.38	/	Vérifiée
RDC	60x60	N_{max}	2102.06	$M_{x\,corr}$	34.46	$M_{y\,corr}$	6.39	Préjudiciable	5.35	78.08	Vérifiée
		N_{min}	860.64	$M_{x\,corr}$	6.44	$M_{y\,corr}$	-16.83	Préjudiciable	2.33	33.65	Vérifiée
		M_{max}	64.74	N_{corr}	1532.30	M_{corr}	-6.99	Préjudiciable	4.68	66.7	Vérifiée
1ier	60x60	N_{max}	1826.78	$M_{x\,corr}$	31.15	$M_{y\,corr}$	24.28	Préjudiciable	5.04	72.7	Vérifiée
		N_{min}	765.27	$M_{x\,corr}$	9.03	$M_{y\,corr}$	-21.29	Préjudiciable	2.25	32.23	Vérifiée
		M_{max}	59.68	N_{corr}	1307.83	M_{corr}	3.30	Préjudiciable	3.87	56.55	Vérifiée
2éme	55x55	N_{max}	1563.47	$M_{x\,corr}$	26.36	$M_{y\,corr}$	18.44	Préjudiciable	5.14	73.79	Vérifiée
		N_{min}	667.02	$M_{x\,corr}$	9.41	$M_{y\,corr}$	-19.83	Préjudiciable	2.45	34.6	Vérifiée
		M_{max}	48.75	N_{corr}	1122.07	M_{corr}	4.11	Préjudiciable	4	58.21	Vérifiée
3éme	55x55	N_{max}	1317.43	$M_{x\,corr}$	30.04	$M_{y\,corr}$	22.50	Préjudiciable	4.7	66.67	Vérifiée
		N_{min}	564.56	$M_{x\,corr}$	12.38	$M_{y\,corr}$	-25.40	Préjudiciable	2.39	33.26	Vérifiée
		M_{max}	54.92	N_{corr}	940.19	M_{corr}	5.74	Préjudiciable	3.74	54.06	Vérifiée
4éme	50x50	N_{max}	1081.24	$M_{x\,corr}$	23.84	$M_{y\,corr}$	18.31	Préjudiciable	4.89	60.8	Vérifiée
		N_{min}	463.16	$M_{x\,corr}$	10.67	$M_{y\,corr}$	-22.43	Préjudiciable	2.62	35.78	Vérifiée
		M_{max}	43.08	N_{corr}	766.13	M_{corr}	5.45	Préjudiciable	3.9	55.94	Vérifiée
5éme	50x50	N_{max}	859.10	$M_{x\,corr}$	27.61	$M_{y\,corr}$	21.15	Préjudiciable	4.41	60.92	Vérifiée
		N_{min}	359.81	$M_{x\,corr}$	27.61	$M_{y\,corr}$	21.15	Préjudiciable	2.85	37.52	Vérifiée
		M_{max}	48.69	N_{corr}	595.66	M_{corr}	7.21	Préjudiciable	3.63	51.43	Vérifiée
6éme	45x45	N_{max}	644.23	$M_{x\,corr}$	21.13	$M_{y\,corr}$	16.12	Préjudiciable	4.37	59.38	Vérifiée
		N_{min}	258.73	$M_{x\,corr}$	10.77	$M_{y\,corr}$	-24.25	Préjudiciable	2.83	36.31	Vérifiée
		M_{max}	37.00	N_{corr}	432.17	M_{corr}	6.25	Préjudiciable	3.61	50.33	Vérifiée
7éme	45x45	N_{max}	439.04	$M_{x\,corr}$	24.66	$M_{y\,corr}$	18.08	Préjudiciable	3.82	50.3	Vérifiée
		N_{min}	157.10	$M_{x\,corr}$	12.27	$M_{y\,corr}$	-28.20	Préjudiciable	3.11	37.39	Vérifiée
		M_{max}	42.13	N_{corr}	236.91	M_{corr}	21.50	Peu nuisible	4.73	/	Vérifiée
8éme	40x40	N_{max}	239.07	$M_{x\,corr}$	16.97	$M_{y\,corr}$	11.83	Préjudiciable	3.27	41.11	Vérifiée
		N_{min}	56.91	$M_{x\,corr}$	14.54	$M_{y\,corr}$	-31.41	Préjudiciable	5.09	53.1	Vérifiée
		M_{max}	38.95	N_{corr}	116.31	M_{corr}	8.14	Préjudiciable	11.1	142.41	Vérifiée
9éme	40x40	N_{max}	156.54	$M_{x\,corr}$	-7.16	$M_{y\,corr}$	1.92	Peu nuisible	1.33	/	Vérifiée
		N_{min}	19.52	$M_{x\,corr}$	-37.06	$M_{y\,corr}$	-2.86	Peu nuisible	3.85	/	Vérifiée
		M_{max}	41.20	N_{corr}	81.76	M_{corr}	-1.42	Préjudiciable	4.17	52.16	Vérifiée

V.3.2. Armatures transversales

Les armatures transversales des poteaux sont calculées à l'aide de la formule donnée par le (RPA99 v2003 Art.7.4.2.2), Voir Annexe 8.

Tableau V.9: *La section d'armatures transversales des poteaux.*

Etage	*Section*	*Zone*	*t (cm)*	$A_{t\,ch}(cm^2)$
Sous-sol +RDC+1^{ier}	60x60	Nodale	10	6HA8 = 3.02
		Courante	15	6HA8 = 3.02
2éme+3éme	55x55	Nodale	10	6HA8 = 3.02
		Courante	15	6HA8 = 3.02
4éme+5éme	50x50	Nodale	10	6HA8 = 3.02
		Courante	15	6HA8 = 3.02
6éme + 7éme	45x45	Nodale	10	6HA8 = 3.02
		Courante	15	6HA8 = 3.02
8éme + 9éme	40x40	Nodale	10	6HA8 = 3.02
		Courante	15	6HA8 = 3.02

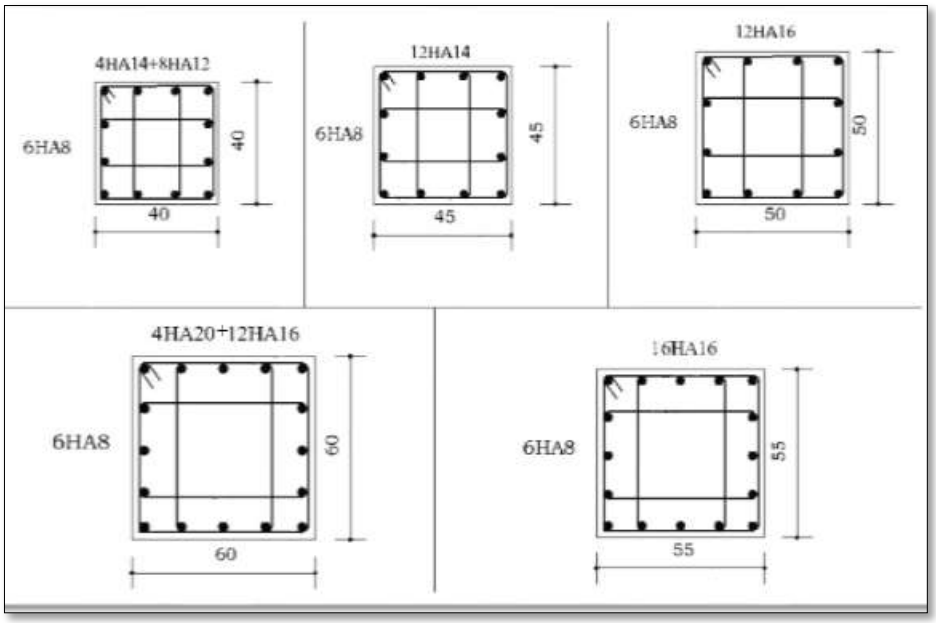


Figure V.5: *Dessin de ferraillage des Poteaux.*

V.4. Ferraillage des voiles

Le ferraillage des voiles sera calculé à partir des sollicitations dues aux charges verticales " G " et " Q " et horizontales " E ", les forces verticales provoquent les efforts

normaux, tandis que les forces horizontales provoquent des efforts normaux, des efforts tranchants ainsi que des moments fléchissant.

Dans notre projet, on a des voiles pleins et des voiles avec ouvertures.

Le ferraillage des voiles pleins sera calculé en flexion composée en suivant la méthode des contraintes.

Les voiles avec ouvertures comportent deux parties (trumeaux et linteaux), Le ferraillage des trumeaux sera calculé en flexion composée (comme les voiles pleins), Et le ferraillage des linteaux sera calculé en flexion simple ou en Traction/compression.

V.4.1. Ferraillage des trumeaux

V.4.1.1. Calcul d'armatures verticales

Exposé de la méthode des contraintes, voir annexe 9.

Tableau V.10: *La section calculée d'armatures verticales des voiles (Suivant Y).*

Voile	*Niveau*	L *(m)*	N (kN)	M $(kN.m)$	*Combinaison*	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	L_t *(m)*	N_t (kN)	A_{vt} *(cm²)*
Voile 1	*8éme*	6.00	152.52	293.12	$0.8G + E_y$	-0.12	0.37	1.44	-16.86	0.42
	7éme	6.00	384.53	606.61	$0.8G + E_y$	-0.19	0.83	1.10	-20.33	0.51
	6éme	6.00	552.12	1062.09	$0.8G + E_y$	-0.42	1.35	1.44	-61.22	1.53
	5éme	6.00	681.87	1515.44	$0.8G + E_y$	-0.69	1.83	1.65	-114.63	2.87
	4éme	6.00	824.57	2067.36	$0.8G + E_y$	-1.04	2.41	1.80	-186.78	4.67
	3éme	6.00	919.78	2587.3	$0.8G + E_y$	-1.39	2.92	1.93	-268.68	6.72
	2éme	6.00	1048.26	3306.61	$0.8G + E_y$	-1.88	3.63	2.05	-385.60	9.64
	1ier	6.00	1128.9	3940.22	$0.8G + E_y$	-2.34	4.22	2.14	-501.46	12.54
	RDC	6.00	1223.92	4815.54	$0.8G + E_y$	-2.99	5.03	2.24	-669.69	16.74
	Sous-sol	6.00	797.54	3896.63	$0.8G + E_y$	-2.58	3.91	2.39	-616.20	15.40
Voile 2	*8éme*	4.00	69.98	436.39	$0.8G + E_y$	-0.73	0.91	1.79	-130.53	3.26
	7éme	4.00	124.93	672.65	$0.8G + E_y$	-1.11	1.42	1.75	-193.65	4.84
	6éme	4.00	73.03	936.52	$0.8G + E_y$	-1.66	1.85	1.90	-315.63	7.89
	5éme	4.00	-7.97	1178.29	$0.8G + E_y$	-2.22	2.20	2.01	-445.85	11.15
	4éme	4.00	-149.35	1418.52	$0.8G + E_y$	-2.85	2.47	2.14	-609.24	15.23
	3éme	4.00	-295.22	1623.57	$0.8G + E_y$	-3.41	2.68	2.24	-765.40	19.13
	2éme	4.00	-505.25	1829.40	$0.8G + E_y$	-4.06	2.80	2.37	-961.91	24.05
	1ier	4.00	-667.72	1931.18	$0.8G + E_y$	-4.46	2.79	2.46	-1096.53	27.41
	RDC	4.00	-861.62	1877.45	$0.8G + E_y$	-4.60	2.44	2.61	-1200.76	30.02
	Sous-sol	4.00	-955.08	1617.95	$0.8G + E_y$	-4.23	1.84	2.79	-1178.24	29.46
Voile 3	*8éme*	5.90	215.56	674.32	$0.8G + E_y$	-0.40	0.76	2.02	-80.60	2.01
	7éme	5.90	354.66	1155.35	$0.8G + E_y$	-0.70	1.30	2.06	-143.17	3.58
	6éme	5.90	458.3	1683.76	$0.8G + E_y$	-1.06	1.84	2.16	-229.59	5.74
	5éme	5.90	511.07	2194.72	$0.8G + E_y$	-1.46	2.32	2.27	-331.70	8.29
	4éme	5.90	536.67	2768.89	$0.8G + E_y$	-1.93	2.84	2.39	-461.19	11.53
	3éme	5.90	527.71	3247.94	$0.8G + E_y$	-2.35	3.25	2.48	-582.97	14.57

	2éme	5.90	483.61	3803.04	$0.8G + E_y$	-2.87	3.69	2.58	-740.19	18.50
	1ier	5.90	396.54	4105.94	$0.8G + E_y$	-3.20	3.87	2.67	-855.03	21.38
	RDC	5.90	326.53	3827.09	$0.8G + E_y$	-3.02	3.57	2.70	-816.57	20.41
	Sous-sol	5.90	346.42	3680.30	$0.8G + E_y$	-2.88	3.47	2.68	-770.48	19.26
Voile 4	***8éme***	3.90	249.03	53.64	$0.8G + E_y$	0.21	0.43	0.00	0.00	0.00
	7éme	3.90	440.17	162.45	$0.8G + E_y$	0.24	0.88	0.00	0.00	0.00
	6éme	3.90	648.17	294.96	$0.8G + E_y$	0.25	1.41	0.00	0.00	0.00
	5éme	3.90	797.05	414.31	$0.8G + E_y$	0.20	1.84	0.00	0.00	0.00
	4éme	3.90	993.10	563.50	$0.8G + E_y$	0.16	2.38	0.00	0.00	0.00
	3éme	3.90	1105.46	685.76	$0.8G + E_y$	0.06	2.77	0.00	0.00	0.00
	2éme	3.90	1293.06	885.41	$0.8G + E_y$	-0.09	3.40	0.10	-0.88	0.02
	1ier	3.90	1375.76	1057.82	$0.8G + E_y$	-0.32	3.85	0.30	-9.73	0.24
	RDC	3.90	1558.54	1214.75	$0.8G + E_y$	-0.40	4.39	0.32	-12.88	0.32
	Sous-sol	3.90	1765.57	1326.49	$0.8G + E_y$	-0.35	4.88	0.26	-9.28	0.23
Voile 5	***9éme***	1.50	133.17	-195.19	$G + Q + E_y$	3.05	-2.16	0.62	-134.28	3.36
	8éme	1.50	340.21	-35.87	$G + Q + E_y$	1.61	0.66	0.00	0.00	0.00
	7éme	1.50	584.21	-32.05	$G + Q + E_y$	2.37	1.52	0.00	0.00	0.00
	6éme	1.50	785.39	-131.77	$G + Q + E_y$	4.37	0.86	0.00	0.00	0.00
	5éme	1.50	972.1	-142.73	$G + Q + E_y$	5.14	1.34	0.00	0.00	0.00
	4éme	1.50	1180.91	-169.77	$G + Q + E_y$	6.20	1.67	0.00	0.00	0.00
	3éme	1.50	1325.33	-190.86	$G + Q + E_y$	6.96	1.87	0.00	0.00	0.00
	2éme	1.50	1553.59	-112.19	$G + Q + E_y$	6.67	3.68	0.00	0.00	0.00
	1ier	1.50	1466.58	-605.71	$G + Q + E_y$	12.96	-3.19	0.30	-94.36	2.36
	RDC	1.50	2591.82	-84.37	$G + Q + E_y$	9.76	7.51	0.00	0.00	0.00
	Sous-sol	1.50	772.45	-1088.21	$G + Q + E_y$	17.08	-11.93	0.62	-736.25	18.41
Voile 6	***9éme***	1.80	186.69	-273.73	$G + Q + E_y$	3.05	-2.02	0.72	-144.31	3.61
	8éme	1.80	269.03	13.97	$G + Q + E_y$	0.62	0.88	0.00	0.00	0.00
	7éme	1.80	350.98	-195.82	$G + Q + E_y$	2.79	-0.84	0.42	-34.87	0.87
	6éme	1.80	496.36	-200.58	$G + Q + E_y$	3.24	-0.48	0.23	-11.09	0.28
	5éme	1.80	627.36	-235.97	$G + Q + E_y$	3.93	-0.44	0.18	-8.06	0.20
	4éme	1.80	780.92	-251.18	$G + Q + E_y$	4.49	-0.16	0.06	-0.95	0.02
	3éme	1.80	909.68	-271.11	$G + Q + E_y$	5.04	0.02	0.00	0.00	0.00
	2éme	1.80	1067.39	-290.09	$G + Q + E_y$	5.65	0.28	0.00	0.00	0.00
	1ier	1.80	1175.49	-221.74	$G + Q + E_y$	5.32	1.21	0.00	0.00	0.00
	RDC	1.80	1453.4	-655.44	$G + Q + E_y$	10.11	-2.03	0.30	-61.21	1.53
	Sous-sol	1.80	1643.57	-1387.88	$G + Q + E_y$	17.42	-8.29	0.58	-480.76	12.02
Voile 7	***8éme***	1.50	48.65	114.92	$0.8G + E_y$	-1.37	1.69	0.67	-91.88	2.30
	7éme	1.50	85.47	74.52	$0.8G + E_y$	-0.71	1.28	0.53	-37.91	0.95
	6éme	1.50	88.41	102.49	$0.8G + E_y$	-1.07	1.66	0.59	-63.05	1.58
	5éme	1.50	90.22	110.73	$0.8G + E_y$	-1.18	1.78	0.60	-70.21	1.76
	4éme	1.50	90.84	121.32	$0.8G + E_y$	-1.31	1.92	0.61	-80.15	2.00
	3éme	1.50	88.83	125.93	$0.8G + E_y$	-1.38	1.98	0.62	-85.43	2.14
	2éme	1.50	96.39	137.05	$0.8G + E_y$	-1.51	2.15	0.62	-93.09	2.33

	1ier	1.50	101.93	103.44	$0.8G + E_y$	-1.04	1.72	0.57	-58.75	1.47
	RDC	1.50	183.45	146.34	$0.8G + E_y$	-1.34	2.56	0.51	-68.99	1.72
	Sous-sol	1.50	302.14	-44.85	$0.8G + E_y$	1.61	0.41	0.00	0.00	0.00
Voile 8	***8éme***	1.80	104.14	181.97	$0.8G + E_y$	-1.40	1.97	0.75	-104.04	2.60
	7éme	1.80	226.86	178.84	$0.8G + E_y$	-1.03	2.29	0.56	-57.19	1.43
	6éme	1.80	283.84	215.74	$0.8G + E_y$	-1.21	2.79	0.54	-65.87	1.65
	5éme	1.80	336.94	229.59	$0.8G + E_y$	-1.19	3.06	0.50	-59.94	1.50
	4éme	1.80	384.24	253.75	$0.8G + E_y$	-1.28	3.42	0.49	-62.98	1.57
	3éme	1.80	419.56	253.1	$0.8G + E_y$	-1.18	3.51	0.45	-53.30	1.33
	2éme	1.80	451.47	267.05	$0.8G + E_y$	-1.22	3.73	0.44	-54.05	1.35
	1ier	1.80	445.56	233.04	$0.8G + E_y$	-0.92	3.40	0.38	-35.31	0.88
	RDC	1.80	593.55	274.68	$0.8G + E_y$	-0.89	4.19	0.32	-28.32	0.71
	Sous-sol	1.80	591.08	285.85	$0.8G + E_y$	-1.00	4.29	0.34	-34.34	0.86
Voile 9	***9éme***	4.00	97.32	186.31	$0.8G + E_y$	-0.23	0.47	1.30	-29.68	0.74
	8éme	4.00	313.11	143.98	$0.8G + E_y$	0.12	0.66	0.00	0.00	0.00
	7éme	4.00	514.09	238.73	$0.8G + E_y$	0.19	1.09	0.00	0.00	0.00
	6éme	4.00	738.62	406.47	$0.8G + E_y$	0.16	1.69	0.00	0.00	0.00
	5éme	4.00	899.75	561.61	$0.8G + E_y$	0.07	2.18	0.00	0.00	0.00
	4éme	4.00	1116.15	763.36	$0.8G + E_y$	-0.04	2.83	0.05	-0.18	0.00
	3éme	4.00	1242.38	938.14	$0.8G + E_y$	-0.21	3.31	0.23	-4.83	0.12
	2éme	4.00	1454.31	1225.7	$0.8G + E_y$	-0.48	4.12	0.42	-20.08	0.50
	1ier	4.00	1551.63	1512.02	$0.8G + E_y$	-0.90	4.77	0.63	-56.57	1.41
	RDC	4.00	1761.71	1699.04	$0.8G + E_y$	-0.98	5.39	0.62	-60.73	1.52
	Sous-sol	4.00	2001.2	1385.23	$0.8G + E_y$	-0.10	5.10	0.07	-0.71	0.02
Voile 10	***8éme***	2.30	84.35	117.89	$0.8G + E_y$	-0.49	0.85	0.83	-40.49	1.01
	7éme	2.30	129.08	134.78	$0.8G + E_y$	-0.48	1.04	0.73	-35.21	0.88
	6éme	2.30	165.2	162.95	$0.8G + E_y$	-0.56	1.28	0.70	-39.72	0.99
	5éme	2.30	180.92	205.94	$0.8G + E_y$	-0.77	1.56	0.76	-59.08	1.48
	4éme	2.30	195.02	225.13	$0.8G + E_y$	-0.85	1.70	0.77	-65.50	1.64
	3éme	2.30	189.95	265.29	$0.8G + E_y$	-1.09	1.92	0.83	-91.07	2.28
	2éme	2.30	189.91	286.32	$0.8G + E_y$	-1.21	2.04	0.86	-103.85	2.60
	1ier	2.30	166.74	324.37	$0.8G + E_y$	-1.48	2.20	0.92	-136.39	3.41
	RDC	2.30	-121.75	1431.23	$0.8G + E_y$	-8.38	7.85	1.19	-995.28	24.88
	Sous-sol	2.30	234.91	1002.47	$0.8G + E_y$	-5.17	6.20	1.05	-541.61	13.54
Voile 11	***8éme***	4.00	53.3	373.65	$0.8G + E_y$	-0.63	0.77	1.81	-114.74	2.87
	7éme	4.00	94.13	731.5	$0.8G + E_y$	-1.25	1.49	1.83	-229.27	5.73
	6éme	4.00	19.42	1119.87	$0.8G + E_y$	-2.08	2.12	1.98	-410.30	10.26
	5éme	4.00	-102.13	1494.95	$0.8G + E_y$	-2.93	2.68	2.09	-612.83	15.32
	4éme	4.00	-302.89	1876.67	$0.8G + E_y$	-3.90	3.14	2.22	-863.34	21.58
	3éme	4.00	-502.53	2222.89	$0.8G + E_y$	-4.80	3.54	2.30	-1103.78	27.59
	2éme	4.00	-798.05	2581.24	$0.8G + E_y$	-5.84	3.84	2.41	-1408.11	35.20
	1ier	4.00	-1052.56	2814.63	$0.8G + E_y$	-6.59	3.96	2.50	-1647.37	41.18
	RDC	4.00	-1317.24	2622.68	$0.8G + E_y$	-6.56	3.27	2.67	-1752.39	43.81

	Sous-sol	4.00	-1348.22	-0.35	$0.8G + E_y$	-1.68	-1.69	4.00	-1348.22	33.71
Voile 12	***8éme***	5.90	70.36	710.34	$0.8G + E_y$	-0.55	0.67	2.66	-147.13	3.68
	7éme	5.90	144.93	1408.91	$0.8G + E_y$	-1.09	1.34	2.65	-289.40	7.23
	6éme	5.90	83.95	2216.9	$0.8G + E_y$	-1.84	1.98	2.84	-522.43	13.06
	5éme	5.90	-27.48	3014.08	$0.8G + E_y$	-2.62	2.57	2.98	-780.09	19.50
	4éme	5.90	-223.16	3918.66	$0.8G + E_y$	-3.57	3.19	3.12	-1110.97	27.77
	3éme	5.90	-419.88	4726.28	$0.8G + E_y$	-4.43	3.72	3.21	-1420.71	35.52
	2éme	5.90	-708.72	5686.68	$0.8G + E_y$	-5.50	4.30	3.31	-1821.84	45.55
	1ier	5.90	-937.69	6517.68	$0.8G + E_y$	-6.41	4.82	3.37	-2159.05	53.98
	RDC	5.90	-992.93	6273.75	$0.8G + E_y$	-6.25	4.57	3.41	-2130.12	53.25
	Sous-sol	5.90	-891.08	-1.66	$0.8G + E_y$	-0.75	-0.76	5.90	-891.08	22.28
Voile 13	***9éme***	1.70	197.96	262.41	$G + Q + E_y$	-2.14	3.31	0.67	-143.14	3.58
	8éme	1.70	185.99	153.55	$G + Q + E_y$	-1.05	2.14	0.56	-58.45	1.46
	7éme	1.70	221.38	154.48	$G + Q + E_y$	-0.95	2.25	0.50	-48.09	1.20
	6éme	1.70	301.21	163.96	$G + Q + E_y$	-0.82	2.59	0.41	-33.26	0.83
	5éme	1.70	364.47	168.9	$G + Q + E_y$	-0.68	2.83	0.33	-22.50	0.56
	4éme	1.70	421.05	179.46	$G + Q + E_y$	-0.62	3.10	0.28	-17.80	0.44
	3éme	1.70	442.73	175.54	$G + Q + E_y$	-0.52	3.12	0.24	-12.62	0.32
	2éme	1.70	465.47	182.93	$G + Q + E_y$	-0.53	3.27	0.24	-12.57	0.31
	1ier	1.70	446.76	197.12	$G + Q + E_y$	-0.73	3.36	0.30	-22.27	0.56
	RDC	1.70	432.6	184.61	$G + Q + E_y$	-0.64	3.19	0.29	-18.40	0.46
	Sous-sol	1.70	429.89	183.53	$G + Q + E_y$	-0.64	3.17	0.29	-18.32	0.46
Voile 14	***9éme***	1.25	42.94	-112.63	$G + Q + E_y$	2.33	-1.99	0.58	-114.54	2.86
	8éme	1.25	165.05	17.45	$G + Q + E_y$	0.33	1.00	0.00	0.00	0.00
	7éme	1.25	224.21	-26.75	$G + Q + E_y$	1.41	0.38	0.00	0.00	0.00
	6éme	1.25	299.46	-66.5	$G + Q + E_y$	2.47	-0.08	0.04	-0.31	0.01
	5éme	1.25	365.04	-84.35	$G + Q + E_y$	3.08	-0.16	0.06	-0.98	0.02
	4éme	1.25	453.65	-104.31	$G + Q + E_y$	3.82	-0.19	0.06	-1.10	0.03
	3éme	1.25	524.13	-114.98	$G + Q + E_y$	4.30	-0.11	0.03	-0.35	0.01
	2éme	1.25	620.76	-133.92	$G + Q + E_y$	5.05	-0.09	0.02	-0.19	0.00
	1ier	1.25	698.67	-152.99	$G + Q + E_y$	5.73	-0.14	0.03	-0.43	0.01
	RDC	1.25	803.85	-163.84	$G + Q + E_y$	6.36	0.07	0.00	0.00	0.00
	Sous-sol	1.25	857.42	-142.65	$G + Q + E_y$	6.17	0.69	0.00	0.00	0.00
Voile 15	***9éme***	1.70	148.46	248.34	$G + Q + E_y$	-2.14	3.01	0.71	-151.18	3.78
	8éme	1.70	166.87	123.55	$G + Q + E_y$	-0.79	1.77	0.52	-41.54	1.04
	7éme	1.70	228.78	144.24	$G + Q + E_y$	-0.82	2.17	0.47	-38.58	0.96
	6éme	1.70	325.94	155.75	$G + Q + E_y$	-0.66	2.58	0.35	-22.77	0.57
	5éme	1.70	383.39	165.09	$G + Q + E_y$	-0.59	2.84	0.29	-17.04	0.43
	4éme	1.70	427.9	179.71	$G + Q + E_y$	-0.61	3.12	0.28	-16.79	0.42
	3éme	1.70	436.66	180.74	$G + Q + E_y$	-0.59	3.16	0.27	-15.87	0.40
	2éme	1.70	444.68	191.68	$G + Q + E_y$	-0.68	3.30	0.29	-19.86	0.50
	1ier	1.70	406.72	210.38	$G + Q + E_y$	-0.99	3.38	0.38	-37.97	0.95
	RDC	1.70	375.40	201.83	$G + Q + E_y$	-0.99	3.20	0.40	-39.84	1.00

	Sous-sol	1.70	409.79	166.09	$G + Q + E_y$	-0.52	2.93	0.26	-13.27	0.33
Voile 16	***9éme***	1.25	31.72	-78.36	$G + Q + E_y$	1.63	-1.38	0.57	-78.84	1.97
	8éme	1.25	122.35	-34.31	$G + Q + E_y$	1.15	-0.17	0.16	-2.72	0.07
	7éme	1.25	168.53	-101.47	$G + Q + E_y$	2.62	-1.27	0.41	-52.08	1.30
	6éme	1.25	234.32	-130.12	$G + Q + E_y$	3.44	-1.56	0.39	-60.96	1.52
	5éme	1.25	293.93	-143.01	$G + Q + E_y$	3.92	-1.57	0.36	-56.11	1.40
	4éme	1.25	372.05	-160.19	$G + Q + E_y$	4.56	-1.59	0.32	-51.21	1.28
	3éme	1.25	434.83	-168.84	$G + Q + E_y$	4.98	-1.50	0.29	-43.52	1.09
	2éme	1.25	518.66	-187.16	$G + Q + E_y$	5.67	-1.52	0.26	-40.12	1.00
	1ier	1.25	581.6	-200.36	$G + Q + E_y$	6.17	-1.52	0.25	-37.56	0.94
	RDC	1.25	673.15	-153.45	$G + Q + E_y$	5.64	-0.25	0.05	-1.36	0.03
	Sous-sol	1.25	736.2	-97.14	$G + Q + E_y$	4.81	1.08	0.00	0.00	0.00

Tableau V.11: *La section choisie d'armatures des voiles (Suivant Y).*

Voile	***Niveau***	$A_{v\,t}$ ***(cm²)***	$A_{Vt\,min}$ ***RPA (cm²)***	$A_{Vc\,min}$ ***(cm²)***	S_V ***(cm)***	$A_{Vt\,choisie}$ ***(cm²)***	$A_{c\,choisie}$ ***(cm²)***	$A_{globale}$ ***(cm²)***	S_h ***(cm)***	A_h ***(cm²)***	$A_{h\,choisie}$ ***(cm²)***
Voile 1	***8éme***	0.42	5.76	6.24	15	20HA8=10.05	40HA8=20.11	80HA8=40.21	15	26.81	42HA10=32.99
	7éme	0.51	4.39	7.61	15	16HA8=8.04	48HA8=24.13	80HA8=40.21	15	26.81	42HA10=32.99
	6éme	1.53	5.76	6.24	15	20HA8=10.05	40HA8=20.11	80HA8=40.21	15	26.81	42HA10=32.99
	5éme	2.87	6.60	5.40	15	22HA8=11.06	36HA8=18.10	80HA8=40.21	15	26.81	42HA10=32.99
	4éme	4.67	7.21	4.79	15	24HA8=12.06	32HA8=16.08	80HA8=40.21	15	26.81	42HA10=32.99
	3éme	6.72	7.73	4.27	15	26HA8=13.07	28HA8=14.07	80HA8=40.21	15	26.81	42HA10=32.99
	2éme	9.64	8.20	3.80	15	28HA8=14.07	24HA8=12.06	80HA8=40.21	15	26.81	42HA10=32.99
	1ier	12.54	8.56	3.44	15	30HA8=15.08	20HA8=10.05	80HA8=40.21	15	26.81	42HA10=32.99
	RDC	16.74	8.95	3.05	15	30HA10=23.56	20HA10=15.71	80HA10=62.83	15	41.89	42HA12=47.50
	Sous-sol	15.40	9.54	2.46	15	32HA10=25.13	16HA10=12.57	80HA10=62.83	15	41.89	58HA12=65.60
Voile 2	***8éme***	3.26	7.14	0.86	15	24HA8=12.06	6HA8=3.02	54HA8=27.14	15	18.09	42HA8=21.11
	7éme	4.84	7.01	0.99	15	24HA8=12.06	6HA8=3.02	54HA8=27.14	15	18.09	42HA8=21.11
	6éme	7.89	7.58	0.42	15	26HA8=13.07	2HA8=1.01	54HA8=27.14	15	18.09	42HA8=21.11
	5éme	11.15	8.04	0.04	15	26HA8=13.07	0.00	54HA8=27.14	15	18.09	42HA8=21.11
	4éme	15.23	8.56	-0.56	15	30HA10=23.56	0.00	54HA10=42.41	15	28.27	42HA10=32.99
	3éme	19.13	8.97	-0.97	15	30HA10=23.56	0.00	54HA10=42.41	15	28.27	42HA10=32.99
	2éme	24.05	9.47	-1.47	15	32HA12=36.19	0.00	54HA12=61.07	15	40.71	42HA12=47.48
	1ier	27.41	9.84	-1.84	15	34HA12=38.45	0.00	54HA12=61.07	15	40.71	42HA12=47.48
	RDC	30.02	10.45	-2.45	15	34HA12=38.45	0.00	54HA12=61.07	15	40.71	42HA12=47.48
	Sous-sol	29.46	11.15	-3.15	15	38HA12=42.98	0.00	54HA12=61.07	15	40.71	58HA12=65.60
Voile 3	***8éme***	2.01	8.09	3.71	15	28HA8=14.07	24HA8=12.06	80HA8=40.21	15	26.81	42HA10=32.99
	7éme	3.58	8.24	3.56	15	28HA8=14.07	24HA8=12.06	80HA8=40.21	15	26.81	42HA10=32.99
	6éme	5.74	8.64	3.16	15	30HA8=15.08	20HA8=10.05	80HA8=40.21	15	26.81	42HA10=32.99
	5éme	8.29	9.10	2.70	15	32HA8=16.08	16HA8=8.04	80HA8=40.21	15	26.81	42HA10=32.99
	4éme	11.53	9.55	2.25	15	32HA8=16.08	16HA8=8.04	80HA8=40.21	15	26.81	42HA10=32.99
	3éme	14.57	9.91	1.89	15	34HA8=17.09	12HA8=6.03	80HA8=40.21	15	26.81	42HA10=32.99
	2éme	18.50	10.32	1.48	15	36HA10=28.27	8HA10=6.28	80HA10=62.83	15	41.89	42HA12=47.48
	1ier	21.38	10.68	1.12	15	36HA10=28.27	8HA10=6.28	80HA10=62.83	15	41.89	42HA12=47.48
	RDC	20.41	10.81	0.99	15	36HA10=28.27	8HA10=6.28	80HA10=62.83	15	41.89	42HA12=47.48

	Sous-sol	19.26	10.71	1.09	15	36HA10=28.27	8HA10=6.28	80HA10=62.83	15	41.89	58HA12=65.60
Voile 4	***8éme***	0.00	0.00	7.80	15	0.00	52HA8=26.14	52HA8=26.14	15	17.43	42HA8=21.11
	7éme	0.00	0.00	7.80	15	0.00	52HA8=26.14	52HA8=26.14	15	17.43	42HA8=21.11
	6éme	0.00	0.00	7.80	15	0.00	52HA8=26.14	52HA8=26.14	15	17.43	42HA8=21.11
	5éme	0.00	0.00	7.80	15	0.00	52HA8=26.14	52HA8=26.14	15	17.43	42HA8=21.11
	4éme	0.00	0.00	7.80	15	0.00	52HA8=26.14	52HA8=26.14	15	17.43	42HA8=21.11
	3éme	0.00	0.00	7.80	15	0.00	52HA8=26.14	52HA8=26.14	15	17.43	42HA8=21.11
	2éme	0.02	0.40	7.40	15	2HA8=1.01	48HA8=24.13	52HA8=26.14	15	17.43	42HA8=21.11
	1ier	0.24	1.21	6.59	15	4HA8=2.01	44HA8=22.12	52HA8=26.14	15	17.43	42HA8=21.11
	RDC	0.32	1.30	6.50	15	4HA8=2.01	44HA8=22.12	52HA8=26.14	15	17.43	42HA8=21.11
	Sous-sol	0.23	1.05	6.75	15	4HA8=2.01	44HA8=22.12	52HA8=26.14	15	17.43	58HA8=29.15
Voile 5	***9éme***	3.36	2.49	0.51	15	8HA8=4.02	6HA8=3.02	22HA8=11.06	15	7.95	36HA8=18.10
	8éme	0.00	0.00	3.00	15	0.00	22HA8=11.06	22HA8=11.06	15	9.15	42HA8=21.11
	7éme	0.00	0.00	3.00	15	0.00	22HA8=11.06	22HA8=11.06	15	9.15	42HA8=21.11
	6éme	0.00	0.00	3.00	15	0.00	22HA8=11.06	22HA8=11.06	15	9.15	42HA8=21.11
	5éme	0.00	0.00	3.00	15	0.00	22HA8=11.06	22HA8=11.06	15	9.15	42HA8=21.11
	4éme	0.00	0.00	3.00	15	0.00	22HA8=11.06	22HA8=11.06	15	9.15	42HA8=21.11
	3éme	0.00	0.00	3.00	15	0.00	22HA8=11.06	22HA8=11.06	15	9.15	42HA8=21.11
	2éme	0.00	0.00	3.00	15	0.00	22HA8=11.06	22HA8=11.06	15	9.15	42HA8=21.12
	1ier	2.36	1.18	1.82	15	4HA10=3.14	14HA10=11.00	22HA10=17.28	15	11.52	42HA8=21.13
	RDC	0.00	0.00	3.00	15	0.00	22HA12=24.88	22HA12=24.88	15	16.59	42HA8=21.14
	Sous-sol	18.41	2.47	0.53	10	12HA14=18.47	8HA14=12.32	32HA14=49.26	15	32.84	58HA10=44.56
Voile 6	***9éme***	3.61	2.86	0.74	15	10HA8=5.03	4HA8=2.01	24HA8=12.06	15	8.04	36HA8=18.10
	8éme	0.00	0.00	3.60	15	0.00	24HA8=12.06	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	7éme	0.87	1.66	1.94	15	6HA8=3.02	12HA8=6.03	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	6éme	0.28	0.93	2.67	15	0.00	24HA8=12.06	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	5éme	0.20	0.73	2.87	15	0.00	24HA8=12.06	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	4éme	0.02	0.24	3.36	15	0.00	24HA8=12.06	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	3éme	0.00	0.00	3.60	15	0.00	24HA8=12.06	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	2éme	0.00	0.00	3.60	15	0.00	24HA8=12.06	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.12
	1ier	0.00	0.00	3.60	15	0.00	24HA10=18.85	24HA10=18.85	15	12.57	42HA8=21.13
	RDC	1.53	1.21	2.39	15	4HA12=4.52	16HA12=18.10	24HA12=27.14	15	18.09	42HA8=21.14
	Sous-sol	12.02	2.32	1.28	15	8HA14=12.32	8HA14=12.32	24HA14=36.95	15	24.63	58HA8=29.15
Voile 7	***8éme***	2.30	2.68	0.32	15	10HA8=5.03	2HA8=1.01	22HA8=11.06	15	9.15	42HA8=21.11
	7éme	0.95	2.14	0.86	15	8HA8=4.02	6HA8=3.02	22HA8=11.06	15	9.15	42HA8=21.11
	6éme	1.58	2.35	0.65	15	8HA8=4.02	6HA8=3.02	22HA8=11.06	15	9.15	42HA8=21.11
	5éme	1.76	2.39	0.61	15	8HA8=4.02	6HA8=3.02	22HA8=11.06	15	9.15	42HA8=21.11
	4éme	2.00	2.44	0.56	15	8HA8=4.02	6HA8=3.02	22HA8=11.06	15	9.15	42HA8=21.11
	3éme	2.14	2.47	0.53	15	8HA8=4.02	6HA8=3.02	22HA8=11.06	15	9.15	42HA8=21.11
	2éme	2.33	2.47	0.53	15	8HA8=4.02	6HA8=3.02	22HA8=11.06	15	9.15	42HA8=21.11
	1ier	1.47	2.26	0.74	15	8HA8=4.02	6HA8=3.02	22HA8=11.06	15	9.15	42HA8=21.11
	RDC	1.72	2.06	0.94	15	8HA8=4.02	6HA8=3.02	22HA8=11.06	15	9.15	42HA8=21.11
	Sous-sol	0.00	0.00	3.00	15	0.00	22HA8=11.06	22HA8=11.06	15	12.72	58HA8=29.15
Voile 8	***8éme***	2.60	2.98	0.62	15	10HA8=5.03	4HA8=2.01	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	7éme	1.43	2.23	1.37	15	8HA8=4.02	8HA8=4.02	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	6éme	1.65	2.18	1.42	15	8HA8=4.02	8HA8=4.02	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	5éme	1.50	2.02	1.58	15	8HA8=4.02	8HA8=4.02	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11

	4éme	1.57	1.96	1.64	15	6HA8=3.02	12HA8=6.03	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	3éme	1.33	1.81	1.79	15	6HA8=3.02	12HA8=6.03	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	2éme	1.35	1.77	1.83	15	6HA8=3.02	12HA8=6.03	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	1ier	0.88	1.54	2.06	15	6HA8=3.02	12HA8=6.03	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	RDC	0.71	1.27	2.33	15	4HA8=2.01	16HA8=8.04	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	Sous-sol	0.86	1.37	2.23	15	4HA8=2.01	16HA8=8.04	24HA8=12.06	15	12.72	58HA8=29.15
Voile 9	***9éme***	0.74	5.21	2.79	15	18HA8=9.05	18HA8=9.05	54HA8=27.14	15	18.09	36HA8=18.10
	8éme	0.00	0.00	8.00	15	0.00	54HA8=27.14	54HA8=27.14	15	18.09	42HA8=21.11
	7éme	0.00	0.00	8.00	15	0.00	54HA8=27.14	54HA8=27.14	15	18.09	42HA8=21.11
	6éme	0.00	0.00	8.00	15	0.00	54HA8=27.14	54HA8=27.14	15	18.09	42HA8=21.11
	5éme	0.00	0.00	8.00	15	0.00	54HA8=27.14	54HA8=27.14	15	18.09	42HA8=21.11
	4éme	0.00	0.20	7.80	15	0.00	54HA8=27.14	54HA8=27.14	15	18.09	42HA8=21.11
	3éme	0.12	0.94	7.06	15	4HA8=2.01	46HA8=23.12	54HA8=27.14	15	18.09	42HA8=21.11
	2éme	0.50	1.67	6.33	15	6HA8=3.02	42HA8=21.11	54HA8=27.14	15	18.09	42HA8=21.11
	1ier	1.41	2.53	5.47	15	8HA8=4.02	38HA8=19.10	54HA8=27.14	15	18.09	42HA8=21.11
	RDC	1.52	2.47	5.53	15	8HA8=4.02	38HA8=19.10	54HA8=27.14	15	18.09	42HA8=21.11
	Sous-sol	0.02	0.30	7.70	15	0.00	54HA8=27.14	54HA8=27.14	15	18.09	58HA8=29.15
Voile 10	***8éme***	1.01	3.34	1.26	15	12HA8=6.03	8HA8=4.02	32HA8=16.08	15	10.72	42HA8=21.11
	7éme	0.88	2.91	1.69	15	10HA8=5.03	12HA8=6.03	32HA8=16.08	15	10.72	42HA8=21.11
	6éme	0.99	2.81	1.79	15	10HA8=5.03	12HA8=6.03	32HA8=16.08	15	10.72	42HA8=21.11
	5éme	1.48	3.05	1.55	15	12HA8=6.03	8HA8=4.02	32HA8=16.08	15	10.72	42HA8=21.11
	4éme	1.64	3.07	1.53	15	12HA8=6.03	8HA8=4.02	32HA8=16.08	15	10.72	42HA8=21.11
	3éme	2.28	3.34	1.26	15	12HA8=6.03	8HA8=4.02	32HA8=16.08	15	10.72	42HA8=21.11
	2éme	2.60	3.43	1.17	15	12HA8=6.03	8HA8=4.02	32HA8=16.08	15	10.72	42HA8=21.11
	1ier	3.41	3.69	0.91	15	12HA10=9.42	8HA10=6.28	32HA10=25.13	15	16.75	42HA8=21.11
	RDC	24.88	4.75	0	10	24HA12=27.14	0.00	46HA12=52.02	15	34.68	42HA12=47.50
	Sous-sol	13.54	4.19	0.41	10	22HA12=24.88	2HA12=2.26	46HA12=52.02	15	34.68	58HA12=65.60
Voile 11	***8éme***	2.87	7.24	0.76	15	26HA8=13.07	4HA8=2.01	56HA8=28.15	15	18.77	42HA8=21.11
	7éme	5.73	7.31	0.69	15	26HA8=13.07	4HA8=2.01	56HA8=28.15	15	18.77	42HA8=21.11
	6éme	10.26	7.91	0.09	15	28HA8=14.07	0.00	56HA8=28.15	15	18.77	42HA8=21.11
	5éme	15.32	8.36	-0.36	15	28HA10=21.99	0.00	56HA8=28.15	15	18.77	42HA8=21.11
	4éme	21.58	8.86	-0.86	15	30HA10=23.56	0.00	56HA10=43.98	15	29.32	42HA10=32.99
	3éme	27.59	9.21	-1.21	15	32HA12=36.19	0.00	56HA12=63.33	15	42.22	42HA12=47.50
	2éme	35.20	9.65	-1.65	15	32HA12=36.19	0.00	56HA12=63.33	15	42.22	42HA12=47.50
	1ier	41.18	9.99	-1.99	15	34HA14=52.34	0.00	56HA14=86.21	15	57.47	42HA14=64.65
	RDC	43.81	10.68	-2.68	15	36HA14=55.42	0.00	56HA14=86.21	15	57.47	42HA14=64.65
	Sous-sol	33.71	16.00	-8.00	15	54HA14=83.13	0.00	56HA14=86.21	15	57.47	58HA14=89.28
Voile 12	***8éme***	3.68	10.65	1.15	15	36HA8=18.10	8HA8=4.02	80HA8=40.21	15	26.81	42HA12=47.50
	7éme	7.23	10.61	1.19	15	36HA8=18.10	8HA8=4.02	80HA8=40.21	15	26.81	42HA12=47.50
	6éme	13.06	11.36	0.44	15	38HA8=19.10	4HA8=2.01	80HA8=40.21	15	26.81	42HA12=47.50
	5éme	19.50	11.91	-0.11	15	40HA8=20.11	0.00	80HA8=40.21	15	26.81	42HA12=47.50
	4éme	27.77	12.46	-0.66	15	44HA10=34.56	0.00	80HA10=62.83	15	41.89	42HA12=47.50
	3éme	35.52	12.83	-1.03	15	44HA12=49.76	0.00	80HA12=90.48	15	60.32	42HA12=47.50
	2éme	45.55	13.25	-1.45	15	44HA12=49.76	0.00	80HA12=90.48	15	60.32	42HA12=47.50
	1ier	53.98	13.47	-1.67	15	48HA12=54.29	0.00	80HA12=90.48	15	60.32	42HA14=64.65
	RDC	53.25	13.64	-1.84	15	48HA12=54.29	0.00	80HA12=90.48	15	60.32	42HA14=64.65
	Sous-sol	22.28	23.60	-11.80	15	80HA12=90.48	0.00	80HA12=90.48	15	60.32	58HA14=89.28

Voile 13	***9éme***	3.58	2.67	0.73	15	10HA8=5.03	4HA8=2.01	24HA8=12.06	15	8.04	36HA8=18.10
	8éme	1.46	2.23	1.17	15	8HA8=4.02	8HA8=4.02	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	7éme	1.20	2.02	1.38	15	8HA8=4.02	8HA8=4.02	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	6éme	0.83	1.63	1.77	15	6HA8=3.02	12HA8=6.03	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	5éme	0.56	1.32	2.08	15	6HA8=3.02	12HA8=6.03	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	4éme	0.44	1.14	2.26	15	4HA8=2.01	16HA8=8.04	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	3éme	0.32	0.97	2.43	15	4HA8=2.01	16HA8=8.04	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	2éme	0.31	0.95	2.45	15	4HA8=2.01	16HA8=8.04	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	1ier	0.56	1.22	2.18	15	4HA8=2.01	16HA8=8.04	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	RDC	0.46	1.14	2.26	15	4HA8=2.01	16HA8=8.04	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	Sous-sol	0.46	1.14	2.26	15	4HA8=2.01	16HA8=8.04	24HA8=12.06	15	12.72	58HA8=29.15
Voile 14	***9éme***	2.86	2.30	0.20	15	8HA8=4.02	2HA8=1.01	18HA8=9.05	15	7.95	36HA8=18.10
	8éme	0.00	0.00	2.50	15	0.00	18HA8=9.05	18HA8=9.05	15	9.15	42HA8=21.11
	7éme	0.00	0.00	2.50	15	0.00	18HA8=9.05	18HA8=9.05	15	9.15	42HA8=21.11
	6éme	0.01	0.15	2.35	15	0.00	18HA8=9.05	18HA8=9.05	15	9.15	42HA8=21.11
	5éme	0.02	0.25	2.25	15	0.00	18HA8=9.05	18HA8=9.05	15	9.15	42HA8=21.11
	4éme	0.03	0.23	2.27	15	0.00	18HA8=9.05	18HA8=9.05	15	9.15	42HA8=21.11
	3éme	0.01	0.13	2.37	15	0.00	18HA8=9.05	18HA8=9.05	15	9.15	42HA8=21.11
	2éme	0.00	0.09	2.41	15	0.00	18HA8=9.05	18HA8=9.05	15	9.15	42HA8=21.11
	1ier	0.01	0.12	2.38	15	0.00	18HA8=9.05	18HA8=9.05	15	9.15	42HA8=21.11
	RDC	0.00	0.00	2.50	15	0.00	18HA8=9.05	18HA8=9.05	15	9.15	42HA8=21.11
	Sous-sol	0.00	0.00	2.50	15	0.00	18HA8=9.05	18HA8=9.05	15	12.72	58HA8=29.15
Voile 15	***9éme***	3.78	2.82	0.58	15	10HA8=5.03	4HA8=2.01	24HA8=12.06	15	8.04	36HA8=18.10
	8éme	1.04	2.10	1.30	15	8HA8=4.02	8HA8=4.02	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	7éme	0.96	1.87	1.53	15	6HA8=3.02	12HA8=6.03	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	6éme	0.57	1.38	2.02	15	6HA8=3.02	12HA8=6.03	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	5éme	0.43	1.16	2.24	15	4HA8=2.01	16HA8=8.04	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	4éme	0.42	1.11	2.29	15	4HA8=2.01	16HA8=8.04	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	3éme	0.40	1.07	2.33	15	4HA8=2.01	16HA8=8.04	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	2éme	0.50	1.17	2.23	15	4HA8=2.01	16HA8=8.04	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	1ier	0.95	1.54	1.86	15	6HA8=3.02	12HA8=6.03	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	RDC	1.00	1.61	1.79	15	6HA8=3.02	12HA8=6.03	24HA8=12.06	15	9.15	42HA8=21.11
	Sous-sol	0.33	1.02	2.38	15	4HA8=2.01	16HA8=8.04	24HA8=12.06	15	12.72	58HA8=29.15
Voile 16	***9éme***	1.97	2.29	0.21	15	8HA8=4.02	2HA8=1.01	18HA8=9.05	15	7.95	36HA8=18.10
	8éme	0.07	0.64	1.86	15	2HA8=1.01	12HA8=6.03	18HA8=9.05	15	9.15	42HA8=21.11
	7éme	1.30	1.63	0.87	15	6HA8=3.02	6HA8=3.02	18HA8=9.05	15	9.15	42HA8=21.11
	6éme	1.52	1.56	0.94	15	6HA8=3.02	6HA8=3.02	18HA8=9.05	15	9.15	42HA8=21.11
	5éme	1.40	1.43	1.07	15	6HA8=3.02	6HA8=3.02	18HA8=9.05	15	9.15	42HA8=21.11
	4éme	1.28	1.29	1.21	15	4HA8=2.01	10HA8=5.03	18HA8=9.05	15	9.15	42HA8=21.11
	3éme	1.09	1.16	1.34	15	4HA8=2.01	10HA8=5.03	18HA8=9.05	15	9.15	42HA8=21.11
	2éme	1.00	1.06	1.44	15	4HA8=2.01	10HA8=5.03	18HA8=9.05	15	9.15	42HA8=21.11
	1ier	0.94	0.99	1.51	15	4HA8=2.01	10HA8=5.03	18HA8=9.05	15	9.15	42HA8=21.11
	RDC	0.03	0.22	2.28	15	0.00	18HA8=9.05	18HA8=9.05	15	9.15	42HA8=21.11
	Sous-sol	0.00	0.00	2.50	15	0.00	18HA8=9.05	18HA8=9.05	15	12.72	58HA8=29.15

Tableau V.12: *La section calculée d'armatures verticales des voiles (Suivant X).*

Voile	*Niveau*	L *(m)*	N (kN)	M $(kN.m)$	*Combinaison*	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	L_t *(m)*	N_t (kN)	A_{vt} *(cm²)*
Voile 1	*8éme*	1,65	27,1	115,4	$0.8G + E_x$	-1,19	1,35	0,77	-91,80	2,29
	7éme	1,65	49,71	37,41	$0.8G + E_x$	-0,26	0,56	0,52	-13,70	0,34
	6éme	1,65	105,82	18,18	$0.8G + E_x$	0,12	0,52	0,00	0,00	0,00
	5éme	1,65	135,25	-15,65	$0.8G + E_x$	0,58	0,24	0,00	0,00	0,00
	4éme	1,65	142,38	-39,47	$0.8G + E_x$	0,87	0,00	0,01	0,00	0,00
	3éme	1,65	122,3	-71,62	$0.8G + E_x$	1,16	-0,42	0,44	-18,32	0,46
	2éme	1,65	78,24	-112,99	$0.8G + E_x$	1,48	-1,01	0,67	-67,32	1,68
	1ier	1,65	4,83	-72,24	$0.8G + E_x$	0,81	-0,78	0,81	-63,28	1,58
	RDC	1,65	-334,77	-1020,5	$0.8G + E_x$	10,23	-12,26	0,90	-1102,66	27,57
	Sous-sol	1,65	163,44	-515,22	$0.8G + E_x$	6,17	-5,18	0,75	-390,23	9,76
Voile 2	*8éme*	3,25	14,53	6,57	$0.8G + E_x$	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00
	7éme	3,25	10,53	-123,88	$0.8G + E_x$	0,37	-0,34	1,55	-52,03	1,30
	6éme	3,25	103,7	-245,49	$0.8G + E_x$	0,86	-0,54	1,25	-67,39	1,68
	5éme	3,25	212,54	-379,74	$0.8G + E_x$	1,41	-0,75	1,13	-85,10	2,13
	4éme	3,25	321,46	-516,13	$0.8G + E_x$	1,96	-0,97	1,08	-104,60	2,61
	3éme	3,25	387,29	-684,34	$0.8G + E_x$	2,54	-1,35	1,13	-151,88	3,80
	2éme	3,25	383,29	-891,3	$0.8G + E_x$	3,12	-1,94	1,25	-242,04	6,05
	1ier	3,25	235,28	-1306,64	$0.8G + E_x$	4,07	-3,35	1,47	-491,16	12,28
	RDC	3,25	-18,57	-1626,26	$0.8G + E_x$	4,59	-4,65	1,64	-759,90	19,00
	Sous-sol	3,25	11,38	-163,38	$0.8G + E_x$	0,48	-0,45	1,56	-69,82	1,75
Voile 3	*8éme*	3,25	230,18	210,36	$0.8G + E_x$	-0,24	0,95	0,66	-16,11	0,40
	7éme	3,25	449,63	282,26	$0.8G + E_x$	-0,11	1,49	0,22	-2,45	0,06
	6éme	3,25	626,26	407,1	$0.8G + E_x$	-0,19	2,12	0,27	-5,22	0,13
	5éme	3,25	763,73	513,47	$0.8G + E_x$	-0,28	2,63	0,32	-8,95	0,22
	4éme	3,25	885,14	682	$0.8G + E_x$	-0,58	3,30	0,48	-27,76	0,69
	3éme	3,25	944,67	811,81	$0.8G + E_x$	-0,85	3,76	0,60	-51,21	1,28
	2éme	3,25	999,17	1067,9	$0.8G + E_x$	-1,50	4,57	0,80	-119,89	3,00
	1ier	3,25	1075,43	1435,54	$0.8G + E_x$	-2,42	5,73	0,97	-233,94	5,85
	RDC	3,25	1406,66	2150,3	$0.8G + E_x$	-3,94	8,27	1,05	-413,73	10,34
	Sous-sol	3,25	1477,49	419,03	$0.8G + E_x$	1,08	3,46	0,00	0,00	0,00
Voile 4	*8éme*	1,55	80,33	-241,36	$G + Q + E_x$	3,27	-2,75	0,71	-195,14	4,88
	7éme	1,55	175	-193,87	$G + Q + E_x$	2,99	-1,86	0,59	-110,32	2,76
	6éme	1,55	297,93	-242,73	$G + Q + E_x$	3,99	-2,07	0,53	-109,55	2,74
	5éme	1,55	397,65	-245,56	$G + Q + E_x$	4,35	-1,78	0,45	-80,40	2,01
	4éme	1,55	515,64	-278,3	$G + Q + E_x$	5,14	-1,81	0,40	-73,20	1,83
	3éme	1,55	611,96	-277,43	$G + Q + E_x$	5,44	-1,49	0,33	-49,68	1,24
	2éme	1,55	727,75	-313,11	$G + Q + E_x$	6,26	-1,56	0,31	-48,38	1,21
	1ier	1,55	801,69	-287,55	$G + Q + E_x$	6,18	-1,00	0,22	-21,78	0,54
	RDC	1,55	677,53	-630,12	$G + Q + E_x$	10,05	-5,68	0,56	-318,08	7,95
	Sous-sol	1,55	524,05	-359,28	$G + Q + E_x$	6,18	-2,80	0,48	-135,03	3,38
Voile 5	*8éme*	1,20	162,34	359,24	$G + Q + E_x$	-6,81	8,16	0,55	-371,55	9,29
	7éme	1,20	178,32	256,64	$G + Q + E_x$	-4,60	6,09	0,52	-237,84	5,95
	6éme	1,20	265,02	305,62	$G + Q + E_x$	-5,26	7,47	0,50	-261,01	6,53

	5éme	1,20	320,73	302,67	$G + Q + E_x$	-4,97	7,64	0,47	-234,97	5,87
	4éme	1,20	397,12	308,68	$G + Q + E_x$	-4,78	8,09	0,45	-212,83	5,32
	3éme	1,20	472,47	301,71	$G + Q + E_x$	-4,32	8,25	0,41	-177,90	4,45
	2éme	1,20	570,5	295,09	$G + Q + E_x$	-3,77	8,52	0,37	-138,76	3,47
	1ier	1,20	660,02	262,3	$G + Q + E_x$	-2,71	8,21	0,30	-80,90	2,02
	RDC	1,20	846,08	349,53	$G + Q + E_x$	-3,76	10,81	0,31	-116,27	2,91
	Sous-sol	1,20	854,53	225,27	$G + Q + E_x$	-1,13	8,25	0,14	-16,40	0,41
Voile 6	*8éme*	1,65	38,09	-232,89	$G + Q + E_x$	2,68	-2,45	0,79	-193,10	4,83
	7éme	1,65	67,74	-218	$G + Q + E_x$	2,61	-2,20	0,75	-165,76	4,14
	6éme	1,65	117,43	-248,58	$G + Q + E_x$	3,10	-2,38	0,72	-171,08	4,28
	5éme	1,65	132,31	-262,66	$G + Q + E_x$	3,30	-2,49	0,71	-177,21	4,43
	4éme	1,65	132,77	-285,37	$G + Q + E_x$	3,55	-2,74	0,72	-197,29	4,93
	3éme	1,65	117,45	-298,02	$G + Q + E_x$	3,64	-2,93	0,74	-215,38	5,38
	2éme	1,65	94,3	-321,79	$G + Q + E_x$	3,83	-3,26	0,76	-247,29	6,18
	1ier	1,65	88,67	-364,87	$G + Q + E_x$	4,29	-3,75	0,77	-288,85	7,22
	RDC	1,65	93,86	-556,74	$G + Q + E_x$	6,42	-5,85	0,79	-460,29	11,51
	Sous-sol	1,65	133,98	-360,77	$G + Q + E_x$	4,38	-3,57	0,74	-264,40	6,61
Voile 7	*9éme*	1,50	16,62	-230,75	$0.8G + E_x$	3,13	-3,02	0,74	-222,51	5,56
	8éme	1,50	19,95	-341,3	$0.8G + E_x$	4,62	-4,48	0,74	-331,40	8,28
	7éme	1,50	76,68	-360,7	$0.8G + E_x$	5,06	-4,55	0,71	-323,38	8,08
	6éme	1,50	133,56	-388,21	$0.8G + E_x$	5,62	-4,73	0,69	-324,30	8,11
	5éme	1,50	186,35	-411,94	$0.8G + E_x$	6,11	-4,87	0,67	-324,03	8,10
	4éme	1,50	253,06	-420,11	$0.8G + E_x$	6,45	-4,76	0,64	-303,11	7,58
	3éme	1,50	317,07	-422,9	$0.8G + E_x$	6,70	-4,58	0,61	-279,22	6,98
	2éme	1,50	397,91	-402,28	$0.8G + E_x$	6,69	-4,04	0,56	-227,92	5,70
	1ier	1,50	489,69	-391,76	$0.8G + E_x$	6,86	-3,59	0,52	-185,17	4,63
	RDC	1,50	622,82	-479,33	$0.8G + E_x$	8,47	-4,32	0,51	-218,50	5,46
	Sous-sol	1,50	646,43	-154,39	$0.8G + E_x$	4,21	0,10	0,00	0,00	0,00
Voile 8	*8éme*	2,50	-3,6	-279,34	$0.8G + E_x$	1,33	-1,35	1,26	-169,41	4,24
	7éme	2,50	-26,39	-323,57	$0.8G + E_x$	1,50	-1,61	1,29	-207,56	5,19
	6éme	2,50	42,04	-391,06	$0.8G + E_x$	1,96	-1,79	1,19	-214,09	5,35
	5éme	2,50	118	-458,03	$0.8G + E_x$	2,43	-1,96	1,12	-218,98	5,47
	4éme	2,50	182,2	-527,98	$0.8G + E_x$	2,90	-2,17	1,07	-232,24	5,81
	3éme	2,50	210,89	-601,53	$0.8G + E_x$	3,31	-2,47	1,07	-263,17	6,58
	2éme	2,50	192,86	-696,38	$0.8G + E_x$	3,73	-2,96	1,11	-326,96	8,17
	1ier	2,50	73,12	-947,66	$0.8G + E_x$	4,70	-4,40	1,21	-532,62	13,32
	RDC	2,50	-134,26	-1102,81	$0.8G + E_x$	5,02	-5,56	1,31	-730,52	18,26
	Sous-sol	2,50	170,77	-295,79	$0.8G + E_x$	1,76	-1,08	0,95	-102,36	2,56
Voile 9	*8éme*	1,80	126,92	-296,36	$0.8G + E_x$	3,10	-2,39	0,78	-187,58	4,69
	7éme	1,80	337,66	-259,08	$0.8G + E_x$	3,34	-1,46	0,55	-80,08	2,00
	6éme	1,80	501,14	-293,66	$0.8G + E_x$	4,11	-1,33	0,44	-58,29	1,46
	5éme	1,80	616,79	-335,93	$0.8G + E_x$	4,82	-1,40	0,40	-56,48	1,41
	4éme	1,80	741,94	-344,81	$0.8G + E_x$	5,25	-1,13	0,32	-36,11	0,90
	3éme	1,80	815,89	-377,76	$0.8G + E_x$	5,76	-1,23	0,32	-39,02	0,98
	2éme	1,80	906,51	-385,93	$0.8G + E_x$	6,09	-1,06	0,27	-28,05	0,70
	1ier	1,80	948,25	-325,73	$0.8G + E_x$	5,65	-0,38	0,11	-4,35	0,11

	RDC	1,80	685,63	-1357,01	$0.8G + E_x$	14,47	-10,66	0,76	-814,01	20,35
	Sous-sol	1,80	627,89	-591,16	$0.8G + E_x$	7,22	-3,73	0,61	-228,71	5,72
Voile 10	*8éme*	1,65	-4,46	-244,25	$0.8G + E_x$	2,68	-2,70	0,83	-224,28	5,61
	7éme	1,65	-19,45	-236,45	$0.8G + E_x$	2,55	-2,66	0,84	-224,79	5,62
	6éme	1,65	-5,97	-272,18	$0.8G + E_x$	2,98	-3,02	0,83	-250,43	6,26
	5éme	1,65	-27,94	-297,89	$0.8G + E_x$	3,20	-3,37	0,85	-284,96	7,12
	4éme	1,65	-88,46	-319,09	$0.8G + E_x$	3,25	-3,78	0,89	-336,00	8,40
	3éme	1,65	-183,25	-340,15	$0.8G + E_x$	3,19	-4,30	0,95	-407,64	10,19
	2éme	1,65	-312,02	-364,93	$0.8G + E_x$	3,08	-4,97	1,02	-506,11	12,65
	1ier	1,65	-455,49	-359,04	$0.8G + E_x$	2,58	-5,34	1,11	-593,87	14,85
	RDC	1,65	-986,57	-1013,51	$0.8G + E_x$	8,18	-14,16	1,05	-1480,68	37,02
	Sous-sol	1,65	-208,99	0,89	$0.8G + E_x$	-0,64	-0,62	1,65	-208,99	5,22
Voile 11	*8éme*	1,50	-92,22	-327,02	$0.8G + E_x$	4,05	-4,67	0,80	-374,76	9,37
	7éme	1,50	-75,85	-277,53	$0.8G + E_x$	3,45	-3,95	0,80	-316,75	7,92
	6éme	1,50	-90,84	-333,9	$0.8G + E_x$	4,15	-4,75	0,80	-380,86	9,52
	5éme	1,50	-154,54	-362,02	$0.8G + E_x$	4,31	-5,34	0,83	-443,41	11,09
	4éme	1,50	-268,92	-400,02	$0.8G + E_x$	4,44	-6,23	0,88	-545,78	13,64
	3éme	1,50	-424,88	-422,84	$0.8G + E_x$	4,22	-7,05	0,94	-661,96	16,55
	2éme	1,50	-640	-465,46	$0.8G + E_x$	4,07	-8,34	1,01	-840,46	21,01
	1ier	1,50	-880,91	-480,09	$0.8G + E_x$	3,46	-9,34	1,09	-1021,57	25,54
	RDC	1,50	-1044,63	-606,15	$0.8G + E_x$	4,60	-11,56	1,07	-1240,98	31,02
	Sous-sol	5,80	930,67	5,39	$0.8G + E_x$	0,80	0,81	0,00	0,00	0,00
Voile 12	*8éme*	1,10	3,67	-223,11	$0.8G + E_x$	5,55	-5,51	0,55	-302,41	7,56
	7éme	1,10	60,5	-275,09	$0.8G + E_x$	7,10	-6,55	0,53	-345,48	8,64
	6éme	1,10	108,68	-341,54	$0.8G + E_x$	8,96	-7,97	0,52	-412,98	10,32
	5éme	1,10	111,38	-403,01	$0.8G + E_x$	10,50	-9,49	0,52	-495,28	12,38
	4éme	1,10	59,01	-456,45	$0.8G + E_x$	11,59	-11,05	0,54	-593,28	14,83
	3éme	1,10	-29,8	-496,56	$0.8G + E_x$	12,18	-12,45	0,56	-692,11	17,30
	2éme	1,10	-155,78	-523,83	$0.8G + E_x$	12,28	-13,70	0,58	-794,33	19,86
	1ier	1,10	-268,98	-526,62	$0.8G + E_x$	11,83	-14,28	0,60	-858,91	21,47
	RDC	1,10	-377,77	-401,04	$0.8G + E_x$	8,23	-11,66	0,64	-752,07	18,80
	Sous-sol	1,10	-364,06	-55,03	$0.8G + E_x$	-0,29	-3,02	1,10	-364,06	9,10
Voile 13	*9éme*	3,15	118,95	-576,36	$0.8G + E_x$	1,93	-1,55	1,40	-218,20	5,46
	8éme	1,35	5.00	-15,8	$0.8G + E_x$	0,28	-0,24	0,63	-15,14	0,38
	7éme	1,35	34,5	-125,41	$0.8G + E_x$	2,19	-1,94	0,63	-122,63	3,07
	6éme	1,35	13,96	-228,6	$0.8G + E_x$	3,81	-3,71	0,67	-247,07	6,18
	5éme	1,35	-64,06	-301,7	$0.8G + E_x$	4,73	-5,20	0,71	-368,02	9,20
	4éme	1,35	-216,97	-394,39	$0.8G + E_x$	5,69	-7,30	0,76	-553,41	13,84
	3éme	1,35	-387,24	-442,51	$0.8G + E_x$	5,85	-8,72	0,81	-704,36	17,61
	2éme	1,35	-618,4	-517,53	$0.8G + E_x$	6,23	-10,81	0,86	-925,80	23,14
	1ier	1,35	-793,43	-506,1	$0.8G + E_x$	5,39	-11,27	0,91	-1029,02	25,73
	RDC	1,35	-896,67	-549,89	$0.8G + E_x$	5,73	-12,37	0,92	-1141,57	28,54
	Sous-sol	4,15	-863,59	-1219,28	$0.8G + E_x$	1,08	-3,16	3,09	-978,27	24,46
Voile 14	*8éme*	1,65	-42,5	-5,57	$0.8G + E_x$	-0,07	-0,19	1,65	-42,50	1,06
	7éme	1,65	1,86	-17,56	$0.8G + E_x$	0,20	-0,19	0,80	-15,05	0,38
	6éme	1,65	41,25	-37,92	$0.8G + E_x$	0,54	-0,29	0,58	-16,93	0,42

	5éme	1,65	60,47	-66,21	$0.8G + E_x$	0,91	-0,55	0,62	-33,75	0,84
	4éme	1,65	63,82	-95,72	$0.8G + E_x$	1,25	-0,86	0,67	-58,03	1,45
	3éme	1,65	56,05	-134,68	$0.8G + E_x$	1,65	-1,31	0,73	-96,02	2,40
	2éme	1,65	35,95	-176,39	$0.8G + E_x$	2,05	-1,83	0,78	-142,88	3,57
	1ier	1,65	21,42	-240,93	$0.8G + E_x$	2,72	-2,59	0,80	-208,45	5,21
	RDC	1,65	24,88	-368,44	$0.8G + E_x$	4,14	-3,98	0,81	-322,62	8,07
	Sous-sol	3,7	289,18	-2,56	$0.8G + E_x$	0,40	0,39	0,00	0,00	0,00
Voile 15	*9éme*	3,6	-2,62	-238,79	$0.8G + E_x$	0,55	-0,56	1,81	-100,81	2,52
	8éme	3,6	138,4	-338,27	$0.8G + E_x$	0,98	-0,59	1,36	-80,24	2,01
	7éme	3,6	348,66	-586,53	$0.8G + E_x$	1,84	-0,87	1,16	-101,15	2,53
	6éme	3,6	472,04	-862,41	$0.8G + E_x$	2,65	-1,34	1,21	-162,07	4,05
	5éme	3,6	593,4	-1172,9	$0.8G + E_x$	3,54	-1,89	1,25	-237,04	5,93
	4éme	3,6	702,44	-1493,56	$0.8G + E_x$	4,43	-2,48	1,29	-320,65	8,02
	3éme	3,6	809,19	-1854,39	$0.8G + E_x$	5,42	-3,17	1,33	-421,03	10,53
	2éme	3,6	899,58	-2205,44	$0.8G + E_x$	6,35	-3,86	1,36	-524,18	13,10
	1ier	3,6	978,54	-2598,78	$0.8G + E_x$	7,37	-4,66	1,39	-648,82	16,22
	RDC	3,6	1036,84	-2658,12	$0.8G + E_x$	7,59	-4,71	1,38	-649,80	16,24
	Sous-sol	3,6	1135,02	-555,94	$0.8G + E_x$	2,86	0,29	0,00	0,00	0,00

Tableau V.13: *La section choisie d'armatures verticales des voiles (Suivant X).*

Voile	***Niveau***	$A_{v\,t}$ ***(cm²)***	$A_{Vt\,min}$ ***RPA (cm²)***	$A_{Vc\,min}$ ***(cm²)***	S_V ***(cm)***	$A_{Vt\,choisie}$ ***(cm²)***	$A_{c\,choisie}$ ***(cm²)***	$A_{globale}$ ***(cm²)***	S_h ***(cm)***	A_h ***(cm²)***	$A_{h\,choisie}$ ***(cm²)***
Voile 1	***8éme***	2,29	3,09	0,21	15	24HA8=12.06	0.00	24HA8=12.06	15	9,15	42HA8=21.11
	7éme	0,34	2,09	1,21	15	8HA8=4.02	8HA8=4.02	24HA8=12.06	15	9,15	42HA8=21.11
	6éme	0,00	0,00	3,30	15	0.00	24HA8=12.06	24HA8=12.06	15	9,15	42HA8=21.11
	5éme	0,00	0,00	3,30	15	0.00	24HA8=12.06	24HA8=12.06	15	9,15	42HA8=21.11
	4éme	0,00	0,03	3,27	15	0.00	24HA8=12.06	24HA8=12.06	15	9,15	42HA8=21.11
	3éme	0,46	1,75	1,55	15	0.00	24HA8=12.06	24HA8=12.06	15	9,15	42HA8=21.11
	2éme	1,68	2,67	0,63	15	10HA10=7.85	4HA10=3.14	24HA10=18.85	15	12,57	42HA8=21.11
	1ier	1,58	3,24	0,06	15	12HA12=13.57	0.00	24HA12=27.14	15	18,09	42HA10=32.99
	RDC	27,57	3,60	-0,30	10	18HA14=27.71	0.00	34HA14=52.34	15	34,89	42HA12=47.50
	Sous-sol	9,76	3,01	0,29	10	16HA14=24.63	2HA14=3.08	34HA14=52.34	15	34,89	58HA12=65.60
Voile 2	***8éme***	0,00	0,00	6,50	15	0.00	44HA8=22.12	44HA8=22.12	15	14,75	42HA8=21.11
	7éme	1,30	6,20	0,30	15	22HA8=11.06	0.00	44HA8=22.12	15	14,75	42HA8=21.11
	6éme	1,68	5,01	1,49	15	18HA8=9.05	8HA8=4.02	44HA8=22.12	15	14,75	42HA8=21.11
	5éme	2,13	4,53	1,97	15	16HA8=8.04	12HA8=6.03	44HA8=22.12	15	14,75	42HA8=21.11
	4éme	2,61	4,31	2,19	15	16HA8=8.04	12HA8=6.03	44HA8=22.12	15	14,75	42HA8=21.11
	3éme	3,80	4,51	1,99	15	16HA8=8.04	12HA8=6.03	44HA8=22.12	15	14,75	42HA8=21.11
	2éme	6,05	4,99	1,51	15	18HA8=9.05	8HA8=4.02	44HA8=22.12	15	14,75	42HA8=21.11
	1ier	12,28	5,87	0,63	15	20HA10=15.71	4HA10=3.14	44HA10=34.56	15	23,04	42HA10=32.99
	RDC	19,00	6,54	-0,04	15	22HA12=24.88	0.00	44HA12=49.76	15	33,17	42HA10=32.99
	Sous-sol	1,75	6,25	0,25	15	22HA12=24.88	0.00	44HA12=49.76	15	33,17	58HA10=44.55
Voile 3	***8éme***	0,40	2,65	3,85	15	8HA8=4.02	28HA8=14.07	44HA8=22.12	15	14,75	42HA8=21.11
	7éme	0,06	0,89	5,61	15	4HA8=2.01	36HA8=18.10	44HA8=22.12	15	14,75	42HA8=21.11
	6éme	0,13	1,08	5,42	15	4HA8=2.01	36HA8=18.10	44HA8=22.12	15	14,75	42HA8=21.11
	5éme	0,22	1,26	5,24	15	6HA8=3.02	32HA8=16.08	44HA8=22.12	15	14,75	42HA8=21.11

	4éme	0,69	1,93	4,57	15	8HA8=4.02	28HA8=14.07	44HA8=22.12	15	14,75	42HA8=21.11
	3éme	1,28	2,40	4,10	15	8HA8=4.02	28HA8=14.07	44HA8=22.12	15	14,75	42HA8=21.11
	2éme	3,00	3,21	3,29	15	14HA8=7.04	16HA8=8.04	44HA8=22.12	15	14,75	42HA8=21.11
	1ier	5,85	3,86	2,64	15	14HA8=7.04	16HA8=8.04	44HA8=22.12	15	14,75	42HA8=21.11
	RDC	10,34	4,20	2,30	15	14HA10=11.00	16HA10=12.57	44HA10=34.56	15	23,04	42HA10=32.99
	Sous-sol	0,00	0,00	6,50	15	0.00	44HA10=34.56	44HA10=34.56	15	23,04	58HA10=44.55
	8éme	4,88	2,83	0,27	15	10HA8=5.03	2HA8=1.01	22HA8=11.06	15	9,15	42HA8=21.11
	7éme	2,76	2,38	0,72	15	10HA8=5.03	2HA8=1.01	22HA8=11.06	15	9,15	42HA8=21.11
	6éme	2,74	2,12	0,98	15	6HA8=3.02	10HA8=5.03	22HA8=11.06	15	9,15	42HA8=21.11
	5éme	2,01	1,80	1,30	15	6HA8=3.02	10HA8=5.03	22HA8=11.06	15	9,15	42HA8=21.11
Voile	***4éme***	1,83	1,62	1,48	15	6HA8=3.02	10HA8=5.03	22HA8=11.06	15	9,15	42HA8=21.11
4	***3éme***	1,24	1,33	1,77	15	4HA8=2.01	14HA8=7.04	22HA8=11.06	15	9,15	42HA8=21.11
	2éme	1,21	1,24	1,86	15	4HA8=2.01	14HA8=7.04	22HA8=11.06	15	9,15	42HA8=21.11
	1ier	0,54	0,87	2,23	15	4HA8=2.01	14HA8=7.04	22HA8=11.06	15	9,15	42HA8=21.11
	RDC	7,95	2,24	0,86	10	12HA10=9.42	8HA10=6.28	32HA10=25.13	15	16,75	42HA8=21.11
	Sous-sol	3,38	1,93	1,17	10	12HA10=9.42	8HA10=6.28	32HA10=25.13	15	16,75	58HA8=29.15
	8éme	9,29	2,18	0,22	10	12HA10=9.42	0.00	24HA10=18.85	15	12,57	42HA8=21.11
	7éme	5,95	2,07	0,33	10	12HA10=9.42	0.00	24HA10=18.85	15	12,57	42HA8=21.11
	6éme	6,53	1,98	0,42	10	10HA10=7.85	4HA10=3.14	24HA10=18.85	15	12,57	42HA8=21.11
	5éme	5,87	1,89	0,51	10	10HA10=7.85	4HA10=3.14	24HA10=18.85	15	12,57	42HA8=21.11
Voile	***4éme***	5,32	1,78	0,62	10	10HA10=7.85	4HA10=3.14	24HA10=18.85	15	12,57	42HA8=21.11
5	***3éme***	4,45	1,65	0,75	10	8HA10=6.28	8HA10=6.28	24HA10=18.85	15	12,57	42HA8=21.11
	2éme	3,47	1,47	0,93	10	8HA10=6.28	8HA10=6.28	24HA10=18.85	15	12,57	42HA8=21.11
	1ier	2,02	1,19	1,21	10	6HA10=4.71	12HA10=9.42	24HA10=18.85	15	12,57	42HA8=21.11
	RDC	2,91	1,24	1,16	10	6HA10=4.71	12HA10=9.42	24HA10=18.85	15	12,57	42HA8=21.11
	Sous-sol	0,41	0,58	1,82	10	4HA10=3.14	16HA10=12.57	24HA10=18.85	15	12,72	58HA8=29.15
	8éme	4,83	3,15	0,15	15	12HA8=6.03	0.00	24HA8=12.06	15	9,15	42HA8=21.11
	7éme	4,14	3,02	0,28	15	10HA8=5.03	2HA8=1.01	24HA8=12.06	15	9,15	42HA8=21.11
	6éme	4,28	2,87	0,43	15	10HA8=5.03	2HA8=1.01	24HA8=12.06	15	9,15	42HA8=21.11
	5éme	4,43	2,84	0,46	15	10HA8=5.03	2HA8=1.01	24HA8=12.06	15	9,15	42HA8=21.11
Voile	***4éme***	4,93	2,88	0,42	15	10HA8=5.03	4HA8=2.01	24HA8=12.06	15	9,15	42HA8=21.11
6	***3éme***	5,38	2,94	0,36	15	10HA10=7.85	4HA10=3.14	24HA10=18.85	15	12,57	42HA8=21.11
	2éme	6,18	3,03	0,27	15	12HA10=9.42	0.00	24HA10=18.85	15	12,57	42HA8=21.11
	1ier	7,22	3,08	0,22	15	12HA10=9.42	0.00	24HA10=18.85	15	12,57	42HA8=21.11
	RDC	11,51	3,15	0,15	15	12HA12=13.57	0.00	24HA12=27.14	15	18,09	42HA8=21.11
	Sous-sol	6,61	2,96	0,34	15	10HA12=11.31	4HA12=4.52	24HA12=27.14	15	18,09	58HA8=29.15
	9éme	5,56	2,95	0,05	15	10HA12=11.31	0.00	20HA12=22.62	15	15,08	36HA8=18.10
	8éme	8,28	2,96	0,04	15	10HA12=11.31	0.00	20HA12=22.62	15	15,08	42HA8=21.11
	7éme	8,08	2,84	0,16	15	10HA12=11.31	0.00	20HA12=22.62	15	15,08	42HA8=21.11
	6éme	8,11	2,74	0,26	15	10HA12=11.31	0.00	20HA12=22.62	15	15,08	42HA8=21.11
	5éme	8,10	2,66	0,34	15	10HA12=11.31	0.00	20HA12=22.62	15	15,08	42HA8=21.11
Voile	***4éme***	7,58	2,55	0,45	15	10HA12=11.31	0.00	20HA12=22.62	15	15,08	42HA8=21.11
7	***3éme***	6,98	2,44	0,56	15	8HA12=9.05	4HA12=4.52	20HA12=22.62	15	15,08	42HA8=21.11
	2éme	5,70	2,26	0,74	15	8HA12=9.05	4HA12=4.52	20HA12=22.62	15	15,08	42HA8=21.11
	1ier	4,63	2,06	0,94	10	8HA12=9.05	4HA12=4.52	20HA12=22.62	15	15,08	42HA8=21.11
	RDC	5,46	2,03	0,97	10	8HA12=9.05	4HA12=4.52	20HA12=22.62	15	15,08	42HA8=21.11
	Sous-sol	0,00	0,00	3,00	11	0.00	20HA12=22.62	20HA12=22.62	15	15,08	58HA8=29.15

Voile 8	***8éme***	4,24	5,03	-0,03	15	18HA8=9.05	0.00	36HA8=18.10	15	12,07	42HA8=21.11
	7éme	5,19	5,17	-0,17	15	18HA8=9.05	0.00	36HA8=18.10	15	12,07	42HA8=21.11
	6éme	5,35	4,78	0,22	15	16HA8=8.04	4HA8=2.01	36HA8=18.10	15	12,07	42HA8=21.11
	5éme	5,47	4,46	0,54	15	16HA8=8.04	4HA8=2.01	36HA8=18.10	15	12,07	42HA8=21.11
	4éme	5,81	4,28	0,72	15	16HA8=8.04	4HA8=2.01	36HA8=18.10	15	12,07	42HA8=21.11
	3éme	6,58	4,27	0,73	15	16HA8=8.04	4HA8=2.01	36HA8=18.10	15	12,07	42HA8=21.11
	2éme	8,17	4,42	0,58	15	16HA10=12.57	4HA10=3.14	36HA10=28.27	15	18,85	42HA8=21.11
	1ier	13,32	4,84	0,16	15	18HA10=14.14	0.00	36HA10=28.27	15	18,85	42HA8=21.11
	RDC	18,26	5,25	-0,25	15	18HA12=20.36	0.00	36HA12=40.72	15	27,15	42HA10=32.99
	Sous-sol	2,56	3,80	1,20	15	14HA12=15.83	8HA12=9.05	36HA12=40.72	15	27,15	58HA10=44.55
Voile 9	***8éme***	4,69	3,14	0,46	15	10HA8=5.03	4HA8=2.01	24HA8=12.06	15	9,15	42HA8=21.11
	7éme	2,00	2,19	1,41	15	8HA8=4.02	8HA8=4.02	24HA8=12.06	15	9,15	42HA8=21.11
	6éme	1,46	1,76	1,84	15	6HA8=3.02	12HA8=6.03	24HA8=12.06	15	9,15	42HA8=21.11
	5éme	1,41	1,62	1,98	15	6HA8=3.02	12HA8=6.03	24HA8=12.06	15	9,15	42HA8=21.11
	4éme	0,90	1,28	2,32	15	4HA8=2.01	16HA8=8.04	24HA8=12.06	15	9,15	42HA8=21.11
	3éme	0,98	1,27	2,33	15	4HA8=2.01	16HA8=8.04	24HA8=12.06	15	9,15	42HA8=21.11
	2éme	0,70	1,06	2,54	15	4HA10=3.14	16HA10=12.57	24HA10=18.85	15	12,57	42HA8=21.11
	1ier	0,11	0,46	3,14	15	2HA12=2.26	20HA12=22.62	24HA12=27.14	15	18,09	42HA8=21.11
	RDC	20,35	3,05	0,55	10	16HA14=24.63	4HA14=6.16	36HA14=55.42	15	36,95	42HA12=47.50
	Sous-sol	5,72	2,45	1,15	10	12HA14=18.47	12HA14=18.47	36HA14=55.42	15	36,95	58HA12=65.60
Voile 10	***8éme***	5,61	3,32	-0,02	15	12HA8=6.03	0.00	24HA8=12.06	15	9,15	42HA8=21.11
	7éme	5,62	3,37	-0,07	15	12HA8=6.03	0.00	24HA8=12.06	15	9,15	42HA8=21.11
	6éme	6,26	3,32	-0,02	15	12HA10=9.42	0.00	24HA10=18.85	15	12,57	42HA8=21.11
	5éme	7,12	3,39	-0,09	15	12HA10=9.42	0.00	24HA10=18.85	15	12,57	42HA8=21.11
	4éme	8,40	3,55	-0,25	15	12HA10=9.42	0.00	24HA10=18.85	15	12,57	42HA8=21.11
	3éme	10,19	3,79	-0,49	15	14HA10=11.00	0.00	24HA10=18.85	15	12,57	42HA8=21.11
	2éme	12,65	4,08	-0,78	15	14HA12=15.83	0.00	24HA12=27.14	15	18,09	42HA8=21.11
	1ier	14,85	4,45	-1,15	15	16HA14=24.63	0.00	24HA14=36.95	15	24,63	42HA10=32.99
	RDC	37,02	4,18	-0,88	10	22HA16=44.23	0.00	34HA16=68.36	15	45,57	42HA12=47.50
	Sous-sol	5,22	6,60	-3,30	10	34HA16=68.36	0.00	34HA16=68.36	15	45,57	58HA12=65.60
Voile 11	***8éme***	9,37	3,21	-0,21	10	16HA10=12.57	0.00	30HA10=23.56	15	41,89	62HA10=48.69
	7éme	7,92	3,20	-0,20	10	16HA10=12.57	0.00	30HA10=23.56	15	41,89	62HA10=48.69
	6éme	9,52	3,20	-0,20	10	16HA10=12.57	0.00	30HA10=23.56	15	41,89	62HA10=48.69
	5éme	11,09	3,32	-0,32	10	18HA10=14.14	0.00	30HA10=23.56	15	41,89	62HA10=48.69
	4éme	13,64	3,50	-0,50	10	18HA10=14.14	0.00	30HA10=23.56	15	41,89	62HA10=48.69
	3éme	16,55	3,75	-0,75	10	20HA12=22.62	0.00	30HA12=33.93	15	66,35	62HA12=70.12
	2éme	21,01	4,03	-1,03	10	22HA12=24.88	0.00	30HA12=33.93	15	66,35	62HA12=70.12
	1ier	25,54	4,38	-1,38	10	22HA14=33.87	0.00	30HA14=46.18	15	90,31	62HA14=95.44
	RDC	31,02	4,29	-1,29	10	22HA14=33.87	0.00	30HA14=46.18	15	90,31	62HA14=95.44
	Sous-sol	0,00	0,00	11,6	10	0	116HA14=178.58	116HA14=178.58	15	119,05	86HA14=132.3
Voile 12	***8éme***	7,56	2,19	0,01	10	12HA10=9.42	0.00	24HA10=18.85	15	24,08	42HA10=32.99
	7éme	8,64	2,11	0,09	10	12HA10=9.42	0.00	24HA10=18.85	15	24,08	42HA10=32.99
	6éme	10,32	2,07	0,13	10	12HA12=13.57	0.00	24HA12=27.14	15	34,68	42HA12=47.50
	5éme	12,38	2,09	0,11	10	12HA12=13.57	0.00	24HA12=27.14	15	34,68	42HA12=47.50
	4éme	14,83	2,15	0,05	10	12HA14=18.47	0.00	24HA14=36.95	15	47,20	42HA12=47.50
	3éme	17,30	2,22	-0,02	10	12HA14=18.47	0.00	24HA14=36.95	15	47,20	42HA12=47.50
	2éme	19,86	2,32	-0,12	10	14HA14=21.55	0.00	24HA14=36.95	15	47,20	42HA12=47.50

	1ier	21,47	2,41	-0,21	10	14HA14=21.55	0.00	24HA14=36.95	15	47,20	42HA12=47.50
	RDC	18,80	2,58	-0,38	10	14HA14=21.55	0.00	24HA14=36.95	15	47,20	42HA12=47.50
	Sous-sol	9,10	4,40	-2,20	10	24HA14=36.95	0.00	24HA14=36.95	15	47,20	58HA12=65.60
Voile 13	***9éme***	5,46	5,62	0,68	10	28HA8=14.07	8HA8=4.02	64HA8=18.85	15	12,57	36HA8=18.10
	8éme	0,38	2,51	0,19	10	14HA8=7.04	0.00	28HA8=14.07	15	18,77	42HA8=21.11
	7éme	3,07	2,53	0,17	10	14HA8=7.04	0.00	28HA8=14.07	15	18,77	42HA8=21.11
	6éme	6,18	2,66	0,04	10	14HA8=7.04	0.00	28HA8=14.07	15	18,77	42HA8=21.11
	5éme	9,20	2,83	-0,13	10	14HA10=11.00	0.00	28HA10=21.99	15	29,32	42HA10=32.99
	4éme	13,84	3,03	-0,33	10	16HA12=18.10	0.00	28HA12=31.67	15	42,22	42HA12=47.50
	3éme	17,61	3,23	-0,53	10	16HA12=18.10	0.00	28HA12=31.67	15	42,22	42HA12=47.50
	2éme	23,14	3,43	-0,73	10	18HA14=27.71	0.00	28HA14=43.10	15	57,47	42HA14=64.65
	1ier	25,73	3,65	-0,95	10	20HA14=30.79	0.00	28HA14=43.10	15	57,47	42HA14=64.65
	RDC	28,54	3,69	-0,99	10	20HA14=30.79	0.00	28HA14=43.10	15	57,47	42HA14=64.65
	Sous-sol	24,46	12,3	-4,07	10	62HA14=95.44	0.00	84HA14=129.31	15	86,21	58HA14=89.29
Voile 14	***8éme***	1,06	6,60	-3,30	15	24HA8=12.06	0.00	24HA8=12.06	15	10,05	42HA8=21.11
	7éme	0,38	3,20	0,10	15	12HA8=6.03	0.00	24HA8=12.06	15	10,05	42HA8=21.11
	6éme	0,42	2,31	0,99	15	8HA8=4.02	8HA8=4.02	24HA8=12.06	15	10,05	42HA8=21.11
	5éme	0,84	2,47	0,83	15	10HA8=5.03	6HA8=3.02	24HA8=12.06	15	10,05	42HA8=21.11
	4éme	1,45	2,69	0,61	15	10HA8=5.03	4HA8=2.01	24HA8=12.06	15	10,05	42HA8=21.11
	3éme	2,40	2,92	0,38	15	10HA8=5.03	4HA8=2.01	24HA8=12.06	15	10,05	42HA8=21.11
	2éme	3,57	3,12	0,18	15	12HA8=6.03	0.00	24HA8=12.06	15	10,05	42HA8=21.11
	1ier	5,21	3,22	0,08	15	12HA8=6.03	0.00	24HA8=12.06	15	10,05	42HA8=21.11
	RDC	8,07	3,24	0,06	15	12HA10=9.42	0.00	24HA10=18.85	15	15,71	42HA8=21.11
	Sous-sol	0,00	0,00	7,40	15	0.00	50HA10=39.27	50HA10=39.27	15	26,18	58HA8=29.15
Voile 15	***9éme***	2,52	7,25	-0,05	15	48HA8=24.13	0.00	48HA8=24.13	15	16,09	36HA8=18.10
	8éme	2,01	5,43	1,77	15	20HA8=10.05	8HA8=4.02	48HA8=24.13	15	16,09	42HA8=21.11
	7éme	2,53	4,63	2,57	15	16HA8=8.04	16HA8=8.04	48HA8=24.13	15	16,09	42HA8=21.11
	6éme	4,05	4,84	2,36	15	16HA8=8.04	16HA8=8.04	48HA8=24.13	15	16,09	42HA8=21.11
	5éme	5,93	5,01	2,19	15	18HA8=9.05	12HA8=6.03	48HA8=24.13	15	16,09	42HA8=21.11
	4éme	8,02	5,17	2,03	15	18HA8=9.05	12HA8=6.03	48HA8=24.13	15	16,09	42HA8=21.11
	3éme	10,53	5,31	1,89	15	20HA10=15.71	8HA10=6.28	48HA10=37.70	15	25,13	42HA10=32.99
	2éme	13,10	5,44	1,76	15	20HA10=15.71	8HA10=6.28	48HA10=37.70	15	25,13	42HA10=32.99
	1ier	16,22	5,57	1,63	15	20HA12=22.62	8HA12=9.05	48HA12=54.29	15	36,19	42HA12=47.50
	RDC	16,24	5,51	1,69	15	20HA12=22.62	8HA12=9.05	48HA12=54.29	15	36,19	42HA12=47.50
	Sous-sol	0,00	0,00	7,20	15	0.00	48HA12=54.29	48HA12=54.29	15	36,19	58HA12=65.60

V.4.1.2. Vérification des contraintes à l'ELS et à l'ELU

A l'état limite de service (ELS), il y a que les contraintes de compression (voile entièrement comprimé), donc il suffit de vérifier la contrainte limite du béton ($\sigma_b \leq \overline{\sigma_b}$).

A l'état limite ultime(ELU),), il y a que les contraintes de cisaillement, il suffit de vérifier $\tau \leq \overline{\tau}$.

$$\tau = \frac{V_u}{b * d} \leq \bar{\tau} \quad , \quad V_u = 1.4 * T$$

Tableau V.14: *Vérification des contraintes des voiles (Suivant Y).*

Voile	*Niveau*	N (kN)	M $(kN.m)$	σ_b (MPa)	$\overline{\sigma_b}$ (MPa)	*Vérification*	T (MPa)	τ (MPa)	$\overline{\tau}$ (MPa)	$\tau \leq \overline{\tau}$
Voile 1	*8éme*	240.69	-69.95	0.26	15	Oui	-135.58	0.18	5	Oui
	7éme	619.81	-20.44	0.53	15	Oui	-294.9	0.38	5	Oui
	6éme	933.85	6.20	0.78	15	Oui	-435.07	0.56	5	Oui
	5éme	1200.77	12.04	1.01	15	Oui	-555.07	0.72	5	Oui
	4éme	1511.16	11.75	1.27	15	Oui	-663.17	0.86	5	Oui
	3éme	1738.34	4.24	1.45	15	Oui	-767.45	0.99	5	Oui
	2éme	2039.3	-11.73	1.71	15	Oui	-887.22	1.15	5	Oui
	1ier	2241.07	-83.92	1.94	15	Oui	-1001.61	1.30	5	Oui
	RDC	2428.86	123.93	2.13	15	Oui	-1070.96	1.39	5	Oui
	Sous-sol	2261.24	-1.24	1.89	15	Oui	-660.68	0.86	5	Oui
Voile 2	*8éme*	168.62	62.42	0.33	15	Oui	-241.84	0.47	5	Oui
	7éme	389.93	93.3	0.66	15	Oui	-381.59	0.74	5	Oui
	6éme	562.16	97.17	0.88	15	Oui	-490.29	0.95	5	Oui
	5éme	710.63	100.51	1.08	15	Oui	-590.08	1.15	5	Oui
	4éme	878.46	92.93	1.27	15	Oui	-674.2	1.31	5	Oui
	3éme	991.8	93.33	1.41	15	Oui	-743.06	1.44	5	Oui
	2éme	1146.21	72.78	1.57	15	Oui	-796.2	1.55	5	Oui
	1ier	1230.59	58.98	1.65	15	Oui	-806.89	1.57	5	Oui
	RDC	1381.44	15.97	1.76	15	Oui	-703.26	1.37	5	Oui
	Sous-sol	1563.41	3.38	1.96	15	Oui	-376.02	0.73	5	Oui
Voile 3	*8éme*	356.66	138.87	0.42	15	Oui	-331.65	0.44	5	Oui
	7éme	624.32	41.65	0.56	15	Oui	-557.89	0.74	5	Oui
	6éme	916.12	45.95	0.82	15	Oui	-773.59	1.02	5	Oui
	5éme	1155.51	49.35	1.02	15	Oui	-965.19	1.27	5	Oui
	4éme	1420.04	52.89	1.25	15	Oui	-1134.89	1.50	5	Oui
	3éme	1607.26	55.83	1.41	15	Oui	-1279.14	1.69	5	Oui
	2éme	1832.59	58.6	1.60	15	Oui	-1395.14	1.84	5	Oui
	1ier	1939.25	57.99	1.69	15	Oui	-1440.44	1.90	5	Oui
	RDC	2031.66	43.87	1.76	15	Oui	-1270.02	1.67	5	Oui
	Sous-sol	2176.61	3.95	1.85	15	Oui	-654.53	0.86	5	Oui
Voile 4	*8éme*	393.17	-89.56	0.68	15	Oui	-89.95	0.18	5	Oui
	7éme	694.41	-69.72	1.03	15	Oui	-116.18	0.23	5	Oui
	6éme	1022.14	-69.31	1.45	15	Oui	-146.69	0.29	5	Oui
	5éme	1256.92	-64.14	1.74	15	Oui	-168.93	0.34	5	Oui
	4éme	1565.15	-58.28	2.12	15	Oui	-190.92	0.38	5	Oui
	3éme	1739.46	-52.61	2.33	15	Oui	-210.11	0.42	5	Oui
	2éme	2029.49	-47.79	2.70	15	Oui	-240.73	0.48	5	Oui
	1ier	2150.63	-40.92	2.84	15	Oui	-276.98	0.55	5	Oui
	RDC	2423.82	-64.93	3.24	15	Oui	-258.74	0.52	5	Oui
	Sous-sol	2721.24	-44.79	3.58	15	Oui	-182.77	0.36	5	Oui
Voile 5	*9éme*	121.18	-81.96	1.50	15	Oui	127.58	0.66	5	Oui
	8éme	228.19	29.31	1.15	15	Oui	-27.93	0.14	5	Oui
	7éme	363.77	-40.59	1.75	15	Oui	-24.05	0.12	5	Oui
	6éme	468.39	-37.44	2.06	15	Oui	25.81	0.13	5	Oui

	5éme	556.91	-33.64	2.30	15	Oui	38.48	0.20	5	Oui
	4éme	655.42	-28.03	2.56	15	Oui	48.73	0.25	5	Oui
	3éme	720.77	-25.49	2.74	15	Oui	54.94	0.28	5	Oui
	2éme	818.66	-11.74	2.89	15	Oui	89.48	0.46	5	Oui
	1ier	829.78	-134.65	4.56	15	Oui	180.14	0.93	5	Oui
	RDC	1114.88	64.56	4.58	15	Oui	444.87	2.31	5	Oui
	Sous-sol	312.25	-411.58	6.53	15	Oui	716.85	3.72	5	Oui
Voile 6	***9éme***	162.54	-132.88	1.68	15	Oui	-12.98	0.06	5	Oui
	8éme	221.29	7.21	0.68	15	Oui	-70.06	0.30	5	Oui
	7éme	302.98	11.9	0.95	15	Oui	-107.87	0.47	5	Oui
	6éme	425.34	14.8	1.32	15	Oui	-126.28	0.55	5	Oui
	5éme	525.4	16.88	1.62	15	Oui	-143.47	0.62	5	Oui
	4éme	636.88	19.15	1.95	15	Oui	-160.08	0.69	5	Oui
	3éme	722.11	20.73	2.20	15	Oui	-168.88	0.73	5	Oui
	2éme	825.97	22.71	2.50	15	Oui	-178.04	0.77	5	Oui
	1ier	887.48	31.98	2.76	15	Oui	-179.07	0.77	5	Oui
	RDC	1054.17	-149.76	4.31	15	Oui	-208.72	0.90	5	Oui
	Sous-sol	1283.14	1115.41	13.89	15	Oui	-560.01	2.42	5	Oui
Voile 7	***8éme***	212.21	6.18	0.79	15	Oui	-211.53	1.10	5	Oui
	7éme	349.4	-27.16	1.53	15	Oui	-196.55	1.02	5	Oui
	6éme	463.01	-30.48	1.95	15	Oui	-230.48	1.20	5	Oui
	5éme	560.29	-28.19	2.24	15	Oui	-245.92	1.28	5	Oui
	4éme	665.52	-43.36	2.80	15	Oui	-258.94	1.34	5	Oui
	3éme	742.44	-35.06	2.94	15	Oui	-259.7	1.35	5	Oui
	2éme	831.99	-58.46	3.55	15	Oui	-256.67	1.33	5	Oui
	1ier	905.76	-18.22	3.26	15	Oui	-206.2	1.07	5	Oui
	RDC	886.81	-53.04	3.66	15	Oui	-125.77	0.65	5	Oui
	Sous-sol	1041.7	-4.1	3.53	15	Oui	-35.19	0.18	5	Oui
Voile 8	***8éme***	208.62	-47.36	1.02	15	Oui	-123.31	0.53	5	Oui
	7éme	370.44	-18.88	1.20	15	Oui	-125.27	0.54	5	Oui
	6éme	493.42	-27.07	1.62	15	Oui	-146.95	0.63	5	Oui
	5éme	602.47	-39.08	2.04	15	Oui	-157.89	0.68	5	Oui
	4éme	714.5	-37.05	2.33	15	Oui	-166.85	0.72	5	Oui
	3éme	803.29	-50.02	2.69	15	Oui	-167.61	0.72	5	Oui
	2éme	900.04	-50.11	2.96	15	Oui	-165.36	0.71	5	Oui
	1ier	949.19	-32.3	2.94	15	Oui	-145.25	0.63	5	Oui
	RDC	1073.94	-4.4	3.02	15	Oui	-132.35	0.57	5	Oui
	Sous-sol	1121.01	35.74	3.44	15	Oui	-55.93	0.24	5	Oui
Voile 9	***9éme***	136.72	-130.74	0.42	15	Oui	-87.73	0.17	5	Oui
	8éme	486.17	69.75	0.74	15	Oui	-111.6	0.22	5	Oui
	7éme	810.34	70.42	1.14	15	Oui	-142.81	0.28	5	Oui
	6éme	1168.94	64.89	1.58	15	Oui	-193.23	0.38	5	Oui
	5éme	1424.48	61.97	1.90	15	Oui	-226.57	0.44	5	Oui
	4éme	1764.49	57.45	2.31	15	Oui	-258.94	0.50	5	Oui
	3éme	1957.56	54.86	2.55	15	Oui	-289.97	0.56	5	Oui
	2éme	2281.25	49.83	2.94	15	Oui	-338.91	0.66	5	Oui
	1ier	2419.66	58.22	3.13	15	Oui	-410.89	0.80	5	Oui

	RDC	2729.04	8.4	3.43	15	Oui	-365.88	0.71	5	Oui
	Sous-sol	3073.76	9.65	3.86	15	Oui	-183.64	0.36	5	Oui
Voile 10	***8éme***	137.05	-20.1	0.41	15	Oui	-97.3	0.33	5	Oui
	7éme	278.2	-17.48	0.70	15	Oui	-90.53	0.31	5	Oui
	6éme	417.52	-17.57	1.01	15	Oui	-96.63	0.33	5	Oui
	5éme	533.05	-17.16	1.26	15	Oui	-102.17	0.35	5	Oui
	4éme	657.62	-16.82	1.52	15	Oui	-100.75	0.34	5	Oui
	3éme	751.62	-16.44	1.73	15	Oui	-99.81	0.34	5	Oui
	2éme	861.68	-15.99	1.96	15	Oui	-96.96	0.33	5	Oui
	1ier	937.37	-15.86	2.13	15	Oui	-89.93	0.30	5	Oui
	RDC	1097.08	156.62	3.27	15	Oui	-528.11	1.79	5	Oui
	Sous-sol	705.49	-3.45	1.55	15	Oui	-397.03	1.34	5	Oui
Voile 11	***8éme***	157.61	-60.95	0.31	15	Oui	-205.52	0.40	5	Oui
	7éme	398.07	-41.34	0.58	15	Oui	-391.87	0.76	5	Oui
	6éme	601.65	-36.49	0.82	15	Oui	-564.73	1.10	5	Oui
	5éme	768.32	-26.84	1.01	15	Oui	-721.55	1.40	5	Oui
	4éme	962.13	-31.41	1.26	15	Oui	-860.06	1.67	5	Oui
	3éme	1098.44	-17.65	1.41	15	Oui	-981.93	1.91	5	Oui
	2éme	1281.16	-19.64	1.64	15	Oui	-1085.17	2.11	5	Oui
	1ier	1382.16	10.81	1.75	15	Oui	-1144.97	2.23	5	Oui
	RDC	1567.94	-47.69	2.05	15	Oui	-923.16	1.80	5	Oui
	Sous-sol	1729.18	0.47	2.16	15	Oui	373.66	0.73	5	Oui
Voile 12	***8éme***	204.68	-136.22	710.34	0.29	Oui	-367.65	0.48	5	Oui
	7éme	527.7	-95.03	1408.91	0.53	Oui	-668.32	0.88	5	Oui
	6éme	795.45	-86.73	2216.9	0.75	Oui	-958.48	1.26	5	Oui
	5éme	1031.68	-78.85	3014.08	0.94	Oui	-1222.3	1.61	5	Oui
	4éme	1299.46	0.66	3918.66	1.10	Oui	-1461.64	1.93	5	Oui
	3éme	1508.73	-36.72	4726.28	1.31	Oui	-1676.99	2.21	5	Oui
	2éme	1770.77	10.86	5686.68	1.51	Oui	-1868.78	2.46	5	Oui
	1ier	1968.7	106.83	6517.68	1.76	Oui	-2027.99	2.67	5	Oui
	RDC	2120.87	-9.51	6273.75	1.81	Oui	-1721.73	2.27	5	Oui
	Sous-sol	2224.57	1.86	-1.66	1.89	Oui	550.33	0.73	5	Oui
Voile 13	***9éme***	261.54	115.57	1.97	15	Oui	-224.75	1.03	5	Oui
	8éme	259.86	117.97	1.99	15	Oui	-102.71	0.47	5	Oui
	7éme	289.68	89.97	1.79	15	Oui	-97.27	0.45	5	Oui
	6éme	363.5	84.81	1.95	15	Oui	-94.74	0.43	5	Oui
	5éme	430.02	72.94	2.02	15	Oui	-96.3	0.44	5	Oui
	4éme	508.17	72.25	2.24	15	Oui	-94.62	0.43	5	Oui
	3éme	566.35	57.82	2.27	15	Oui	-90.47	0.41	5	Oui
	2éme	639.5	55.08	2.45	15	Oui	-85.66	0.39	5	Oui
	1ier	684.36	45.82	2.49	15	Oui	-89.09	0.41	5	Oui
	RDC	757.41	17.92	2.41	15	Oui	-68.71	0.31	5	Oui
	Sous-sol	844.98	13.67	2.63	15	Oui	-48.03	0.22	5	Oui
Voile 14	***9éme***	29.49	-33.29	0.76	15	Oui	71.22	0.44	5	Oui
	8éme	140	60.62	1.72	15	Oui	-12.27	0.08	5	Oui
	7éme	197.07	12.74	1.03	15	Oui	15.25	0.09	5	Oui
	6éme	260.99	-6.05	1.16	15	Oui	37.62	0.23	5	Oui

	5éme	308.81	-5.74	1.35	15	Oui	48.1	0.30	5	Oui
	4éme	370.03	-11.05	1.69	15	Oui	57.71	0.36	5	Oui
	3éme	409.9	-11.51	1.86	15	Oui	64.2	0.40	5	Oui
	2éme	467.34	-18.31	2.22	15	Oui	72.54	0.45	5	Oui
	1ier	499.58	-17.78	2.34	15	Oui	82.11	0.51	5	Oui
	RDC	551.65	-20.59	2.60	15	Oui	81.16	0.50	5	Oui
	Sous-sol	612.63	-11.64	2.67	15	Oui	49.77	0.31	5	Oui
Voile 15	***9éme***	221.76	103.74	1.73	15	Oui	-214.13	0.98	5	Oui
	8éme	236.2	90.68	1.64	15	Oui	-82.79	0.38	5	Oui
	7éme	294.54	65.99	1.55	15	Oui	-91.56	0.42	5	Oui
	6éme	391.99	63.59	1.81	15	Oui	-89.53	0.41	5	Oui
	5éme	475.7	54.03	1.96	15	Oui	-93.55	0.43	5	Oui
	4éme	568.62	56.91	2.26	15	Oui	-93.84	0.43	5	Oui
	3éme	636.57	44.24	2.33	15	Oui	-92.17	0.42	5	Oui
	2éme	719.54	45.23	2.59	15	Oui	-88.98	0.41	5	Oui
	1ier	767.29	41.09	2.68	15	Oui	-94.46	0.43	5	Oui
	RDC	841.83	14.52	2.63	15	Oui	-73.62	0.34	5	Oui
	Sous-sol	928.2	16.96	2.91	15	Oui	-45.65	0.21	5	Oui
Voile 16	***9éme***	16.63	-20.34	0.46	15	Oui	46.92	0.29	5	Oui
	8éme	121.32	10.75	0.69	15	Oui	19.88	0.12	5	Oui
	7éme	203.18	-41.77	1.61	15	Oui	59.9	0.37	5	Oui
	6éme	283.69	-46.84	2.03	15	Oui	75.25	0.47	5	Oui
	5éme	342.91	-44.2	2.22	15	Oui	82.08	0.51	5	Oui
	4éme	414.71	-47.48	2.57	15	Oui	89.53	0.56	5	Oui
	3éme	461.34	-42.8	2.67	15	Oui	94.1	0.59	5	Oui
	2éme	526.12	-44.93	2.97	15	Oui	101.31	0.63	5	Oui
	1ier	562.1	-36.35	2.95	15	Oui	107.97	0.67	5	Oui
	RDC	617.66	-22.72	2.91	15	Oui	76.48	0.48	5	Oui
	Sous-sol	670.52	-3.38	2.75	15	Oui	35.59	0.22	5	Oui

Tableau V.15: *Vérification des contraintes des voiles (Suivant x).*

Voile	***Niveau***	N (kN)	M $(kN.m)$	σ_b (MPa)	$\overline{\sigma_b}$ (MPa)	***Vérification***	T (MPa)	τ (MPa)	$\overline{\tau}$ (MPa)	$\tau \leq \overline{\tau}$
Voile 1	***8éme***	139.47	264.45	3.34	15	Oui	-95.84	0.45	5	Oui
	7éme	174.61	185.16	2.57	15	Oui	436.40	2.06	5	Oui
	6éme	267.12	196.08	2.97	15	Oui	178.94	0.84	5	Oui
	5éme	341.21	185.03	3.07	15	Oui	184.36	0.87	5	Oui
	4éme	419.41	180.22	3.26	15	Oui	188.29	0.89	5	Oui
	3éme	487.6	169.88	3.35	15	Oui	189.91	0.90	5	Oui
	2éme	565.45	156.3	3.44	15	Oui	190.70	0.90	5	Oui
	1ier	608.16	189.41	3.93	15	Oui	189.56	0.89	5	Oui
	RDC	861.73	-175.83	4.55	15	Oui	170.57	0.80	5	Oui
	Sous-sol	523.19	-283.14	4.71	15	Oui	220.63	1.04	5	Oui
Voile 2	***8éme***	215.19	251.86	1.05	15	Oui	433.02	1.04	5	Oui
	7éme	374.03	196.58	1.13	15	Oui	559.29	1.34	5	Oui
	6éme	520.21	193.46	1.35	15	Oui	513.76	1.23	5	Oui
	5éme	685.7	185.63	1.58	15	Oui	434.91	1.04	5	Oui

	4éme	852.54	191.62	1.86	15	Oui	684.15	1.64	5	Oui
	3éme	1001.74	182.31	2.06	15	Oui	380.69	0.91	5	Oui
	2éme	1152.99	196.32	2.33	15	Oui	357.60	0.86	5	Oui
	1ier	1282.15	166.61	2.45	15	Oui	324.48	0.78	5	Oui
	RDC	1403.15	296.45	3.00	15	Oui	281.93	0.67	5	Oui
	Sous-sol	1404.93	140.69	2.56	15	Oui	245.77	0.59	5	Oui
Voile 3	***8éme***	174.13	129.9	0.64	15	Oui	409.01	0.98	5	Oui
	7éme	348.13	106.82	0.84	15	Oui	568.80	1.36	5	Oui
	6éme	531.45	120.21	1.16	15	Oui	433.36	1.04	5	Oui
	5éme	691.49	106.92	1.37	15	Oui	345.41	0.83	5	Oui
	4éme	862.81	127.04	1.69	15	Oui	316.75	0.76	5	Oui
	3éme	1002.63	107.12	1.85	15	Oui	297.12	0.71	5	Oui
	2éme	1161.49	136.96	2.18	15	Oui	273.38	0.65	5	Oui
	1ier	1280.59	112.01	2.29	15	Oui	246.74	0.59	5	Oui
	RDC	1386.17	336.14	3.09	15	Oui	208.04	0.50	5	Oui
	Sous-sol	1299.49	173.66	2.49	15	Oui	187.98	0.45	5	Oui
Voile 4	***8éme***	135.35	-168.87	2.55	15	Oui	174.56	0.88	5	Oui
	7éme	274.15	-117.74	2.35	15	Oui	260.87	1.31	5	Oui
	6éme	385.18	-141.57	3.01	15	Oui	129.67	0.65	5	Oui
	5éme	487.45	-127.78	3.17	15	Oui	146.59	0.74	5	Oui
	4éme	600.87	-139.72	3.68	15	Oui	122.80	0.62	5	Oui
	3éme	679.33	-125.52	3.76	15	Oui	144.43	0.72	5	Oui
	2éme	773.1	-139.46	4.24	15	Oui	141.98	0.71	5	Oui
	1ier	837.44	-105.11	4.01	15	Oui	144.24	0.72	5	Oui
	RDC	869.16	-223.89	5.60	15	Oui	120.41	0.60	5	Oui
	Sous-sol	728.58	-208.95	4.96	15	Oui	163.14	0.82	5	Oui
Voile 5	***8éme***	98.43	210.89	4.80	15	Oui	118.22	0.77	5	Oui
	7éme	113.66	132.04	3.22	15	Oui	166.14	1.08	5	Oui
	6éme	181.1	148.76	3.85	15	Oui	137.57	0.89	5	Oui
	5éme	222.02	131.87	3.67	15	Oui	160.76	1.04	5	Oui
	4éme	271.25	125.89	3.75	15	Oui	170.47	1.10	5	Oui
	3éme	308.63	112	3.62	15	Oui	177.85	1.15	5	Oui
	2éme	351.93	103.39	3.62	15	Oui	177.99	1.15	5	Oui
	1ier	385.28	84.97	3.38	15	Oui	183.23	1.19	5	Oui
	RDC	427.95	75.66	3.36	15	Oui	152.56	0.99	5	Oui
	Sous-sol	490.01	59.81	3.29	15	Oui	226.98	1.47	5	Oui
Voile 6	***8éme***	103.73	-179.50	2.29	15	Oui	212.52	1.00	5	Oui
	7éme	162.92	-140.98	2.05	15	Oui	213.52	1.01	5	Oui
	6éme	250.04	-152.49	2.44	15	Oui	214.52	1.01	5	Oui
	5éme	321.88	-147.62	2.60	15	Oui	215.52	1.02	5	Oui
	4éme	396.40	-152.31	2.88	15	Oui	216.52	1.02	5	Oui
	3éme	457.76	-146.97	3.01	15	Oui	217.52	1.03	5	Oui
	2éme	524.07	-151.03	3.25	15	Oui	218.52	1.03	5	Oui
	1ier	575.14	-142.72	3.32	15	Oui	219.52	1.03	5	Oui
	RDC	620.19	-172.39	3.78	15	Oui	220.52	1.04	5	Oui
	Sous-sol	772.14	-112.06	3.57	15	Oui	221.52	1.04	5	Oui
Voile 7	***9éme***	38.55	-24.48	0.45	15	Oui	125.74	0.65	15	Oui

	8éme	181.73	-22.74	0.91	15	Oui	207.09	1.07	15	Oui
	7éme	299.18	-23.76	1.31	15	Oui	204.12	1.06	15	Oui
	6éme	418.57	-12.15	1.56	15	Oui	218.405	1.13	5	Oui
	5éme	512.44	-16.61	1.93	15	Oui	230.44	1.19	5	Oui
	4éme	622.20	-1.64	2.10	15	Oui	238.64	1.24	5	Oui
	3éme	700.17	-6.20	2.42	15	Oui	242.28	1.26	5	Oui
	2éme	802.42	11.02	2.82	15	Oui	223.39	1.16	5	Oui
	1ier	866.87	9.12	3.01	15	Oui	225.03	1.17	5	Oui
	RDC	974.68	5.00	3.32	15	Oui	220.84	1.15	5	Oui
	Sous-sol	1106.89	27.18	4.05	15	Oui	153.55	0.80	5	Oui
Voile 8	***8éme***	180.71	-303.25	1.82	15	Oui	335.16	1.04	5	Oui
	7éme	232.12	-245.15	1.64	15	Oui	355.33	1.11	5	Oui
	6éme	336.80	-245.32	1.85	15	Oui	378.3	1.18	5	Oui
	5éme	438.75	-242.28	2.04	15	Oui	309.66	0.96	5	Oui
	4éme	540.26	-244.65	2.25	15	Oui	305.17	0.95	5	Oui
	3éme	632.79	-240.08	2.42	15	Oui	298.95	0.93	5	Oui
	2éme	724.95	-241.93	2.61	15	Oui	291.49	0.91	5	Oui
	1ier	803.70	-234.96	2.74	15	Oui	277.69	0.86	5	Oui
	RDC	901.25	-205.66	2.79	15	Oui	258.74	0.80	5	Oui
	Sous-sol	1076.89	-74.92	2.51	15	Oui	251.71	0.78	5	Oui
Voile 9	***8éme***	252.16	4.71	0.74	15	Oui	247.74	1.07	5	Oui
	7éme	528.34	-2.28	1.49	15	Oui	156.12	0.67	5	Oui
	6éme	799.15	19.00	2.40	15	Oui	195.76	0.85	5	Oui
	5éme	1019.03	0.34	2.83	15	Oui	193.19	0.83	5	Oui
	4éme	1260.28	23.52	3.72	15	Oui	200.43	0.87	5	Oui
	3éme	1436.74	-0.02	3.99	15	Oui	208.79	0.90	5	Oui
	2éme	1652.57	21.74	4.79	15	Oui	202.27	0.87	5	Oui
	1ier	1784.11	20.38	5.14	15	Oui	200.59	0.87	5	Oui
	RDC	2057.75	-162.02	7.22	15	Oui	167.2	0.72	5	Oui
	Sous-sol	962.29	-126.04	3.84	15	Oui	217.83	0.94	5	Oui
Voile 10	***8éme***	114.04	-235.75	2.94	15	Oui	308.91	1.46	5	Oui
	7éme	127.72	-168.64	2.25	15	Oui	516.4	2.43	5	Oui
	6éme	199.98	-175.53	2.54	15	Oui	183.62	0.87	5	Oui
	5éme	262.23	-166.00	2.62	15	Oui	197.38	0.93	5	Oui
	4éme	330.01	-162.93	2.80	15	Oui	199.95	0.94	5	Oui
	3éme	390.07	-153.95	2.88	15	Oui	200.62	0.95	5	Oui
	2éme	461.85	-141.54	2.96	15	Oui	199.14	0.94	5	Oui
	1ier	503.32	-172.08	3.42	15	Oui	194.27	0.92	5	Oui
	RDC	715.76	119.74	3.49	15	Oui	176.71	0.83	5	Oui
	Sous-sol	449.66	232.70	3.93	15	Oui	211.45	1.00	5	Oui
Voile 11	***8éme***	43.04	-161.72	2.30	15	Oui	-208.11	1.08	5	Oui
	7éme	132.1	-120.8	2.05	15	Oui	-209.31	1.09	5	Oui
	6éme	227.51	-118.85	2.34	15	Oui	-227.84	1.18	5	Oui
	5éme	303.56	-117.06	2.57	15	Oui	-224.09	1.16	5	Oui
	4éme	392.94	-105.04	2.71	15	Oui	-217.24	1.13	5	Oui
	3éme	456.61	-104.53	2.92	15	Oui	-195.8	1.02	5	Oui
	2éme	542.83	-88.41	2.99	0.29	Oui	-178.92	0.93	5	Oui

	1ier	600.27	-91.82	3.23	0.53	Oui	-143.02	0.74	5	Oui
	RDC	706.5	-55.24	3.09	0.75	Oui	-130.26	0.68	5	Oui
	Sous-sol	2026	2.72	1.75	0.94	Oui	-544.84	0.73	5	Oui
Voile 12	***8éme***	147.2	-47.48	1.85	1.10	Oui	-210.72	1.49	5	Oui
	7éme	249.77	-42.62	2.19	1.31	Oui	-255.15	1.80	5	Oui
	6éme	339.98	-39.96	2.54	1.51	Oui	-318.02	2.25	5	Oui
	5éme	412.25	-44.94	2.99	1.76	Oui	-376.01	2.66	5	Oui
	4éme	497.79	-40.95	3.28	1.81	Oui	-426.11	3.01	5	Oui
	3éme	555.77	-46.25	3.67	1.89	Oui	-464.19	3.28	5	Oui
	2éme	635.84	-41.4	3.92	15	Oui	-488.12	3.45	5	Oui
	1ier	681.69	-40.38	4.10	15	Oui	-488.54	3.45	5	Oui
	RDC	765.94	-62.99	5.04	15	Oui	-361.68	2.56	5	Oui
	Sous-sol	752.06	53.50	4.74	15	Oui	-30.33	0.21	5	Oui
Voile 13	***9éme***	190.6	98.12	0.60	15	Oui	-356.59	0.88	5	Oui
	8éme	240.34	87.69	2.33	15	Oui	-14.76	0.09	5	Oui
	7éme	342.68	88.17	2.72	15	Oui	-123.65	0.71	5	Oui
	6éme	463.53	70.92	2.88	15	Oui	-222.03	1.28	5	Oui
	5éme	558.31	72.23	3.26	15	Oui	-300.97	1.73	5	Oui
	4éme	673.89	55.80	3.41	15	Oui	-385.13	2.22	5	Oui
	3éme	751.04	59.83	3.77	15	Oui	-443.52	2.56	5	Oui
	2éme	858.9	41.34	3.86	15	Oui	-505.7	2.91	5	Oui
	1ier	923.12	46.50	4.18	15	Oui	-509.82	2.94	5	Oui
	RDC	978.61	-22.91	4.00	15	Oui	-489.34	2.82	5	Oui
	Sous-sol	2645.99	59.12	3.29	15	Oui	-656.08	1.23	5	Oui
Voile 14	***8éme***	-9.04	43.97	0.51	15	Oui	-11.81	0.06	5	Oui
	7éme	72.66	36.79	0.63	15	Oui	-23.9	0.11	5	Oui
	6éme	145.02	37.56	0.85	15	Oui	-50.64	0.24	5	Oui
	5éme	208.68	35.3	1.02	15	Oui	-82.94	0.39	5	Oui
	4éme	275.54	37.48	1.25	15	Oui	-112.71	0.53	5	Oui
	3éme	330.82	32.45	1.36	15	Oui	-151.88	0.72	5	Oui
	2éme	391.61	32.8	1.55	15	Oui	-187.23	0.88	5	Oui
	1ier	435.2	21.4	1.55	15	Oui	-242.93	1.15	5	Oui
	RDC	519.29	-13	1.72	15	Oui	-330.19	1.56	5	Oui
	Sous-sol	1169.19	-5.6	1.59	15	Oui	348.12	0.73	5	Oui
Voile 15	***9éme***	1841.44	23.52	2.61	15	Oui	-122.28	0.26	5	Oui
	8éme	1679.87	-36.41	2.42	15	Oui	-197.08	0.43	5	Oui
	7éme	1546.06	-60.57	2.29	15	Oui	-362.03	0.78	5	Oui
	6éme	1406.39	-62.67	2.10	15	Oui	-480.28	1.04	5	Oui
	5éme	1266.98	-67.92	1.92	15	Oui	-594.67	1.28	5	Oui
	4éme	1107.64	-68.52	1.70	15	Oui	-693.26	1.50	5	Oui
	3éme	945.4	-68.34	1.47	15	Oui	-790.12	1.71	5	Oui
	2éme	762.59	-69.53	1.22	15	Oui	-865.5	1.87	5	Oui
	1ier	569.6	-72.48	0.96	15	Oui	-926.74	2.00	5	Oui
	RDC	273.01	-62.58	0.52	15	Oui	-702.39	1.52	5	Oui
	Sous-sol	50.58	58.84	0.21	15	Oui	-336.45	0.73	5	Oui

V.4.1.3. Armatures horizontales

Le voile doit avoir des armatures horizontales (A_h) disposées perpendiculairement aux armatures verticales, leur rôle est de minimiser les déformations latérales (le flambement),voir annexe 10.

V.4.1.4. Armatures transversales

Les deux nappes d'armatures des voiles seront reliées par des aciers de coutures (épingles) dont le diamètre des armatures $\emptyset_t$ est tel que $\emptyset_t \geq \frac{\emptyset_v}{3}$, $\emptyset_v$ étant le diamètre des armatures verticales maintenues par les épingles

Il faut disposer au moins 4 épingles par mètre carré du voile (RPA Art.7.7.4.3).

Autre recommandations : (CBA93 et RPA2003)

- Dans chaque nappe, les barres horizontales doivent être disposées vers l'extérieur.
- La longueur minimale de recouvrement égale à $40\emptyset_{max}$ en zone III.

V.4.2. Ferraillage des linteaux

Dans le calcul des linteaux, on a deux cas :

1. Flexion simple
2. Traction / compression

Voir annexe 11.

Les résultats de calcul sont dans les tableaux suivants :

Tableau V.16: *Choix de la méthode de calcul.*

Linteau	*Niveau*	*L(m)*	*h(m)*	$V(kN)$	$\tau(MPa)$	$0.06f_{c28}$	$\tau \leq 0.06f_{c28}$	*Choix de la méthode*
Linteau 1	***8éme***	1.50	1.00	144.47	1.12	1.50	Oui	Flexion simple
	7éme	1.50	2.00	298.22	1.16	1.50	Oui	Flexion simple
	6éme	1.50	2.00	407.35	1.58	1.50	Non	Traction/Compression
	5éme	1.50	2.00	513.28	2.00	1.50	Non	Traction/Compression
	4éme	1.50	2.00	628.02	2.44	1.50	Non	Traction/Compression
	3éme	1.50	2.00	729.19	2.84	1.50	Non	Traction/Compression
	2éme	1.50	2.00	853.49	3.32	1.50	Non	Traction/Compression
	1ier	1.50	2.00	947.44	3.68	1.50	Non	Traction/Compression
	RDC	1.50	2.00	934.60	3.63	1.50	Non	Traction/Compression
Linteau 2	***8éme***	1.40	1.40	195.70	1.09	1.50	Oui	Flexion simple
	7éme	1.40	1.40	338.32	1.88	1.50	Non	Traction/Compression
	6éme	1.40	1.40	459.84	2.55	1.50	Non	Traction/Compression
	5éme	1.40	1.40	589.00	3.27	1.50	Non	Traction/Compression

	4éme	1.40	1.40	712.98	3.96	1.50	Non	Traction/Compression
	3éme	1.40	1.40	823.81	4.58	1.50	Non	Traction/Compression
	2éme	1.40	1.40	910.47	5.06	1.50	Non	Traction/Compression
	1ier	1.40	1.40	947.53	5.26	1.50	Non	Traction/Compression
	RDC	1.40	1.40	800.03	4.44	1.50	Non	Traction/Compression
	Sous-sol	2.59	1.40	250.45	0.75	1.50	Oui	Flexion simple
Linteau 3	***9éme***	1.00	1.00	157.87	1.23	1.50	Non	Flexion simple
	8éme	/	/	/	/	/	/	/
	7éme	1.40	1.40	308.88	1.72	1.50	Non	Traction/Compression
	6éme	1.40	1.40	407.35	1.58	1.50	Non	Traction/Compression
	5éme	1.40	1.40	513.28	2.00	1.50	Non	Traction/Compression
	4éme	1.40	1.40	628.02	2.44	1.50	Non	Traction/Compression
	3éme	1.40	1.40	729.19	2.84	1.50	Non	Traction/Compression
	2éme	1.40	1.40	853.49	3.32	1.50	Non	Traction/Compression
	1ier	1.40	1.40	947.44	3.68	1.50	Non	Traction/Compression
	RDC	1.40	1.40	773.12	4.30	1.50	Non	Traction/Compression
Linteau 4	***8éme***	1.50	1.00	174.62	1.36	1.50	Oui	Flexion simple
	7éme	1.50	2.00	324.27	1.26	1.50	Oui	Flexion simple
	6éme	1.50	2.00	371.12	1.44	1.50	Oui	Flexion simple
	5éme	1.50	2.00	438.87	1.71	1.50	Non	Traction/Compression
	4éme	1.50	2.00	513.42	2.00	1.50	Non	Traction/Compression
	3éme	1.50	2.00	586.48	2.28	1.50	Non	Traction/Compression
	2éme	1.50	2.00	672.90	2.62	1.50	Non	Traction/Compression
	1ier	1.50	2.00	750.38	2.92	1.50	Non	Traction/Compression
	RDC	1.50	2.00	779.76	3.03	1.50	Non	Traction/Compression

Tableau V.17: *La section choisie et calculée d'armatures des linteaux (Suivant Y).*

Linteau	***Niveau***	A_l (cm^2)	$A_{l\,ch}$ (cm^2)	S_t (cm)	A_t (cm^2)	$A_{t\,ch}$ (cm^2)	S_t (cm)	A_c (cm^2)	$A_{c\,ch}$ (cm^2)	A_D (cm^2)	A_{Dch} (cm^2)
Linteau 1	***8éme***	0.20	4HA10=3.14	15	0.75	2HA8=1.01	10	4.00	10HA10=7.85	0.00	0.00
	7éme	0.01	4HA10=3.14	15	0.75	2HA8=1.01	10	8.00	30HA10=23.56	0.00	0.00
	6éme	6.00	4HA14=6.16	15	0.75	2HA8=1.01	10	8.00	30HA10=23.56	6.36	8HA12=9.05
	5éme	6.00	4HA14=6.16	15	0.75	2HA8=1.01	10	8.00	30HA10=23.56	8.02	8HA12=9.05
	4éme	6.00	4HA14=6.16	15	0.75	2HA8=1.01	10	8.00	30HA10=23.56	9.81	8HA14=12.32
	3éme	6.00	4HA14=6.16	15	0.75	2HA8=1.01	10	8.00	30HA12=33.93	11.39	8HA14=12.32
	2éme	6.00	4HA14=6.16	15	0.75	2HA8=1.01	10	8.00	30HA12=33.93	13.34	8HA16=16.08
	1ier	6.00	4HA14=6.16	15	0.75	2HA8=1.01	10	8.00	30HA14=46.18	14.80	8HA16=16.08
	RDC	6.00	4HA14=6.16	15	0.75	2HA8=1.01	10	8.00	30HA14=46.18	14.60	8HA16=16.08
	8éme	0.01	4HA12=4.52	15	0.75	2HA8=1.01	15	5.60	12HA10=9.42	0.00	0.00

Linteau 2	***7éme***	4.20	4HA10=3.14	15	0.75	2HA8=1.01	15	5.60	12HA10=9.42	5.98	12HA8=6.03
	6éme	4.20	4HA12=4.52	15	0.75	2HA8=1.01	15	5.60	12HA12=13.57	8.13	12HA10=9.42
	5éme	4.20	4HA12=4.52	15	0.75	2HA8=1.01	15	5.60	12HA12=13.57	10.41	12HA12=13.57
	4éme	4.20	4HA12=4.52	15	0.75	2HA8=1.01	15	5.60	12HA12=13.57	12.60	12HA12=13.57
	3éme	4.20	4HA12=4.52	15	0.75	2HA8=1.01	15	5.60	12HA12=13.57	14.56	12HA14=18.47
	2éme	4.20	4HA12=4.52	15	0.75	2HA8=1.01	15	5.60	12HA12=13.57	16.09	12HA14=18.47
	1ier	4.20	4HA12=4.52	15	0.75	2HA8=1.01	15	5.60	12HA12=13.57	16.75	12HA14=18.47
	RDC	4.20	4HA12=4.52	15	0.75	2HA8=1.01	15	5.60	12HA12=13.57	14.14	12HA14=18.47
	Sous-sol	4.20	4HA12=4.52	15	0.75	2HA8=1.01	15	8.00	28HA12=31.67	0.00	0.00
Linteau 3	***9éme***	0.27	4HA8=2.01	15	0.75	2HA8=1.01	15	4.00	8HA8=4.02	0.00	0.00
	8éme	/	/	15	/	/	/	/	/	/	/
	7éme	4.20	4HA12=4.52	15	0.75	2HA8=1.01	15	5.60	12HA8=6.03	5.46	12HA8=6.03
	6éme	4.20	4HA12=4.52	15	0.75	2HA8=1.01	15	5.60	12HA8=6.03	8.13	12HA10=9.42
	5éme	4.20	4HA12=4.52	15	0.75	2HA8=1.01	15	5.60	12HA10=9.42	10.41	12HA12=13.57
	4éme	4.20	4HA12=4.52	15	0.75	2HA8=1.01	15	5.60	12HA12=13.57	12.60	12HA12=13.57
	3éme	4.20	4HA12=4.52	15	0.75	2HA8=1.01	15	5.60	12HA12=13.57	14.56	12HA14=18.47
	2éme	4.20	4HA12=4.52	15	0.75	2HA8=1.01	15	5.60	12HA14=18.47	16.09	12HA14=18.47
	1ier	4.20	4HA12=4.52	15	0.75	2HA8=1.01	15	5.60	12HA14=18.47	16.75	12HA14=18.47
	RDC	4.20	4HA12=4.52	15	0.75	2HA8=1.01	15	5.60	12HA14=18.47	13.67	12HA14=18.47
Linteau 4	***8éme***	0.25	4HA8=2.01	15	0.75	2HA8=1.01	15	4.00	8HA8=4.02	0.00	0.00
	7éme	0.21	4HA8=2.01	15	0.75	2HA8=1.01	15	8.00	20HA8=10.05	0.00	0.00
	6éme	0.21	4HA8=2.01	15	0.75	2HA8=1.01	15	8.00	20HA8=10.05	0.00	0.00
	5éme	6.00	4HA14=6.16	15	0.75	2HA8=1.01	15	8.00	20HA8=10.05	6.86	8HA12=9.05
	4éme	6.00	4HA14=6.16	15	0.75	2HA8=1.01	15	8.00	20HA8=10.05	8.02	8HA12=9.05
	3éme	6.00	4HA14=6.16	15	0.75	2HA8=1.01	15	8.00	20HA8=10.05	9.16	8HA14=12.32
	2éme	6.00	4HA14=6.16	15	0.75	2HA8=1.01	15	8.00	20HA8=10.05	10.51	8HA14=12.32
	1ier	6.00	4HA14=6.16	15	0.75	2HA8=1.01	15	8.00	20HA8=10.05	11.72	8HA14=12.32
	RDC	6.00	4HA14=6.16	15	0.75	2HA8=1.01	15	8.00	20HA8=10.05	12.18	8HA14=12.32

VI.1. Introduction

Les fondations d'une structure sont les éléments de l'infrastructure situés en-dessous du niveau de base (contact avec le sol), auquel elles transmettent les charges et surcharges de la structure au sol, donc elles constituent la partie essentielle de l'ouvrage.

Une fondation est un organe de transmission des charges de la superstructure au sol, elle ne peut être calculée que si l'on connaît la superstructure et ses charges, d'une part et les caractéristiques du sol d'autre part.

Les fondations doivent assurer deux fonctions essentielles :

- Reprendre les charges et les surcharges supportées par la structure.
- Transmettre les charges et les surcharges au sol dans de bonnes conditions, de façon à assurer la stabilité de l'ouvrage.

VI.2. Types de fondations

Les fondations peuvent être classées en 3 types :

- Fondations superficielles (semelle isolée, semelle filante, radier).
- Fondations semi-profonds (les puits).
- Fondations profonds (les pieux).

VI.3. Caractéristiques du sol

Pour projeter correctement une fondation, Il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance de l'état des lieux, au voisinage de la construction à édifier, mais il est surtout indispensable d'avoir des renseignements aussi précis que possible sur les caractéristiques géotechniques des différentes couches qui constituent le terrain.

Les caractéristiques mécaniques du sol sont déterminées dans le rapport du sol donné par le laboratoire « Laboratoire de l'Habitat et de la Construction du Centre « L.H.C.C ».

Le dimensionnement des fondations doit être compatible avec la capacité portante admissible du sol.

D'après le rapport géotechnique on a : $\overline{\sigma_{sol}} = 2.50\ bar$

La profondeur (l'ancrage) de la fondation dépend de la valeur de la résistance du sol ainsi que les caractéristiques mécaniques de sol.

Les résultats du rapport géotechnique nous exige de poser nos fondations avec un ancrage de :

$$D = 1.50\ m$$

Les caractéristiques mécaniques de ce sol sont :

$$\gamma_s = 17.80\ kN/m^3 \quad , \quad \varphi = 25° \quad , \quad C = 0.50\ bar$$

Pour ne pas perdre la sauce du béton (ciment + eau), les fondations doivent être posées sur une plateforme dure, pour cela, on pose sur le sol une couche de gros-béton (béton de propreté) de 10cm d'épaisseur, cette couche se compose de (TVO + ciment + eau).

VI.4. Choix du type de fondations

Le choix du type de fondation dépend de :

- Type d'ouvrage à construire.
- La nature et homogénéité du bon sol.
- La capacité portante du terrain de fondation.
- La raison économique.
- La facilité de réalisation.
- La distance entre axes des poteaux.

VI.4.1. Semelle isolée sous poteau

Méthode de calcul :

a) Répartition trapézoïdales :

$$e_{0b} = \frac{M_b}{N} \leq \frac{B}{6}$$

$$\sigma_1 = \frac{N}{A * B}\left(1 - \frac{6e_{0b}}{B}\right) \quad , \quad \sigma_2 = \frac{N}{A * B}\left(1 + \frac{6e_{0b}}{B}\right)$$

On appelle contrainte moyenne σ_m, la contrainte située à une distance B/4 de la contrainte maximale σ_2.

$$\sigma_m = \frac{3\sigma_2 + \sigma_1}{4} = \frac{N}{A * B}\left(1 + \frac{3 * e_{0b}}{B}\right)$$

Cette contrainte moyenne doit être toujours inférieure ou égale à la contrainte admissible du sol $\overline{\sigma_{sol}}$.

$$\sigma_m \leq \overline{\sigma_{sol}} \quad \Rightarrow \quad \frac{N}{A * B}\left(1 + \frac{3 * e_{0b}}{B}\right) \leq \overline{\sigma_{sol}}$$

Si on remplace A par $A = \left(\frac{a}{b}\right)B$ $\Rightarrow$ $\frac{N}{\left(\frac{a}{b}\right) * B^2}\left(1 + \frac{3 * e_{0b}}{B}\right) \leq \overline{\sigma_{sol}}$

Il faut resoudre : $\left[\left(\frac{a}{b}\right)\overline{\sigma_{sol}}\right]B^3 - N * B - (3 * e_{0b} * N) \geq 0$

Remarque :

Suivant la direction A, il faut vérifier la deuxième inégalité :

$$\left[\left(\frac{b}{a}\right)\overline{\sigma_{sol}}\right]A^3 - N * A - (3 * e_{0a} * N) \geq 0$$

La hauteur utile « d », doit être au moins égale au demi débord de la semelle : $d \geq \frac{B-b}{4}$

La hauteur « h » égale : $h = d + c$

La hauteur « e » du patin doit être suffisante pour que le bétonnage de la semelle puisse se faire de manière homogène et pour que les crochets d'ancrage des armatures soient bien enrobés, on prendra :

$$e \geq 6\emptyset + 6$$

Données :

$$\overline{\sigma_{sol}} = 2.50bar = 0.25MPa \quad , \quad a = b = 60cm \quad , \quad c = 3cm$$

Tableau VI.1: *Dimensionnement des semelles isolées à l'ELS.*

Semelle	$N(kN)$	$M_x(kN.m)$	$M_y(kN.m)$	$A(m)$	$B(m)$	$h(m)$	$A_{ch}(m)$	$B_{ch}(m)$	$h_{ch}(cm)$
Semelle 1	2075.73	-5.32	-1.12	2.88	2.88	66	3.1	3.1	75
Semelle 2	1670.81	7.66	2.23	2.59	2.59	58	2.8	2.8	65
Semelle 3	1220.88	-0.67	1.63	2.21	2.21	48	2.4	2.4	55

Vérification du chevauchement entre les bulles de pression sous les semelles :

IL doit vérifier **:** $l \geq \frac{1,5}{2}(A + A')$

Le Figure suivant présenté les interférences entre les bulles de pression (chevauchement) dans la figure suivant :

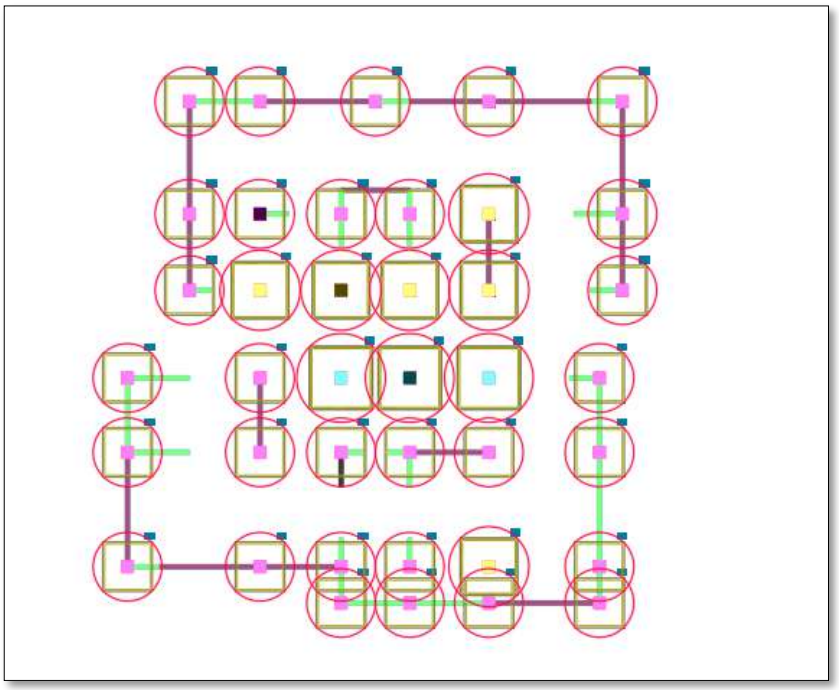


Figure VI.1**:** chevauchement des bulles de pression sous la semelle.

Il y a un risque de chevauchement entre les bulles de pression des semelles suivant les deux directions, ce qui nous oblige de passer aux semelles filantes.

VI.4.2. Semelle filante

On a deux cas des semelles filantes

1. Semelle filante sous un voile ;
2. Semelle filante sous plusieurs poteaux.

Tableau VI.2 : *Dimensionnement des semelles filantes à l'ELS.*

Direction	*Semelle*	L(m)	$\sum N_{ser}\ (kN)$	$B(m)$	A(m)	$h(cm)$	$B_{ch}(m)$	$h_{ch}(m)$	$\sigma(Mpa)$	$\overline{\sigma_{sol}}$ (bars)	$\sigma \leq \overline{\sigma_{sol}}$
Suivant X	*Semelle Filante 1*	27.15	10999.68	1.54	3.85	38.00	2.00	40	2.03	2.50	Vérifiée
	Semelle Filante 2	25.10	9227.23	1.39	3.90	38.00	2.00	40	1.84	2.50	Vérifiée
	Semelle Filante 3	25.10	8171.82	1.26	5.00	23.00	1.40	30	2.33	2.50	Vérifiée
	Semelle Filante 4	25.10	6132.78	0.94	1.00	23.00	1.40	30	1.75	2.50	Vérifiée
	Semelle Filante 5	15.95	11975.16	2.57	1.00	95.50	4.30	100	1.75	2.50	Vérifiée
	Semelle Filante 6	10.70	3456.66	1.21	1.00	38.00	2.00	40	1.62	2.50	Vérifiée
	Semelle Filante 7	27.15	8852.95	1.26	5.60	23.00	1.40	30	2.33	2.50	Vérifiée
Suivant Y	*Semelle Filante 1*	30.05	9676.79	1.25	1.00	23.00	1.40	30	2.30	2.50	Vérifiée
	Semelle Filante 2	6.30	4154.45	2.47	1.00	58.00	2.80	60	2.36	2.50	Vérifiée
	Semelle Filante 3	10.30	3043.06	1.14	1.00	23.00	1.40	30	2.11	2.50	Vérifiée
	Semelle Filante 4	6.45	11681.44	1.74	1.00	38.00	2.00	40	2.39	2.50	Vérifiée
	Semelle Filante 5	10.3	2187.33	1.87	1.00	38.00	2.00	40	2.43	2.50	Vérifiée
	Semelle Filante 6	6.45	1646.96	1.83	1.00	38.00	2.00	40	2.40	2.50	Vérifiée
	Semelle Filante 7	6.80	3047.05	2.56	1.00	58.00	2.80	60	2.43	2.50	Vérifiée
	Semelle Filante 8	29.40	9226.06	1.21	1.00	23.00	1.40	30	2.24	2.50	Vérifiée

Tableau VI.3 : Les Sections choisie et calculée des semelles filantes.

Direction	*Semelle*	N_u (kN/ml)	M_u (kN.m)	$A_{b.calculée}$ (cm^2)	$A_{b.adoptée}$ (cm^2)	S_{tb} (cm)	$A_{a.rép.cal}$ (cm^2)	$A_{a.rép.adoptée}$ (cm^2)	$S_{t\,a}$ (cm)
Suivant X	*Semelle Filante 1*	2836.75	-7.27	39.96	38HA12=44.11	10	1.13	8HA12=9.05	20
	Semelle Filante 2	2283.17	10.44	27.95	26HA12=29.41	15	3.77	8HA12=9.05	20
	Semelle Filante 3	1755.86	-1.59	19.41	22HA12=24.88	20	1.74	5HA12=5.65	20
	Semelle Filante 4	566.53	-60.02	9.28	10 HA12=11.31	10	3.95	7HA12=7.92	20
	Semelle Filante 5	475.02	-17.27	9.42	10 HA12=11.31	10	10.12	20HA12=22.62	20
	Semelle Filante 6	557.36	-72.22	10.22	10 HA12=11.31	10	3.39	10HA12=11.31	20
	Semelle Filante 7	1642.58	-1.86	18.29	28HA12=31.67	20	1.97	5HA12=5.65	20
Suivant Y	*Semelle Filante 1*	511.42	-19.55	8.39	10 HA12=11.31	10	3.95	7HA12=11.31	20
	Semelle Filante 2	948.98	-64.48	15.35	10 HA14=15.39	10	10.77	13HA12=14.70	20
	Semelle Filante 3	514.08	-104.44	8.44	10 HA12=11.31	10	3.95	7HA12=11.31	20
	Semelle Filante 4	708.64	8.79	12.51	10 HA14=15.39	10	7.69	10HA12=11.31	20
	Semelle Filante 5	856.80	28.73	15.34	10 HA14=15.39	10	7.69	10HA12=11.31	20
	Semelle Filante 6	767.32	10.84	13.57	10 HA14=15.39	10	7.69	10HA12=11.31	20
	Semelle Filante 7	1040.66	2.80	12.03	10 HA14=15.39	10	10.77	13HA12=14.70	20
	Semelle Filante 8	510.25	-21.18	7.65	7 HA12=7.92	15	2.77	7HA12=7.92	20

VI.4.2.1. Poutre de Libage

Pour faire la liaison de continuité entre les poteaux, la semelle à elle seule ne suffit pas car elle risque de se déformer dans la zone à mi- travée (entre les poteaux), pour cela la fondation continue sera composée de deux éléments :

- La semelle continue ;
- La poutre de libage.

La poutre de libage va reprendre toutes les charges verticales et les moments de flexion. Il aura généralement la même largeur b du poteau, sa hauteur h_p sera déterminée par la théorie des poutres posées sur sol élastique qui prévoir l'inégalité suivante à vérifier, pour assurer une répartition uniforme des contraintes sous la semelle :

$$h_p \geq \sqrt[3]{\frac{0{,}5.k.L_{max}^{\ 4}}{E}}$$

E : Module d'élasticité du béton (E =32164.19MPa) ;

L_{max} : La plus grande travée dans la fille ;

K : raideur du sol (K = 12 kg/cm3) ;

I : Moment d'inertie de la poutre de libage I = $\frac{b.h_p^{\ 3}}{12}$;

hp : la hauteur de la poutre de libage .

Tableau VI.4: Dimensionnement de la poutre de libage.

Elément	b (cm)	L_{max} (m)	$h_{p\ calculé}$ (cm)	$h_{p\ adopté}$ (cm)
PL	60	3.85	74.28	80

✓ Donc la section de la poutre de libage : 60x80 cm².

Tableau 0.5: Détermination des valeurs de (q) de la poutre de libage.

Section (cm²)	$\sum N_u$ (KN)	$L_{semelle}$ (m)	$P_{semelle}$ (KN)	$L_{p.libage}$ (m)	$P_{P.libage}$ (KN)	σ_u (MPa)	σ_{ser} (MPa)	q_u (KN/ml)	q_{ser} (KN/ml)
PL(60x80)	11463.75	27.15	733.05	11.95	96.80	2.26	2.03	452.80	405.14

Tableau 0.1: Détermination des sollicitations de la poutre de libage.

ELU			ELS	
M_a (kN.m)	M_t (kN.m)	T(kN)	M_a (kN.m)	M_t (kN.m)
-709.16	679.10	1114.36	-636.22	609.25

a) Calcul des armatures longitudinales

Tableau 0.7: Calcul des armatures longitudinales de la poutre de libage à L'ELU

Poutre de libage		M_u (kN.m)	A(cm^2)	A'(cm^2)	$A_{adoptée}$ (cm^2)
Semelle filante 1 sur x	Travée	679.10	27.34	0,00	5HA16+9Chp HA16=28.15
	Appuis	-709.16	28.66	0,00	5HA16+10Chp HA16=30.16

b) Vérification des contraintes à l'ELS

✓ Pour une fissuration préjudiciable :

Tableau 0.8: Vérifications des armatures longitudinales de la poutre de libage à l'ELS

Poutre de libage		M_{ser} (kN.m)	σ_b (MPa)	σ_s (MPa)	$\sigma_s{}'$ (MPa)	$\overline{\sigma_b}$ (MPa)	$\overline{\sigma_s}$ (MPa)	$\sigma_b \leq \overline{\sigma_b}$	$\sigma_s, \sigma_s{}' \leq \overline{\sigma_s}$
Semelle filante 1 sur x	Travée	609.25	9.73	201,63	128.96	15	201.63	Vérifiée	Vérifiée
	Appuis	-636.22	10.16	201,63	134.66	15	201.63		

c) Vérification du cisaillement de la poutre de libage (CBA 91 Art.5.2.4.2)

On doit vérifier **:** $\tau \leq \bar{\tau}$

$$\bar{\tau} = \left(\frac{0{,}15 \times f_{c28}}{\gamma_b}; 4\ \text{MPa}\right) = 2{,}50\ \text{MPa} \ldots\ldots\ldots\ldots \text{fissuration préjudiciable}$$

$$\tau = \frac{1114.36 \times 10}{600 \times 770} = 2.41\ \text{MPa} < \bar{\tau} = 2{,}50\ \text{MPa} \ldots\ldots\ldots\ldots \text{vérifiée.}$$

d) Armatures transversales

Les valeurs des sections d'armateurs transversale (A_t), ainsi que leurs espacements (S_t) sont résumes dans les tableaux suivants :

Tableau 0.9: Calcul des armatures transversales de la poutre de libage.

Section (cm^2)	T (kN)	τ (MPa)	CBA 93		RPA 99 V2003			$S_{calculée}$ (cm)	$S_{t.adoptée}$		$A_{t.adoptée}$ (cm^2)
			S_t (cm)	A_t (cm^2)	S_{ZN} (cm)	S_{ZC} (cm)	A_t (cm^2)		S_{ZN} (cm)	S_{ZC} (cm)	
60x80	1019.73	2.13	40	2.40	19.20	40	2.70	11.50	10	30	5HA10=3.93

e) Armatures de peau selon CBA93 Art.7.3

Puisque la poutre de libage (CBA93) exige des armateurs de peau d'au moins de 3cm^2/ml posées parallèlement a la fibre moyenne de la poutre.

$$A_p = 3 \times 1{,}2 = 3{,}6\ \text{cm}^2, \text{donc on adopte } 4\text{HA}12 = 4{,}52\ \text{cm}^2.$$

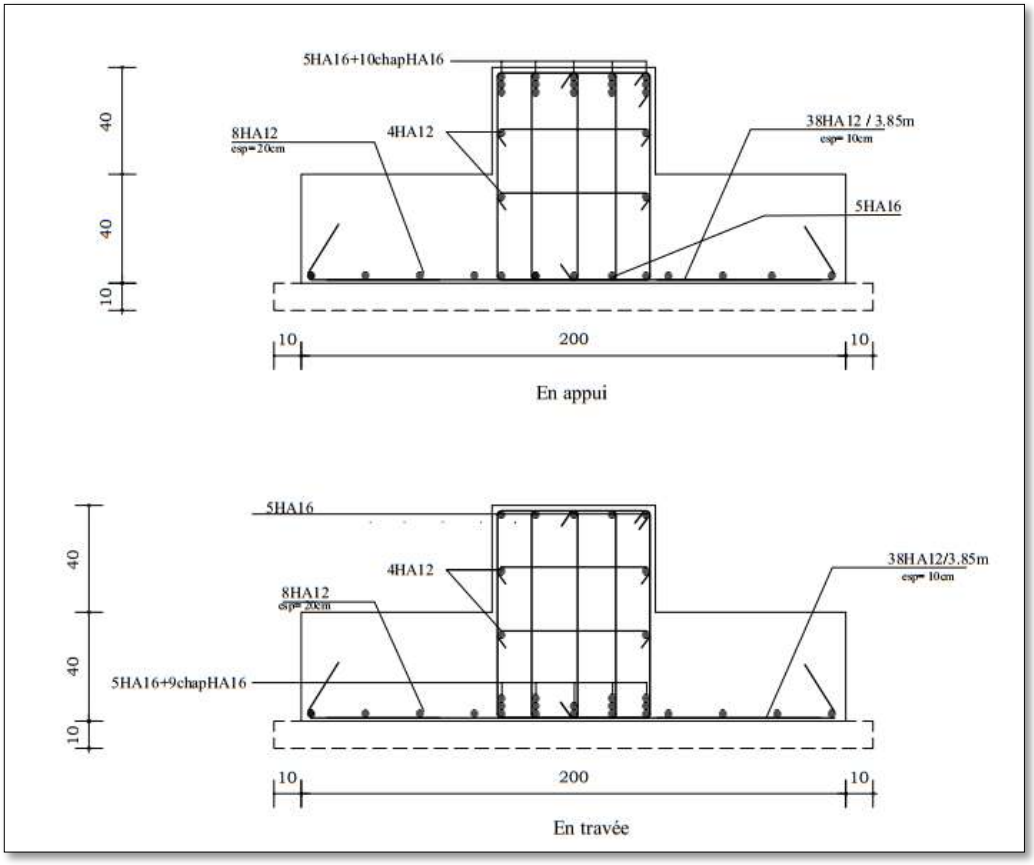


Figure VI.2: Ferraillage de la semelle filante 1 sur x.

VI.5. Les longrines

Ferraillage des longrines selon RPA99 Version 2003 Art.10.1.1

- ✓ Les points d'appuis d'un même bloc doivent être solidarisés par un réseau bidirectionnel de longrines ou tout dispositif équivalent tendant à s'opposer au déplacement relatif de ces points d'appuis dans le plan horizontal.
- ✓ Les dimensions minimales de la section transversale des longrines sont:

Site S3: 25cm×30cm.

Les longrines ou le dispositif équivalent doivent être calculés pour résister à la traction sous l'action d'une force égale à : $F = \left(\frac{N}{\alpha}\right) \geq 20$ kN , Avec :

N égale à la valeur maximale des charges verticales de gravité apportées par des points d'appuis solidarisés.

La section choisie : 30×30 cm^2.

$\alpha = 12$ $(Zone$ III$, S2)$.

Etant donné que le béton tendu est négligé, il est résulté que les armateurs longitudinales doivent pouvoir équilibrer la force de traction.

Les efforts pris en compte ainsi que les résultats de calcul du ferraillage sont donnés dans le tableau suivants :

Tableau 0.10 : Ferraillage longitudinal des longrines.

Section (cm^2)	N_u (kN)	F (kN)	$A_{calculée}$ (cm^2)	$A_{adoptée}$ (cm^2)	A_{min} CBA(cm^2)	A_{min} RPA(cm^2)	Vérification
30× 30	2938.20	244.85	7.03	6HA14= 9.24	0,90	5,40	Vérifiée

Vérification des contraintes à l'état limite de service CBA 93 Art.A.4.5.3

$$\sigma_s = \frac{F_{ser}}{\alpha . A}; \quad \overline{\sigma_s} = min\left\{\frac{2}{3} F_e; 110\sqrt{1{,}6 . F_{tj}}\right\} \ldots\ldots \text{ Fissuration préjudiciable.}$$

Tableau 0.11 : Vérification de contrainte à L'ELS des longrines.

Section(cm^2)	N_{ser} (kN)	F_{ser} (kN)	$A_{adoptée}$ (cm^2)	σ_s (MPa)	$\overline{\sigma_s}$(MPa)	$\sigma_s \leq \overline{\sigma_s}$
30×30	2149.66	179.13	9.24	193.86	201,63	Oui

- **Calcul des armatures transversales**

Tableau 0.12: Calcul des armatures transversales des longrines.

ϕ_l (mm)	$\phi_t \geq \frac{\phi_l}{3}$	ϕ_t (mm)	A_t (cm^2)	$S_{t.min}$ (cm)	$S_{t.Zn}$ (cm)	$S_{t.Zc}$ (cm)
14	4,66	8	3HA8=1,51	21	15	15

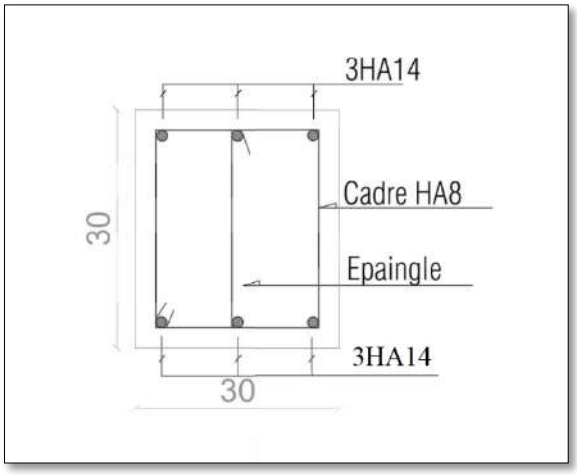


Figure VI.3: Ferraillage de la longrine.

VI.6. Les voiles périphériques

Le voile périphérique est assimilé à une dalle sur quatre appuis soumis à la poussée des terres travaillant en flexion simple. On admet que les charges verticales sont transmises aux autres éléments porteurs.

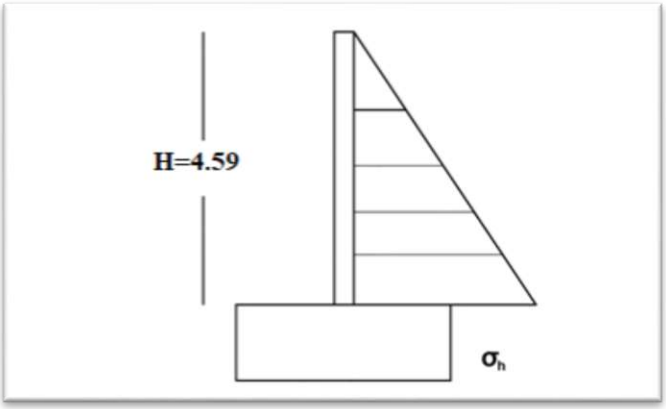


Figure VI.4: Schéma statique du voile périphérique.

VI.6.1. Calcul de la poussée des terres

$$P = \frac{1}{2} . \rho_h . K_p . H^2$$

Avec : $K_p = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)$

$\rho_h = 17{,}8\ kN/m^3$, $H = 4{,}59\ m$, $\varphi = 25°$ $\Rightarrow$ $K_p = 0{,}405$

ρ_h : poids volumique des terres.

K_p: Coefficient de poussée.

φ : angle de frottement interne.

$$P = \frac{1}{2} \times 17{,}8 \times 0{,}405 \times (4{,}59)^2 = 75{,}93 kN/m$$

Le voile est donc soumis à une charge triangulaire qu'on assimilera en charge uniformément repartie, il est considéré comme un panneau encastré dans les quatre cotés pour le calcul du ferraillage, on utilise la méthode des lignes de rupture.

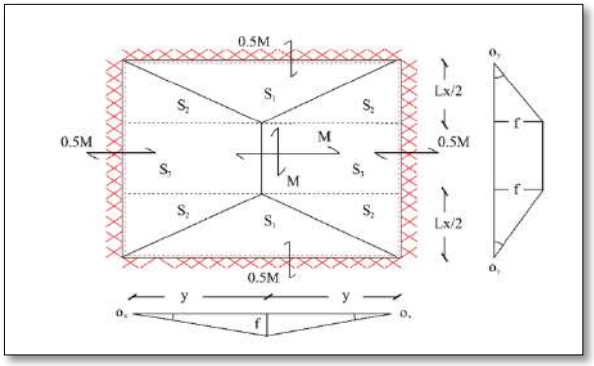


Figure VI.5: Schéma statique du voile périphérique

Tableau 0.13: Calcul des moments de flexion des lignes de rupture.

P(kN/m)	P_u(kN/m)	P_s(kN/m)	M_u=0,524P_u	M_s =0,524 P_s
75.93	102.50	75.93	53.71	39.87

VI.6.2. Calcul de ferraillage

Le calcul du ferraillage se fait en flexion simple pour une bande de 1 m de largeur, Avec :

$$\begin{cases} Mt = M \\ Ma = 0{,}5M \end{cases}$$

b=100cm; h=20 cm ; c=2,5cm σ_b=14,20MPa; σ_s==348 MPa ;la fissuration est préjudiciable.

Tableau 0.14: La section d'armatures du voile périphérique.

	M_U (kN.m)	A (cm^2)	A_{min} (cm^2)	A_{choix} (cm^2)	Espacement (cm)
travée	53.71	10,00	2,85	10HA12=11,31	10
appuis	-28,34	4.81	2,85	10HA12=11,31	10

VI.6.3. Vérification des contraintes à l'ELS

Tableau 0.15: Vérification des contraintes à l'ELS.

Contraint	M_{ser}(kN.m)	σ_b	$\overline{\sigma_b}$	Vérifiée	σ_s	$\overline{\sigma_s}$	Vérifiée
Travée	39.78	8.32	15	oui	201,63	201,63	Oui
Appuis	-19.89	4.16	15	oui	113.93	201,63	Oui

VI.6.4. Vérification au cisaillement à l'ELU

$$\tau_{max} = \frac{T_{max}}{b.d} \leq \bar{\tau}_{adm} = \text{Min}\left[\frac{0{,}07 f_{c28}}{\gamma_b}; 4\text{ MPa}\right] \qquad T_{max} = \frac{P_u \times l_x \times l_y}{(2 \times l_y) + l_x}$$

$$\tau_{max} = \frac{146.47 \times 10^3}{(1000 \times 175)} = 0{,}836\text{ MPa} \leq \bar{\tau}_{adm} = 1{,}167\text{ MPa}$$ Condition vérifée.

CONCLUSION GENERALE

Ce projet de fin d'étude, nous a permis de mettre en pratique toutes nos connaissances acquises durant notre cycle de formation d'ingénieur, d'approfondir nos connaissances en se basant sur les documents techniques et réglementaires, de mettre en application les méthodes de calcul récentes, et de mettre en évidence les principes de base qui doivent être prises dans la conception des structures des bâtiments.

D'après l'étude effectuée dans le cadre de ce projet de fin d'étude, il convient de souligner que pour une bonne conception parasismique, il est très important que l'ingénieur civil et l'architecte travaillent en étroite collaboration dès le début de projet afin de prendre en charge toutes les contraintes induites par la structure adoptée par rapport à l'architecture proposée et arriver à une sécurité maximale de l'ouvrage sans surcoût important.

Enfin, l'objectif principal de l'ingénieur concepteur est de réduire le risque sismique à un niveau minimal et de facilité l'exécution de l'ouvrage en adoptant une conception optimale qui satisfait les exigences architecturale et les exigences sécuritaires.

Parallèlement, on a fait, autant que possible d'avoir les principaux critères admis, à savoir : l'exploitation, l'esthétique et la sécurité.

Annexe 1

la loi de dégression

$$\sum Q_n = Q_0 + \frac{3+n}{2n}\sum_{i=1}^{n} Q_i$$

$\left(Le\ coefficient\ \frac{3+n}{2n}\ etant\ valable\ pour\ que\ n \geq 5\right)$.

$Q_0 = 1\ kN/m^2$ (terrasse inaccessible) ;

$Q_0, Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6, Q_7, Q_8, Q_9, Q_{10,}$=1.5 *kN/m²* (étage à usage habitations) ;

9émé étage : Q_0

8émé étage : $Q_0 + Q_1$

7émé étage : $Q_0 + 0.95(Q_1 + Q_2)$

6émé étage : $Q_0 + 0.90(Q_1 + Q_2 + Q_3)$

5émé étage : $Q_0 + 0.85(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)$

4émé étage : $Q_0 + 0.80(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5)$

3émé étage : $Q_0 + 0.75(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6)$

2émé étage : $Q_0 + 0.714(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7)$

1ér étage : $Q_0 + 0.68(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8)$

RDC : $Q_0 + 0.66(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9)$

Sous-sol : $Q_0 + 0.66(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10})$

$$Q = S_{totale} * Q_i$$

Annexe 2

Méthode simplifiée de calcule des flèches

pour les poutrelles (Avant coulage)

La poutrelle avant coulage est une poutre isostatique soumise aux charges suivantes :

-Son poids propre.

-Le poids de corps creux (entrevous).

-Une charge concentrée à son milieu dont l'intensité est la plus grande de 1 kN ou (0.5×L) kN, qui représente le poids d'un ouvrier.

-Si la valeur de $\mu \leq \mu_l$: on ne nécessite pas des étaiements.

-Si la valeur de $\mu \gg \mu_l$: on doit calculer la flèche et la comparer avec la flèche admissible pour qu'on puisse savoir si notre poutrelle nécessite des étaiements afin de ces derniers aident la poutrelle à supporter les charges.

Les charges revenantes à la poutrelle avant coulage

$$G = G_{P.corps\ creux} + G_{poutrelle}$$

$$Q = Max[1kN\ ;\ 0{,}5L]$$

Calcul de μ

$$\mu = \frac{M_u}{b\ {d_0}^2\ \sigma_b} \qquad d'ou \quad M_u = 1.35M_G + 1.5M_Q$$

$$\mu_l = 0.392$$

Pour les poutres et bandes de dalles

On peut admettre que I_f est défini par la relation:

$$I_f = 1{,}1\frac{I_0}{1 + (\lambda\,.\,\mu)}$$

Dans laquelle les coefficients λ et μ sont égaux à :

Pour les déformations instantanées$\lambda = \lambda_i = \frac{0{,}05\ f_{t28}}{(2+3\frac{b_0}{b})\rho}$

Pour les déformations de longue durée. $\lambda = \lambda_v = \frac{0{,}02\ f_{t28}}{(2+3\frac{b_0}{b})\rho} = \frac{2}{5}\lambda_i$

si la valeur de μ.résultant de cette expression est positive et zéro de cas $\mu = 1 - \frac{1{,}75\ f_{t28}}{4.\rho.\sigma_s + f_{t28}}$ contraire.

Dans ces expressions :

I_0: désigne le moment d'inertie de la section totale rendue homogéne calculé

avec :

n=15;

f_{t28}: la résistance caractéristique du béton à la traction exprimée en MPa;

σ_s: la contrainte de traction effective de l'armature correspondant au cas de charge considéré ;

ρ: Le pourcentage ou rapport de l'aire A de la section de l'armature tendue à l'aire de la section utile de la nervure ;

$$\rho = \frac{A}{b_0.d}$$

b_0: la largeur de la nervure et b celle de la table de compression.

Les courbures de la nervure $\frac{1}{r_i}$ et $\frac{1}{r_v}$ sont évaluées en prenant en compte respectivement les moments d'inertie I_{fi} et I_{fv} correspondant a λ_i et λ_v et les modules de déformation longitudinale correspondants E_i et $E_v = \frac{1}{3}E_i$.

$$\frac{1}{r_i} = \frac{M}{E_i.I_{fi}} \text{ et } \frac{1}{r_v} = \frac{M}{E_v.I_{fv}}$$

M étant le moment fléchissant qui sollicite la section considérée sous la combinaison d'état limite de service envisagé.

A défaut d'une justification basée sur l'évaluation des déformations à partie des valeurs des courbures, on peut admettre que les flèches f_i et f_v sont égales à:

$$f_i = \frac{M.I^2}{10.E_i.I_{fi}} \text{ et } f_v = \frac{M.I^2}{10.E_v.I_{fv}}$$

Ces expressions approchées étant applicables aux cas des poutres simplement appuyées ou continues et aux bandes de dalles continues ou non, dirigées dans le sens de la petite portée.

Annexe 3

Méthode de Caquot : (pour les poutres)

• Exposé de la méthode

Cette méthode est applicable pour les charges élevées et quand la méthode forfaitaire n'est pas

applicable.

Elle consiste à calculer les moments aux appuis sous l'effet des charges (uniformes et concentrées) appliquées aux travées voisines de l'appui, puis de déterminer les moments en travée.

• portée fictive

Pour toutes les travées on déterminera la longueur fictive

$$L' = \begin{cases} L \textit{ pour une travée de rive avec appui simple de rive.} \\ 0.8L \textit{ pour une travée intermédiaire.} \end{cases}$$

•Coefficient de rigidité

On désigne par γ le coefficient de rigidité qui sera le rapport des raideurs des 2 travées à gauche et à droite d'un appui considéré.

Où :

$$\gamma = \frac{K_w}{K_e} K_e = \frac{I_e}{l'_e} K_w = \frac{I_w}{l'_w}$$

Donc :$\gamma = \frac{I_w l'_e}{I_e l'_w}$

•Cas particulier

Pour une poutre continue de mêmes hauteur et largeur, donc à inertie constante et en cas d'absence de charge concentrée ; on a :

• Le coefficient de rigidité

$$\gamma = \frac{l'_e}{l'_w}$$

• Le moment aux appuis

M_{app}=0,2M_0……Appuis de rives

$M_{app} = \frac{q_w l'^3_w + q_e l'^3_e}{8.5(l'_w + l'_e)}$……Appuis intermédiaire

• Le moment en travée

La méthode de Caquot nous permet de prendre le moment à mi- travée (x **=L/2**) comme moment maximum en travée :

$$M_t = M_0 - \frac{M_e + M_w}{2}$$

Annexe 4

Condition de la flèche de la méthode forfaitaire

La vérification de la flèche n'est pas nécessaire si les inégalités ci-dessous sont vérifiées :

-Pour les Poutres

$$\begin{cases} \frac{h}{l} \geq \frac{1}{16} \\ \frac{h}{l} \geq \frac{M_t}{10 M_0} \\ \frac{A}{b \times d} \leq \frac{4{,}2}{f_e} \end{cases}$$

-Pour les Poutrelles

$$\begin{cases} \dfrac{h}{l} \geq \dfrac{M_t}{15M_0} \\ \dfrac{A}{b \times d} \leq \dfrac{3{,}6}{f_e} \end{cases}$$

-Pour les Dalles Pleines

$$\begin{cases} \dfrac{h}{l_x} \geq \dfrac{M_t}{20M_x} \\ \dfrac{A}{b \times d} \leq \dfrac{2}{f_e} \end{cases}$$

Avec

$M_t = k \times M_0$

k : est un coefficient rédacteur $(0{,}75 \leq k \leq 0{,}85)$.

Annexe 5

Méthode des lignes de rupture

La méthode des lignes de rupture est une méthode plus puissante et considère les matériaux à leur limite élasto-plastique.

Cette méthode, qui ne concerne que l'état limite ultime, est basée sur le Mécanisme des fissures, elle prévoit l'endommagement de la dalle. Les fissures qui apparaissent sur la dalle s'appellent lignes de rupture.

Hypothèses de calcul

Premièrement et avant tout, il faut prévoir, dans le cas de rupture, les différentes fissures au niveau de la dalle tant sur la face inférieure que la face supérieure.

Les prévisions des fissures seront en fonction du type de charges (réparties ou concentrées) et du type d'appuis (encastrement, simple ou côté libre).

Les hypothèses de calcul sont :

a) La ligne de rupture divise la dalle en plusieurs régions appelées régions rigides, et elles sont supposées rester planes.

b) Les lignes de rupture sont des lignes droites et se terminent toujours sur le pourtour de la dalle.

c) Une ligne de rupture entre deux régions rigides doit passer par l'intersection des axes de rotation de ces régions.

d) L'axe de rotation se trouve toujours le long du support.

e) La ligne de rupture négative est toujours répandue le long de l'axe de rotation de la région rigide.

f) Les lignes de rupture qui sont causées par les moments de flexion positifs sont appelées lignes de rupture positives et sont représentées par une ligne continue en zigzag. Les lignes de rupture qui sont causées par les moments de flexion négatifs sont appelées lignes de rupture négatives et sont représentées par une ligne discontinue.

Conventionnellement on désignera :

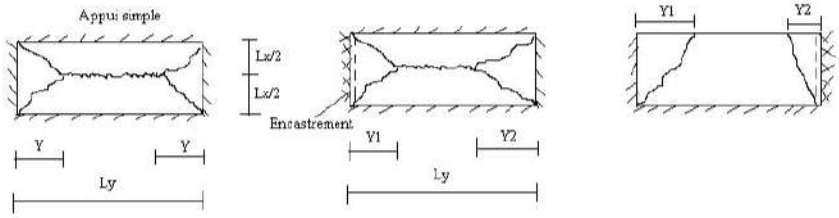
-Un côté libre par un trait sans hachures.

-Un appui simple par une hachure.

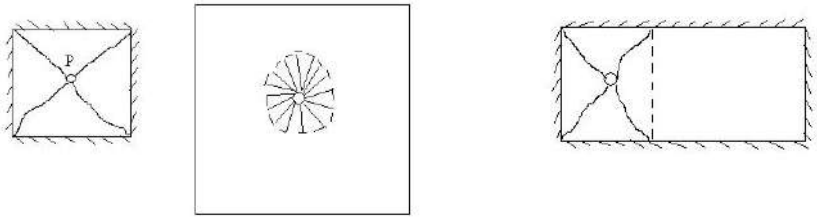
- Un encastrement par une double hachure.

Exemples de fissuration de dalle

a) **Cas des charges réparties**



b) **Cas des charges réparties concentrées**



Calcul des moments (principe du travail virtuel)

Le calcul des moments de flexion des lignes de rupture se base sur le principe du travail virtuel qui consiste à évaluer le travail provoqué par les charges externes, il sera appelé travail externe, et à évaluer le travail provoqué par les moments internes, il sera appelé travail

interne. Le principe du travail virtuel consiste donc à poser l'équation d'équilibre la somme des travaux égale à zéro.

∑des Travaux Externes - ∑ des Travaux Internes = 0

a) Travail externes

Le travail externe est égale au produit de la force concentrée par son déplacement

$$T_{ext} = P.f$$

Pour le cas particulier de la charge répartie :

T_{ext} = charge répartie x Surface x déplacement du centre de gravité de la surface

b) Travail internes

Le travail interne est égal au produit du moment par la projection de la ligne de rupture sur l'axe de rotation par l'angle de rotation de la région rigide sur son axe.

$$T_{int} = M.l.\theta$$

Le principe du travail virtuel nous permet d'évaluer le moment de flexion en fonction de la charge externe appliquée sur la dalle.

Annexe 6

Ferraillage transversal des poutres

L'acier choisi pour le ferraillage transversal est de type barres à haut adhérence . F_eE40

L'espacement entre les armatures d'âme successives doit être la plus faible des valeurs suivantes :

$$Selon\ le\ RPA2003: \begin{cases} S_t \leq \dfrac{A_t}{0.003 * b} \\ S_t \leq Min\left[\dfrac{h}{4}, 12\emptyset\right] \qquad Zone\ nodale \\ S' \leq \dfrac{h}{2} \qquad\qquad Zone\ courante \end{cases}$$

$$Selon\ le\ CBA93: \begin{cases} \dfrac{A_t}{b_0 S_t} \geq \dfrac{\gamma_s(\tau_u - 0.3f_{t28}k)}{0.9f_e(cos\alpha + sin\alpha)} \\ S_t \leq [0.9d\ , 40cm] \\ \dfrac{A_t f_e}{bS_t} \geq 0.4\ MPa \end{cases}$$

Annexe 7

Recommandations selon les règlements en Ferraillage des poteaux

Selon le CBA93

$$A_l = Min\begin{cases} 4\ cm^2 \text{par métre de longueur de parement} \\ 0.1\% \leq \dfrac{A_l}{B} \leq 5\% \quad \text{Section de béton comprimée} \end{cases}$$

$$\text{Condition de non fragilité: } A_{min} = \frac{B}{1000}$$

Selon le RPA verion2003 Art 7.4.2.1:

- Les armatures longitudinales doivent être à haute adhérence, droites et sans crochets.
- Leur pourcentage est limité en zone III par :

$$0.9\% \leq \frac{A_l}{b * h} \leq 3\% \qquad (Zone\ courante)$$

$$0.9\% \leq \frac{A_l}{b * h} \leq 6\% \qquad (Zone\ de\ recouvrement)$$

- Le diamètre minimum est de 12 mm.
- La longueur minimale des recouvrements est de : 50 Ø en zone III.
- La distance maximale entre deux barres voisines sur une même face ne doit pas dépasser : 20 cm en zone III.
- La zone nodale est bornée par la face supérieure du plancher et h'.

$$h' = Max\left[\frac{h_e}{6};\ b_1;\ h_1;\ 60cm\right]$$

h_e : la hauteur d'étage.

Sollicitations extrêmes pour le ferraillage

Pour équilibrer l'effort normal et le moment de flexion, nous pouvons avoir les trois cas extrêmes suivant :

- $N_{max}\ et\ M_{x\ correspondant}\ et\ et\ M_{y\ correspondant}$
- $N_{min}\ et\ M_{x\ correspendent}\ et\ et\ M_{y\ correspondant}$
- $M_{max}\ et\ M_{correspondant}\ et\ N_{correspendent}$

Etat limite de stabilité de forme

Pour régler le problème de flambement dans le cas de flexion composée, il faut tenir compte des trois excentricités. Pour cela, on déterminera un nouveau moment de flexion M supposé être appliqué au centre de gravité de la section du béton seul :

$$M_u = N_u * (e_1 + e_2 + e_a)$$

$$e_1 = \frac{M}{N} \quad , \quad e_2 = \frac{3{l_f}^2(2 + \alpha\emptyset)}{10000\ h} \quad , \quad e_a = Max[\frac{L_0}{250}; 2\ cm]$$

Avec :

e_1 : excentricité du 1ier ordre provoquée par le moment de flexion.

e_2: excentricité du 2éme ordre, due aux actions de déformation telle que le retrait et le fluage, elle tient compte le problème de flambement.

$$\emptyset = \frac{Déformation\ finale\ due\ au\ fluage}{Déformation\ instantanée\ du\ béton} = 2$$

$$\alpha = \frac{Moment\ sous\ l'effet\ des\ charges\ permanentes}{Moment\ totale} = \frac{M_G}{M_u}$$

l_f : Longueur de flambement.

h :Hauteur totale de la section dans la direction de flambement.

e_2 : Excentricité additionnelle, due aux imperfections géométriques.

e_2 : Longueur libre.

Annexe 8

Les armatures transversales des poteaux

$$A_t = \frac{\rho_a\ t\ T_u}{h_1\ f_e}$$

T_u : Effort tranchant.

ρ_a :Est un coefficient correcteur qui tient compte du mode fragile de la rupture par effort tranchant, il est pris égal à :

2.50 si : $\lambda \geq 5$

3.75 si : $\lambda < 5$

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

t : est l'espacement des armatures transversales

$$t = \begin{cases} 10\ cm & zone\ nodale \\ Min\left[\frac{b_1}{2}\ ;\ \frac{h_1}{2}\ ; 10\emptyset_l\right] & zone\ courante \end{cases}$$

$\emptyset_l$: Diamètre minimal des armatures longitudinales.

h_1 : La hauteur totale de la section brute.

La quantité minimale d'armatures transversales en % est donnée par :

$$\frac{A_t}{tb_1} \geq 0.3\% \qquad si : \quad \lambda > 5$$

$$0.8\% \geq \frac{A_t}{tb_1} \geq 0.3\% \qquad si : \quad 5 \geq \lambda \geq 3$$

$$\frac{A_t}{tb_1} \geq 0.8\% \qquad si : \quad \lambda \leq 3$$

Dans notre projet, l'effort tranchant dans les poteaux est nul (R=3.5), donc :

$$\lambda > 5 \text{ pour tous les poteaux} \quad \Rightarrow \quad A_t = A_{t\,min} = 0.003 * t * b_1$$

Annexe 9

Exposé de la méthode des contraintes

$$\sigma_t = \frac{N}{a * L} - 6\frac{M}{a * L^2}$$

$$\sigma_c = \frac{N}{a * L} + 6\frac{M}{a * L^2}$$

$$L_t = \frac{|\sigma_1| * L}{|\sigma_1| + |\sigma_2|}$$

$$N_t = \frac{|\sigma_1| * L_t}{2} * a$$

$$A_v = \frac{N_t}{\sigma_s} \quad , \quad \sigma_s = \frac{F_e}{\gamma_s}$$

Avec :

σ_t: Contrainte de traction.

σ_c: Contrainte de compression.

L_t: La longueur tendue.

N_t: L'effort résultant de traction de la partie tendue.

A_v : La quantité d'armatures verticales nécessaire dans la partie tendue.

Section minimales et maximales

- **Selon le RPA2003 Art 7.7.4.1**

$A_v = 0.2\%\ B_t$: La section horizontale tendue de voile.

$A_v = 0.15\%\ B$ B: La section globale de voile.

$A_v = 0.1\%\ B_c$: La section horizontale courante.

- **Selon le CBA93 Art B.6.4**

$$0.1\% \leq \frac{2 * A_v}{a * B_t} \leq 0.5\%$$

$$S_t = \frac{0.9 * A_t * \frac{f_{et}}{\gamma_s}}{a * \left(\tau_u - (0.3 * f_{t28} * K)\right)} \quad , \quad K = 1 + \left(3 * \frac{N_u}{B * f_{t28}}\right)$$

a) Selon le CBA93

$$\emptyset_h \leq Min\left[\frac{h}{35}; \frac{a}{10}; \emptyset_v\right]$$

$\emptyset_h$: Diamètre d'armatures horizontales.

$\emptyset_v$: Diamètre d'armatures verticales.

$$S_h \leq Min[0.9d; 40cm] \quad , \quad S_h \leq \frac{A_h f_e}{0.4 * a} \quad , \quad S_h \leq \frac{0.9 f_e}{\gamma_s a \tau_b}$$

b) Selon le RPA2003

$$\emptyset_h \leq \frac{a}{10} \quad , \quad S_h = \frac{A_h h}{0.003} \quad , \quad S_h \leq Min[1.5a\,; 30cm]$$

Annexe 10

Les armatures horizontales des voiles

$$S_t = \frac{0.9 * A_t * \frac{f_{et}}{\gamma_s}}{a * \left(\tau_u - (0.3 * f_{t28} * K)\right)} \quad , \quad K = 1 + \left(3 * \frac{N_u}{B * f_{t28}}\right)$$

c) Selon le CBA93

$$\emptyset_h \leq Min\left[\frac{h}{35}; \frac{a}{10}; \emptyset_v\right]$$

Diamètre d'armatures horizontales.$\emptyset_h$:

Diamètre d'armatures verticales.$\emptyset_v$:

$$S_h \leq Min[0.9d; 40cm] \quad , \quad S_h \leq \frac{A_h f_e}{0.4 * a} \quad , \quad S_h \leq \frac{0.9 f_e}{\gamma_s a \tau_b}$$

d) Selon le RPA2003

$$\emptyset_h \leq \frac{a}{10} \quad , \quad S_h = \frac{A_h h}{0.003} \quad , \quad S_h \leq Min[1.5a\,; 30cm]$$

Annexe11

Ferraillage des linteaux

$\tau_b \leq 0.06 f_{c28}$ Flexion simple

$\tau_b \geq 0.06 f_{c28}$ Traction / compression

$$\tau_b = \frac{\bar{V}}{b_0 d} \quad , \quad \bar{V} = 1.4 V_u$$

Ferraillage des linteaux en flexion simple ($\tau_b \leq 0.06 f_{c28}$)

On devra disposer

- Des aciers longitudinaux A_l.
- Des aciers transversaux A_t.
- Des aciers en partie courante (aciers de peau) A_c.

a) Aciers longitudinaux

$$A_l \geq \frac{M}{Z f_e} \quad , \quad Z = h - 2c \quad , \quad M = 1.4 M_u$$

b) Aciers transversaux

On doit savoir si notre linteau est court ou long avec la vérification suivante :

$$\lambda = \frac{l}{h} \quad \Rightarrow \begin{cases} \lambda > 1 & \text{linteau long} \\ \lambda < 1 & \text{linteau court} \end{cases}$$

Linteau long

$$S \leq \frac{A_t * f_e * Z}{\bar{V}}$$

S : Espacement des cours d'armatures transversales.

A_t : Section d'un cours d'armatures transversales.

$Z = h - 2d'$

$\bar{V} = 1.4 V_u$

Linteau court :

$$S \leq \frac{A_t * f_e * l}{\bar{V} + (A_t * f_e)}$$

$$V = \min(V_1 \, ; \, V_2)$$

$$V_2 = 2 * V_u \quad , \quad V_1 = \frac{M_{ci} + M_{cj}}{l_{ij}}$$

Avec M_{ci} $et M_{cj}$ moments résultants ultimes des sections d'about à gauche et à droite du linteau du portée l_{ij} et calculés par :

$$M_c = V_l * f_e * Z$$

Ferraillage des linteaux en Traction / Compression ($\tau_b \geq 0.06 f_{c28}$)

Aciers diagonales :

Les efforts (M,V) sont repris suivant des bielles diagonales (de compression et de traction) suivant l'axe moyen des armatures diagonales A_Dà disposer obligatoirement.

$$A_D = \frac{V}{2 f_e sin\alpha}$$

$$\alpha = Arctg\left(\frac{h - 2d'}{l}\right)$$

Ferraillage minimal (RPA v2003 Art.7.7.3.3)

a) **Armatures longitudinales**

$$(A_l, A_l') \geq 0.15\% \ (b * h)$$

b) **Armatures transversales**

$$Pour : \tau_b \leq 0.025 f_{c28} \quad \Rightarrow \quad A_t \geq 0.0015 \ b * s$$
$$Pour : \tau_b > 0.025 f_{c28} \quad \Rightarrow \quad A_t \geq 0.0025 \ b * s$$

s : Espacement entre les cadres

c) **Armatures de peau**

$$A_c \geq 0.002 * b * h$$

Références bibliographiques

Documents techniques règlementaires :

- Règles de conception et de calcul des structures en béton armé (CBA93) : D.T.R-B.C.2.41
- Règlements Parasismiques Algériennes (RPA99 version2003) : D.T.R-B.C.2.48
- Charges permanentes et charges d'exploitation : D.T.R-B.C.2.2

Logiciels :

- SAP2000 version 21.0.2
- Robot EXPERT 2010
- AutoCAD 2019
- Microsoft office 2016