

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Ecole Nationale Polytechnique**

**Département de Génie Civil**



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme

D'INGENIEUR D'ETAT EN GENIE CIVIL

**THEME**

**Etude d'un bâtiment en R+10+SS /  
Estimation des coûts**

**Présenté par :**

**MAHGOUN Rabah Chafik**

**SEDIRA Nazih**

**Encadré par :**

**M<sup>me</sup> A.CHIKH**

**PROMOTION JUIN 2011**

# *Remerciements*

Nos sincères remerciements à tous les membres du jury qui ont pris le temps et le soin d'examiner ce projet.

Nous tenons également à exprimer notre gratitude envers tous les enseignants de l'ENP qui ont contribué à notre formation.

Nous tenons à remercier sincèrement notre promotrice M<sup>me</sup>A.Chikh pour ses appréciations compétentes, l'équipe technique de l'entreprise BATIGEC et tous ceux qui ont contribué à l'élaboration de ce travail.

MAHGOUN&SEDIRA

## ملخص

إن الهدف من هذا العمل هو دراسة بناية من الخرسانة المسلحة ذات عشرة طوابق طابق ارضي و طابق تحت ارضي, هي في طور الإنجاز بالجزائر العاصمة, المصنفة كمنطقة ذات نشاط زلزالي قوي.

مقاومة البناية محققة بواسطة نظام دعم بجدران (من الخرسانة المسلحة). و قد تم التصميم وفقا لقوانين و معايير البناء السارية المفعول في الجزائر (RPA 99/2003, CBA 93, BAEL91) .

اعتمد في الدراسة الديناميكية على برنامج Robot Structural analysis 2010

و في الأخير تمت دراسة تقييمه لثمن البناية.

## كلمات مفاتيح

ديناميكي دراسة, بجدران دعم, مسلحة خرسانة

## Résumé

Le but de ce travail est l'étude d'une structure de bâtiment en béton armé (R+10+Sous-sol) implanté à Alger, classée comme zone de forte sismicité.

La résistance du bâtiment est assurée par un système de contreventement en voiles, la conception et le calcul sont conformes aux règlements de construction en vigueur (RPA 99/2003, CBA 93, BAEL91)

L'étude dynamique a été faite avec le logiciel Robot Structural analysis 2010

Une étude estimative de l'ouvrage clôture ce travail

## Mots clés

Béton armé, bâtiment, contreventement par voiles, étude dynamique, voiles.

## Abstract

The aim of this work is the study of a reinforced concrete structure (R +10 + Basement) which is outstanding execution in Algiers that is classified as zone of high seismicity.

The strength of the building system is provided by braced sails, the design was done according to building regulations force (RPA 99/2003, CBA 93, and BAEL91), and the dynamic study was done with the software Robot Structural Analysis 2010.

Finally, a study estimated the price structure

## Keywords

Reinforced concrete, bracing by shells, dynamic study, shells.

# Introduction

## Chapitre 1. Présentation du projet

<b>1.1</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>02</b>
<b>1.2</b>	<b>Présentation du bâtiment.....</b>	<b>02</b>
1.2.1	Dimension en plan.....	04
1.2.2	Dimension en élévation.....	04
1.2.3	Système structural.....	04
1.2.4	Les planchers.....	07
1.2.5	Maçonnerie.....	07
1.2.6	Les revêtements .....	07
1.2.7	Terrasse .....	07
1.2.8	Escalier.....	07
1.2.9	Ascenseur.....	07
1.2.10	Acrotère.....	07
1.2.11	Mur décoratif .....	07
<b>1.3</b>	<b>Caractéristiques mécanique des matériaux.....</b>	<b>08</b>
1.3.1	Béton.....	08
1.3.2	Armatures.....	08
1.3.3	Sol.....	08

## Chapitre 2. Prédimensionnement

<b>2.1</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>09</b>
<b>2.2</b>	<b>Prédimensionnement des planchers.....</b>	<b>09</b>
<b>2.3</b>	<b>Evaluation des charges et des surcharges.....</b>	<b>09</b>
2.3.1	Planchers courants.....	09
2.3.2	Planchers terrasse.....	10
2.3.3	Cloisons doubles.....	10
2.3.4	Balcons.....	10
2.3.5	Escaliers.....	11
2.3.6	Charge d'exploitation.....	11
<b>2.4</b>	<b>Prédimensionnement des escaliers.....</b>	<b>12</b>
2.4.1	RDC et étages courants.....	12
2.4.2	Sous-sol .....	13
<b>2.5</b>	<b>Prédimensionnement des voiles.....</b>	<b>14</b>
<b>2.6</b>	<b>Descente de charges.....</b>	<b>15</b>
2.6.1	Dégression des surcharges d'exploitation.....	15
2.6.2	Evaluation des charges.....	16

2.7	<b>Détermination du poids de la structure</b> .....	17
-----	---	----

### **Chapitre 3. Eléments non structuraux**

<b>3.1</b>	<b>Introduction</b> .....	20
<b>3.2</b>	<b>Acrotère</b> .....	20
3.2.1	Définition.....	20
3.2.2	Etude de l'acrotère.....	20
3.2.3	Etude du mur décoratif.....	23
<b>3.3</b>	<b>Escaliers</b> .....	25
3.3.1	Type 1.....	25
3.3.2	Type 2.....	28
3.3.3	Type 3.....	30
<b>3.4</b>	<b>Les balcons</b> .....	34
3.4.1	Evaluation et combinaisons de charges.....	34
3.4.2	Schéma de ferrailage .....	36

### **Chapitre 4. Les planchers**

<b>4.1</b>	<b>Introduction</b> .....	37
<b>4.2</b>	<b>Types de panneaux pour les étages courants et la terrasse</b> .....	37
<b>4.3</b>	<b>Calcul du plancher terrasse</b> .....	38
<b>4.4</b>	<b>Calcul des planchers courants</b> .....	45
<b>4.5</b>	<b>Types de panneaux du RDC</b> .....	51
<b>4.6</b>	<b>Calcul du plancher du RDC</b> .....	52
<b>4.7</b>	<b>Ferrailage</b> .....	58

### **Chapitre 5. Etude dynamique**

<b>5.1</b>	<b>Introduction</b> .....	59
<b>5.2</b>	<b>Modélisation</b> .....	59
5.2.1	Contreventement.....	60
5.2.2	Caractéristiques du bâtiment.....	60
<b>5.3</b>	<b>Action sismique</b> .....	61
5.3.1	Méthode statique équivalente.....	61
5.3.2	Méthode d'analyse spectrale.....	61
5.3.3	Modes à considérer.....	62
5.3.4	Combinaisons des modes.....	63
5.3.5	Spectre de réponse de calcul.....	64
5.3.6	Vérification de la force sismique résultante.....	65

<b>5.4</b>	<b>Répartition de l'effort sismique sur les voiles.....</b>	<b>66</b>
<b>5.5</b>	<b>Justification vis-à-vis l'effet P-Δ.....</b>	<b>67</b>

## **Chapitre 6. Ferrailage des voiles**

<b>6.1</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>68</b>
<b>6.2</b>	<b>Combinaisons d'actions.....</b>	<b>68</b>
<b>6.3</b>	<b>Choix et disposition du ferrailage.....</b>	<b>68</b>
6.3.1	Armatures verticales.....	68
6.3.2	Armatures horizontales.....	69
<b>6.4</b>	<b>Calcul du ferrailage.....</b>	<b>70</b>
<b>6.5</b>	<b>Ferrailage.....</b>	<b>76</b>

## **Chapitre 7. Fondation**

<b>7.1</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>80</b>
<b>7.2</b>	<b>Prédimensionnement du radier.....</b>	<b>80</b>
7.2.1	Surface nécessaire pour radier.....	80
7.2.2	Calcul de l'épaisseur du radier.....	81
<b>7.3</b>	<b>Poids du radier.....</b>	<b>82</b>
<b>7.4</b>	<b>Vérification du cisaillement.....</b>	<b>82</b>
<b>7.5</b>	<b>Caractéristiques géométriques du radier.....</b>	<b>83</b>
7.5.1	Centre de gravité.....	83
7.5.2	Moments d'inertie.....	83
<b>7.6</b>	<b>Vérifications.....</b>	<b>83</b>
7.6.1	Vérification de stabilité.....	83
7.6.2	Vérification des contraintes.....	83
7.6.3	Vérification du poinçonnement.....	86
7.6.4	Vérification de l'effet de sous-pression.....	87
<b>7.7</b>	<b>Ferrailage du radier.....</b>	<b>87</b>
7.7.1	Calcul des armatures.....	93
7.7.2	Vérification du cisaillement.....	93
7.7.3	Schéma de ferrailage.....	94
<b>7.8</b>	<b>Etude du voile périphérique.....</b>	<b>94</b>
7.8.1	Dimensionnement.....	94
7.8.2	Détermination des sollicitations.....	94
7.8.3	Etude de la première partie.....	96
7.8.4	Etude de la seconde partie.....	96
7.8.5	Schéma de ferrailage.....	97

## Chapitre 8. Etude estimative

<b>8.1</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>98</b>
<b>8.2</b>	<b>Estimation du prix de la construction.....</b>	<b>98</b>
8.2.1	Infrastructure.....	98
8.2.2	Superstructure.....	98
8.2.3	Maçonnerie / Enduits.....	98
8.2.4	Revêtements de sol et murs.....	99
8.2.5	Etanchéité.....	99
8.2.6	Menuiserie en Bois / Métallique.....	100
8.2.7	Plomberie / sanitaire.....	100
8.2.8	Electricité.....	101
8.2.9	Peinture / vitrerie.....	101
8.2.10	Ascenseur.....	102
8.2.11	Tableau récapitulatif.....	102
<b>8.3</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>103</b>

## Conclusion

## Annexe A Robot Structural Analysis 2010

<b>1.</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>104</b>
<b>2.</b>	<b>Les principales caractéristiques du logiciel.....</b>	<b>104</b>
<b>3.</b>	<b>Maillage.....</b>	<b>104</b>
3.1	Méthode de Coons.....	104
3.2	Méthode de Delaunay.....	105
<b>4.</b>	<b>Analyse dynamique.....</b>	<b>105</b>

## Annexe B Plans d'architecture

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure I.1.</b> Plan du sous-sol .....	03
<b>Figure I.2.</b> Plan du rez-de-chaussée .....	03
<b>Figure I.3.</b> Plan de l'étage courant .....	04
<b>Figure I.4.</b> Coupe longitudinale du bâtiment .....	05
<b>Figure I.5.</b> Coupe transversale du bâtiment .....	06
<b>Figure II.1.</b> Voiles avec deux abouts .....	14
<b>Figure III.1.</b> Acrotère : détails et modélisation .....	20
<b>Figure III.2.</b> Ferrailage de l'acrotère .....	23
<b>Figure III.3.</b> Mur décoratif : détails et modélisation .....	23
<b>Figure III.4.</b> Ferrailage du mur décoratif .....	24
<b>Figure III.5.</b> Escalier type 1 .....	25
<b>Figure III.6.</b> Volée de l'escalier type 1, modélisation et diagrammes.....	25
<b>Figure III.7.</b> Palier de l'escalier type 1, modélisation et diagrammes.....	26
<b>Figure III.8.</b> Ferrailage de l'escalier type 1 .....	27
<b>Figure III.9.</b> Escalier type 2 : schéma et détails .....	28
<b>Figure III.10.</b> Escalier type 2, modélisation et diagrammes.....	28
<b>Figure III.11.</b> Ferrailage de l'escalier type 2 .....	29
<b>Figure III.12.</b> Escalier type 3 : schéma et détails .....	30
<b>Figure III.13.</b> Escalier type 3, modélisation .....	31
<b>Figure III.14.</b> Ferrailage des parties I, II et IV de l'escalier type 3.....	31
<b>Figure III.15.</b> Escalier type 3, modélisation et diagrammes de la partie III.....	32
<b>Figure III.16.</b> Ferrailage de la partie III de l'escalier type 3 .....	33
<b>Figure III.17.</b> Balcon : schéma et détails .....	34
<b>Figure III.18.</b> Balcon : modélisation et diagrammes .....	34
<b>Figure III.19.</b> Schéma de ferrailage des balcons avec un treillis soudé.....	36
<b>Figure IV.1.</b> Différents types de panneaux pour le plancher terrasse.....	37
<b>Figure IV.2.</b> Exemple de modélisation d'un panneau avec le logiciel Socotec .....	38
<b>Figure IV.3.</b> Différents types de panneaux pour le plancher RDC.....	51
<b>Figure IV.4.</b> Schéma de ferrailage des planchers des différents niveaux.....	58
<b>Figure V.1.</b> Modèle de calcul en 3D sur RSA 2010 .....	59
<b>Figure V.2.</b> Spectre de réponse de calcul .....	65
<b>Figure VI.1.</b> Schéma de disposition des armatures verticales .....	68
<b>Figure VI.2.</b> Ferrailage des voiles des niveaux sous-sol, RDC, 1 <sup>er</sup> et 2 <sup>nd</sup> .....	76
<b>Figure VI.3.</b> Ferrailage des voiles des niveaux 3, 4 et 5.....	77
<b>Figure VI.4.</b> Ferrailage des voiles des niveaux 6, 7 et 8.....	78
<b>Figure VI.5.</b> Ferrailage des voiles des niveaux 9 et 10.....	79
<b>Figure VII.1.</b> Efforts appliqués à la structure .....	81
<b>Figure VII.2.</b> Coupe longitudinale du radier .....	82




<b>Figure VII.3.</b> Périmètre utile des voiles .....	86
<b>Figure VII.4.</b> Différents types de panneaux du radier .....	87
<b>Figure VII.5.</b> Ferrailage du radier .....	94
<b>Figure VII.6.</b> Schéma statique et détails du voile périphérique .....	94
<b>Figure VII.7.</b> Ferrailage de la première partie du voile périphérique.....	97
<b>Figure VII.8.</b> Ferrailage de la seconde partie du voile périphérique.....	97

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau II.1.</b> Charge permanente due au plancher courant .....	09
<b>Tableau II.2.</b> Charge permanente due au plancher terrasse .....	10
<b>Tableau II.3.</b> Charge permanente due aux cloisons doubles .....	10
<b>Tableau II.4.</b> Charge permanente due au balcon.....	10
<b>Tableau II.5.</b> Charge permanente due à la volée d'escalier.....	11
<b>Tableau II.6.</b> Charge permanente due au palier de repos .....	11
<b>Tableau II.7.</b> Surcharges sur les planchers .....	11
<b>Tableau II.8.</b> Dégression des surcharges d'exploitation.....	16
<b>Tableau II.9.</b> Evaluation des charges .....	16
<b>Tableau II.10.</b> Poids des voiles du sous-sol.....	17
<b>Tableau II.11.</b> Poids des voiles du RDC.....	17
<b>Tableau II.12.</b> Poids des voiles des étages courants .....	17
<b>Tableau II.13.</b> Poids des planchers des différents niveaux .....	18
<b>Tableau II.14.</b> Récapitulatif des charges .....	19
<b>Tableau III.1.</b> Efforts agissants sur l'acrotère.....	21
<b>Tableau III.2.</b> Efforts agissants sur le mur décoratif .....	24
<b>Tableau III.3.</b> Charges et surcharges sur les escaliers.....	25
<b>Tableau III.4.</b> Volée de l'escalier type 1, résultats du calcul.....	26
<b>Tableau III.5.</b> Palier de l'escalier type 1, résultats du calcul en travée.....	27
<b>Tableau III.6.</b> Palier de l'escalier type 1, résultats du calcul sur appuis.....	27
<b>Tableau III.7.</b> Escalier type 2, résultats du calcul en travée.....	29
<b>Tableau III.8.</b> Escalier type 2, résultats du calcul sur appuis.....	29
<b>Tableau III.9.</b> Escalier type 3, résultats du calcul .....	31
<b>Tableau III.10.</b> Escalier type 3, résultats du calcul en travée de la partie III.....	33
<b>Tableau III.11.</b> Escalier type 3, résultats du calcul sur appuis de la partie III.....	33
<b>Tableau III.12.</b> Balcon : charges et surcharges.....	34
<b>Tableau III.13.</b> Balcon : résultats du calcul à l'ELU.....	35
<b>Tableau III.14.</b> Balcon : résultats du calcul à l'ELS.....	35
<b>Tableau IV.1.</b> Panneau type 1 du plancher terrasse, efforts et diagrammes.....	39
<b>Tableau IV.2.</b> Panneau type 2 du plancher terrasse, efforts et diagrammes.....	40
<b>Tableau IV.3.</b> Panneau type 3 du plancher terrasse, efforts et diagrammes.....	41
<b>Tableau IV.4.</b> Panneau type 4 du plancher terrasse, efforts et diagrammes.....	42
<b>Tableau IV.5.</b> Panneau type 5 du plancher terrasse, efforts et diagrammes.....	43
<b>Tableau IV.6.</b> Récapitulatif des moments max et résultats du ferrailage des panneaux du plancher terrasse.....	44
<b>Tableau IV.7.</b> Vérification du cisaillement.....	44

<b>Tableau IV.8.</b> Panneau type 1 de l'étage courant, efforts et diagrammes.....	45
<b>Tableau IV.9.</b> Panneau type 2 de l'étage courant, efforts et diagrammes.....	46
<b>Tableau IV.10.</b> Panneau type 2 de l'étage courant, efforts et diagrammes.....	47
<b>Tableau IV.11.</b> Panneau type 4 de l'étage courant, efforts et diagrammes.....	48
<b>Tableau IV.12.</b> Panneau type 5 de l'étage courant, efforts et diagrammes.....	49
<b>Tableau IV.13.</b> Récapitulatif des moments et résultats du ferrailage.....	50
<b>Tableau IV.14.</b> Vérification du cisaillement.....	50
<b>Tableau IV.15.</b> Panneau type 1 du RDC, efforts et diagrammes.....	52
<b>Tableau IV.16.</b> Panneau type 2 du RDC, efforts et diagrammes.....	53
<b>Tableau IV.17.</b> Panneau type 3 du RDC, efforts et diagrammes.....	54
<b>Tableau IV.18.</b> Panneau type 4 du RDC, efforts et diagrammes.....	55
<b>Tableau IV.19.</b> Panneau type 5 du RDC, efforts et diagrammes.....	56
<b>Tableau IV.20.</b> Récapitulatif des moments et résultats du ferrailage des panneaux du plancher RDC.....	57
<b>Tableau IV.21.</b> Vérification du cisaillement.....	57
<b>Tableau V.1.</b> Caractéristiques du bâtiment.....	60
<b>Tableau V.2.</b> Charge sismique à la base par la méthode statique équivalente.....	61
<b>Tableau V.3.</b> Participation de la masse modale effective.....	62
<b>Tableau V.4.</b> Valeurs du spectre de réponse de calcul.....	64
<b>Tableau V.5.</b> Vérification de la force sismique résultante.....	65
<b>Tableau V.6.</b> Répartition de l'effort sismique à la base sur les différents voiles.....	66
<b>Tableau V.7.</b> Justification vis-à-vis l'effet P- $\Delta$ .....	67
<b>Tableau VI.1.</b> Efforts normaux et combinaisons de charges pour le RDC.....	70
<b>Tableau VI.2.</b> Sections d'armatures pour les voiles du RDC.....	71
<b>Tableau VI.3.</b> Efforts normaux et combinaisons de charges pour le 3 <sup>ème</sup> niveau.....	72
<b>Tableau VI.4.</b> Sections d'armatures pour les voiles du 3 <sup>ème</sup> niveau.....	73
<b>Tableau VI.5.</b> Efforts normaux et combinaisons de charges pour le 6 <sup>ème</sup> niveau.....	74
<b>Tableau VI.6.</b> Sections d'armatures pour les voiles du 3 <sup>ème</sup> niveau.....	75
<b>Tableau VII.1.</b> Efforts globaux à la base du bâtiment.....	80
<b>Tableau VII.2.</b> Panneau n°1 du radier : efforts et diagrammes.....	88
<b>Tableau VII.3.</b> Panneau n°2 du radier : efforts et diagrammes.....	89
<b>Tableau VII.4.</b> Panneau n°3 du radier : efforts et diagrammes.....	90
<b>Tableau VII.5.</b> Panneau n°4 du radier, efforts et diagrammes.....	91
<b>Tableau VII.6.</b> Panneau n°5 du radier, efforts et diagrammes.....	92
<b>Tableau VII.7.</b> Récapitulatif des moments max et résultats du ferrailage des panneaux du radier.....	93
<b>Tableau VII.8.</b> Vérification du cisaillement.....	93

<b>Tableau VII.9.</b> Voile périphérique, partie 1:résultats du calcul à l'ELU.....	96
<b>Tableau VII.10.</b> Voile périphérique, partie 1 : résultats du calcul à l'ELS.....	96
<b>Tableau VII.11.</b> Voile périphérique, partie 2 : résultats du calcul à l'ELU.....	96
<b>Tableau VII.12.</b> Voile périphérique, partie 2 : résultats du calcul à l'ELS.....	97
<b>Tableau VIII.1.</b> Estimation du prix de l'infrastructure.....	98
<b>Tableau VIII.2.</b> Estimation du prix de la superstructure.....	98
<b>Tableau VIII.3.</b> Estimation du prix de la maçonnerie et des enduits.....	98
<b>Tableau VIII.4.</b> Estimation du prix du revêtement de sol et des murs.....	99
<b>Tableau VIII.5.</b> Estimation du prix de l'étanchéité.....	99
<b>Tableau VIII.6.</b> Estimation du prix de la menuiserie.....	100
<b>Tableau VIII.7.</b> Estimation du prix de la plomberie.....	100
<b>Tableau VIII.8.</b> Estimation du prix de l'installation électrique.....	101
<b>Tableau VIII.9.</b> Estimation du prix de la peinture et de la vitrerie.....	101
<b>Tableau VIII.10.</b> Estimation du prix de l'ascenseur.....	102



Chapitre I  
Présentation de  
l'ouvrage

## 1.1 Introduction

Bien que le métier de construire peut être considéré comme l'un des plus anciens exercés par l'homme, il faut reconnaître qu'il a fallu au cours des dernières décades, s'adapter aux changements qui ont touché ce milieu et tenir compte de l'évolution des goûts et des mœurs, mais surtout aux nouvelles techniques de constructions qui dotent la structure par une meilleure fiabilité vis-à-vis des aléas naturels tel que les séismes.

Une structure doit être calculée et conçue de telle manière à ce :

- qu'elle reste apte à l'utilisation pour laquelle elle a été prévue, compte tenu de la durée de vie envisagée et de son coût.
- qu'elle ne soit pas être endommagée par des événements, tels que les explosions, les chocs ou les conséquences d'erreurs humaines.
- qu'elle résiste à toutes les actions et autres influences susceptibles de s'exercer aussi bien pendant l'exécution que durant son exploitation et qu'elle ait une durabilité convenable au regard des coûts d'entretien.

Pour satisfaire les exigences énoncées ci-dessus, on doit choisir convenablement les matériaux, définir une conception, un dimensionnement et des détails constructifs appropriés et spécifier des procédures de contrôles adaptées au projet considéré, au stade de la production, de la construction et de l'exploitation. Pour ce faire il faut impérativement se conformer aux règlements propres à chaque pays (RPA99/version 2003 pour le cas de l'Algérie).

## 1.2 Présentation du bâtiment

L'ouvrage que l'on se propose d'étudier est un bâtiment (R+10+SS) à usage multiple (habitation, bureaux et locaux de commerce).

- Le sous-sol sera une aire de stockage d'une surface utile de 372,54 m<sup>2</sup> aménagée en six locaux. (Figure I.1)
- Le rez-de-chaussée de surface utile de 270 m<sup>2</sup> sera divisé en deux parties, la partie inférieure abritera six commerces, la partie supérieure sera réservée à un usage administratif. (Figure I. 2)
- Les étages seront aménagés en habitations, chaque niveau comportera quatre logements (un F4 de 84 m<sup>2</sup> et trois F3 de 71,14 m<sup>2</sup>). (Figure I.3)

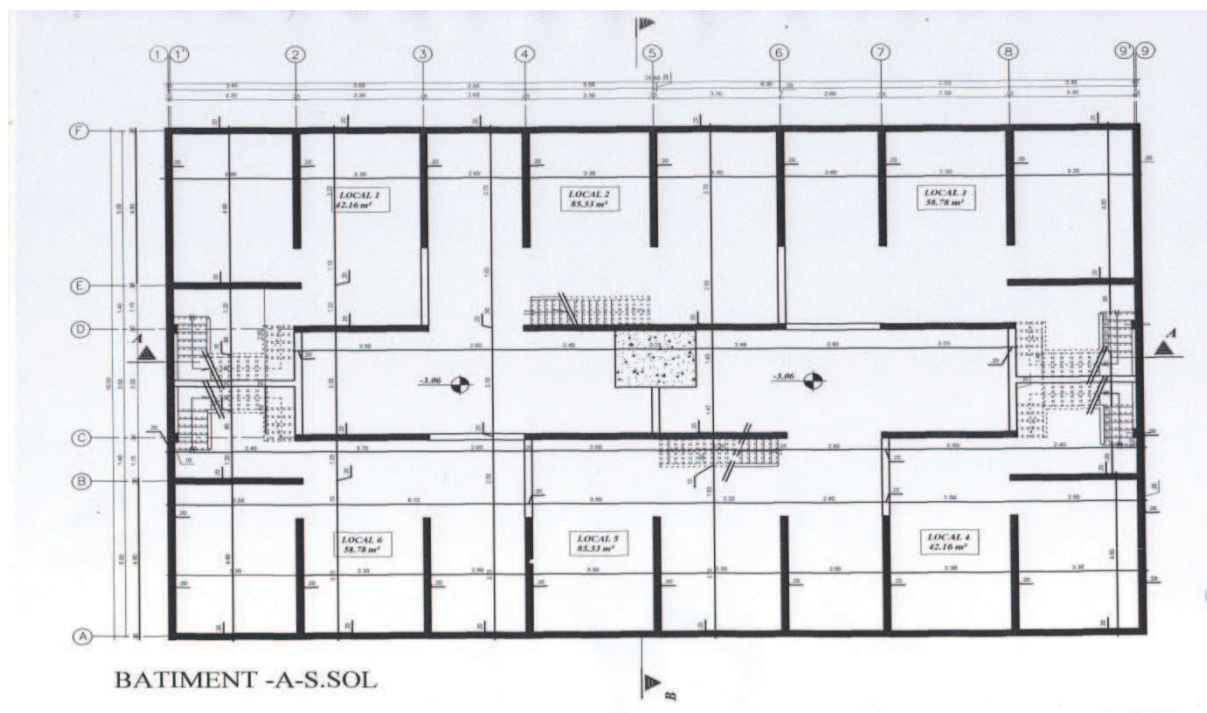


Figure I.1. Plan du sous-sol

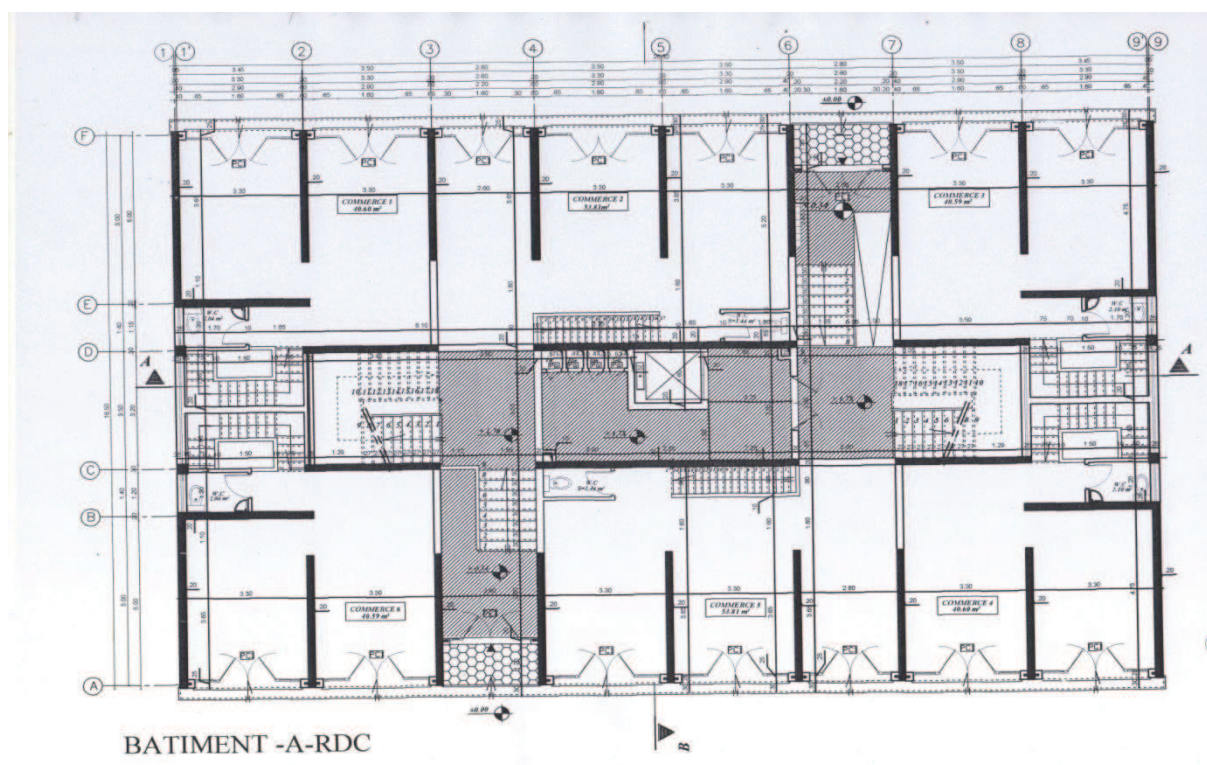
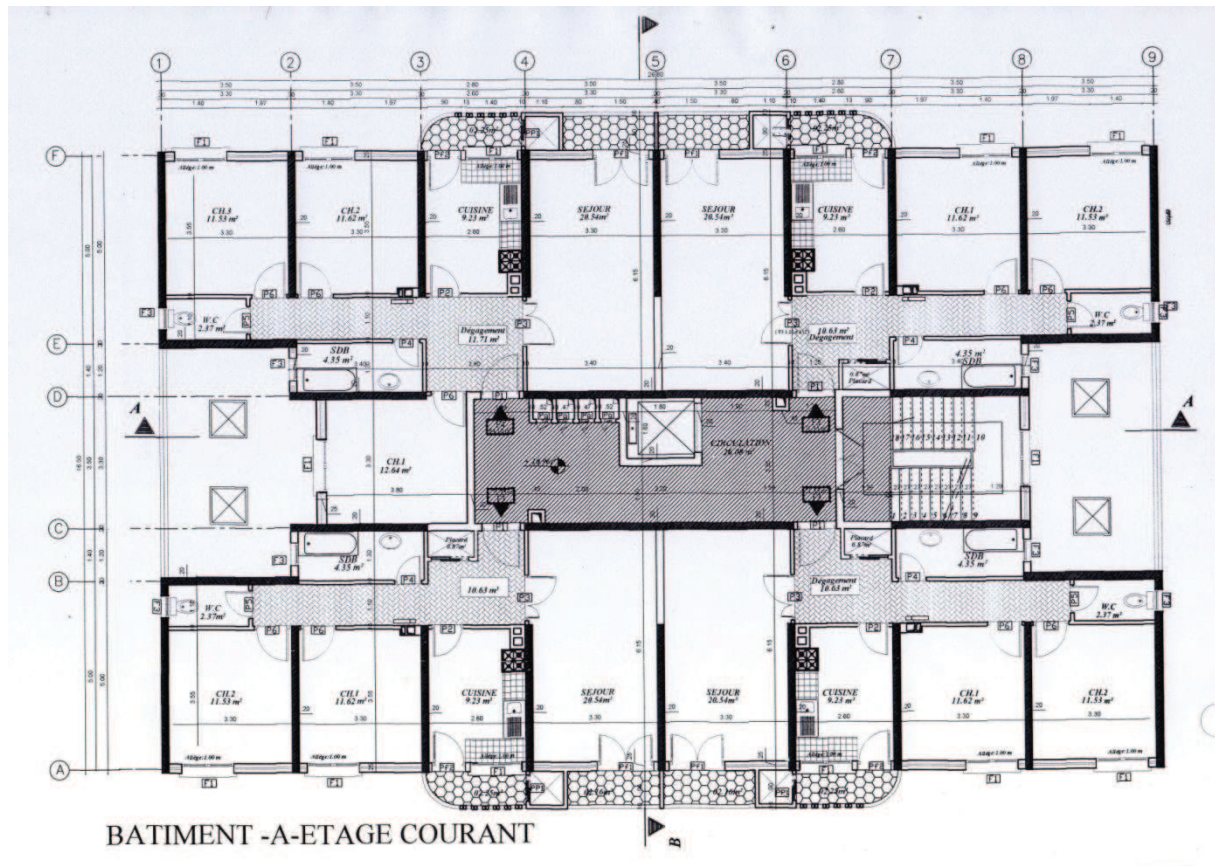


Figure I.2. Plan du rez-de-chaussée



**Figure I.3.** Plan d'étage courant

Le bâtiment se situe au niveau de la wilaya d'Alger, plus exactement au niveau de la commune de Bordj-El-Bahri (zone III de sismicité élevée selon le RPA 99 modifié 2003). Le bâtiment est classé dans le groupe 1B selon le même règlement.

### 1.2.1 Dimensions en plan

En plan le bâtiment a une forme rectangulaire avec une largeur de 16,50 m et une longueur de 26,80 m. (Figure I.3)

### 1.2.2 Dimensions en élévation

En élévation le bâtiment a une hauteur de 35,44 m avec une hauteur de sous-sol égale à 4,63m et une hauteur d'étage de 3,06 m. (Figure I.4)

### 1.2.3 Système structural

La structure choisie est contreventée que par des voiles pour mieux reprendre les efforts sismiques et pour une meilleure rigidité.





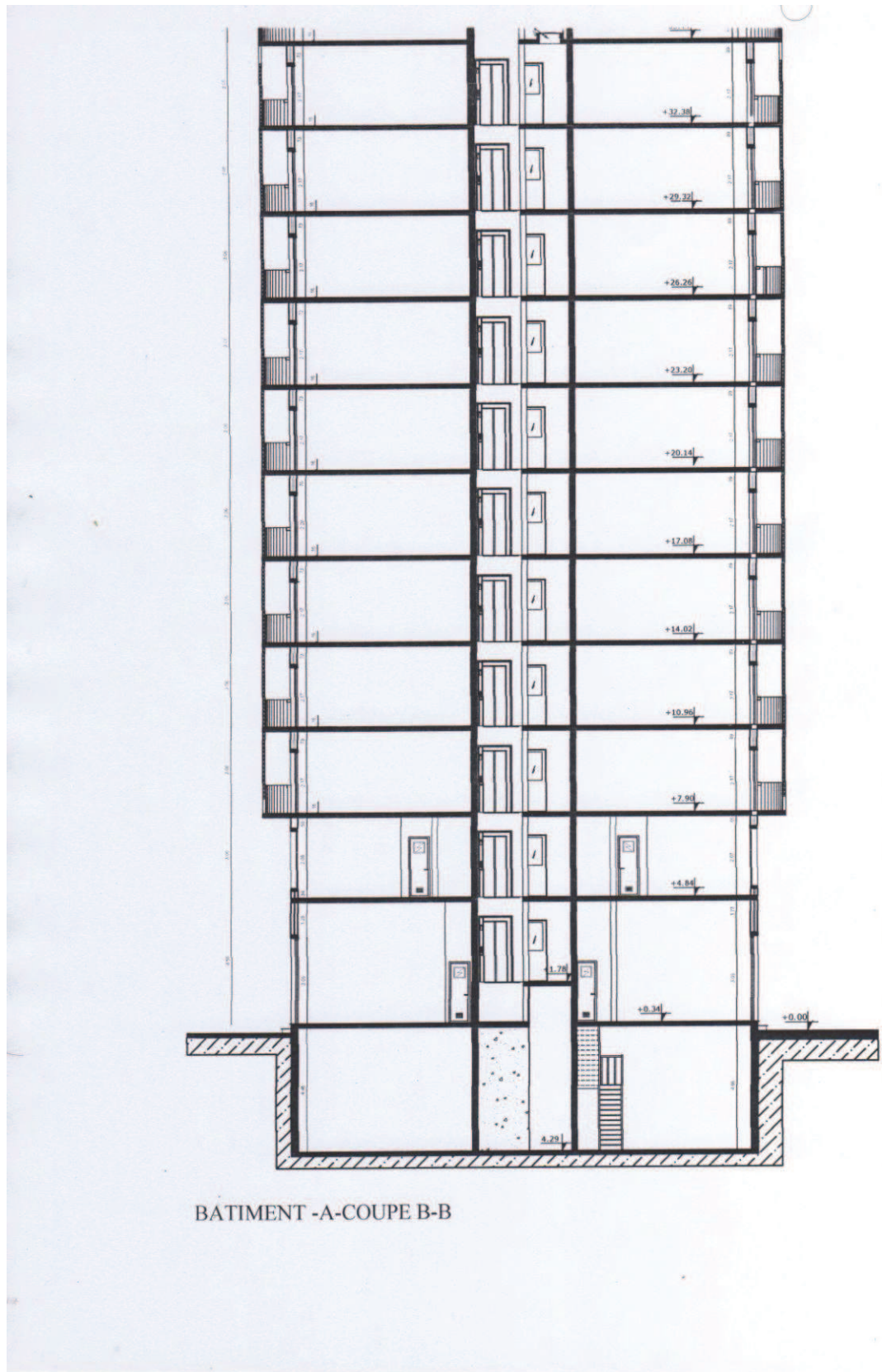


Figure I.4. Coupe transversale du bâtiment

#### **1.2.4 Planchers**

Ce sont des diaphragmes rigides d'une faible épaisseur par rapport aux autres dimensions. Les planchers dans le cas de cette étude sont des dalles pleines en béton armé.

#### **1.2.5 Maçonnerie**

La maçonnerie la plus utilisée en Algérie est la brique en terre cuite. Les murs de façades sont des murs en briques en double cloison d'une épaisseur de 25cm, pour une meilleure isolation. Les murs de séparation intérieurs (cloisons simples) sont en briques d'une épaisseur de 10 cm.

#### **1.2.6 Les revêtements**

Pour les planchers on prépare une couche de mortier sur laquelle on place une dalle-de-sol. Les murs sont revêtus par une couche d'enduit spécial (GRANITEX).

#### **1.2.7 Terrasse**

La terrasse du bâtiment est non accessible. Elle comporte des pentes de 1,5% qui donnent sur des gargouilles, et de trous de ventilation.

#### **1.2.8 Escaliers**

Les escaliers sont de type droit avec un, deux ou quatre volées et un ou deux paliers de repos. Ils sont coulés sur place.

#### **1.2.9 Ascenseur**

L'ascenseur utilisé a une capacité de charge de 630 Kg soit le poids de huit (8) personnes avec une vitesse de 1 m/s.

#### **1.2.10 Acrotère**

Au niveau de la terrasse, le bâtiment est entouré d'un acrotère en béton armé de 60 cm de hauteur et de 10 cm d'épaisseur.

#### **1.2.11 Mur décoratif**

C'est un mur en béton armé d'une épaisseur de 15 cm et d'une hauteur de 1m.

### **1.3 Caractéristiques mécaniques des matériaux**

Les caractéristiques des matériaux doivent être conformes aux règles de conception et de calcul des structures en béton armé.

#### **1.3.1 Béton**

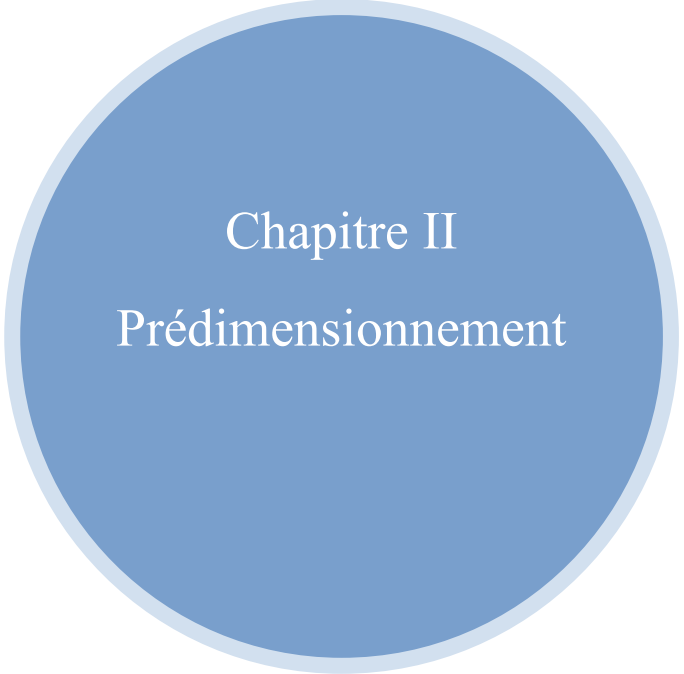
Le béton utilisé pour la construction du bâtiment est dosé à  $375 \text{ Kg/m}^3$  et sa résistance à la compression est de 25 MPa.

#### **1.3.2 Armatures**

On utilise deux types d'armatures, des treillis soudés de nuance FeE240 pour le ferrailage des planchers et des armatures en acier FeE400 pour les autres éléments de la construction.

#### **1.3.3 Sol**

Le sol sur lequel sera implanté le bâtiment est un sol meuble d'une contrainte admissible de 1,83 bars.



Chapitre II  
Prédimensionnement

## 2.1 Introduction

Lors du stade de la conception d'une structure, il est utile de connaître les ordres de grandeurs des dimensions de celle-ci, c'est pour cela qu'on utilise une série de lois empiriques connues sous le nom de formules de prédimensionnement.

## 2.2 Prédimensionnement des planchers

Les planchers du bâtiment a étudié sont des dalles pleines en béton armé. Ils délimitent les niveaux du bâtiment et transmettent les charges et les surcharges aux éléments porteurs tout en garantissant l'isolation phonique et thermique.

La portée de la dalle dans les sens (x-x) et (y-y) est un facteur fondamental pour détermination l'épaisseur de la dalle qui s'obtient comme suit :

$$\alpha = \frac{L_x}{L_y} \text{ avec } L_x < L_y$$

- Si  $\alpha \geq 0,4$  la dalle porte sur deux sens alors  $\frac{l_x}{40} \leq h \leq \frac{l_x}{30}$ .
- Si  $\alpha < 0,4$  la dalle porte dans un seul sens  $\frac{l_x}{25} \leq h \leq \frac{l_x}{20}$ .

On a deux cas à étudier :

1<sup>er</sup> cas :  $L_x = 330$  cm avec  $\alpha \geq 0,4$  ce qui nous donne  **$8,25 \leq h \leq 11$  cm**

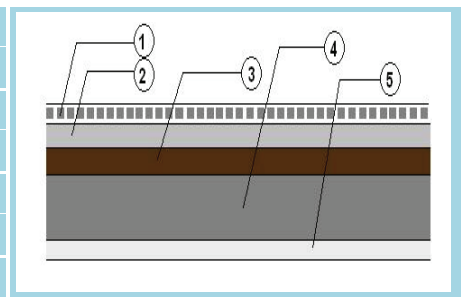
2<sup>ème</sup> cas :  $L_x = 330$  cm avec  $\alpha < 0,4$  ce qui nous donne  **$13,2 \leq h \leq 16,5$  cm**

On adoptera une épaisseur  **$h = 16$  cm**.

## 2.3 Evaluation des charges et des surcharges

### 2.3.1 Planchers courants

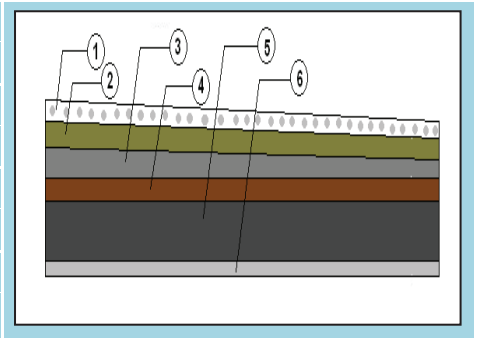
	Couche	$\rho$ [Kg /m <sup>3</sup> ]	e [cm]	G [kN/m <sup>2</sup> ]
1	Dalle de sol	1800	1,5	0,27
2	Mortier de ciment	2000	2,0	0,40
3	Couche de sable	2000	2,0	0,40
4	Dalle pleine	2500	16	4,00
5	Enduit de plâtre	1330	1,5	0,20
				<b>5,27</b>



**Tableau II.1.** Charge permanente due au plancher courant

### 2.3.2 Plancher terrasse

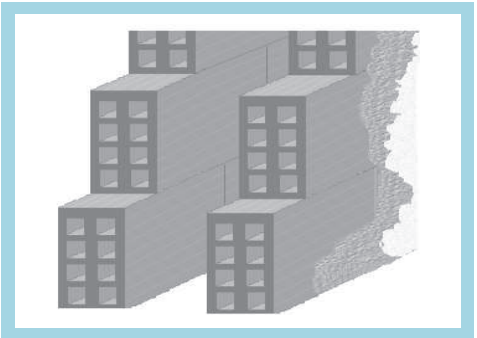
	Couche	$\rho$ [Kg /m <sup>3</sup> ]	e [cm]	G [kN/m <sup>2</sup> ]
1	Gravillons roulés	1500	4,0	0,60
2	Étanchéité	600	2,0	0,12
3	Forme de pente	2000	10,0	2,00
4	Plaque de liège	750	4,0	0,30
5	Dalle pleine	2500	16	4,00
6	Enduit de plâtre	1330	1,5	0,20
				<b>7,22</b>



**Tableau II.2.** Charge permanente due au plancher terrasse

### 2.3.3 Cloisons doubles

	Couche	$\rho$ [Kg /m <sup>3</sup> ]	e [cm]	G [kN/m]
1	Enduit de ciment	1330	1,5	0,61
2	Enduit de plâtre	1330	1,5	0,61
3	Brique creuse	900	10,0	2,75
4	Lame d'air	-	5,0	-
5	Brique creuse	900	10,0	2,75
6	Enduit de ciment	1330	1,5	0,61
				<b>7,33</b>



**Tableau II.3.** Charge permanente due aux cloisons doubles

### 2.3.4 Balcons

Couche	$\rho$ [Kg /m <sup>3</sup> ]	e [cm]	G [kN/m <sup>2</sup> ]
Dalle de sol	1800	1,5	0,27
Mortier de ciment	2000	2,0	0,40
Couche de sable	2000	2,0	0,40
Dalle pleine	2500	16	4,00
Enduit de ciment	1330	1,5	0,20
			<b>5,27</b>

**Tableau II.4.** Charge permanente due au balcon

## 2.3.5 Escalier

## Volée

Couche	$\rho$ [Kg /m <sup>3</sup> ]	e [cm]	G [kN/m <sup>2</sup> ]
Carrelage	2200	2	0,44
Mortier de ciment	2000	2	0,40
Lit de sable	2000	2	0,40
Paillasse	2500	12	3,66
Contre marche	2200	17	1,87
Garde corps	*	*	0,2
Enduit de ciment	2000	2	0,40
			<b>7,37</b>

Tableau II.5. Charge permanente due à la volée d'escalier

## Palier de repos

Couche	$\rho$ [Kg /m <sup>3</sup> ]	e [cm]	G [kN/m <sup>2</sup> ]
Dalle de sol	1800	1,5	0,27
Mortier de ciment	2000	2	0,40
Lit de sable	2000	2	0,40
Dalle pleine	2500	16	4,00
Enduit de ciment	2000	17	0,40
			<b>5,47</b>

Tableau II.6. Charge permanente due au palier de repos

## 2.3.6 Surcharges d'exploitation

	Niveau courant	Terrasse non accessible	Balcon privé	Escalier	Locaux commerciaux	Bureaux
Q [kN/m <sup>2</sup> ]	1,5	1,0	3,5	2,5	2,5	2,5

Tableau II.7. Surcharges sur les planchers



## 2.4 Prédimensionnement des escaliers

### 2.4.1 Rez-de-chaussée et étages courants

On a deux types d'escaliers au niveau du RDC et des étages courants.

**Le premier type :** escalier droit à deux volées et un palier de repos assurant la transition d'un niveau à l'autre. La hauteur d'étage  $h_e = 306$  cm et le giron  $g = 25$  cm,  $h$  est la hauteur entre deux marches successives.

- Pour  $h = 17$  cm on aura 9 marches par volées, donc une hauteur totale de l'escalier qui sera égale à celle de l'étage.
- La ligne de foulée sera égale à  $l = g(n-1) = 25 \times (9-1) = 200$  cm.
- L'inclinaison de l'escalier d'un angle  $\alpha$ , tel que  $\tan \alpha = \frac{17 \times 9}{200} = 0,765$  donc  $\alpha = 37,41^\circ$ .
- La longueur de l'escalier sera égale à :  $L = \frac{153}{\sin \alpha} = 251,8$  cm.
- Condition de résistance :  $\frac{L}{30} \leq e \leq \frac{L}{20}$  donc  $e = 12$  cm.

**Le second type :** escalier droit à une volée et un palier de repos assurant la transition du niveau (+0,34) au niveau (+1,78) donc une hauteur de transition  $h_t = 1,44$  m le giron  $g = 30$  cm,  $h$  est la hauteur entre deux marches successives.

- Pour  $h = 16$  cm on aura neuf (9) marches par volées, donc une hauteur totale de l'escalier égale à 1,44 m.
- La ligne de foulée sera égale à  $l = g(n-1) = 30 \times (9-1) = 240$  cm.
- L'inclinaison de l'escalier d'un angle  $\alpha$ , tel que  $\tan \alpha = \frac{16 \times 9}{240} = 0,60$  donc  $\alpha = 31^\circ$ .
- La longueur de l'escalier sera égale à :  $L = \frac{144}{\sin \alpha} = 280$  cm.
- Condition de résistance :  $\frac{L}{30} \leq e \leq \frac{L}{20}$  donc  $e = 12$  cm.

### 2.4.2 Sous-sol

On a deux types d'escalier qui assurent la transition du niveau (+0,34) au sous-sol, la hauteur du sous sol étant égale à  $h_s=4,63\text{m}$  et le giron est égal à  $g=25\text{ cm}$ ,  $h$  est la hauteur entre deux marches successives.

**Le premier type** : escaliers droits à quatre volées et trois paliers de repos.

- Pour  $h=17,8\text{ cm}$  on aura (26) marches réparties comme suit :  
(7) marches pour la première volée, (6) pour la seconde volée, (7) pour la troisième volée et (6) pour la quatrième volée, donc une hauteur totale de l'escalier qui sera égale à 4,63 m.
- La ligne de foulée sera égale à  $l_1=l_3=g(n-1)=25 \times (7-1)=150\text{ cm}$ .  
 $l_2=l_4=g(n-1)=25 \times (6-1)=125\text{ cm}$ .
- L'inclinaison de l'escalier d'un angle  $\alpha$ , tel que :  
 $\tan \alpha_1 = \tan \alpha_3 = \frac{17,8 \times 7}{150} = 0,830$  donc  $\alpha_1 = \alpha_3 = 39,71^\circ$ .  
 $\tan \alpha_2 = \tan \alpha_4 = \frac{17,8 \times 6}{125} = 0,854$  donc  $\alpha_2 = \alpha_4 = 40,51^\circ$ .
- La longueur de la volée sera égale à :  
 $L_1 = L_3 = \frac{124,6}{\sin \alpha_1} = 195\text{ cm}$ .  
 $L_2 = L_4 = \frac{106,8}{\sin \alpha_2} = 164\text{ cm}$ .
- Condition de résistance :  
 $\frac{L_1}{30} \leq e_1 \leq \frac{L_1}{20}$  donc  $e_1=8\text{ cm}$ .  
 $\frac{L_2}{30} \leq e_2 \leq \frac{L_2}{20}$  donc  $e_2=8\text{ cm}$ .

**Le second type** : escaliers droits à deux volées et un palier de repos

- Pour  $h=17\text{ cm}$  on aura treize (13) marches pour chaque volée donc une hauteur totale de l'escalier qui sera égale à 4,63 m.
- $l=g(n-1)=25 \times (13-1)=300\text{ cm}$ .
- $\tan \alpha = \frac{221}{300}=0,73$  donc  $\alpha=36^\circ$
- $L = \frac{221}{\sin \alpha} = 376\text{ cm}$
- Condition de résistance :  $e = \frac{L}{30} \leq e \leq \frac{L}{20}$  donc  $e=15\text{ cm}$ .

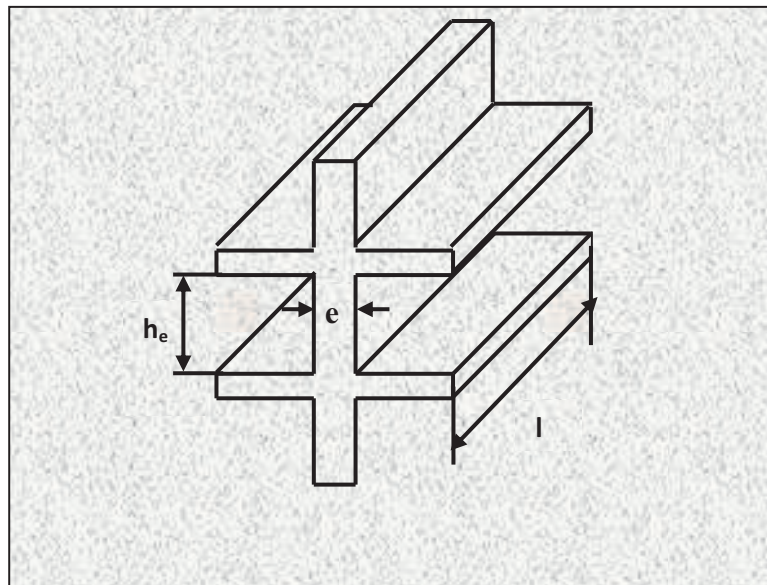
## 2.5 Prédimensionnement des voiles

Prédimensionnement des murs en béton armé justifiés par l'article 7.7.1 du RPA99, les voiles servent à contreventer le bâtiment en reprenant les efforts horizontaux (séisme et vent).

L'article 7.7.1 du RPA99 modifié en 2003 définit les voiles comme suit :

Les voiles sont des éléments satisfaisant à la condition  $L \geq 4a$ . Dans le cas contraire, ces éléments sont considérés comme des éléments linéaires.

En plus d'après le RPA99 l'épaisseur minimale d'un voile est de 15 cm, cette épaisseur est déterminée par des formules empiriques en fonction de la hauteur d'étage ( $h_e$ ) et des conditions d'abouts du voile.



**Figure II.6.** Voiles avec deux abouts

Soit :  $e \geq \text{Max} \left( \frac{h_e}{25}; \frac{h_e}{22}; \frac{h_e}{20} \right)$  ce qui nous donne  $e=20$  cm pour les étages courants et  $e=25$  cm pour les voiles du sous-sol et du rez-de-chaussée.

## 2.6 Descente de charges

### 2.6.1 Dégression des surcharges d'exploitation

La loi de dégression des charges s'applique aux bâtiments à grand nombre de niveaux ( $>5$ ), où les occupations des divers niveaux peuvent être considérées comme indépendantes. Les niveaux occupés par des locaux industriels ou commerciaux, ne sont pas comptés dans le nombre d'étages intervenant dans la loi de dégression, les charges sur ces planchers sont prises sans abattement.

Le nombre minimum de niveaux pour tenir compte de la loi de dégression est de (05), ce qui est le cas du bâtiment étudié.

Le bâtiment a un usage multiple (habitation, commerces, bureaux).

On note :

$Q_0 = 1,00 \text{ kN/m}^2$  terrasse non accessible

$Q_i = 1,50 \text{ kN/m}^2$  niveau courants

$Q_j = 2,50 \text{ kN/m}^2$  bureaux

$Q_k = 2,50 \text{ kN/m}^2$  commerces

Sous terrasse .....  $Q_0$ .

Sous étage 1 .....  $Q_0 + Q_1$ .

Sous étage 2 .....  $Q_0 + 0,95 (Q_1 + Q_2)$ .

Sous étage 3 .....  $Q_0 + 0,90 (Q_1 + Q_2 + Q_3)$ .

Sous étage 4 .....  $Q_0 + 0,85 (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)$ .

Sous étage n .....  $Q_0 + \frac{3+n}{2n} (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n)$  Pour  $n \geq 5$ .

		Q [kN/m <sup>2</sup> ]
Terrasse	Q <sub>0</sub>	1,0
10 <sup>ème</sup> étage	Q <sub>0</sub> + Q <sub>1</sub>	2,5
9 <sup>ème</sup> étage	Q <sub>0</sub> + 1,90 Q <sub>1</sub>	3,85
8 <sup>ème</sup> étage	Q <sub>0</sub> + 2,70 Q <sub>1</sub>	5,05
7 <sup>ème</sup> étage	Q <sub>0</sub> + 3,40 Q <sub>1</sub>	6,10
6 <sup>ème</sup> étage	Q <sub>0</sub> + 4,00 Q <sub>1</sub>	7,00
5 <sup>ème</sup> étage	Q <sub>0</sub> + 4,50 Q <sub>1</sub>	7,75
4 <sup>ème</sup> étage	Q <sub>0</sub> + 5,00 Q <sub>1</sub>	8,50
3 <sup>ème</sup> étage	Q <sub>0</sub> + 5,50 Q <sub>1</sub>	9,25
2 <sup>ème</sup> étage	Q <sub>0</sub> + 6,00 Q <sub>1</sub>	10,00
1 <sup>er</sup> étage	Q <sub>0</sub> + 6,00 Q <sub>1</sub> + Q <sub>2</sub>	12,50
RDC	Q <sub>0</sub> + 6,00 Q <sub>1</sub> + Q <sub>2</sub> + Q <sub>3</sub>	15,00
SS	Q <sub>0</sub> + 7,50 Q <sub>1</sub> + Q <sub>2</sub> + 1,9Q <sub>3</sub>	17,25
<b>Q =</b>		<b>18,25</b>

Tableau II.8. Dégression des surcharges d'exploitation

### 2.6.2 Evaluation des charges

Niveau	Valeur cumulée des charges et des surcharges		Valeur non cumulée des charges et des surcharges	
	Q [kN/m <sup>2</sup> ]	G [kN/m <sup>2</sup> ]	Q [kN/m <sup>2</sup> ]	G [kN/m <sup>2</sup> ]
terrasse	1,0	7,22	1,00	7,22
10	2,5	12,49	1,50	5,27
9	3,85	17,76	1,50	5,27
8	5,05	23,03	1,50	5,27
7	6,10	28,30	1,50	5,27
6	7,00	33,57	1,50	5,27
5	7,75	38,84	1,50	5,27
4	8,50	44,11	1,50	5,27
3	9,25	49,38	1,50	5,27
3	10,00	54,65	1,50	5,27
2	12,50	59,92	2,50	5,27
RDC	15,00	65,19	2,50	5,27
SS	17,25	70,46	2,50	5,27

Tableau II.9. Evaluation des charges

## 2.7 Détermination du poids de la structure

### 1. Poids des voiles

#### 1.1 Sous-sol

Voile	Nombre	Longueur[m]	Hauteur[m]	Epaisseur[m]	Poids(MN)
<b>1</b>	2	16,50	4,63	0,25	0,955
<b>2</b>	14	3,80	4,63	0,25	1,540
<b>A</b>	2	26,80	4,63	0,25	1,550
<b>B</b>	4	3,5	4,63	0,25	0,405
<b>C</b>	2	14	4,63	0,25	0,810
					<b>5,26</b>

**Tableau II.10.** Poids des voiles du sous-sol

#### 1.2 RDC

Voile	Nombre	Longueur[m]	Hauteur[m]	Epaisseur[m]	Poids(MN)
<b>1</b>	2	10	4,50	0,25	0,562
<b>2</b>	14	3,80	4,50	0,25	1,496
<b>B</b>	4	3,50	4,50	0,25	0,393
<b>C</b>	2	14	4,50	0,25	0,787
					<b>3,238</b>

**Tableau II.11.** Poids des voiles du RDC

#### 1.3 Étages courants

Voile	Nombre	Longueur[m]	Hauteur[m]	Epaisseur[m]	Poids(MN)
<b>1</b>	2	10	3,06	0,20	0,306
<b>2</b>	14	3,80	3,06	0,20	0,813
<b>B</b>	4	3,50	3,06	0,20	0,214
<b>C</b>	2	14	3,06	0,20	0,428
					<b>1,761</b>

**Tableau II.12.** Poids des voiles des étages courants

## 2. Planchers

Niveaux	G (MN)
Terrasse	2,98
10 <sup>ème</sup> étage	1,77
9 <sup>ème</sup> étage	1,77
8 <sup>ème</sup> étage	1,77
7 <sup>ème</sup> étage	1,77
6 <sup>ème</sup> étage	1,77
5 <sup>ème</sup> étage	1,77
4 <sup>ème</sup> étage	1,77
3 <sup>ème</sup> étage	1,77
2 <sup>ème</sup> étage	1,77
1 <sup>er</sup> étage	1,94
RDC	1,94
SS	1,96

**Tableau II.13.** Poids des planchers des différents niveaux

### 3. Dalle intermédiaire

Cette dalle se trouve entre le RDC et le 1<sup>er</sup> étage, elle se situe à +1,78 m du sol. Sa surface est de 40,26 m<sup>2</sup> donc son poids est  $W = S \cdot (G + 0,2Q) = 0,224$  MN.

### 4. Cage d'ascenseur

La Cage d'ascenseur a une hauteur  $h = 36,46$  m, son poids est  $W = 0,619$  MN.

### 5. Loge sur la terrasse

Cette loge est constituée par une extension des voiles et un mur en cloison double, son poids  $W = 0,191$  MN.

### 6. Acrotère

Se trouvant sur la périphérie de la terrasse, son poids est  $W = 0,496$  MN.

Niveaux	Voiles	Planchers	Façades	Escalier	Balcons	Acrotère	W[MN]
10	1,761	3,060	0,196		0,105	0,496	5,618
9	1,761	1,870	0,196	0,035	0,105	*	3,967
8	1,761	1,870	0,196	0,035	0,105	*	3,967
7	1,761	1,870	0,196	0,035	0,105	*	3,967
6	1,761	1,870	0,196	0,035	0,105	*	3,967
5	1,761	1,870	0,196	0,035	0,105	*	3,967
4	1,761	1,870	0,196	0,035	0,105	*	3,967
3	1,761	1,870	0,196	0,035	0,105	*	3,967
2	1,761	1,870	0,196	0,035	0,105	*	3,967
1	1,761	2,130	0,069	0,035	*	*	3,995
RDC	3,238	2,120	0,069	0,096	*	*	5,523
SS	5,260	2,150	*	0,102	*	*	7,512
							<b>54,384</b>

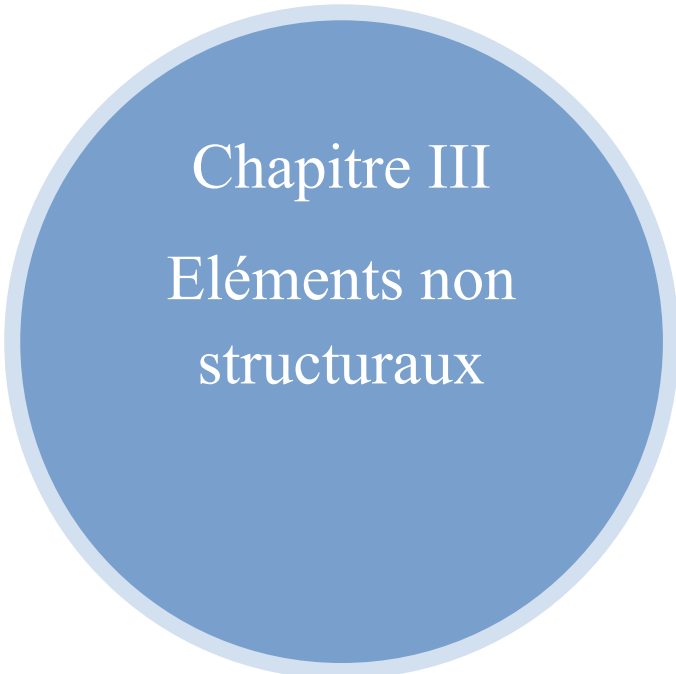
**Tableau II.14.** Récapitulatif des charges

$$W = 54,384 \text{ MN} + W_{\text{loge}} + W_{\text{cage}} + W_{\text{dalle intermédiaire}} = 55,42 \text{ MN}$$

**Remarque :** le poids du bâtiment est calculé selon les exigences du RPA99 (2003) :

$$W = G + \beta Q = G + 0.2 Q.$$





Chapitre III  
Eléments non  
structuraux

### 3.1 Introduction

Les éléments structuraux n'apportant pas de contribution significative à la résistance aux actions sismique d'ensemble, à leurs distributions peuvent être considérés comme éléments secondaires, à condition que leur résistance à ces actions soit effectivement négligée et qu'ils ne soient soumis du fait des déformations imposées qu'à des sollicitations négligeables vis-à-vis des sollicitations d'autres origines.

### 3.2 Acrotère

#### 3.2.1 Définition

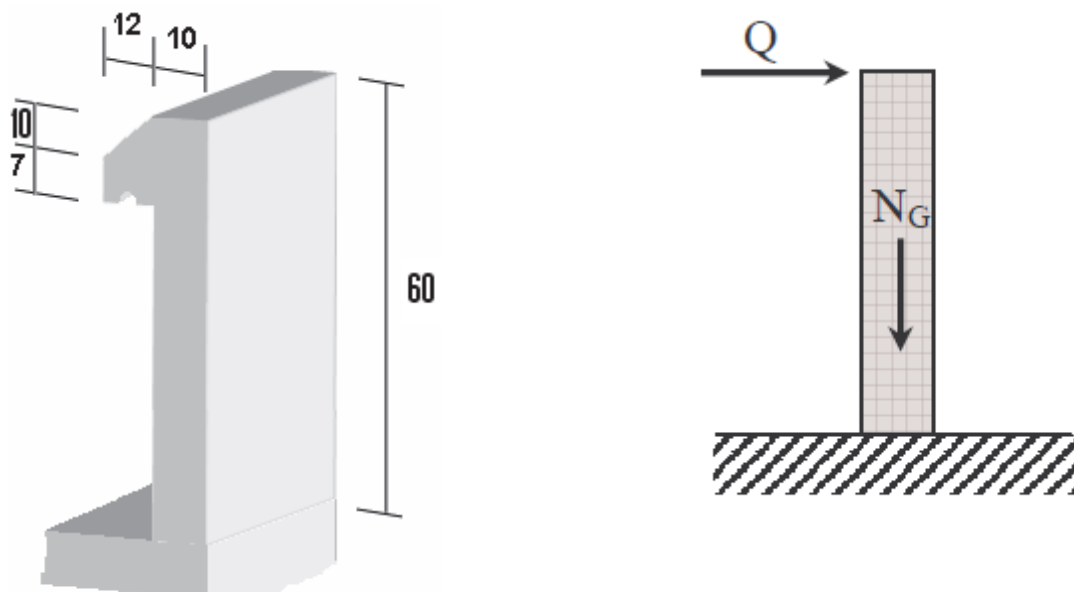
L'acrotère est un élément structural réalisé en béton armé et entourant la terrasse inaccessible du bâtiment. Il a pour rôle la protection des ouvriers lors de travaux de maintenance.

Il est assimilé à une console encastree au plancher terrasse. La section la plus dangereuse se trouve au niveau de l'encastrement.

L'acrotère est soumis à son poids propre ( $G$ ) qui donne un effort normal  $N_G$  et une charge d'exploitation horizontale non pondérée estimée à 1,00kN provoquant un moment de flexion, les armatures sont des FeE 240.

#### 3.2.2 Etude de l'acrotère

Le calcul s'effectue pour une bande de 1ml en flexion composée. Soit une section de ( $10 \times 100 \text{ cm}^2$ ).



**Figure III.1.** Acrotère : détails et modélisation

<b>G [kN]</b>	<b>(0,6*0,1)+ (0,07*0,12) + [(0,1*0,12)/2]</b>		<b>1,86</b>
<b>Q [kN]</b>	1,00		
	<b>N [kN]</b>	<b>M [kN.m]</b>	<b>T [kN]</b>
<b>ELU</b>	2,51	0,9	1,5
<b>ELS</b>	1,86	0,6	1,0

**Tableau III.1.** Efforts agissants sur l'acrotère

### A. Calcul à l'ELU

$$e_0 = M_u / N_u = 0,358 \text{ m}$$

$$e_a = e_0 + [(h/2) - d] = 0,388 \text{ m.}$$

Le centre de pression se trouve en dehors de la section donc elle est partiellement comprimée.

$$M_u = N_u * e_a = 0,973 \text{ k N.m}$$

$\mu = M_u / b d^2 f_{bu} = 0,0104 < \mu_{lim} = 0,392$  Les armatures de compression ne sont donc pas nécessaires.

Donc :

$$\text{La section fictive des armatures } A = [M_u / z * \sigma_s] = 0,64 \text{ cm}^2.$$

$$\text{La section d'armatures réelle } A = 0,64 - \frac{N_u}{\sigma_s} = 0,52 \text{ cm}^2.$$

### B. Condition de non-fragilité

$$A \geq 0,23 b d \frac{f_t e - 0,455 d}{f_e e - 0,185 d} = 2,15 \text{ cm}^2. \text{ Avec } e = 35,8 \text{ cm et } f_t = 2,1 \text{ MPa.}$$

La section trouvée est supérieure à la section précédente donc on adoptera pour l'instant  $A = 2,15 \text{ cm}^2$ .

### C. Vérification au cisaillement

$$\tau'_u = \min \left( \frac{0,15 f_c 28}{\gamma b}; 4 \text{ MPa} \right) = 2,5 \text{ MPa.}$$

$$\tau_u = \frac{V_u}{b * d} = \frac{1,5}{0,08 * 0,1} = 0,1875 \text{ MPa.}$$

$\tau_u < \tau'_u$  condition vérifiée.

**D. Calcul à l'ELS.**

Comme l'acrotère est exposé aux intempéries on considère que la fissuration est préjudiciable.

$$\sigma'_{bc} = 0,6 f_{c28} = 15 \text{ MPa.}$$

$$\sigma'_s = \min \left\{ \frac{2}{3} f_e ; 110 \sqrt{\eta f_t} \right\} = 160 \text{ MPa} \quad \text{avec} \quad \eta = 1,6 \text{ et } f_t = 2,1 \text{ MPa.}$$

$$x = (15 \sigma'_{bc} / (15 \sigma'_{bc} + \sigma'_s)) \times d = 0,042 \text{ m.}$$

$$z = d - x/3 = 0,066 \text{ m.}$$

$$M' = 1/2 \times b \times z \times \sigma'_{bc} = 0,0207 \text{ MN.m.}$$

$M_{ser} < M'$  les armatures de compression ne sont donc pas nécessaires.

$$A = 1 / \sigma_{st} ((M_{a ser} / Z) - N_{ser}) = 0,35 \text{ cm}^2.$$

**E. Composante horizontale de la charge sismique**

D'après le **RPA99V2003** (Article 6.2.3) les éléments non structuraux doivent être calculés sous l'action des forces horizontales déterminées par la formule suivante :

$$F_p = 4 A C_p W_p$$

$$A = 0,25 \text{ (coefficient d'accélération de zone).}$$

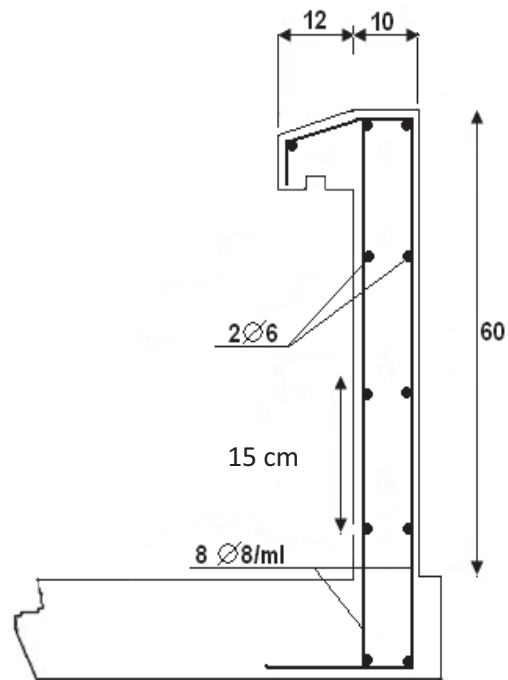
$$C_p = 0,80 \text{ (facteur de force horizontale)}$$

$$W_p = 1,86 \text{ kN/ml (poids de l'acrotère)}$$

$$\text{D'où : } F_p = 4 \times 0,25 \times 0,80 \times 1,86$$

$$F_p = 1,48 \text{ kN/ml} < 1,5 * 1 \text{ kN}$$

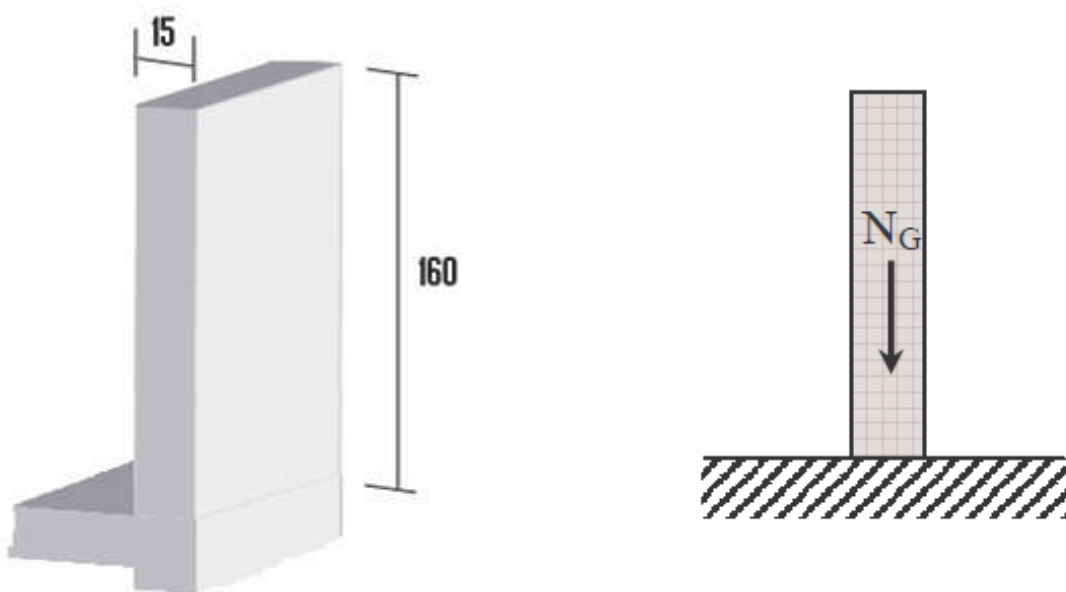
### F. Ferrailage



**Figure III.2.** Schéma de ferrailage de l'acrotère

### 3.2.3 Etude du mur décoratif

C'est un mur en béton armé de hauteur  $h=1,6\text{m}$  et d'une épaisseur  $e=15\text{ cm}$ . Il sera calculé en compression simple sous l'effet de son poids propre vu sa hauteur.



**Figure III. 3.** Mur décoratif : détails et modélisation

<b>G [kN]</b>	<b>(1,6*0,15)+ (0,07*0,12) + [(0,1*0,12)/2]</b>		<b>6,36</b>
<b>Q [kN]</b>	<b>0,00</b>		
	<b>N [kN]</b>	<b>M [kN.m]</b>	<b>T [kN]</b>
<b>ELU</b>	<b>8,58</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
<b>ELS</b>	<b>6,36</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>

**Tableau III.2.** Efforts agissants sur le mur décoratif

### A. Calcul à l'ELU

$\sigma_{bc} = \frac{Nu}{bd} = \frac{8,58}{0,15*1} = 0,0572 \text{ MPa} < \sigma'_{bc}$ , Le béton seul peut reprendre l'effort de compression dû à son poids propre. Il sera ferrailé avec la section minimale.

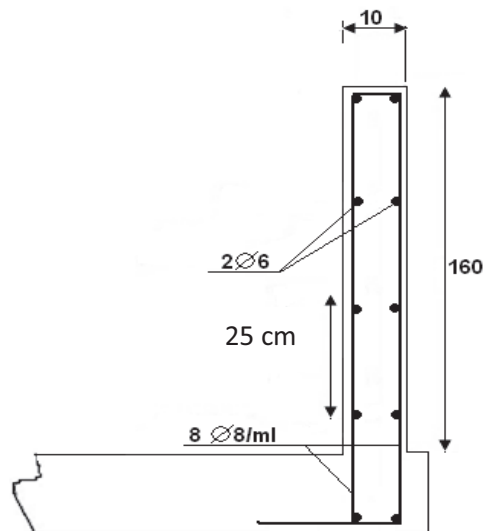
$$A_s = 0,15\% b h = 0,15\% \times 15 \times 100 = 2,25 \text{ cm}^2.$$

### B. Condition de non-fragilité

$$A \geq 0,23 bd \frac{f_t}{f_e} = 3,22 \text{ cm}^2 \quad f_t = 2,1 \text{ MPa}.$$

La section trouvée est supérieure à la section précédente donc on adoptera  $A=3,22 \text{ cm}^2$ .

### C. Ferrailage



**Figure III.4.** Schéma de ferrailage du mur décoratif

### 3.3 Escaliers

	G [kN/m <sup>2</sup> ]	Q [kN/m <sup>2</sup> ]	ELU [kN/m <sup>2</sup> ]	ELS [kN/m <sup>2</sup> ]
Palier	5,47	2,5	11,13	7,97
Paillasse	7,37	2,5	13,7	9,89

Tableau III.3. Charges et surcharges dans les escaliers

#### 3.3.1 Type 1 : Escalier à deux volées et un palier de repos

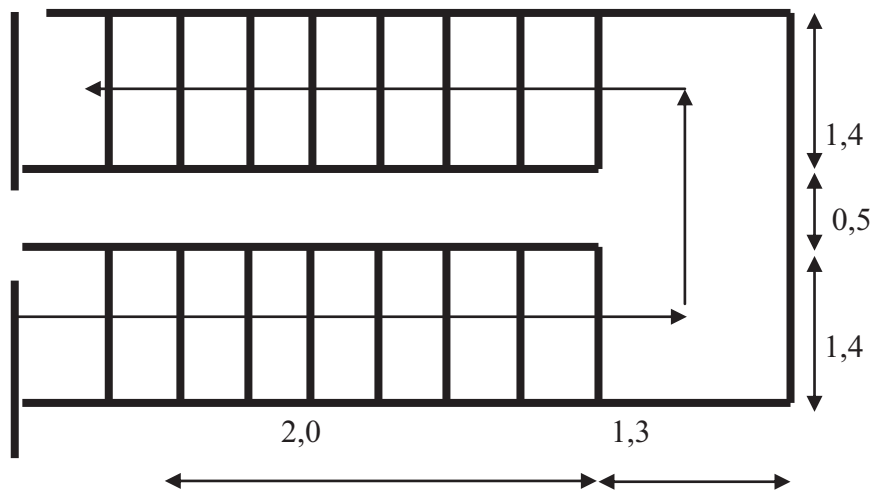


Figure III.5. Escalier type 1

##### A. Calcul de la volée

La volée est encadrée d'un seul côté et elle est soumise à la flexion simple. L'enrobage des armatures est de 1 cm.

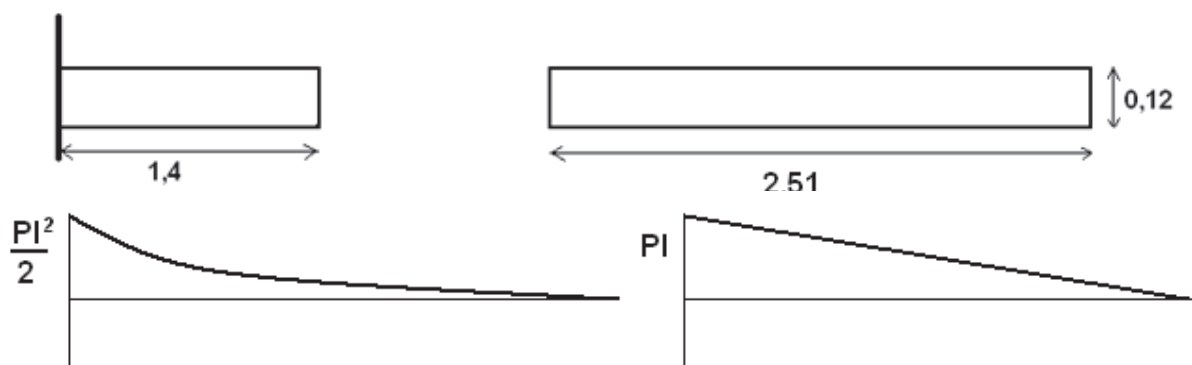


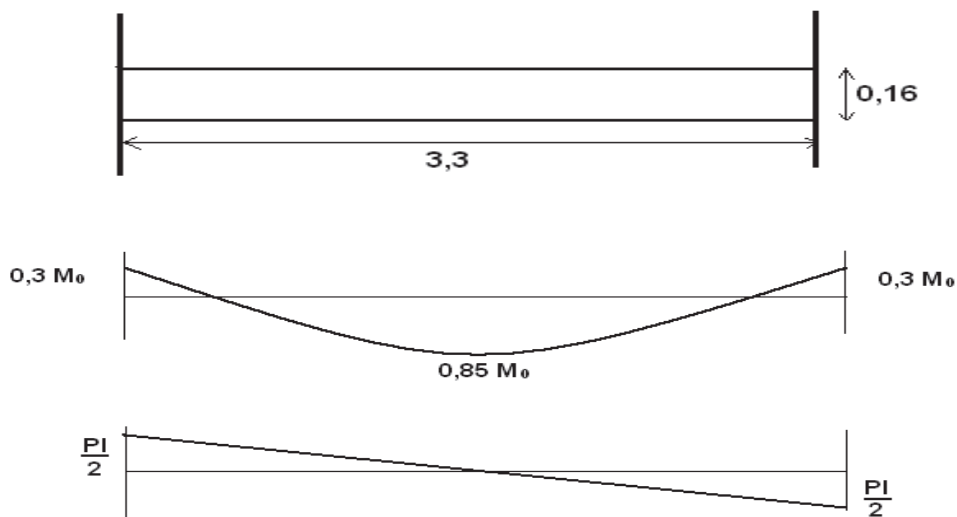
Figure III.6. Volée de l'escalier type 1, modélisation et diagrammes

ELU	$M_u$ [kN.m]	$V_u$ [kN]	Pivot	$A_s$ [cm <sup>2</sup> ]	$\tau_u$ [MPa]
	13,426	19,18	A	3,66	0,16
ELS	$M_{ser}$ [kN.m]	$Y$ [cm]	$I$ [10 <sup>-5</sup> m <sup>4</sup> ]	$\sigma_{bc}$ [MPa]	$\sigma_s$ [MPa]
	9,7	0,031	4,4	6,6	264,7

**Tableau III.4.** Volée de l'escalier type 1, résultats du calcul

### B. Calcul du palier de repos

Le palier de repos sera encasturé des deux côtés et soumis à la flexion simple, avec un enrobage des armatures de 2 cm.



**Figure III.7.** Palier de l'escalier type 1, modélisation et diagrammes

$$Q_u = 11,13 * 1,3 = 14,47 \text{ kN/m}$$

$$M_{0u} = Q_u l^2 / 8 = 19,7 \text{ kN.m}$$

$$V_u = Q_u l / 2 = 23,87 \text{ kN}$$



En travée :

ELU	$M_u$ [kN.m]	$V_u$ [kN]	Pivot	$A_s$ [cm <sup>2</sup> ]	$\tau_u$ [MPa]
	16,74	0	A	3,54	0
ELS	$M_{ser}$ [kN.m]	$Y$ [cm]	$I$ [10 <sup>-5</sup> m <sup>-4</sup> ]	$\sigma_{bc}$ [MPa]	$\sigma_s$ [MPa]
	12	0,034	7,26	5,5	262,5

Tableau III.5. Palier de l'escalier type 1, résultats du calcul en travée

Sur appuis :

ELU	$M_u$ [kN.m]	$V_u$ [kN]	Pivot	$A_s$ [cm <sup>2</sup> ]	$\tau_u$ [MPa]
	5,9	23,87	A	1,22	0,13
ELS	$M_{ser}$ [kN.m]	$Y$ [cm]	$I$ [10 <sup>-5</sup> m <sup>-4</sup> ]	$\sigma_{bc}$ [MPa]	$\sigma_s$ [MPa]
	4,23	0,021	2,92	3,00	258,5

Tableau III.6. Palier de l'escalier type 1, résultats du calcul sur appuis

### C. Schéma de ferrailage

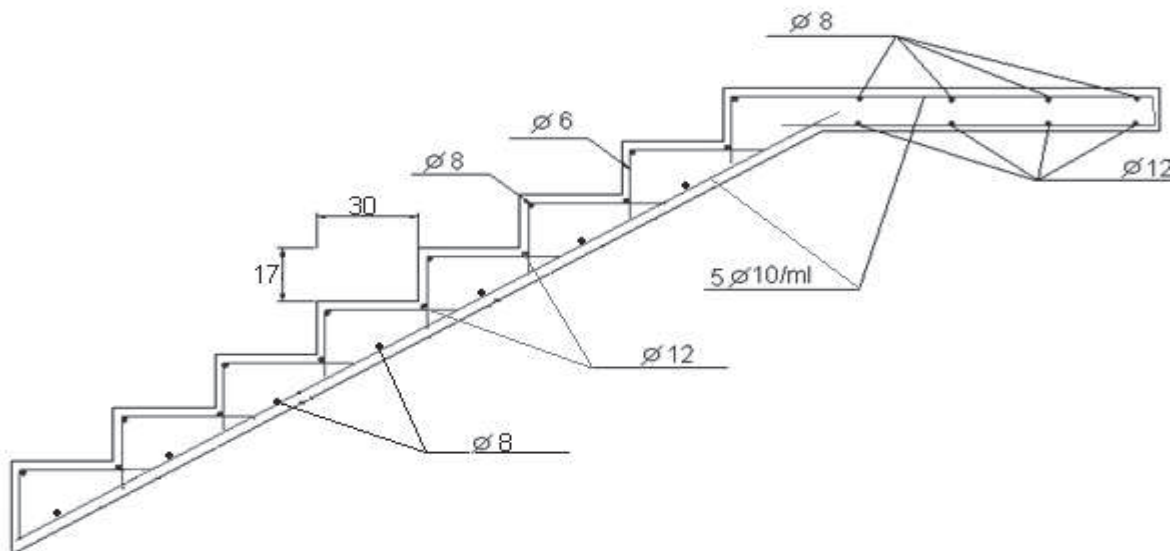


Figure III.8. Ferrailage de l'escalier type 1

### 3.3.2 Type 2 : Escalier à une volée

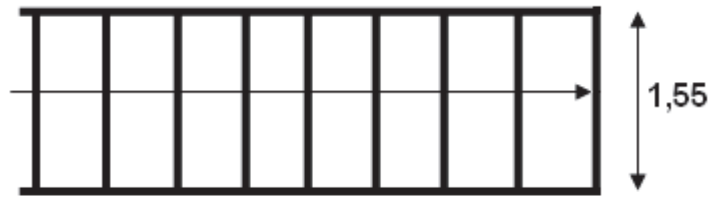


Figure III.9. Escalier type 2 : schéma et détails

La volée est encadrée des deux côtés et elle est soumise à la flexion simple. On calculera une section de (1 m x 0,12 m), avec un enrobage de 1 cm.

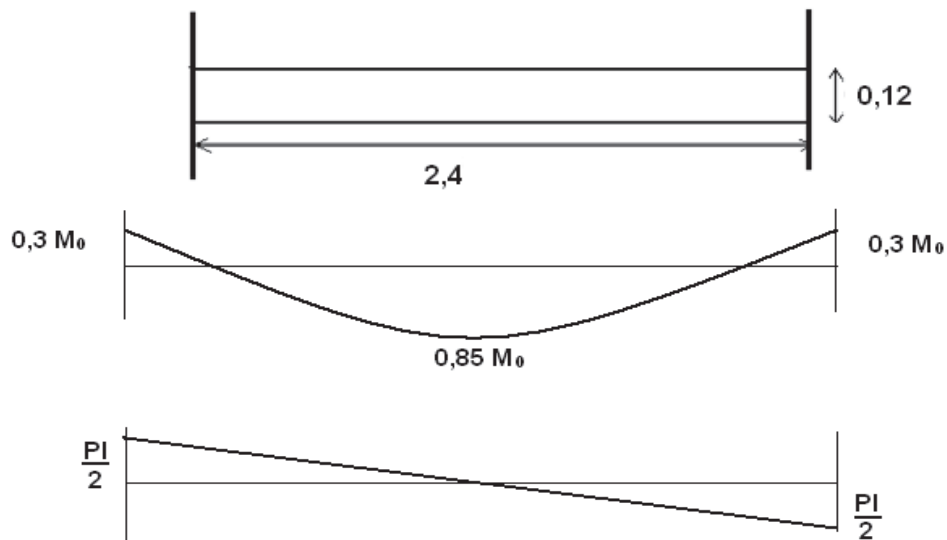


Figure III.10. Escalier type 2, modélisation et diagrammes

$$Q_u = 13,7 * 1 = 13,7 \text{ kN/m}$$

$$M_{0u} = Q_u l^2 / 8 = 9,86 \text{ kN.m}$$

$$V_u = Q_u l / 2 = 16,44 \text{ kN}$$

En travée :

ELU	$M_u$ [kN.m]	$V_u$ [kN]	Pivot	$A_s$ [cm <sup>2</sup> ]	$\tau_u$ [MPa]
	8,38	0	A	2,25	0
ELS	$M_{ser}$ [kN.m]	$Y$ [cm]	$I$ [10 <sup>-5</sup> m <sup>4</sup> ]	$\sigma_s$ [MPa]	$\sigma_s$ [MPa]
	6,05	0,024	2,95	4,9	263,7

Tableau III.7. Escalier type 2, résultats de calcul en travée

Sur appuis :

ELU	$M_u$ [kN.m]	$V_u$ [kN]	Pivot	$A_s$ [cm <sup>2</sup> ]	$\tau_u$ [MPa]
	2,96	16,44	A	0,78	0,117
ELS	$M_{ser}$ [kN.m]	$Y$ [cm]	$I$ [10 <sup>-5</sup> m <sup>4</sup> ]	$\sigma_s$ [MPa]	$\sigma_s$ [MPa]
	2,13	0,015	1,17	2,7	260

Tableau III.8. Escalier type 2, résultats du calcul sur appuis

Schéma de ferrailage

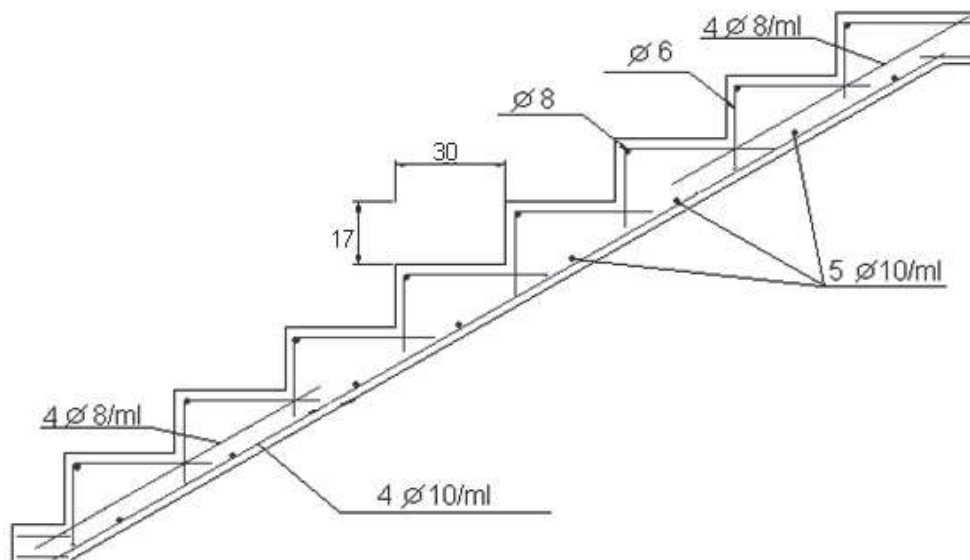


Figure III.11. Ferrailage de l'escalier type 2

### 3.3.3 Type 3 : Escalier à quatre volées et trois paliers de repos

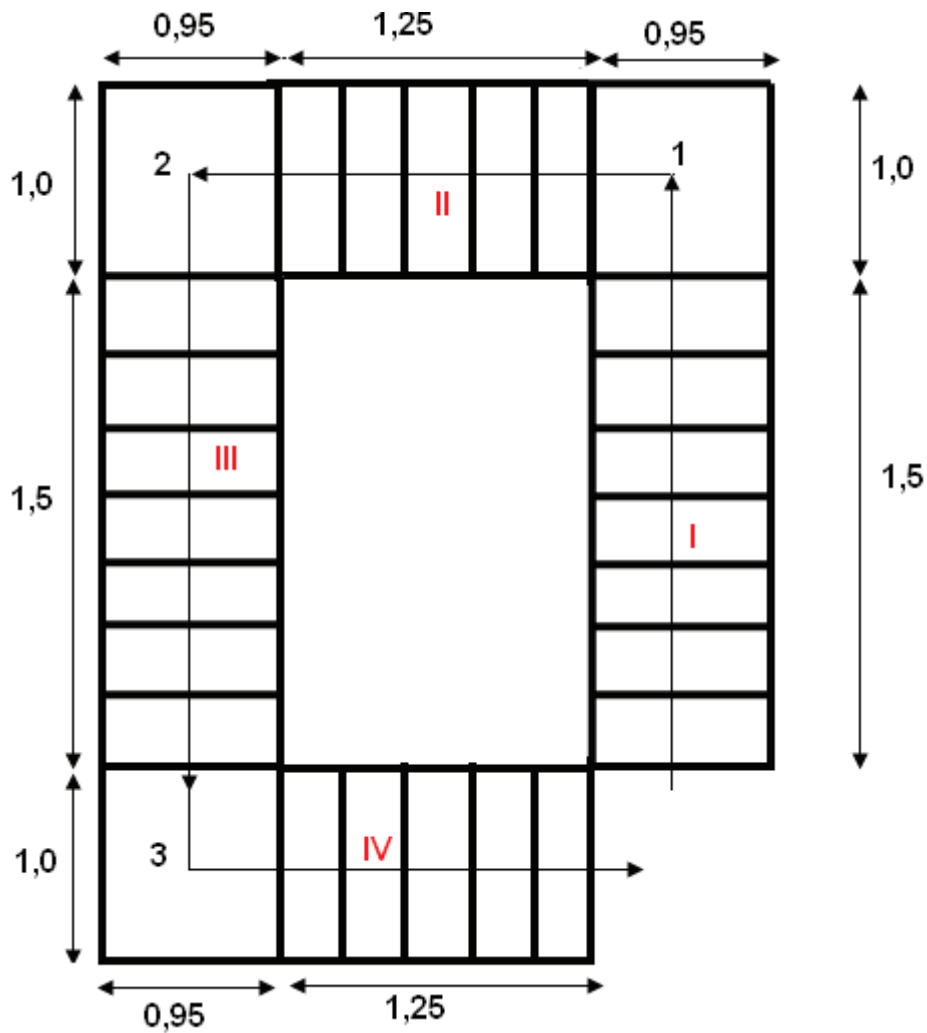


Figure III.12. Escalier type 3 : schéma et détails

#### A. Partie I, II, et IV (3 volées et un palier)

La volée et le palier sont encastres d'un seul coté et ils sont soumis à la flexion simple. L'enrobage des armatures est de 1 cm.

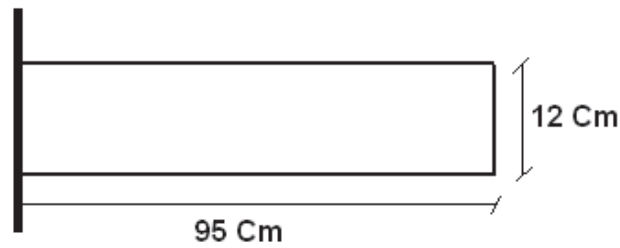


Figure III.13. Escalier type 3, modélisation

ELU	$M_u$ [kN.m]	$V_u$ [kN]	Pivot	$A_s$ [cm <sup>2</sup> ]	$\tau_u$ [MPa]
	6,18	13,05	A	1,65	0,118
ELS	$M_{ser}$ [kN.m]	$Y$ [cm]	$I$ [m <sup>-4</sup> ]	$\sigma_{bc}$ [MPa]	$\sigma_s$ [MPa]
	4,46	0,021	2,27	4,11	262,4

Tableau III.9. Escalier type 3, résultats de calcul

### Schéma de ferrailage

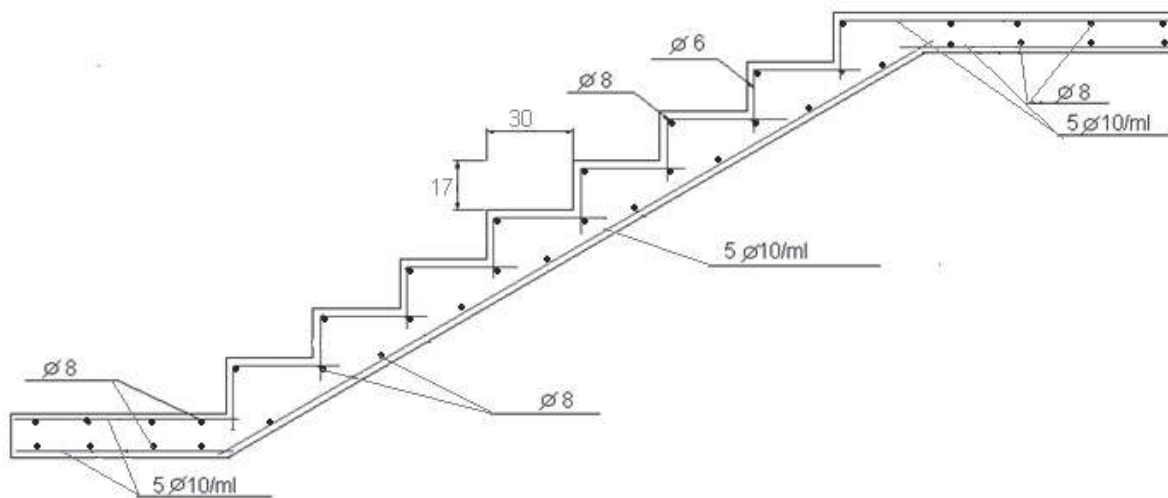
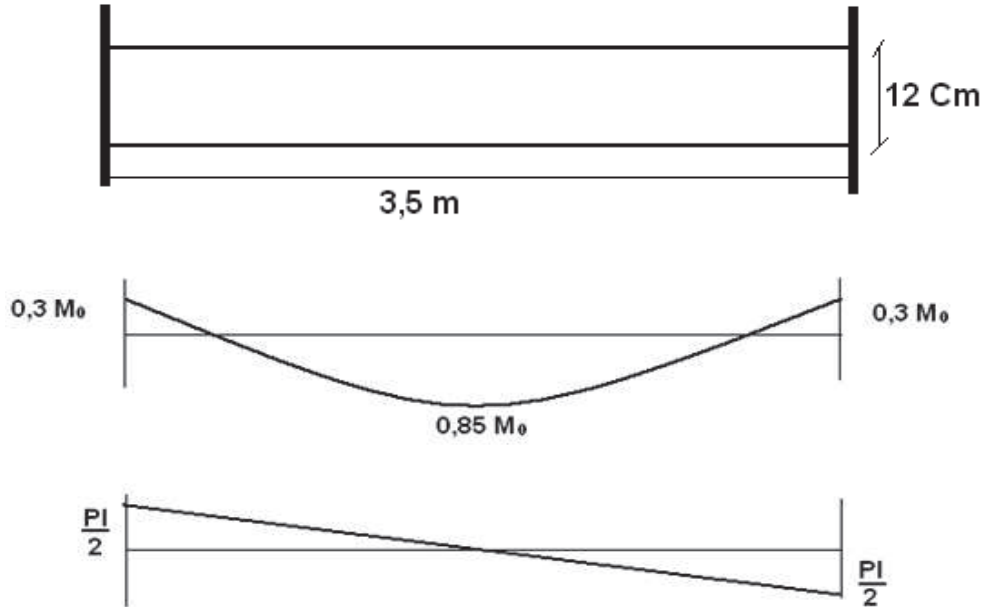


Figure III.14. Ferrailage des parties I, II et IV de l'escalier type 3

### B. Partie III (une volée et deux paliers)

Les deux volées et le palier sont encastres dans les deux cotés et ils sont soumis à la flexion simple, on calculera une section de (0,95 m x 0,12 m), avec un enrobage de 1 Cm.



**Figure III.15.** Escalier type 3, modélisation et diagrammes de la partie III

$$Q_u = 13,70 \text{ kN/m}$$

$$M_{0u} = Q_u l^2 / 8 = 20,97 \text{ kN.m}$$

$$V_u = Q_u l / 2 = 23,97 \text{ kN}$$

Donc :

En travée :

ELU	$M_u$ [kN.m]	$V_u$ [kN]	Pivot	$A_s$ [cm <sup>2</sup> ]	$\tau_u$ [MPa]
	17,82	0	A	4,92	0
ELS	$M_{ser}$ [kN.m]	$Y$ [cm]	$I$ [m <sup>-4</sup> ]	$\sigma_{bc}$ [MPa]	$\sigma_s$ [MPa]
	12,86	0,034	5,65	7,7	263,5

Tableau III.10. Escalier type 3, résultats du calcul en travée de la partie III

Sur appuis :

ELU	$M_u$ [kN.m]	$V_u$ [kN]	Pivot	$A_s$ [cm <sup>2</sup> ]	$\tau_u$ [MPa]
	6.29	23.97	A	1,68	0.252
ELS	$M_{ser}$ [kN.m]	$Y$ [cm]	$I$ [m <sup>-4</sup> ]	$\sigma_{bc}$ [MPa]	$\sigma_s$ [MPa]
	4,54	0.021	2,3	4,2	262.5

Tableau III.11. Escalier type 3, résultats de calcul en appuis de la partie III

Schéma de ferrailage

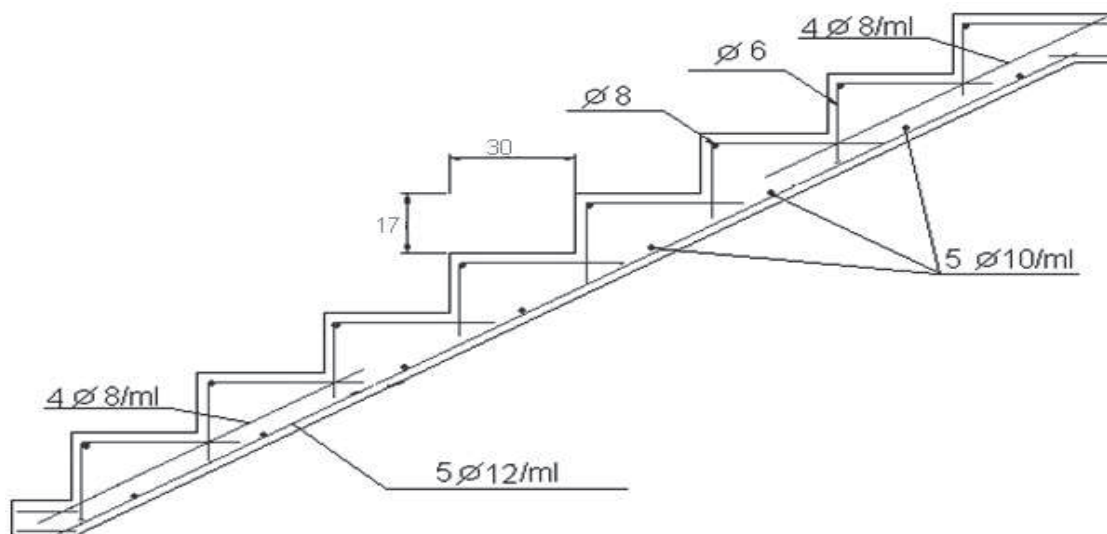


Figure III.16. Ferrailage de la partie III de l'escalier type 3

### 3.4 Les balcons

Les balcons sont des dalles pleines, en consoles encastées.

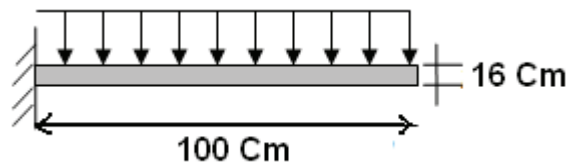


Figure III.17. Balcon : schéma et détails

#### 3.4.1 Evaluation et combinaisons de charges

$$G = 5,27 \text{ kN/m}^2 \quad ; \quad Q = 3,50 \text{ kN/m}^2$$

Le calcul se fera pour une bande de 1 ml.

A l'état limite ultime :  $q_u = 1.35G + 1.5 Q$

A l'état limite de service :  $q_{ser} = G + Q$

$$M_u = q_u L^2/2 \quad M_{SER} = q_{ser} L^2/2$$

$$V_U = q_u L \quad V_{SER} = q_{ser} L$$

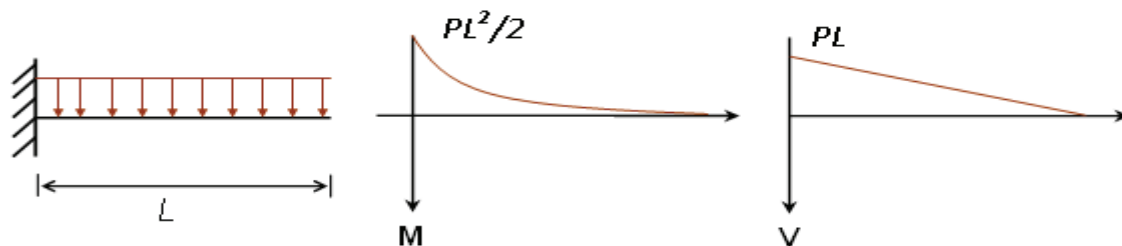


Figure III.18. Balcon : modélisation et diagrammes

	q [kN.m <sup>2</sup> ]	M <sub>max</sub> [kN.m]	V <sub>max</sub> [kN/m]
ELU	12,36	6,18	12,36
ELS	8,77	4,38	8,77

Tableau III.12. Balcon : charges et surcharges



**A. Calcul à l'ELU**

$M_u$ [kN.m]	$\mu$	$\alpha$	$\sigma_s$ [MPa]	$A_{s,u}$ [cm <sup>2</sup> ]
6,18	0,022	0,028	348	1,282

**Tableau III.13.** Balcon : résultats du calcul à l'ELU.**B. Calcul à l'ELS**

$$\bar{\sigma}_{bc} = 0.6 f_{c28} = 15 \text{ MPa.}$$

$$\bar{\sigma}_{st} = \min \left[ \frac{2}{3} f_e, 110 \sqrt{\eta \cdot f_{tj}} \right] \Rightarrow \bar{\sigma}_{st} = 201,63 \text{ MPa.}$$

$$\frac{by^2}{2} + 15(A + A') - 15(Ad - A'd')$$

$$I = \frac{by^3}{3} + 15A'(y - d')^2 + 15A(d - y)^2$$

$M_{ser}$ [kN.m]	Y [cm]	I [cm <sup>4</sup> ]	$\sigma_{bc}'$ [MPa]	$\sigma_s'$ [MPa]
8,77	2,07	3496,78	5,2	78

**Tableau III.14.** Balcon : résultats du calcul à l'ELS.**C. Vérification de l'effort tranchant**

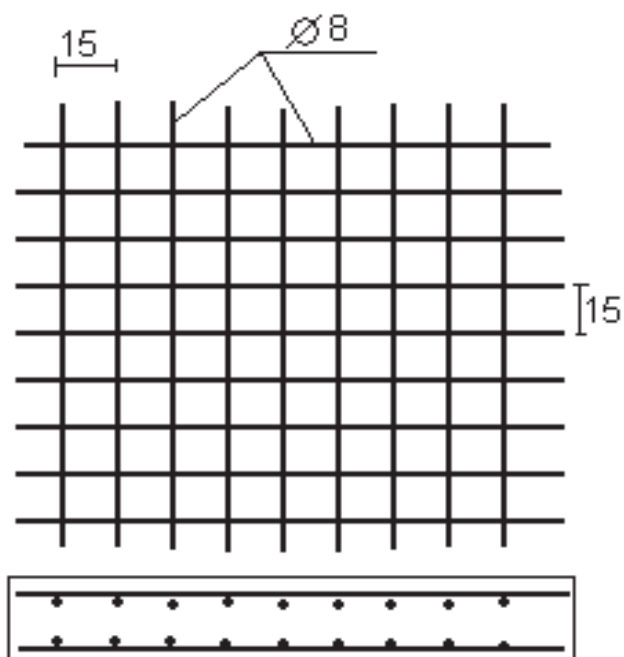
On doit vérifier que  $\tau_u < \tau'_u$  tel que :

$$\tau'_u = \min \left( \frac{0,15 f_{c28}}{\gamma_b}; 4 \text{ MPa} \right) = 2,5 \text{ MPa. (fissuration préjudiciable)}$$

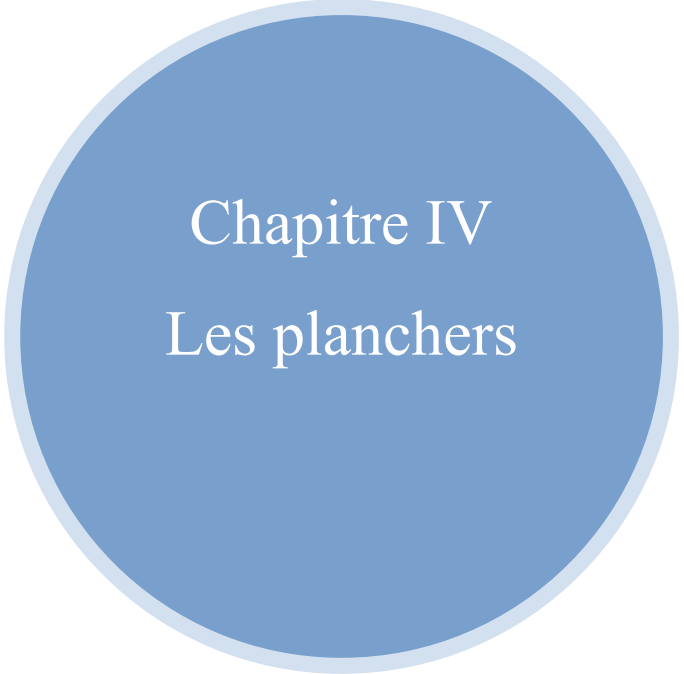
$$\tau_u = \frac{Vu}{b*d} = \frac{12,36}{1*0,14} = 0,88 \text{ MPa.}$$

$\tau_u < \tau'_u$  condition vérifiée.

### 3.4.2 Schéma de ferrailage



**Figure III.19.** Schéma de ferrailage des balcons avec un treillis soudé.



Chapitre IV  
Les planchers

## 4.1 Introduction

Les planchers sont de type dalle pleine en béton armé d'épaisseur  $e=16$  cm avec un enrobage de 2 cm. Le calcul des planchers se fait exclusivement sous l'action de charges verticales. L'acier utilisé comme armatures est un FeE 240.

## 4.2 Types de panneaux pour les planchers des étages courants et la terrasse

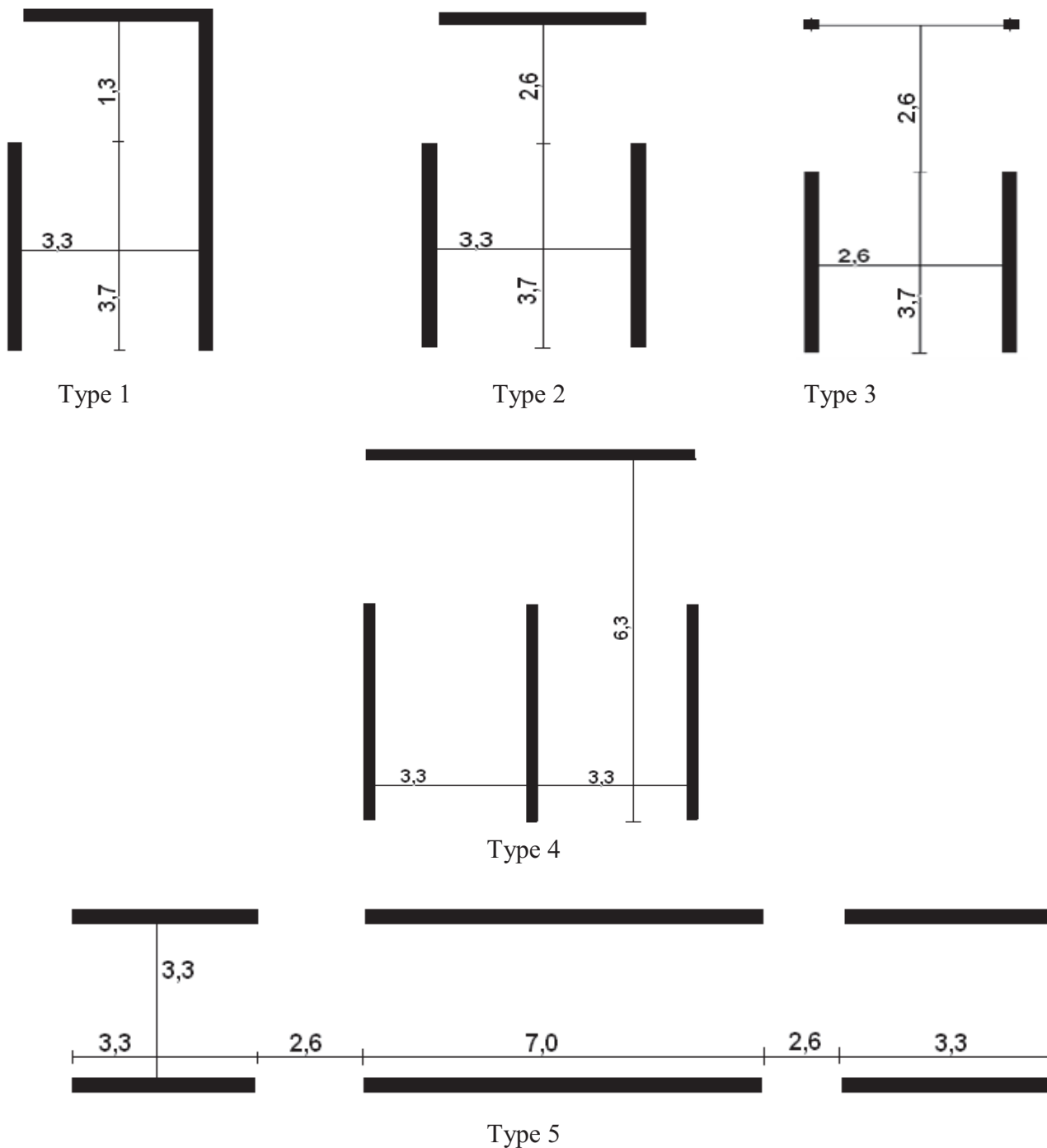


Figure IV.1. Différents types de panneaux pour le plancher terrasse

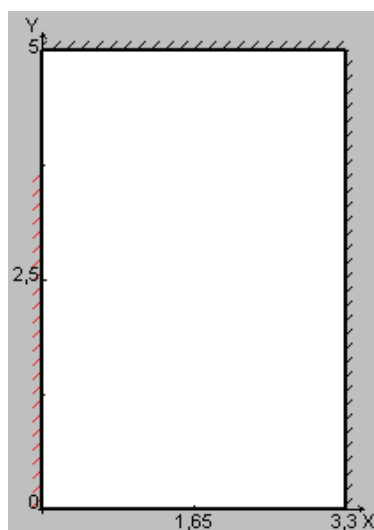
### 4.3 Calcul du plancher terrasse

L'étude se fera pour les différents types de panneaux, les sollicitations seront déterminées par le logiciel de calcul des dalles SOCOTEC Dalle.

$$G = 7,22 \text{ kN/m}^2 \quad Q = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

$$P_u = 1,35 G + 1,5 Q = 11,247 \text{ kN/m}^2$$

Exemple : pour le panneau de type 1 les appuis continus sont des lignes d'équation :  
 $y = 5$ ,  $x = 0$  et  $x = 3,3$



**Figure IV.2** Exemple de modélisation d'un panneau avec le logiciel socotec

**Remarque :**

Les appuis sont considérés comme des encastremements parfaits du fait que les voiles et les planchers sont coulés en même temps.

Panneau	Sollicitation	Position	Valeur max	Diagrammes
Type 1	$M_x$ [kN.m/ml]	(3,3 ; 0)	-9,86	
		(1,65 ; 0)	5,07	
	$M_y$ [kN.m/ml]	(1,65 ; 5)	-6,64	
		(1,65 ; 3,55)	1,17	
	$V_x$ [kN/ml]	(0 ; 2,5)	19,1	
	$V_y$ [kN/ml]	(1,65 ; 5)	19,14	

Tableau IV.1. Panneau type 1 du plancher terrasse, efforts et diagrammes.

Panneau	Sollicitation	Position	Valeur max	Diagrammes
Type 2	$M_x$ [kN.m/ml]	(3,3 ; 3,15)	-11,86	
		(1,65 ; 3,15)	5,61	
	$M_y$ [kN.m/ml]	(1,65 ; 6,3)	-10,47	
		(1,65 ; 4,87)	3,33	
	$V_x$ [kN/ml]	(3,3 ; 1,57)	18,47	
	$V_y$ [kN/ml]	(0 ; 3,54)	20,14	
		(0 ; 3,83)	96,38	

**Tableau IV.2.** Panneau type 2 du plancher terrasse, efforts et diagrammes.

Panneau	Sollicitation	Position	Valeur max	Diagrammes
Type 3	$M_x$ [kN.m/ml]	(1,3 ; 6,3)	8,71	
		(1,3 ; 3,15)	4,62	
		(0 ; 3,15)	-8,44	
	$M_y$ [kN.m/ml]	(0 ; 5,4)	7,57	
		(0 ; 3,83)	-13,26	
	$V_x$ [kN/ml]	(0 ; 6,3)	19,59	
	$V_y$ [kN/ml]	(0 ; 3,83)	-126,67	
		(3,3 ; 3,54)	33,39	

**Tableau IV.3.** Panneau type 3 du plancher terrasse, efforts et diagrammes.



Panneau	Sollicitation	Position	Valeur max	Diagrammes
Type 4	$M_x$ [kN.m/ml]	(6,6 ; 3,15)	-11,52	
		(1,51 ; 3,15)	5,34	
	$M_y$ [kN.m/ml]	(3,3 ; 3,83)	-7,95	
		(3,3 ; 4,87)	4,53	
	$V_x$ [kN/ml]	(0 ; 0)	19,04	
	$V_y$ [kN/ml]	(3,3 ; 3,83)	-61,15	
		(3,3 ; 6,3)	14,8	

Tableau IV.4. Panneau type 4 du plancher terrasse, efforts et diagrammes.

Type	Sollicitation	Position	Valeur max	Diagrammes
Type 5	M <sub>x</sub> [kN.m/ml]	(3,44 ; 0)	-9,38	
		(4,6 ; 0)	5,87	
	M <sub>y</sub> [kN.m/ml]	(9,4 ; 0)	-9,74	
		(9,4 ; 1,65)	4,99	
	V <sub>x</sub> [kN/ml]	(3,44 ; 0)	-115,21	
	V <sub>y</sub> [kN/ml]	(9,4 ; 0)	18,71	

**Tableau IV.5.** Panneau type 5 du plancher terrasse, efforts et diagrammes.

### A. Calcul du ferrailage

On considère une section rectangulaire de (100 x 16) avec un enrobage des aciers de 2 cm.

Panneau	Sens	Position	Moment [kN.m]		Armatures sup. [cm <sup>2</sup> ]	Armatures inf. [cm <sup>2</sup> ]
Type 1	Y	travée	1,17		0	0,40
	X	travée	5,07		0	1,75
	X	appuis	-9,86		3,43	0
Type 2	Y	travée	3,33		0	1,14
	X	travée	5,61		0	1,94
	X	appuis	-11,86		4,15	0
Type 3	Y	travée, appuis	7,57	-13,26	2,55	4,65
	X	travée	8,71		0	3,6
	X	appuis	-8,44		2,93	0
Type 4	Y	travée	4,53		0	1,56
	X	travée	5,34		0	1,8
	X	appuis	-11,52		4,02	0
Type 5	Y	travée	4,99		0	1,50
	X	travée	5,87		0	2,0
	X	appuis	-9,74		3,30	0

**Tableau IV.6.** Récapitulatif des moments max et résultats du ferrailage des panneaux du plancher terrasse.

### B. Vérification du cisaillement

Panneau	Sens	Position	Effort tranchant max [kN/ml]	$\tau_b$ [MPa]	$\tau'_b$ [MPa]
Type 1	Y	Appui	19,14	0,119	5
	X	Appui	19,1	0,119	5
Type 2	Y	Appui	21,7	0,135	5
	X	Appui	18,47	0,115	5
Type 3	Y	Appui	126,67	0,791	5
	X	Appui	19,59	0,122	5
Type 4	Y	Appui	61,15	0,382	5
	X	Appui	19,01	0,118	5
Type 5	Y	Appui	18,71	0,116	5
	X	Appui	115,21	0,720	5

**Tableau IV.7.** Vérification du cisaillement.

**4.4 Calcul des planchers courants**

$G=5,27 \text{ KN/m}^2$                        $Q=1,5 \text{ KN/m}^2$   
 $P_u=1,35 G + 1,5 Q =9,36 \text{ KN/m}^2$

Type	Sollicitation	Position	Valeur max	Diagrammes
Type 1	$M_y$ [kN.m/ml]	(1,65 ; 3,54)	0,97	
		(1,65 ; 5)	-5,52	
	$M_x$ [kN.m/ml]	(1,65 ; 0)	4,2	
		(3,3 ; 0)	-8,3	
	$V_y$ [kN/ml]	(1,65 ; 5)	15,93	
	$V_x$ [kN/ml]	(3,3 ; 2,5)	15,89	

**Tableau IV.8.** Panneau type 1 de l'étage courant, efforts et diagrammes.

Type	Sollicitation	Position	Valeur max	Diagrammes
Type 2	$M_y$ [kN.m/ml]	(1,65 ; 4,87)	2,78	
		(1,65 ; 6,3)	-8,71	
	$M_x$ [kN.m/ml]	(1,65 ; 3,15)	4,67	
		(0 ; 3,15)	-9,87	
$V_y$ [kN/ml]	(3,3 ; 3,83)	80,21		
$V_x$ [kN/ml]	(3,3 ; 1,57)	15,37		

**Tableau IV.9.** Panneau type 2 de l'étage courant, efforts et diagrammes.

Type	Sollicitation	Position	Valeur max	Diagrammes
Type 3	$M_y$ [kN.m/ml]	(0 ; 5,4)	7,01	
		(0 ; 3,83)	-11,92	
	$M_x$ [kN.m/ml]	(1,51 ; 3,15)	7,45	
		(1,3 ; 3,15)	4,32	
		(0 ; 3,15)	-7,87	
	$V_y$ [kN/ml]	(3,3 ; 3,83)	102,58	
	$V_x$ [kN/ml]	(3,3 ; 6,3)	17,78	

Tableau IV.10. Panneau type 2 de l'étage courant, efforts et diagrammes.

Type	Sollicitation	Position	Valeur max	Diagrammes
Type 4	$M_y$ [kN.m/ml]	(3,3 ; 4,87)	3,36	
		(3,3 ; 3,83)	- 8,22	
	$M_x$ [kN.m/ml]	(1,51 ; 3,15)	4,38	
		(6,6 ; 3,15)	-9,57	
$V_y$ [kN/ml]	(0 ; 3,83)	78,38		
$V_x$ [kN/ml]	(6,6 ; 0)	17,63		

**Tableau IV.11.** Panneau type 4 de l'étage courant, efforts et diagrammes.

Panneau	Sollicitation	Position	Valeur max	Diagrammes
Type 5	$M_y$ [kN.m/ml]	(9,4 ; 1,65)	4,15	
		(9,4 ; 0)	-8,1	
	$M_x$ [kN.m/ml]	(4,6 ; 0)	4,88	
		(3,44 ; 0)	-7,81	
$V_y$ [kN/ml]	(9,4 ; 3,3)	15,68		
$V_x$ [kN/ml]	(3,44 ; 0)	92,77		

Tableau IV.12. Panneau type 5 de l'étage courant, efforts et diagrammes.



### A. Calcul du ferrailage

On considère une section rectangulaire de (100 x 16) avec un enrobage de 2 cm.

Type	Sens	Position	Moment [kN.m]		Armatures sup. [cm <sup>2</sup> ]	Armatures inf. [cm <sup>2</sup> ]
Type 1	Y	travée	0,97		0	0,33
	X	travée	4,2		0	1,44
	X	appuis	-8,3		2,88	0
Type 2	Y	travée	2,78		0	0,96
	X	travée	4,67		0	1,61
	X	appuis	-9,87		3,3	0
Type 3	Y	appuis, travée	-11,92	7,01	4,17	2,43
	X	travée	7,45		0	2,58
	X	appuis	-7,87		2,72	0
Type 4	Y	travée	3,36		0	1,3
	X	travée	4,38		0	1,51
	X	appuis	-9,57		3,33	0
Type 5	Y	travée	4,15		0	1,5
	X	travée	4,88		0	1,64
	X	appuis	-8,1		3,33	0

**Tableau IV.13.** Récapitulatif des moments et résultats du ferrailage des panneaux de planchers courants.

### B. Vérification du cisaillement

Panneau	Sens	Position	Effort tranchant max [kN/ml]	$\tau_b$ [MPa]	$\tau'_b$ [MPa]
Type 1	Y	Appui	15,93	0,113	5
	X	Appui	15,89	0,113	5
Type 2	Y	Appui	80,21	0,573	5
	X	Appui	15,37	0,110	5
Type 3	Y	Appui	102,58	0,732	5
	X	Appui	17,78	0,127	5
Type 4	Y	Appui	78,38	0,560	5
	X	Appui	17,63	0,126	5
Type 5	Y	Appui	15,68	0,112	5
	X	Appui	92,77	0,662	5

**Tableau IV.14.** Vérification du cisaillement.

4.5 Type de panneaux du RDC

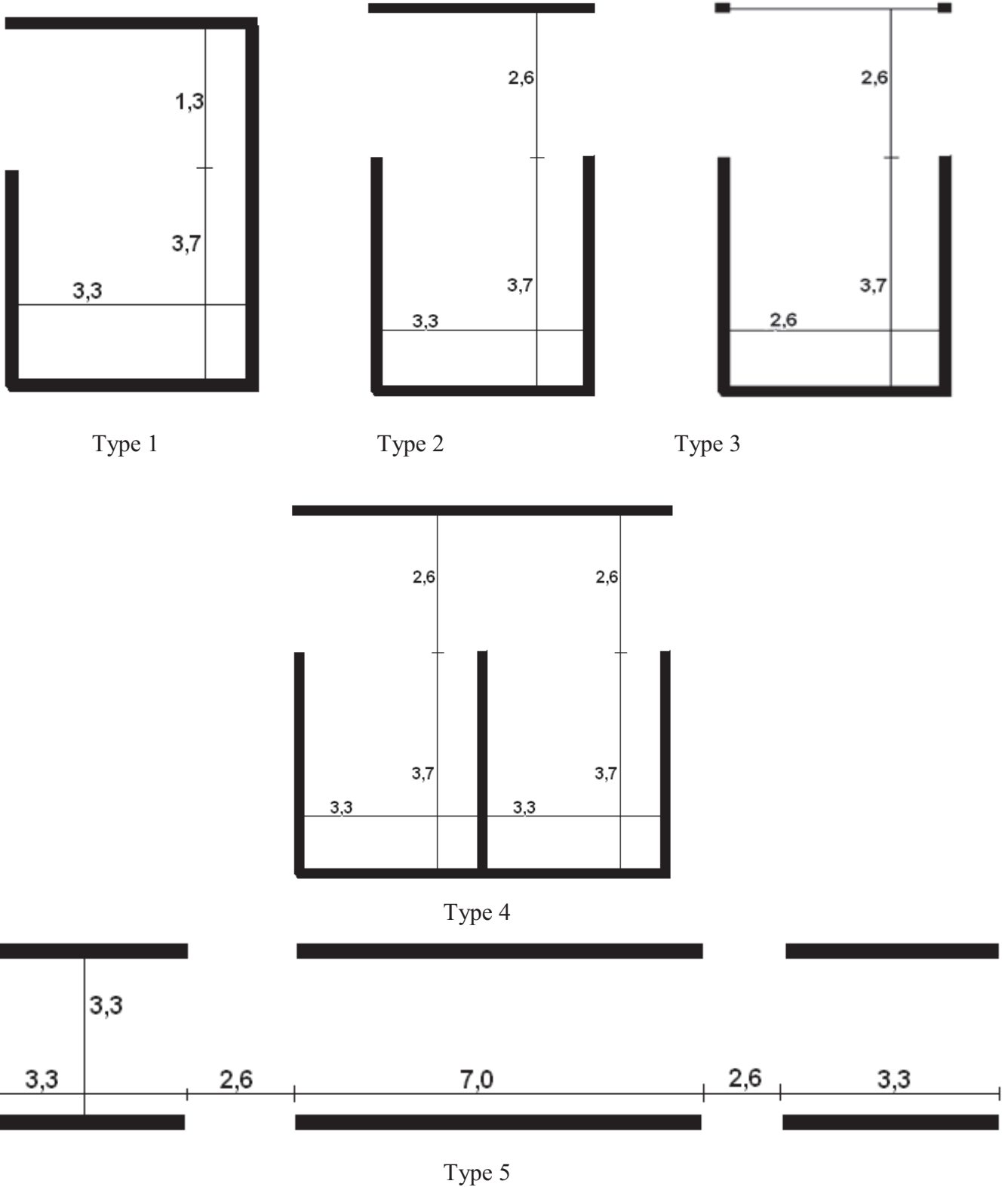


Figure IV.3. Différents types de panneaux pour le plancher RDC

4.6 Calcul du plancher du RDC

Panneau	Sollicitation	Position	Valeur max	Diagrammes
Type 1	$M_x$ [kN.m/ml]	(0 ; 2,5)	-8,59	
		(1,65 ; 2,5)	4,24	
	$M_y$ [kN.m/ml]	(3,3 ; 3,83)	-6,45	
		(1,65 ; 3,2)	1,96	
	$V_x$ [kN/ml]	(3,3 ; 3,83)	18,83	
	$V_y$ [kN/ml]	(3,3 ; 2,5)	18,66	

Tableau IV.15. Panneau type 1 du RDC, efforts et diagrammes.

Panneau	Sollicitation	Position	Valeur max	Diagrammes
Type 2	$M_x$ [kN.m/ml]	(1,65 ; 3,15)	-11,38	
		(3,3 ; 3,15)	5,29	
	$M_y$ [kN.m/ml]	(1,65 ; 6,3)	-10,14	
		(1,65 ; 4,87)	3,24	
	$V_x$ [kN/ml]	(0,45 ; 3,15)	18	
	$V_y$ [kN/ml]	(3,3 ; 3,83)	-93,01	
		(3,3 ; 3,54)	19,63	

Tableau IV.16. Panneau type 2 du RDC, efforts et diagrammes.

Panneau	Sollicitation	Position	Valeur max	Diagrammes
Type 3	M <sub>x</sub> [kN.m/ml]	(1,3 ; 6,3)	8,42	
		(1,3 ; 3,15)	4,62	
		(0 ; 3,15)	-8,44	
	M <sub>y</sub> [kN.m/ml]	(0 ; 5,39)	7,31	
		(0 ; 3,83)	-12,81	
	V <sub>x</sub> [kN/ml]	(0 ; 6,3)	-18,93	
	V <sub>y</sub> [kN/ml]	(0 ; 3,83)	-122,47	
		(0 ; 3,54)	32,27	

Tableau IV.17. Panneau type 3 du RDC, efforts et diagrammes.

Panneau	Sollicitation	Position	Valeur max	Diagrammes
Type 4	$M_x$ [kN.m/ml]	(0 ; 3,15)	-11,04	
		(1,51 ; 3,15)	5,07	
	$M_y$ [kN.m/ml]	(3,3 ; 3,83)	-7,71	
		(3,3 ; 4,87)	4,39	
	$V_x$ [kN/ml]	(0 ; 3,15)	18,05	
		(0 ; 3,83)	-93,78	
	$V_y$ [kN/ml]	(0 ; 3,54)	18	
		(0 ; 3,83)	-93,78	

Tableau IV.18. Panneau type 4 du RDC, efforts et diagrammes.

Panneau	Sollicitation	Position	Valeur max	Diagrammes
Type 5	M <sub>x</sub> [kN.m/ml]	(3,44 ; 3,3)	-9,06	
		(4,6 ; 3,3)	5,67	
	M <sub>y</sub> [kN.m/ml]	(4,7 ; 1,65)	5,24	
		(9,4 ; 1,65)	4,82	
(9,4 ; 0)	-9,41			
V <sub>x</sub> [kN/ml]	(3,44 ; 3,3)	111,29		
V <sub>y</sub> [kN/ml]	(9,4 ; 0)	18,08		

Tableau IV.19. Panneau type 5 du RDC, efforts et diagrammes.

### A. Calcul du ferrailage

On considère une section rectangulaire de (100 x 16) avec un enrobage de 2 cm.

Panneau	Sens	Position	Moment [kN.m]		Armatures sup. [cm <sup>2</sup> ]	Armatures inf. [cm <sup>2</sup> ]
Type 1	Y	travée	1,96		0	0,67
	X	travée	4,24		0	1,46
	X	appuis	-8,59		3,0	0
Type 2	Y	travée	3,24		0	1,3
	X	travée	5,29		0	1,82
	X	appuis	-11,38		3,97	0
Type 3	Y	appuis, travée	-12,81	7,31	4,5	2,53
	X	travée	8,42		0	2,92
	X	appuis	-8,44		2,93	0
Type 4	Y	travée	4,39		0	1,51
	X	travée	5,07		0	1,75
	X	appuis	-11,04		3,85	0
Type 5	Y	travée	5,24		0	1,79
	X	travée	5,67		0	2,01
	X	appuis	-9,41		3,15	0

**Tableau IV. 20.** Récapitulatif des moments et résultats du ferrailage des panneaux du plancher RDC.

### B. Vérification du cisaillement

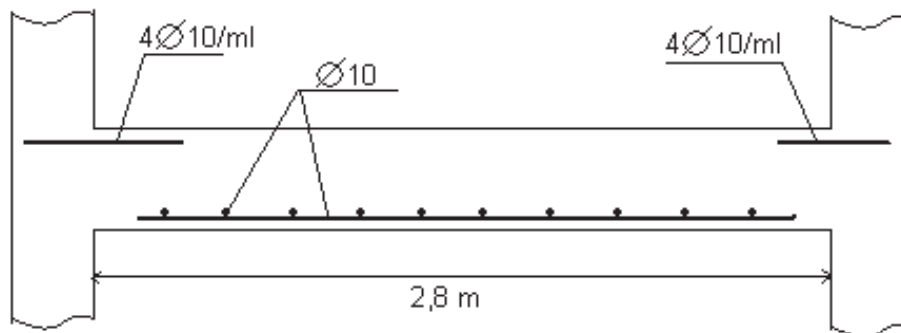
Panneau	Sens	Position	Effort tranchant max [kN]	$\tau_b$ [MPa]	$\tau'_b$ [MPa]
Type 1	Y	Appui	18,66	0,133	5
	X	Appui	18,83	0,134	5
Type 2	Y	Appui	93,01	0,660	5
	X	Appui	18	0,128	5
Type 3	Y	Appui	18,93	0,135	5
	X	Appui	122,47	0,875	5
Type 4	Y	Appui	18,05	0,128	5
	X	Appui	93,78	0,670	5
Type 5	Y	Appui	18,08	0,128	5
	X	Appui	111,29	0,795	5

**Tableau IV.21.** Vérification du cisaillement.

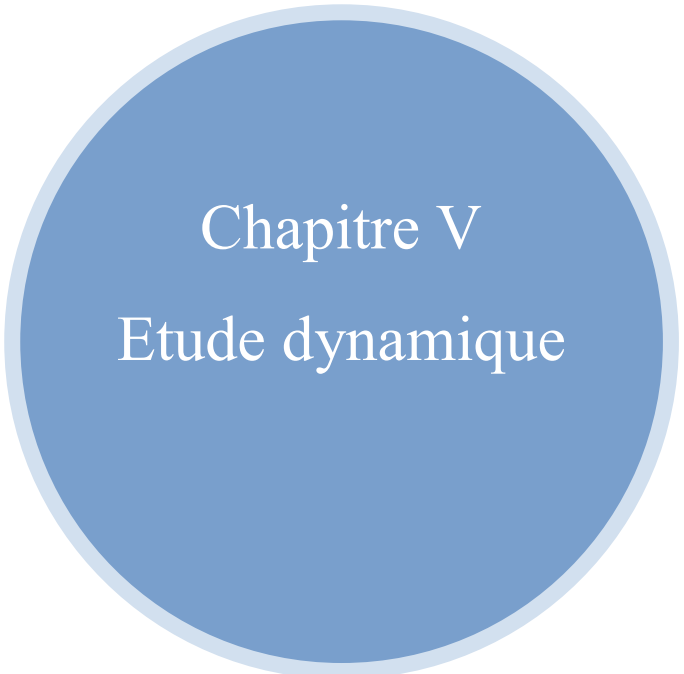


## 4.7 Ferrailage

On adoptera le même ferrailage pour tous les planchers des différents niveaux.



**Figure IV.4.** Schéma de ferrailage des planchers des différents niveaux



Chapitre V  
Etude dynamique

## 5.1 Introduction

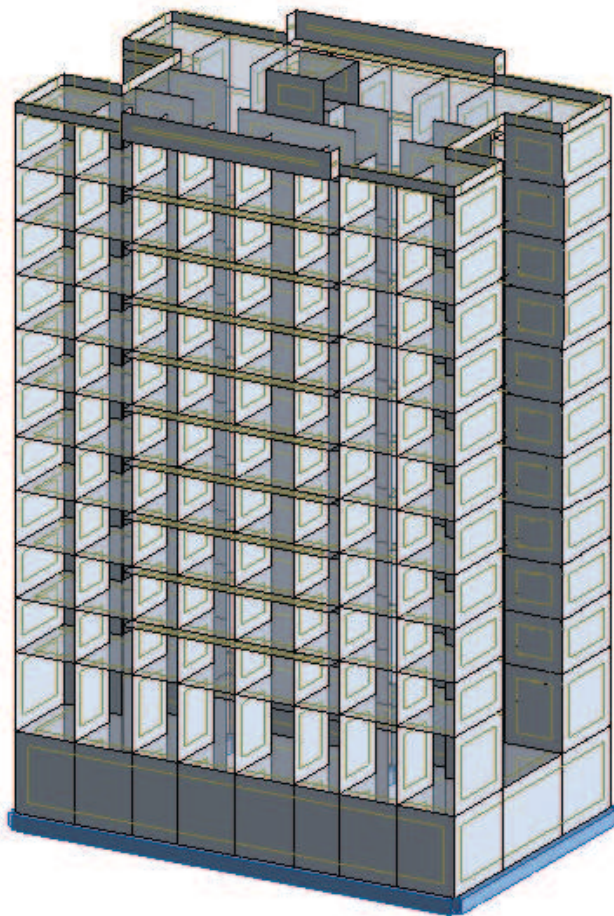
Les structures physiques ont un comportement différent d'une structure à l'autre selon leurs poids, géométrie, matériaux constitutifs. Ce comportement est dû à des forces ou à des déplacements mis en jeu.

De plus les structures ont un nombre infini de déplacements, c'est pourquoi la phase la plus critique lors de l'analyse d'une structure est de créer un modèle avec un nombre fini d'éléments et de déplacements nodaux qui va nous permettre de simuler le comportement de la structure réelle.

## 5.2 Modélisation

L'étude du bâtiment qui fait l'objet de notre mémoire est basée sur les résultats d'une modélisation en 3D à l'aide du logiciel ROBOT Structural Analysis 2010. Le modèle adopté comporte 12 niveaux avec un encastrement à la base.

Les sources de masse pour l'étude dynamique sont les charges permanentes et les surcharges d'exploitation. Elles sont ajoutées comme masses dynamiques selon les exigences du RPA99/2003 :  $W = G + \beta Q = G + 0.2 Q$ .



**Figure V.1.** Modèle de calcul en 3D sur RSA 2010

### 5.2.1. Contreventement

La structure étudiée est contreventée par des voiles uniquement. Le système de contreventement doit satisfaire plusieurs conditions :

- Reprendre l'ensemble des charges horizontales.
- L'excentricité entre le centre de masse et le centre de torsion ne dépassent en aucun cas 5% de la plus grande dimension en plan du bâtiment.
- Les contraintes de cisaillement dans les voiles ne doivent pas dépasser la contrainte admissible.
- Les périodes propres ne doivent pas varier brusquement entre deux modes successifs.

### 5.2.2 Caractéristiques du bâtiment

Niveau	Masse [MN]	Centre de masse (x ; y ; z) [m]	Centre de torsion (x ; y ; z) [m]	Excentricité (x ; y ; z) [m]
SS	7,512	13,30 ; 8,16 ; -1,44	13,30 ; 8,16 ; -1,44	0,00 ; 0,00 ; 0,00
RDC	5,523	13,30 ; 8,16 ; 3,22	13,30 ; 8,16 ; 3,22	0,00 ; 0,00 ; 0,00
1	3,995	13,16 ; 8,16 ; 7,06	13,30 ; 8,16 ; 7,06	0,14 ; 0,00 ; 0,00
2	3,967	13,16 ; 8,16 ; 10,12	13,30 ; 8,16 ; 10,12	0,14 ; 0,00 ; 0,00
3	3,967	13,16 ; 8,16 ; 13,18	13,30 ; 8,16 ; 13,18	0,14 ; 0,00 ; 0,00
4	3,967	13,16 ; 8,16 ; 16,24	13,30 ; 8,16 ; 16,24	0,14 ; 0,00 ; 0,00
5	3,967	13,16 ; 8,16 ; 19,30	13,30 ; 8,16 ; 19,30	0,14 ; 0,00 ; 0,00
6	3,967	13,16 ; 8,16 ; 22,36	13,30 ; 8,16 ; 22,36	0,14 ; 0,00 ; 0,00
7	3,967	13,16 ; 8,16 ; 25,42	13,30 ; 8,16 ; 25,42	0,14 ; 0,00 ; 0,00
8	3,967	13,16 ; 8,16 ; 28,48	13,30 ; 8,16 ; 28,48	0,14 ; 0,00 ; 0,00
9	3,967	13,16 ; 8,16 ; 31,45	13,30 ; 8,16 ; 31,45	0,14 ; 0,00 ; 0,00
10	5,618	13,30 ; 8,16 ; 34,60	13,30 ; 8,16 ; 34,60	0,00 ; 0,00 ; 0,00

Tableau V.1. Caractéristiques du bâtiment.

### 5.3 Action sismique

La détermination de la réponse d'une structure peut se faire par trois méthodes de calcul dont le choix est fonction à la fois du type de structure et de la nature de l'excitation dynamique :

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

#### 5.3.1 Méthode statique équivalente

Le calcul de la charge sismique à la base du bâtiment par la méthode statique équivalente se fait par la formule suivante :

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

- **A** : coefficient d'accélération de zone (zone III, groupe d'usage 1B).
- **D** : facteur d'amplification dynamique moyen (fonction de la période fondamentale et de l'amortissement du bâtiment).
- **Q** : facteur de qualité (4<sup>ème</sup>, 5<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup> condition sont non observées).
- **R** : coefficient de comportement (contreventement par voiles).
- **W** : poids du bâtiment.

A	D	Q	R	W [MN]	V [MN]
0,25	1,406	1,2	3,5	55,418	6,68

**Tableau V.2.** Charge sismique à la base par la méthode statique équivalente.

#### Remarque :

La fréquence de la structure a été calculée par la formule  $T_{RPA} = C_T * h_N^{3/4} = 0,73$

- **C<sub>T</sub>** : coefficient, fonction du système de contreventement  $C_T = 0,05$
- **h<sub>N</sub>** : la hauteur du bâtiment.

#### 5.3.2 Méthode d'analyse spectrale modale

L'introduction de l'action sismique sous forme d'un spectre de réponse pour prédire les déplacements et les sollicitations dans les éléments d'une structure est une méthode qui présente des avantages pour l'utilisation d'une analyse par ordinateur.

### 5.3.3 Modes à considérer

Le nombre de modes de vibrations doit être tel que :

- La somme des masses modales effectives pour les modes retenus doit être au moins égale à 90% de la masse totale de la structure.
- Ou que tous les modes retenus ont une masse modale effective supérieure à 5%.
- Le minimum de modes à retenir est de 3

Dans le cas où les conditions précédentes ne sont pas observées, le nombre de modes à retenir est donné par :

$$K \geq 3\sqrt{N} \text{ et } T_k \leq 0,2 \text{ s}$$

- N : nombre de niveaux au dessus du sol
- T<sub>k</sub> : période du mode K

Le nombre de modes à prendre en compte pour le bâtiment étudié est K=10.

Mode	Période [s]	% de la masse modale suivant X	% de la masse modale suivant Y	% de la masse modale cumulée suivant X	% de la masse modale cumulée suivant Y
1	0,72	0,01	58,71	0,01	58,71
2	0,69	60,9	0,01	60,91	58,72
3	0,68	0,65	0,01	61,66	58,73
4	0,17	14,85	0,01	76,42	58,74
5	0,16	0,01	17,41	76,43	76,15
6	0,14	0,01	0,01	76,44	76,16
7	0,08	5,45	0,01	81,90	76,17
8	0,07	0,01	3,42	81,91	79,59
9	0,07	0,01	1,99	81,92	81,58
10	0,07	0,01	1,01	81,93	82,59

**Tableau V.3.** Participation de la masse modale effective.

### 5.3.4 Combinaison des modes

La réponse modale est définie à l'aide de la formule suivante :

$$R_{max} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n e_{ij} R_i R_j}$$

Où :

- $n$  : nombre de modes
- $e_{ij}$  : coefficient de corrélation
- $R_i$ ;  $R_j$  : réponses spectrales aux modes 'i' et 'j'.

Dans le logiciel utilisé, les types de combinaisons quadratiques suivants sont disponibles :

#### Méthode SRSS

Pour la méthode SRSS, les coefficients de corrélation sont égaux :

$e_{ij} = 1$  pour  $i = j$ ,  $e_{ij} = 0$  pour  $i \neq j$ , d'où :

$$R_{max} = \sqrt{\sum_{i=1}^n R_i^2}$$

#### Méthode CQC

Pour la méthode CQC, les coefficients de corrélation sont calculés d'après la formule :

$$e_{ij} = \frac{8\varepsilon^2(1+r)r^{3/2}}{(1-r^2)^2 + 4\varepsilon^2r(1+r)^2}$$

- $r = \min\left(\frac{T_i}{T_j}; \frac{T_j}{T_i}\right) \leq 1$  avec  $T_i$ ;  $T_j$  périodes propres correspondant aux 'i modes' et 'j'
- $\varepsilon$  : coefficient d'amortissement.

### 5.3.5 Spectre de réponse de calcul

Le spectre de réponse utilisé est déterminé par

$$\frac{S_a}{g} = \begin{cases} 1.25A \left( 1 + \frac{T}{T_1} \left( 2.5\eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5\eta(1.25A) \left( \frac{Q}{R} \right) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(1.25A) \left( \frac{Q}{R} \right) \left( \frac{T_2}{T} \right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta(1.25A) \left( \frac{T_2}{3} \right)^{2/3} \left( \frac{3}{T} \right)^{5/3} \left( \frac{Q}{R} \right) & T > 3.0s \end{cases}$$

Les coefficients utilisés sont les mêmes que ceux donnés dans le paragraphe 5.3.1 à l'exception de  $T_1$  et  $T_2$  qui sont fonction du site d'implantation de l'ouvrage.

T[s]	S <sub>a</sub> /g	T [s]	S <sub>a</sub> /g	T [s]	S <sub>a</sub> /g
0,0	0,375	0,17	0,109	0,34	0,060
0,1	0,289	0,18	0,105	0,35	0,058
0,2	0,245	0,19	0,101	0,36	0,055
0,3	0,245	0,20	0,097	0,37	0,052
0,4	0,245	0,21	0,094	0,38	0,050
0,5	0,245	0,22	0,091	0,39	0,048
0,6	0,217	0,23	0,089	0,40	0,046
0,7	0,196	0,24	0,086	0,41	0,044
0,8	0,179	0,25	0,084	0,42	0,042
0,9	0,166	0,26	0,082	0,43	0,041
0,10	0,155	0,27	0,080	0,44	0,039
0,11	0,145	0,28	0,078	0,45	0,038
0,12	0,137	0,29	0,076	0,46	0,036
0,13	0,130	0,30	0,074	0,47	0,035
0,14	0,124	0,31	0,070	0,48	0,034
0,15	0,118	0,32	0,067	0,49	0,033
0,16	0,113	0,33	0,063	0,50	0,032

**Tableau V.4.** Valeurs du spectre de réponse de calcul.



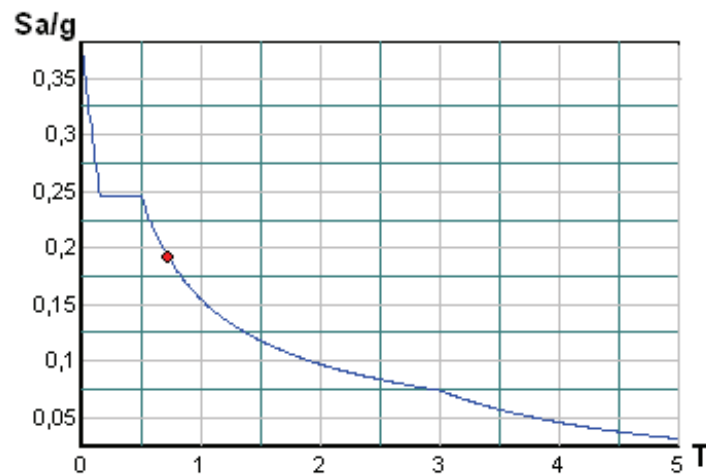


Figure V.2. Spectre de réponse de calcul.

### 5.3.6 Vérification de la force sismique résultante

La résultante des forces sismiques à la base  $V_t$  obtenue par la combinaison des valeurs modales doit être au moins égale à 80% de celle calculée par la méthode statique équivalente  $V$ .

Dans le cas contraire cette résultante doit être majorée par :

$$V_t = 0,8 * \left(\frac{V}{V_t}\right) * V_t$$

V [MN]	V <sub>t</sub> [MN]		Min	V <sub>t</sub> majoré [MN]
	X	Y		
6,680	6,781	6,441	0,964	Condition vérifiée

Tableau V.5. Vérification de la force sismique résultante.

#### 5.4. Répartition de l'effort sismique sur les voiles

La répartition de l'action sismique sur les différents plans de contreventement et sur les différents voiles se fait conformément à la relation :

$$V_{ix} = V_x \left[ \frac{I_{ix}}{\sum I_{ix}} + \frac{d * I_{ix} * \bar{X}_i}{\sum (I_{ix} * \bar{X}_i^2 + I_{iy} * \bar{Y}_i^2)} \right]$$

Pour la vérification du cisaillement l'effort tranchant dû à la charge sismique est majoré de 40%, la contrainte de cisaillement du béton doit être inférieure à la contrainte admissible.

$$\tau_u = \frac{1,4\bar{V}}{0,9 * b * d} \leq \bar{\tau}_u = 0,2f_{c28} = 5 \text{ MPa}$$

Voile	Participation [%]	Effort repris par chaque voile [kN]	Effort repris par chaque élément du voile [kN]			$\tau_u$ [MPa]	
1	19,70	1270	635	635	0,564		
2	8,60	557,52	288,76	288,76	0,336		
3	8,60	557,52	288,76	288,76	0,336		
4	8,60	557,52	288,76	288,76	0,336		
5	8,60	557,52	288,76	288,76	0,336		
6	8,60	557,52	288,76	288,76	0,336		
7	8,60	557,52	288,76	288,76	0,336		
8	8,60	557,52	288,76	288,76	0,336		
9	19,70	1270	635	635	0,564		
B	8,30	565,52	282,76	282,76	0,358		
C	41,60	2825,86	282,58	2260,7	282,76	0,358	0,358
D	41,60	2825,86	282,76	2260,7	282,76	0,358	1,435
E	8,30	565,52	282,76	282,76	0,358		

**Tableau V.6.** Répartition de l'effort sismique à la base sur les différents voiles.

### 5.5 Justification vis-à-vis l'effet P-Δ

Les effets du 2<sup>nd</sup> ordre peuvent être négligés si la condition suivante est satisfaite à tous les niveaux :

$$\theta = \frac{P_k * \Delta_k}{V_k * h_k} \leq 0,1$$

- $P_k$  : poids de la structure au dessus du niveau k considéré.
- $V_k$  : effort tranchant au niveau k.
- $h_k$  : hauteur du niveau k.
- $\Delta_k$  : déplacement relatif du niveau k donné par :

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


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

Où :

- $R$  : coefficient de comportement du bâtiment.
- $\delta_{ek}$  : déplacement dû aux forces sismique.

Etage	$P_k$ [t]	$h_k$ [m]	V [t]		$\delta_{ek}$ [cm]		$\delta_k$ [m]		$\Delta_k$ [m]		$\theta * 10^{-3}$	
			x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
10	5618	35,44	1115	1123	3,4	3,6	0,119	0,126	0,0105	0,0105	1,39	1,38
9	9585	32,38	2230	2233	3,1	3,3	0,1085	0,1155	0,0105	0,014	1,42	1,89
8	13552	29,32	3119	3067	2,8	2,9	0,098	0,1015	0,0105	0,014	1,63	2,22
7	17519	26,26	3864	3749	2,5	2,5	0,0875	0,0875	0,0105	0,014	1,94	2,67
6	21486	23,20	4516	4343	2,1	2,1	0,0735	0,735	0,014	0,014	3,11	3,23
5	25453	20,14	5087	4861	1,8	1,7	0,063	0,0595	0,0105	0,014	2,84	3,97
4	29420	17,08	5568	5298	1,4	1,3	0,049	0,0455	0,014	0,0105	4,75	3,74
3	33387	14,02	5968	5664	1,1	1,0	0,0385	0,035	0,0105	0,0105	4,62	4,86
2	37354	10,96	6301	5979	0,8	0,7	0,028	0,0245	0,0105	0,0105	6,28	6,61
1	41349	7,90	6569	6241	0,5	0,4	0,175	0,014	0,0105	0,007	9,26	6,5
RDC	46872	4,84	6781	6441	0,3	0,3	0,0105	0,0105	0,007	0,007	12,42	11,58

Tableau V.7. Justification vis-à-vis l'effet P-Δ.



Chapitre VI  
Ferraillage des  
voiles

## 6.1 Introduction

Le voile ou le mur en béton armé est un élément de construction vertical surfacique coulé dans un coffrage à son emplacement définitif dans la construction.

Le ferrailage des voiles s'effectuera selon le règlement parasismique Algérien RPA99/version 2003.

Sous l'action des forces horizontales (séisme, vents) ainsi que les forces dues aux charges verticales, le voile sera soumis à

- Moment fléchissant provoqués par l'action du séisme.
- Effort normal dû à la combinaison des charges permanentes, d'exploitations et la charge sismique.

## 6.2 Combinaisons d'action

Le RPA 99/2003 recommande de calculer le voile en traction et en compression sous les combinaisons d'action :

- $G + Q + E$
- $0,8G - E$

## 6.3 Choix et disposition du ferrailage

### 6.3.1 Armatures verticales

Elles seront disposées symétriquement en deux faces, le R.P.A 99/2003 exige un pourcentage minimal égal à 0,20 % de la section horizontale du voile.

Le diamètre des barres qui ne doit pas dépasser le 1/10 de l'épaisseur du voile.

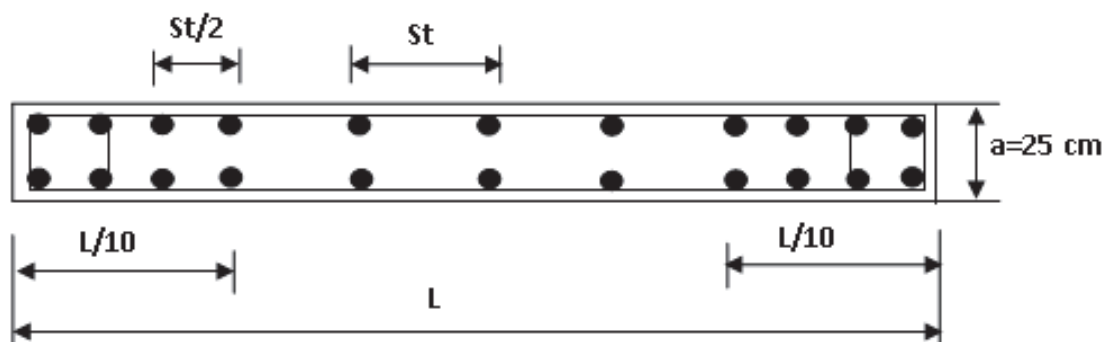


Figure VI.1. Schéma de disposition des armatures verticales.

### **6.3.2 Armatures horizontales**

Elles sont parallèles aux faces du voile et disposées uniformément sur toute la hauteur du voile, le R.P.A 99/2003 exige un pourcentage minimal égal à 0,20 % de la section horizontale du voile.

Les barres horizontales doivent être munies de crochets à 135° ayant une longueur de  $10\phi$ .

### **6.4 Calcul du ferrailage**

Le calcul des sections d'acier est détaillé dans les tableaux VI.(1, 2, 3, 4, 5, 6), les voiles appartenant aux plans de contreventement C et D seront calcul comme des voiles indépendants.

Axe	$N_G$ [MN]	$N_0$ [MN]	M [MN.m]	$N_E$ [MN]	0,8G-E [MN]	G+Q+E [MN]
<b>1</b>	1,31	0,143	14,86	5,94	4,89	7,37
<b>2</b>	1,45	0,218	6,75	3,55	2,39	5,18
<b>3</b>	1,50	0,251	6,75	3,55	2,35	5,25
<b>4</b>	1,50	0,251	6,75	3,55	2,35	5,25
<b>5</b>	1,50	0,251	6,75	3,55	2,35	5,25
<b>6</b>	1,50	0,251	6,75	3,55	2,35	5,25
<b>7</b>	1,50	0,251	6,75	3,55	2,35	5,25
<b>8</b>	1,45	0,218	6,75	3,55	2,39	5,18
<b>9</b>	1,31	0,142	6,75	3,55	4,89	7,37
<b>B</b>	1,18	0,122	6,61	3,77	2,82	5,07
<b>C</b>	1,42	0,187	6,61	3,77	2,63	5,38
<b>D</b>	1,42	0,187	6,61	3,77	2,63	5,38
<b>E</b>	1,18	0,122	6,61	3,77	2,82	5,07

**Tableau VI.1.** Efforts normaux et combinaisons de pour le RDC.

Axe	$A_v$ [ $\text{cm}^2/\text{face/ml}$ ]	$A_{v \text{ min}}$ [ $\text{cm}^2/\text{face/ml}$ ]	$A_h$ [ $\text{cm}^2/\text{face/ml}$ ]	$\sigma_{bc \text{ max}}$ [MPa]
1	12,22	2,5	1,875	5,9
2	7,86	2,5	1,875	5,45
3	7,73	2,5	1,875	5,52
4	7,73	2,5	1,875	5,52
5	7,73	2,5	1,875	5,52
6	7,73	2,5	1,875	5,52
7	7,73	2,5	1,875	5,52
8	7,86	2,5	1,875	5,45
9	12,22	2,5	1,875	5,9
B	10,07	2,5	1,875	5,8
C	9,39	2,5	1,875	6,15
D	9,39	2,5	1,875	6,15
E	10,07	2,5	1,875	5,8

**Tableau VI.2.** Sections d'armatures pour les voiles du RDC.

Remarque :

On adoptera ces résultats pour le ferrailage les niveaux : sous-sol, RDC, 1, 2.



Axes	N <sub>G</sub> [MN]	N <sub>O</sub> [MN]	M [MN.m]	N <sub>E</sub> [MN]	0,8G-E [MN]	G+Q+E [MN]
<b>1</b>	1,06	0,105	9,1	3,64	2,8	4,81
<b>2</b>	1,17	0,159	3,97	2,1	1,17	3,43
<b>3</b>	1,21	0,182	3,97	2,1	1,14	3,50
<b>4</b>	1,21	0,182	3,97	2,1	1,14	3,50
<b>5</b>	1,21	0,182	3,97	2,1	1,14	3,50
<b>6</b>	1,21	0,182	3,97	2,1	1,14	3,50
<b>7</b>	1,21	0,182	3,97	2,1	1,14	3,50
<b>8</b>	1,17	0,159	3,97	2,1	1,17	3,43
<b>9</b>	1,06	0,105	9,1	3,64	2,8	4,81
<b>B</b>	0,756	0,063	4,04	2,3	1,7	3,12
<b>C</b>	1,01	0,136	32,41	2,31	1,5	3,46
<b>D</b>	1,01	0,136	32,41	2,31	1,5	3,46
<b>E</b>	0,756	0,063	4,04	2,3	1,7	3,12

**Tableau VI.3.** Efforts normaux et combinaisons de pour le 3<sup>ème</sup> niveau.

Axe	$A_v$ [cm <sup>2</sup> /face/ml]	$A_{v, \min}$ [cm <sup>2</sup> /face/ml]	$A_h$ [cm <sup>2</sup> /face/ml]	$\sigma_{bc \max}$ [MPa]
1	7	2,5	1,875	4,81
2	3,85	2,5	1,875	4,51
3	3,75	2,5	1,875	4,60
4	3,75	2,5	1,875	4,60
5	3,75	2,5	1,875	4,60
6	3,75	2,5	1,875	4,60
7	3,75	2,5	1,875	4,60
8	3,85	2,5	1,875	4,51
9	7	2,5	1,875	4,81
B	6,07	2,5	1,875	4,45
C	5,35	2,5	1,875	4,94
D	5,35	2,5	1,875	4,94
E	6,07	2,5	1,875	4,45

**Tableau VI.4.** Sections d'armatures pour les voiles du 3<sup>ème</sup> niveau.

Remarque :

On adoptera ces résultats pour le ferrailage les niveaux : 3, 4, 5.

Axes	$N_G$ [MN]	$N_Q$ [MN]	M [MN.m]	$N_E$ [MN]	0,8G-E [MN]		G+Q+E [MN]
1	0,613	0,06	4,37	1,75	1,26	1,26	2,423
2	0,641	0,092	1,91	1,005	0,493	0,493	1,74
3	0,663	0,105	1,91	1,005	0,475	0,475	1,77
4	0,663	0,105	1,91	1,005	0,475	0,475	1,77
5	0,663	0,105	1,91	1,005	0,475	0,475	1,77
6	0,663	0,105	1,91	1,005	0,475	0,475	1,77
7	0,663	0,105	1,91	1,005	0,475	0,475	1,77
8	0,641	0,092	1,91	1,005	0,493	0,493	1,74
9	0,613	0,06	4,37	1,75	1,26	1,26	2,423
B	0,406	0,033	1,92	1,11	0,785	0,785	1,55
C	0,567	0,076	1,91	1,1	0,646	3,48	1,74
D	0,567	0,076	1,91	1,1	0,646	3,48	1,74
E	0,406	0,033	1,92	1,11	0,785	0,785	1,55

**Tableau VI.5.** Efforts normaux et combinaisons de pour le 6<sup>ème</sup> niveau.

Axe	$A_v$ [ $\text{cm}^2/\text{face/ml}$ ]	$A_{v, \min}$ [ $\text{cm}^2/\text{face/ml}$ ]	$A_h$ [ $\text{cm}^2/\text{face/ml}$ ]	$\sigma_{bc, \max}$ [MPa]
1	3,15	2,5	1,875	2,423
2	1,62	2,5	1,875	2,29
3	1,56	2,5	1,875	2,32
4	1,56	2,5	1,875	2,32
5	1,56	2,5	1,875	2,32
6	1,56	2,5	1,875	2,32
7	1,56	2,5	1,875	2,32
8	1,62	2,5	1,875	2,29
9	3,15	2,5	1,875	2,423
B	2,8	2,5	1,875	1,09
C	2,3	2,5	1,875	2,48
D	2,3	2,5	1,875	2,48
E	2,8	2,5	1,875	1,09

**Tableau VI.6.** Sections d'armatures pour les voiles du 3<sup>ème</sup> niveau.

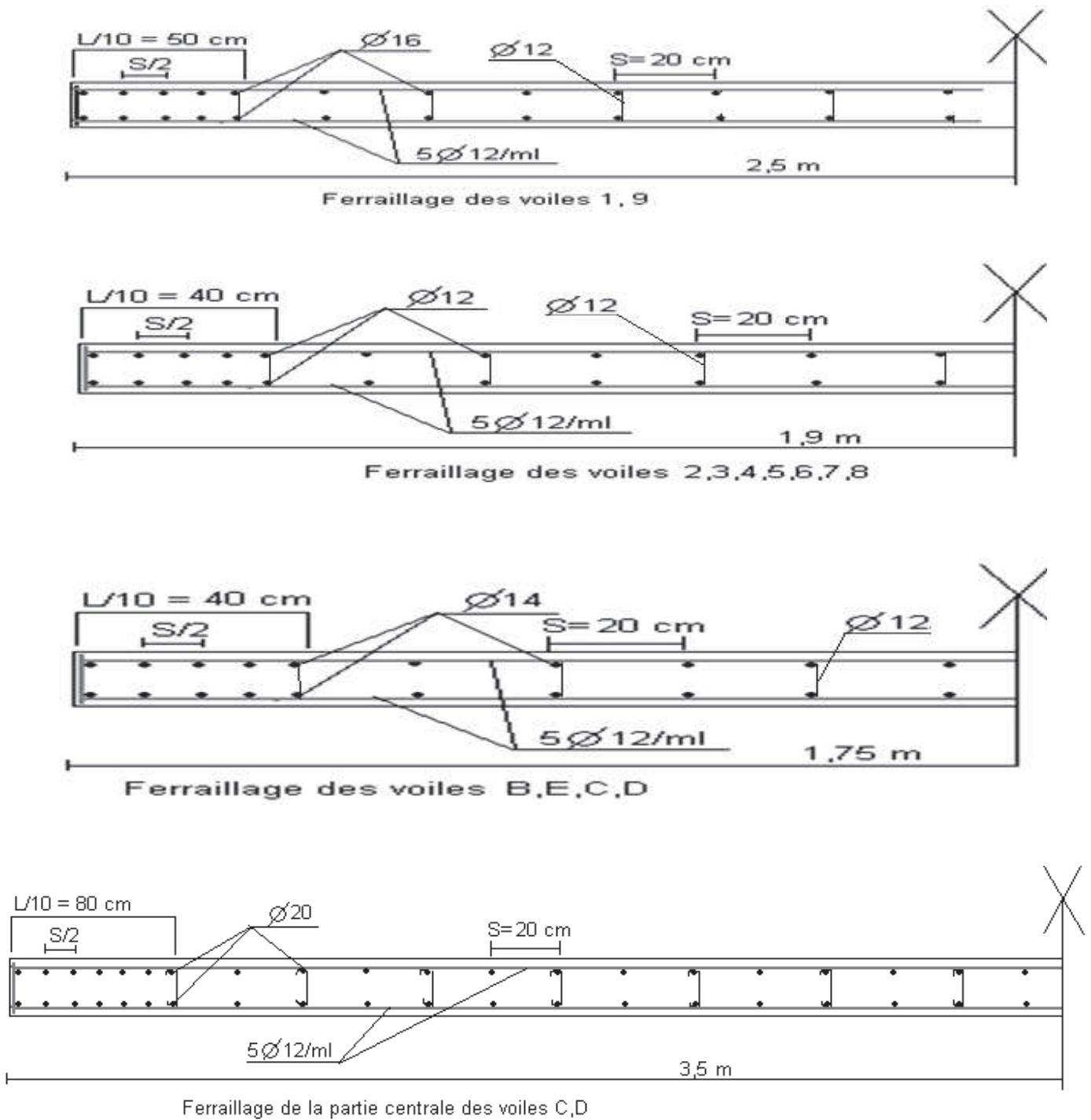
Remarque :

On adoptera ces résultats pour le ferrailage les niveaux : 6, 7, 8.

Les niveaux 9 et 10 ainsi que la cage d'ascenseur seront ferrailés avec les sections minimales.

### 6.5 Ferraillage

#### A. Ferraillage des voiles du sous-sol, RDC, 1<sup>er</sup> et 2<sup>nd</sup> niveau



**Figure VI.2.** Schéma de ferraillage des voiles des niveaux sous-sol, RDC, 1<sup>er</sup> et 2<sup>nd</sup>.

### B. Ferrailage des voiles du 3<sup>eme</sup>, 4<sup>eme</sup>, 5<sup>eme</sup> niveau

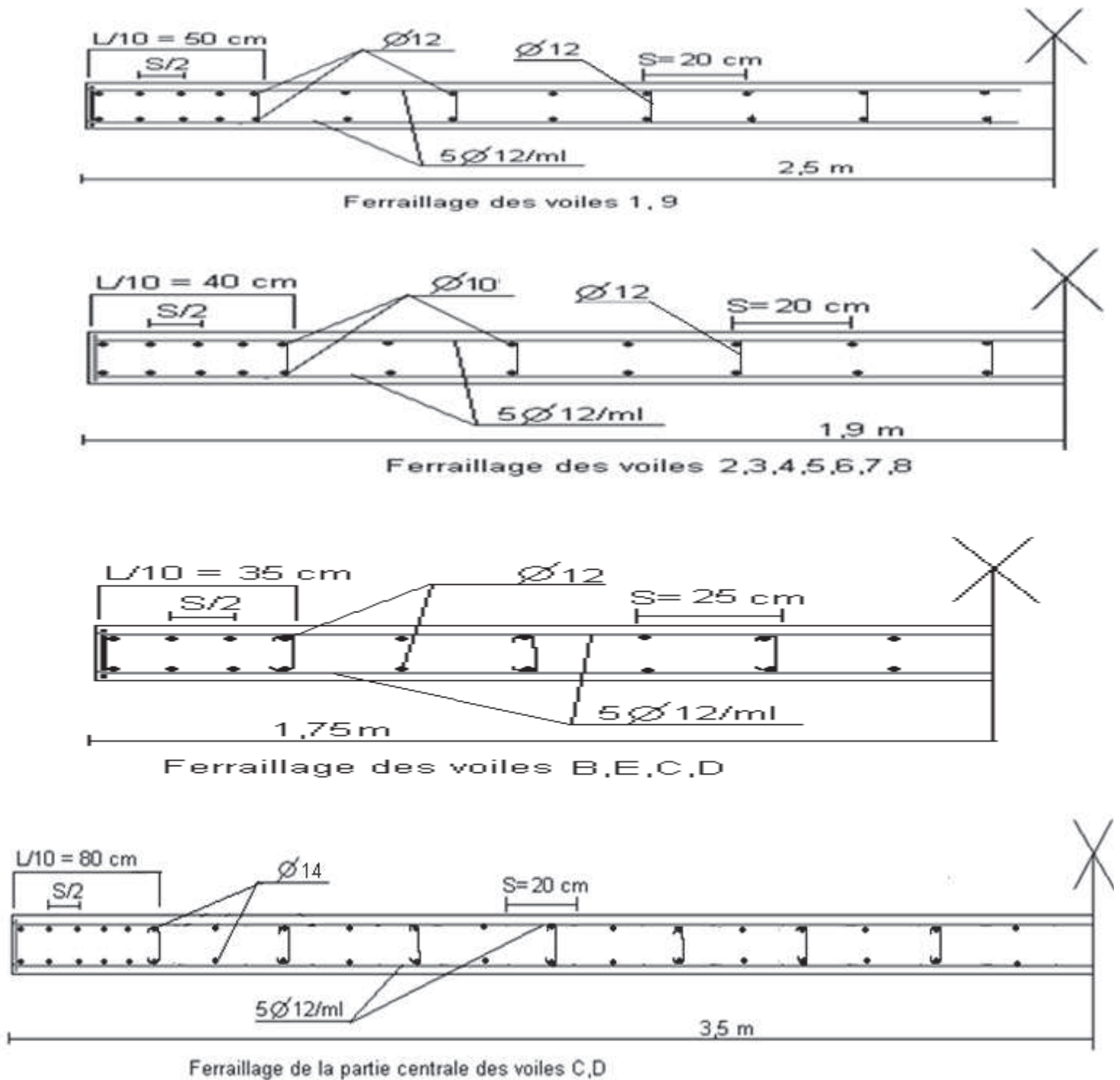


Figure VI. 3. Schéma de ferrailage des voiles des niveaux 3<sup>eme</sup>, 4<sup>eme</sup>, 5<sup>eme</sup>.

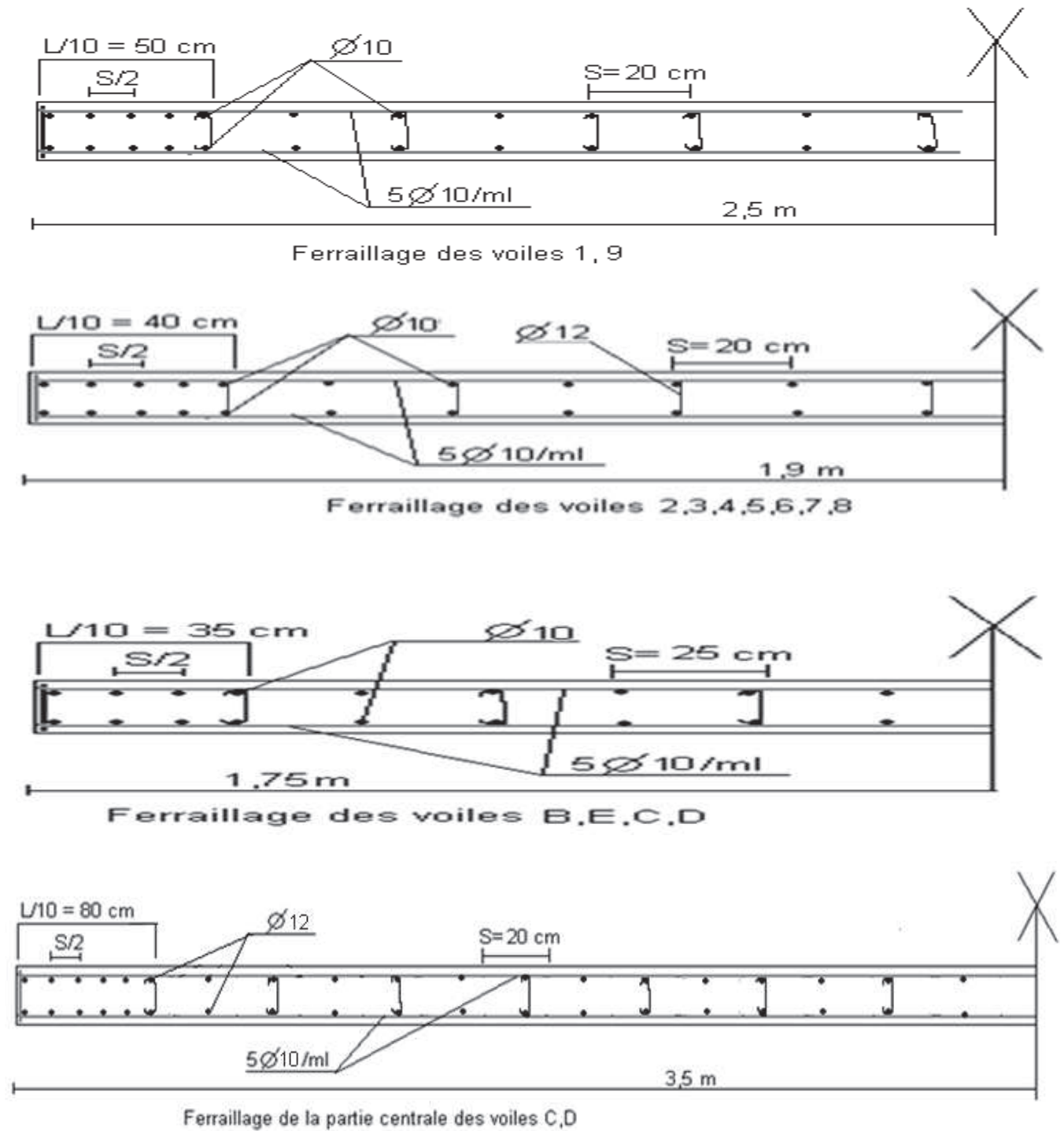
C. Ferrailage des voiles du 6<sup>eme</sup>, 7<sup>eme</sup>, 8<sup>eme</sup> niveau

Figure VI. 4. Schéma de ferrailage des voiles des niveaux 6<sup>eme</sup>, 7<sup>eme</sup>, 8<sup>eme</sup>.

D. Ferraillage des voiles du 9<sup>eme</sup> et 10<sup>eme</sup> niveau

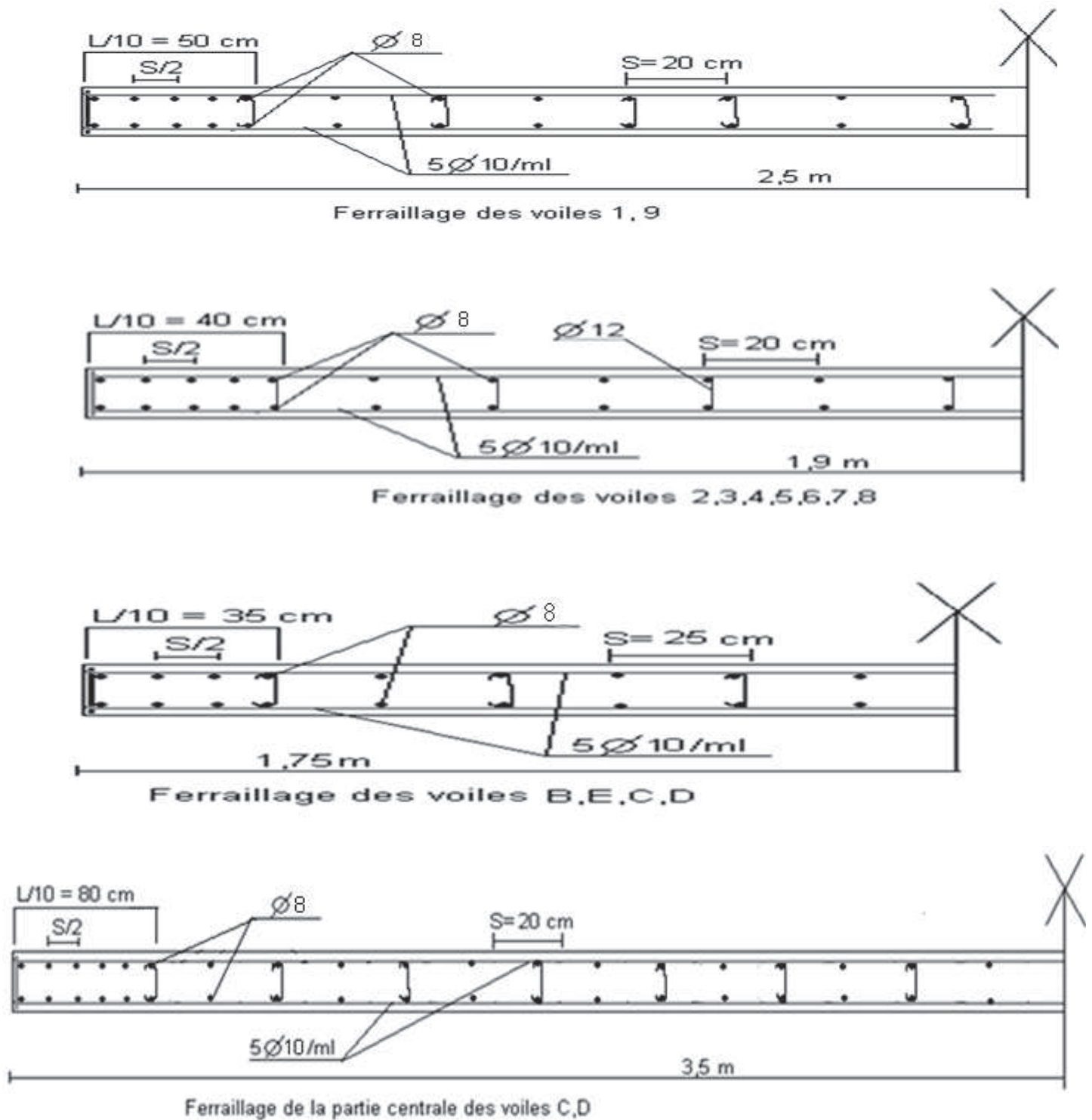


Figure VI. 5. Schéma de ferraillage des voiles des niveaux 9<sup>eme</sup> et 10<sup>eme</sup>.





Chapitre VII  
Les fondations

## 7.1. Introduction

La fondation est l'élément qui permet de transmettre les charges de la superstructure au sol. Son dimensionnement nécessite une bonne connaissance des caractéristiques du sol en plus des sollicitations dans la structure.

Il existe plusieurs types de fondations, fondations superficielles profondes le choix ce fait selon : la nature et la capacité portante du sol, les charges à transmettre au sol, le type d'éléments porteurs, et l'aspect économique du projet.

Le dimensionnement et le ferrailage des fondations se fait, selon la nouvelle réglementation parasismique RPA 99/2003, à l'aide des deux combinaisons de charges suivantes :

$$G + Q \mp E$$

$$0,8G \mp E$$

Vu la nature du sol et la possibilité qu'il peut être inondé et tenant compte du poids important de la construction, on a opté pour un radier général pour fonder l'ouvrage.

Le radier sera soumis à une pression uniforme due à la pression du sol résultant de l'action du poids du bâtiment et du moment créé par la charge sismique.

## 7.2. Prédimensionnement du radier

### 7.2.1. Surface nécessaire pour le radier

Les efforts globaux à la base, obtenus par le calcul dynamique, sont présentés dans le tableau VII.1.

Combinaison	Effort normal [MN]	Moment $M_x$ [MN.m]	Moment $M_y$ [MN.m]
G+Q+E	59,444	160,212	152,180
0,8G+E	42,070	160,212	152,180

Tableau VII.1. Efforts globaux à la base du bâtiment.

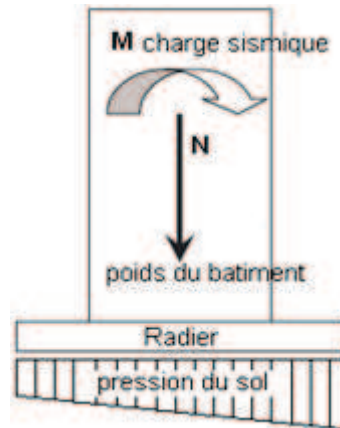


Figure VII.1. Efforts appliqués à la structure

La surface totale nécessaire  $S_{necé}$  pour le radier peut être estimée par la formule suivante :

$$S_{necé} \geq \frac{N}{\sigma_{sol}} = \frac{59444}{183} = 324,83 \text{ m}^2 < S_{bat} = 442,2 \text{ m}^2.$$

La surface calculée du radier est supérieure à la demi-surface du bâtiment, la solution radier est indispensable. On adoptera un débord de 35 cm ce qui nous donne la nouvelle surface du radier  $S = 473 \text{ m}^2$ .

### 7.2.2 Calcul de l'épaisseur du radier

L'épaisseur du radier se détermine en vérifiant les conditions suivantes :

#### A. Vérification de la longueur élastique

$$L_e = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot E \cdot I}{K \cdot b}} \geq \frac{2}{\pi} L_{max}. \text{ Ce qui conduit à : } h_t \geq \sqrt[3]{\frac{48 \cdot K \cdot L_{max}^4}{E \cdot \pi^4}}$$

**K** : module de raideur du sol, rapporté à l'unité de surface

→  $K = 40 \text{ MPa}$  pour un sol moyen ;

**I** : inertie de la section du radier (bande de 1 m) ;

**E** : module de déformation longitudinale différé  $E = 10818,85 \text{ MPa}$ .

**L<sub>max</sub>** : distance maximale entre deux voiles successifs ou poteaux.

$$h_t \geq \sqrt[3]{\frac{48 \cdot 40 \cdot 5^4}{10818,85 \cdot \pi^4}} = 104 \text{ cm}.$$

### B. Calcul de l'épaisseur de la dalle du radier

La dalle du radier doit satisfaire la condition  $h_{rad} \geq \frac{L_{max}}{20}$ , avec un minimum de 25 cm.

$h_{rad} \geq \frac{L_{max}}{20} = 25\text{cm}$ . On prend  $h_{rad} = 40\text{ cm}$ .

### C. Nervure (poutre)

Elle doit vérifier la condition suivante :  $h_n \geq \frac{L_{max}}{10} = 50\text{cm}$ .

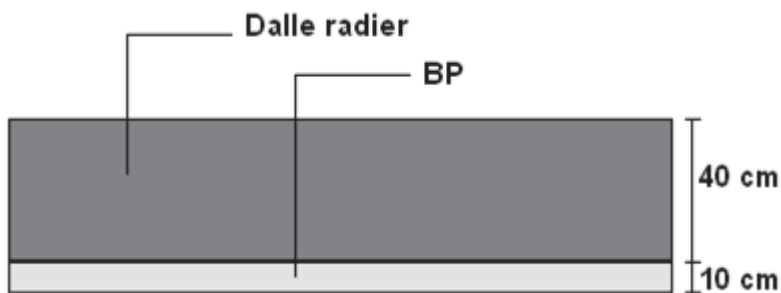


Figure VII.2. Coupe longitudinale du radier

### 7.3 Poids du radier

$$W_{radier} = S * h_{rad} * \rho = 473 * 0,40 * 25000 = 4,73 \text{ MN}$$

### 7.4 Vérification du cisaillement

$$\tau_u = \frac{T_{max}}{b * d} \leq \bar{\tau}_u \min \left\{ \frac{0,15 f_{c28}}{\gamma_b}; 4 \text{ MPa} \right\} \text{ avec } T_{max} = \frac{N}{S_{rad}} * \frac{L_{max}}{2} = 397 \text{ kN.}$$

D'où  $\tau_u = 3,67 \text{ MPa} < \bar{\tau}_u = 2,5 \text{ MPa}$ .

## 7.5 Caractéristiques géométriques du radier

### 7.5.1 Centre de gravité

Les coordonnées du centre de gravité du radier sont  $X_G=13,7$  et  $Y_G=8,55$  [m]

### 7.5.2 Moments d'inertie

Les moments d'inertie du radier par rapport ses axes principaux d'inertie  $xx'$  et  $yy'$  concourants en son centre de gravité G sont :

- $I_{xx} = 29313 \text{ m}^4$
- $I_{yy} = 11417 \text{ m}^4$

## 7.6 Vérifications

### 7.6.1 Vérification de la stabilité

La condition de non renversement est :  $\frac{M_{res}}{M_{ext}} \geq 1,5$

$M_{ext}$  est le moment extérieur qui est égal a  $\sum F_i Z_i = 160,212 \text{ MN.m}$

$M_{res}$  est le moment résistant qui est le produit du poids du bâtiment par  $\frac{L_x}{2}$ .

$$W_{tot} = W_{bat} + W_{rad} = 59,444 + 4,73 = 64,174 \text{ MN}$$

$$M_{res} = 64,174 \times 13,4 = 859,931 \text{ MN.m}$$

$$\frac{M_{res}}{M_{ext}} = 5,36 > 1,5$$

### 7.6.2 Vérification des contraintes

Il faut vérifier que  $\sigma_{ref} \leq 1,5 \overline{\sigma_{sol}}$  soit  $\sigma_{ref} \leq 0,2745 \text{ MPa}$

$$\text{Actions à considérer} \left\{ \begin{array}{l} G_{bat} = 52,58 \text{ MN} \\ Q_{bat} = 6,85 \text{ MN} \\ G_{rad} = 4,73 \text{ MN} \\ M_x = 160,21 \text{ MN.m} \\ M_y = 152,18 \text{ MN.m} \end{array} \right.$$

**A. Calcul des contraintes sous G + Q + E****A.1 Sens X-X**

$$I_{xx} = 29313 \text{ m}^4, V = 13,7 \text{ m}, N = 64,16 \text{ MN}$$

$$\sigma_{max} = \frac{N}{S} + \frac{M_x * V_x}{I_{xx}} = 0,209 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{min} = \frac{N}{S} - \frac{M_x * V_x}{I_{xx}} = 0,06 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ref} = \left\{ \frac{3\sigma_{max} + \sigma_{min}}{4} \right\} = 0,171 \text{ MPa}$$

$$e_x = \frac{M_x}{N} < \frac{L_x}{4}$$

**A.2 Sens Y-Y**

$$I_{yy} = 11417 \text{ m}^4, V_x = 8,55 \text{ m}, N = 64,16 \text{ MN}$$

$$\sigma_{max} = \frac{N}{S} + \frac{M_y * V_y}{I_{yy}} = 0,248 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{min} = \frac{N}{S} - \frac{M_y * V_y}{I_{yy}} = 0,021 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ref} = \left\{ \frac{3\sigma_{max} + \sigma_{min}}{4} \right\} = 0,191 \text{ MPa}$$

$$e_y = \frac{M_y}{N} < \frac{L_y}{4}$$

**B. Calcul des contraintes sous 0,8G + E****B.1 Sens X-X**

$$I_{xx} = 29313 \text{ m}^4, V_x = 13,7 \text{ m}, N = 50,134 \text{ MN}$$

$$\sigma_{max} = \frac{N}{S} + \frac{M_x * V_x}{I_{xx}} = 0,180 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{min} = \frac{N}{S} - \frac{M_x * V_x}{I_{xx}} = 0,032 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ref} = \left\{ \frac{3\sigma_{max} + \sigma_{min}}{4} \right\} = 0,143 \text{ MPa}$$

$$e_x = \frac{M_x}{N} < \frac{L_x}{4}$$

**B.2 Sens Y-Y**

$$I_{yy} = 11417 \text{ m}^4, V_x = 8,55 \text{ m}, N = 50,134 \text{ MN}$$

$$\sigma_{max} = \frac{N}{S} + \frac{M_y * V_y}{I_{yy}} = 0,22 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{min} = \frac{N}{S} - \frac{M_y * V_y}{I_{yy}} = 8 * 10^{-3} \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ref} = \left\{ \frac{3\sigma_{max} + \sigma_{min}}{4} \right\} = 0,163 \text{ MPa}$$

$$e_y = \frac{M_y}{N} < \frac{L_y}{4}$$

### 7.6.3 Vérification du poinçonnement

Aucun calcul ne sera exigé si la condition suivante est satisfaite:

$$N_u \leq \frac{0,045 * \mu_c h_r f_{c28}}{\gamma_b}$$

$N_u$  : charge de calcul à l'ELU pour le voile.

$\mu_c$  : périmètre du pourtour cisailé sur le plan du feuillet moyen du radier.

$a$  : épaisseur du voile ou du poteau.

$b$  : largeur du poteau ou du voile (bande de 1m).

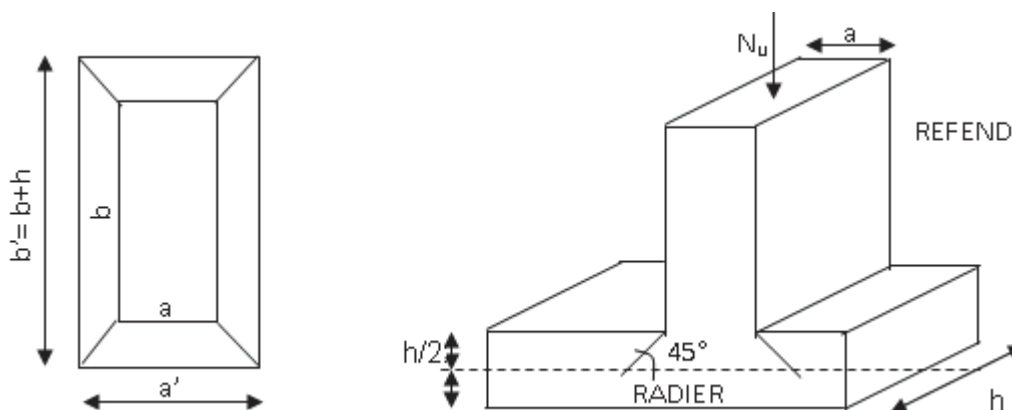


Figure VII.3. Périmètre utile des voiles.

$$\mu_c = 2(a' + b') = 2(a + b + 2h) = 17,3\text{m}$$

$$N_u = 4301 \text{ kN.}$$

$$N_u < \frac{0,045 * 17,3 * 0,7 * 25}{1,5} = 9187 \text{ kN.}$$



### 7.6.4 Vérification de l'effet de sous-pression

Cette vérification est nécessaire pour justifier le non-soulèvement du bâtiment sous l'effet de la sous-pression hydrostatique.

On doit vérifier :  $W \geq \alpha \gamma h S_r$

**W** : Poids total du bâtiment à la base du radier =  $W_{\text{bat}} + W_{\text{rad}} = 64174 \text{ t}$

**$\alpha$**  : Coefficient de sécurité vis-à-vis du soulèvement ( $\alpha = 1.5$ )

**$\gamma$**  : Poids volumique de l'eau ( $\gamma = 1 \text{ t/m}^3$ )

**h** : Profondeur de l'infrastructure ( $h = 4,30 \text{ m}$ )

**$S_r$**  : surface du radier ( $S_r = 473 \text{ m}^2$ ) a part le.

$$\alpha \gamma h S_r = 3050,85 \text{ t} < 6417 \text{ t}$$

### 7.7 Ferrailage du radier

Le ferrailage du radier se calcule sous les sollicitations maximales obtenues par l'application des combinaisons les plus défavorables.

La charge maximale due à la réaction du sol est  $q = 0,248 \text{ MPa}$ .

On assimile le radier à un plancher renversé constitué de panneaux qui seront calculés à l'aide du logiciel SOCOTEC Dalle.

On adoptera le ferrailage du panneau le plus sollicité pour tout le radier

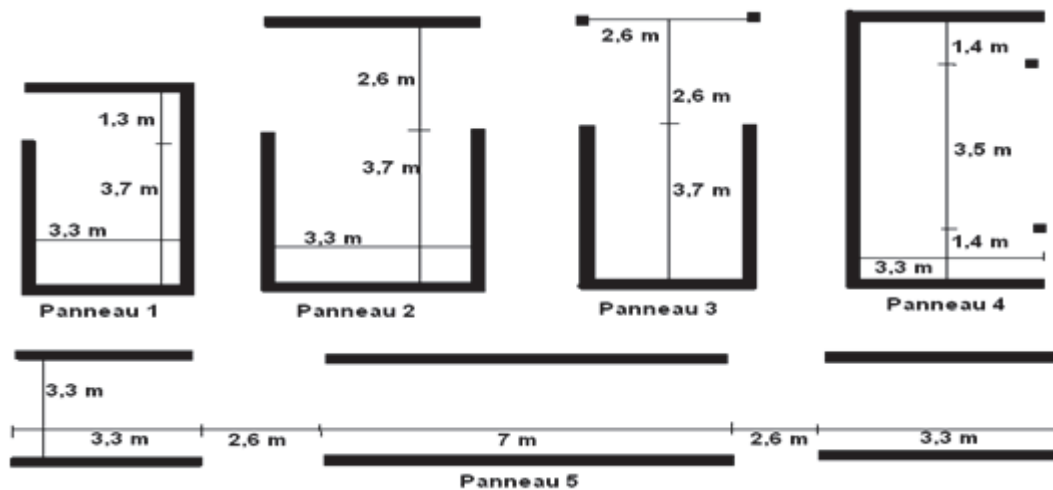


Figure VII.4. Différents types de panneaux du radier

Type	Sollicitation	Position	Valeur max	Diagrammes
Panneau 1	$M_x$ [kN.m/ml]	(3,3 ; 0)	161,79	
		(1,65 ; 0)	-88,09	
	$M_y$ [kN.m/ml]	(1,65 ; 5)	104,9	
		(1,65 ; 3,55)	-26,59	
	$V_x$ [kN/ml]	(0 ; 2,5)	416,3	
	$V_y$ [kN/ml]	(1,65 ; 5)	355,39	

Tableau VII.2. Panneau n°1 du radier : efforts et diagrammes.

Type	Sollicitation	Position	Valeur max	Diagrammes
Panneau 2	$M_x$ [kN.m/ml]	(1,65 ; 3,15)	227,26	
		(3,3 ; 3,15)	-115,6	
	$M_y$ [kN.m/ml]	(1,65 ; 6,3)	183,97	
		(1,65 ; 4,87)	-69,96	
	$V_x$ [kN/ml]	(0,45 ; 3,15)	525,44	
	$V_y$ [kN/ml]	(3,3 ; 3,83)	730,96	
		(3,3 ; 3,54)	269,34	

Tableau VII.3. Panneau n°2 du radier : efforts et diagrammes.

Type	Sollicitation	Position	Valeur max	Diagrammes
Panneau 3	M <sub>x</sub> [kN.m/ml]	(1,3 ; 6,3)	-166,55	
		(1,3 ; 3,15)	156,04	
		(0 ; 3,15)	-78,02	
	M <sub>y</sub> [kN.m/ml]	(0 ; 5,39)	-147,51	
		(0 ; 3,83)	122,06	
	V <sub>x</sub> [kN/ml]	(0 ; 6,3)	410,21	
	V <sub>y</sub> [kN/ml]	(0 ; 3,83)	907,56	
		(0 ; 3,54)	330,26	

Tableau VII.4. Panneau n°3 du radier : efforts et diagrammes.

Type	Sollicitation	Position	Valeur max	Diagrammes
Panneau 4	$M_x$ [kN.m/ml]	(1,925 ; 3,15)	292,2	
		(0 ; 3,15)	-108,67	
	$M_y$ [kN.m/ml]	(3,3 ; 3,15)	-177,15	
		(3,3 ; 1,05)	147,29	
	$V_x$ [kN/ml]	(0 ; 3,15)	580,33	
	$V_y$ [kN/ml]	(3,3 ; 4,55)	555,65	

Tableau VII.5. Panneau n°4 du radier, efforts et diagrammes.

Type	Sollicitation	Position	Valeur max	Diagrammes
Panneau 5	M <sub>x</sub> [kN.m/ml]	(4,925 ; 3,3)	-104,28	
		(3,625 ; 3,3)	86,81	
	M <sub>y</sub> [kN.m/ml]	(4,7 ; 1,65)	-118,38	
		(9,4 ; 1,65)	-108,38	
		(9,4 ; 0)	189,39	
	V <sub>x</sub> [kN/ml]	(3,44 ; 3,3)	966,35	
	V <sub>y</sub> [kN/ml]	(9,4 ; 0)	433,17	

Tableau VII.6. Panneau n°5 du radier : efforts et diagrammes.

## 7.7.1 Calcul des armatures

On considère une section rectangulaire de (100 x 40) avec un enrobage de 5cm.

Panneau	Sens	Position	Moment [kN.m]		Armatures inf. [cm <sup>2</sup> ]	Armatures sup. [cm <sup>2</sup> ]
1	Y	travée	26,59		0	2,2
	X	travée	88,09		0	7,44
	X	appuis	161,79		14	0
2	Y	travée	69,96		0	5,87
	X	travée	115,6		0	9,85
	X	appuis	227,26		20,13	0
3	Y	travée, appuis	122	147	10,41	12,65
	X	travée	166,55		0	14,43
	X	appuis	156,04		13,47	0
4	Y	travée	177		0	15,4
	X	travée	108		0	9,18
	X	appuis	292,2		26,54	0
5	Y	travée	118,38		0	10,06
	X	travée	104		0	8,82
	X	appuis	189,77		16,41	0

**Tableau VII.7.** Récapitulatif des moments max et résultats du ferrailage des panneaux du radier.

## 7.7.2 Vérification du cisaillement

Panneau	Sens	Position	Effort tranchant max [kN.m]	$\tau_b$ [MPa]	$\tau'_b$ [MPa]
1	Y	Appui	355	0,887	2,5
	X	Appui	416	1,040	2,5
2	Y	Appui	731	1,827	2,5
	X	Appui	525	1,312	2,5
3	Y	Appui	907	2,267	2,5
	X	Appui	410	1,025	2,5
4	Y	Appui	555	1,387	2,5
	X	Appui	580	1,450	2,5
5	Y	Appui	966	2,415	2,5
	X	Appui	433	1,082	2,5

**Tableau VII.8.** Vérification du cisaillement.

### 7.7.3 Schéma de ferrailage

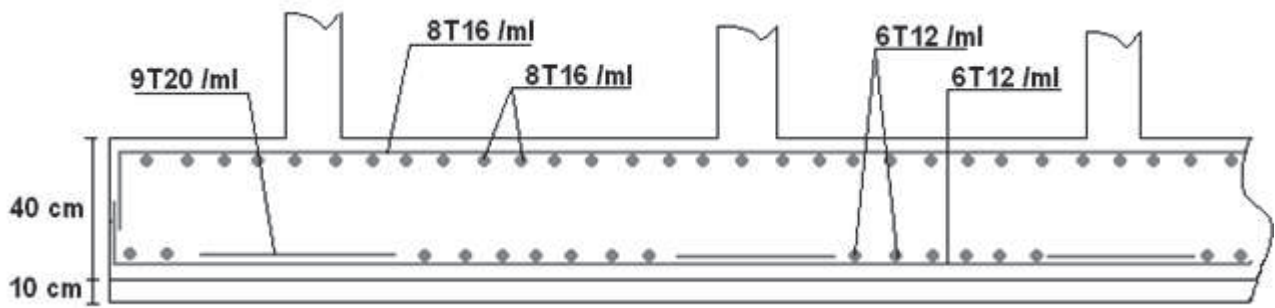


Figure VII.5. Schéma de ferrailage du radier.

## 7.8 Etude du voile périphérique

### 7.8.1 Dimensionnement

D'après le RPA99/version 2003 le voile périphérique doit avoir les caractéristiques minimales suivantes:

- Epaisseur  $\geq 15$  cm.
- Armatures constituées de deux nappes.
- Pourcentage minimum des armatures de 0.10 % dans les deux sens (horizontal et vertical)

On adopte une épaisseur  $e = 25$  cm.

La hauteur de voile périphérique est de 4,29 m.

### 7.8.2 Détermination des sollicitations

On prend comme hypothèse pour le calcul des voiles un encastrement parfait au niveau du massif de fondation (radier) et libre à l'autre côté.

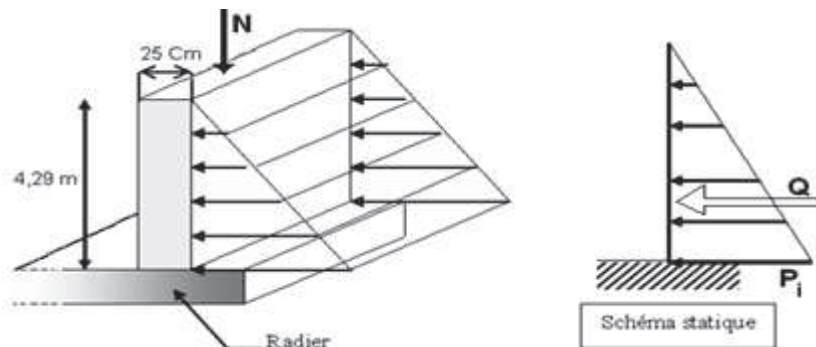


Figure VII.6. Schéma statique et détails du voile périphérique.



Le voile sera calculé à la flexion composée sous l'effet de la poussée du sol et de l'effort normal cumulé par descente de charge sur la partie la plus sollicitée du voile périphérique. Le calcul se fera pour une bande de 1m et par assimilation à la flexion simple.

$$Q = \frac{p_i * h}{2}$$

$$p_i = \gamma_d * h * K_0 - 2c' \sqrt{K_0} \quad c' = 23,6 \text{ kPa.}$$

$\gamma_d$  : poids volumique sec du sol  $\gamma_d = 1,56 \text{ t/m}^3$

$h$  : hauteur du voile périphérique en contact avec le sol  $h = 4,29 \text{ m}$

$$K_0 : tg^2 \left[ \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right] \text{ avec } \varphi = 14,21^\circ$$

D'où :

$p_i = 3,79 \text{ kN.} \rightarrow Q = 8,13 \text{ kN}$ , elle sera appliquée à (1/3) de la base du voile.

$$\text{D'où } M = \frac{Q * h}{3} = 11,62 \text{ kN.m}$$

$N$  : effort normal cumulé par descente de charge.

**Remarque :** On peut décomposer le voile périphérique de 16,5 m en deux parties (point de vue de chargement).

- La première partie de 10m (elle-même divisée en deux parties de 5 m) elle reprend son poids propre et les charges des 11 niveaux.
- La seconde partie a une longueur de 6,5m, elle reprend son poids propre et les charges du RDC seulement.

### 7.8.3 Etude la première partie

#### A. Calcul à l'ELU

$$N_u = 1,35 G + 1,5 Q = (1,35 \cdot 283,8) + (1,5 \cdot 131,25) = 580 \text{ kN.}$$

$$M_u = 17,43 \text{ kN.m}$$

$e_0$ [m]	$e_a$ [m]	$M_{ua}$ [kN.m]	$\mu$	$\alpha$	$A_s$ [cm <sup>2</sup> ]
0,03	0,105	60,93	0,107	0,142	9,28

**Tableau VII.9.** Voile périphérique, partie 1 : résultats du calcul à l'ELU.

#### B. Vérification à l'ELS

La vérification se fera en considérant une fissuration très préjudiciable.

$$N_{ser} = G + Q = 283,8 + 131,25 = 415,05 \text{ kN.}$$

$$M_{ser} = 11,62 \text{ kN.m}$$

$\sigma_{bc}$ [MPa]	$\sigma_s$ [MPa]	$\overline{\sigma_{bc}}$ [MPa]	$\overline{\sigma_s}$ [MPa]	$A_s$ [cm <sup>2</sup> ]
4,57	128,01	15	165	11,67

**Tableau VII.10.** Voile périphérique, partie 1 : résultats du calcul à l'ELS.

### 7.8.4 Etude la seconde partie

#### A. Calcul à l'ELU

$$N_u = 1,35 G + 1,5 Q = (1,35 \cdot 37,52) + (1,5 \cdot 14,22) = 72 \text{ kN.}$$

$$M_u = 17,43 \text{ kN.m}$$

$e_0$ [m]	$e_a$ [m]	$M_{ua}$ [kN.m]	$\mu$	$\alpha$	$A_s$ [cm <sup>2</sup> ]
0,242	0,317	22,83	0,0403	0,0514	3,35

**Tableau VII.11.** Voile périphérique, partie 2 : résultats du calcul à l'ELU.

### B. Vérification à l'ELS

La vérification se fera en considérant une fissuration très préjudiciable.

$$N_{\text{ser}} = G + Q = 37,52 + 14,22 = 51,74 \text{ kN.}$$

$$M_{\text{ser}} = 11,62 \text{ kN.m}$$

$\sigma_{bc}$ [MPa]	$\sigma_s$ [MPa]	$\bar{\sigma}_{bc}$ [MPa]	$\bar{\sigma}_s$ [MPa]	$A_s$ [cm <sup>2</sup> ]
1,66	109	15	165	4,08

Tableau VII.12. Voile périphérique, partie 2 : résultats du calcul à l'ELS.

#### 7.8.5 Schéma de ferrailage

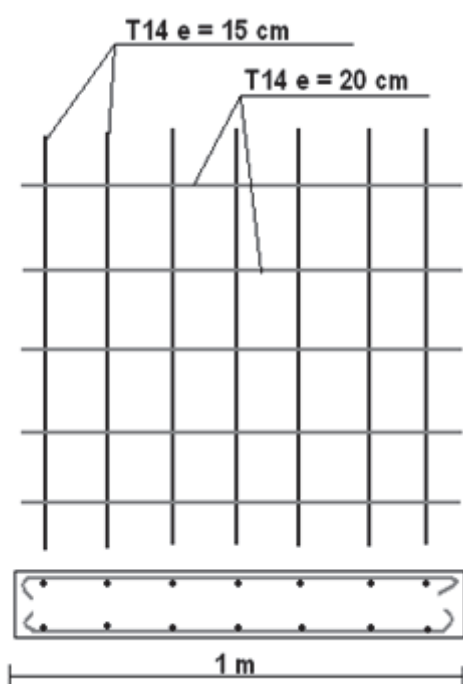


Figure VII.7. Schéma de ferrailage de la première partie du voile périphérique

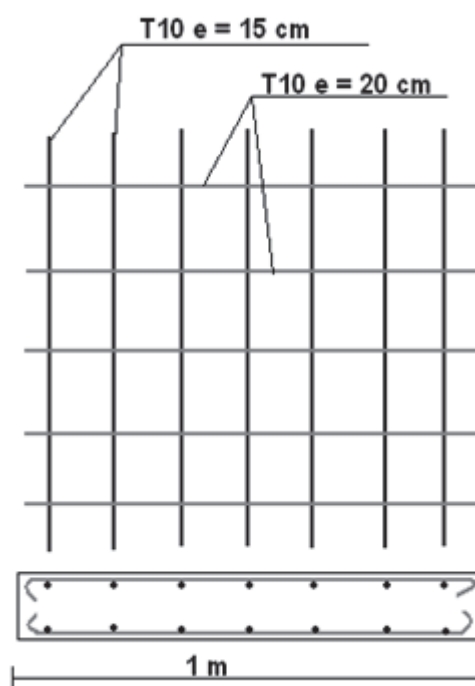
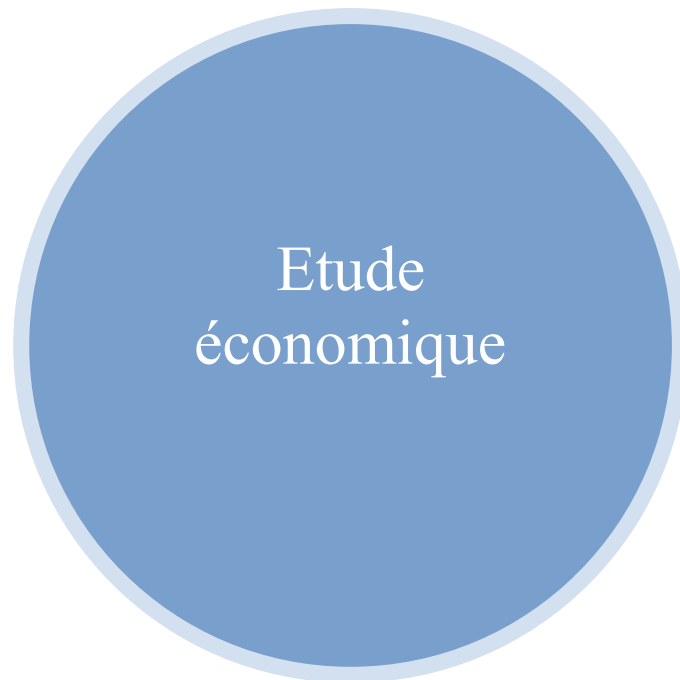


Figure VII.8. Schéma de ferrailage de la seconde partie du voile périphérique



## 8.1. Introduction

Aujourd'hui, les opérations de construction, de réhabilitation ou de rénovation d'un bâtiment deviennent de plus en plus complexes du fait de l'évolution permanente des techniques et des réglementations. La maîtrise financière des études, de la réalisation et de l'exploitation de l'ouvrage est donc indispensable à l'acte de bâtir.

L'estimation du coût de la construction est faite sur la base d'un métré sur plan pour évaluer les quantités nécessaires à la réalisation de la construction.

## 8.2. Estimation du coût de la construction

### 8.2.1. Infrastructure

Désignation	Unité	Quantité	Coût unitaire	Montant [DA]
Terrassement	m <sup>3</sup>	2129	300.00	640 000
Béton de propreté	m <sup>3</sup>	48	6000.00	300 000
Béton armé en fondations	m <sup>3</sup>	246	24 000.00	6 000 000
Béton armé pour voiles	m <sup>3</sup>	211	24 000.00	5 100 000
				<b>12 040 000</b>

**Tableau VIII.1.** Estimation du coût de l'infrastructure.

### 8.2.2. Superstructure

Désignation	Unité	Quantité	Coût unitaire	Montant [DA]
Béton armé pour dalles pleines	m <sup>3</sup>	594	26 000.00	15 500 000
Béton armé pour escaliers	m <sup>3</sup>	26	26 000.00	680 000
Béton armé pour acrotère	m <sup>3</sup>	13	23 000.00	300 000
Béton armé pour voiles	m <sup>3</sup>	860	26 000.00	22 400 000
				<b>38 880 000</b>

**Tableau VIII.2.** Estimation du coût de la superstructure.

### 8.2.3. Maçonnerie \ Enduits

Désignation	Unité	Quantité	Coût unitaire	Montant [DA]
Briques (10 cm)	m <sup>2</sup>	4908	800.00	3 930 000
Enduits en matière de ciments	m <sup>2</sup>	9820	360.00	3 540 000
				<b>7 470 000</b>

**Tableau VIII.3.** Estimation du coût en maçonnerie et enduits.

## 8.2.4. Revêtements de sol et de murs

Désignation	Unité	Quantité	Coût unitaire	Montant [DA]
Revêtement de sol en carreaux granito 25*25	m <sup>2</sup>	330	1200.00	361 000
Revêtement en dalle de sol 33*33 ou 40*40	m <sup>2</sup>	3080	2500.00	7 000 000
Revêtement de sol en carreaux 33*33	m <sup>2</sup>	550	3000.00	1 650 000
Revêtement de plinthes en dalle de sol	m <sup>2</sup>	220	200.00	44 000
Revêtement en plinthes vernissées	m <sup>2</sup>	3850	300.00	1 155 000
Revêtement en carreaux de faïence	m <sup>2</sup>	1540	1600.00	2 465 000
Revêtement marches et contre marches	m <sup>2</sup>	135	7500.00	1 012 000
Peinture acrylique pour cage d'escalier	m <sup>2</sup>	220	600.00	132 000
				<b>13 820 000</b>

Tableau VIII.4. Estimation du coût en revêtement de sol et de murs.

## 8.2.5. Etanchéité

Désignation	Unité	Quantité	Coût unitaire	Montant [DA]
Fourniture et pose d'un film polyane	m <sup>2</sup>	583	180.00	105 000
Protection thermique en plaque de liège	m <sup>2</sup>	583	950.00	554 000
Etanchéité multicouches sur terrasse	m <sup>2</sup>	583	1200.00	700 000
Forme de pente en béton léger	m <sup>2</sup>	220	650.00	144 000
Etanchéité en paxalumin pour acrotère	ml	103	850.00	88 000
Etanchéité dans locaux sanitaires	m <sup>2</sup>	715	450.00	322 000
Gravillons d'oued roulés	m <sup>2</sup>	583	220.00	129 000
Gargouilles en plomb et crapaudines	u	5	2 600.00	13 000
				<b>2 055 000</b>

Tableau VIII.5. Estimation du coût de l'étanchéité.

## 8.2.6 Menuiserie en Bois / Métallique

Désignation	Unité	Quantité	Coût unitaire	Montant [DA]
Porte pleine en bois rouge type [PE]	u	40	17 000,00	680 000
Porte iso plane en bois rouge type [p1]	u	80	12 000,00	960 000
Porte iso plane intérieure avec oculus [p1]	u	40	10 500,00	420 000
Porte iso plane extérieure avec larmier type [p1]	u	40	11 000,00	440 000
Porte iso plane extérieure à un ventail type [p2]	u	40	9 500,00	380 000
Porte intérieure avec oculus vertical type [p3]	u	40	17 000,00	680 000
Porte fenêtre avec persienne type [Pf 1]	u	40	19 300,00	772 000
Fenêtre en bois vitrée avec persienne type [F1]	u	120	11 760,00	1 411 000
Fenêtre en bois vitrée sans persiennes type [f5]	u	40	5 200,00	208 000
Porte de placard coulissante type [p11]	u	40	23 000,00	920 000
Porte iso plane pour gaine technique type [GT2]	u	30	6 900,00	207 000
Châssis en bois vitré ouvrant type [CH1]	u	40	1 900,00	76 000
Châssis en bois vitré ouvrant type [CH2]	u	40	1 320,00	53 000
Panneau en bois pour boîte aux lettres	m <sup>2</sup>	2.50	3 500,00	9 000
Porte métallique pour l'entrée principale	u	2	19 300,00	39 000
Trappe d'accès métallique pour terrasse	u	2	5 000,00	10 000
Garde-corps pour cage d'escalier en fer forgé	m <sup>2</sup>	50	3 600,00	180 000
Garde-corps pour balcons en fer forgé	m <sup>2</sup>	105	9 000,00	945 000
Porte métallique au niveau RDC	u	14	15 000,00	210 000
				<b>8 600 000</b>

Tableau VIII.6. Estimation du coût de la menuiserie

## 8.2.7 Plomberie / sanitaire

Désignation	Unité	Quantité	Coût unitaire	Montant [DA]
Fourniture et pose de tuyau PVCΦ100	ml	255	850,00	217 000
Fourniture et pose de tuyau Φ110	ml	281	950,00	267 000
Fourniture de tuyau Φ150	ml	1320	1 200,00	1 584 000
Fourniture et pose d'une citerne d'eau	u	1	32 000,00	32 000
				<b>2 100 000</b>

Tableau VIII.7. Estimation du coût de la plomberie

## 8.2.8 Electricité

Désignation	Unité	Quantité	Coût unitaire	Montant [DA]
Fourniture, pose de point lumineux	u	447	120 ,00	54 000
Fourniture, pose de hublot rond étanche	u	24	800,00	20 000
Fourniture, pose d'interrupteur simple	u	315	220,00	70 000
Fourniture, pose d'interrupteur double	u	44	220,00	10 000
Fourniture, pose d'interrupteur Va et Vient	u	88	220,00	20 000
Fourniture, pose de prise 2p 16A 220V	u	361	220,00	80 000
Fourniture, pose de prise 2P+T10/16A 220V	u	132	220,00	30 000
Fourniture, pose de bouton poussoir 6/10	u	19	280,00	5 000
Fourniture, pose de sonnerie d'appartement	u	44	1 200,00	53 000
Fourniture pose de minuterie	u	1	5 000,00	5 000
Fourniture, pose de boîte de dérivation	u	304	200,00	61 000
Fourniture, pose panneau compteur en bois	u	48	600,00	29 000
Fourniture, pose de tableau de distribution	u	44	4 500,00	198 000
Pose et raccordement du coffret	ml	1	45 000,00	45 000
Grille de distribution du conducteur de terre	u	1	1 200,00	1 200
Fourniture, pose de piquet de terre	u	4	1 800,00	7 200
Raccordement de câble H07 V-U	ml	2855	150,00	429 000
Raccordement de câble H07 V	ml	7250	50,00	362 000
				<b>1 500 000</b>

Tableau VIII.8. Estimation du coût de l'installation électrique.

## 8.2.9 Peinture / vitrerie

Désignation	Unité	Quantité	Coût unitaire	Montant [DA]
Badigeon sur enduit au ciment murs et cloisons ext.	m <sup>2</sup>	3300	50 ,00	165 000
Peinture base de vinyle sur mur extérieur	m <sup>2</sup>	3300	220,00	726 000
Peinture base de vinyle sur murs intérieurs	m <sup>2</sup>	11000	220,00	2 420 000
Peinture base de vinyle sur plafond intérieur	m <sup>2</sup>	4680	220,00	1 030 000
Peinture base de laque sur murs int. et plafonds	m <sup>2</sup>	2930	250,00	733 000
Peinture à l'huile brillante sur menuiserie en bois	m <sup>2</sup>	2445	250 ,00	612 000
Peinture glycérophtalique sur menuiserie métallique	m <sup>2</sup>	180	250,00	45 000
Verre simple clair de 4 mm d'épaisseur	m <sup>2</sup>	430	1 400,00	602 000
Verre martelé de 4 mm d'épaisseur	m <sup>2</sup>	120	1 800,00	216 000
				<b>6 548 000</b>

Tableau VIII.9. Estimation du coût en peinture et vitrerie.



**8.2.10 Ascenseur**

Désignation	Unité	Quantité	Coût unitaire	Montant [DA]
Ascenseur	u	1	6 600 000	<b>6 600 000</b>

**Tableau VIII.10.** Estimation du coût de l'ascenseur.**8.2.11 Tableau récapitulatif**

Désignation des lots	Montant [DA]
Total infrastructure	12 040 000
Total superstructure	38 880 000
Total Maçonnerie / Enduits	7 470 000
Totale Etanchéité	2 055 000
Total Menuiserie Bois /Métallique	8 600 000
Total plomberie-sanitaire	2 100 000
Total Electricité	1 500 000
Total peinture vitrerie	6 548 000
Total Ascenseur	6 600 000
Total Revêtement sol et murs	13 820 000
Montant Total en H.T	99 613 000
T.V.A [7%]	6 973 000
Etude de projet 2,5 %	2 490 000
Installation de chantier 1%	1 000 000
Montant Total en T.T.C	<b>110 076 000</b>

**Tableau VIII.11.** Estimation du coût total du bâtiment.**Remarque :**

- Les coûts de : la main d'œuvre, matériel utilisé, frais de transport, électricité sont compris dans le coût unitaire.
- Les quantités trouvées par le métré sur plan sont majorées par 10%.

### **8.3 Conclusion**

Cette étude nous a permis d'évaluer le prix de construction, ce dernier sera amorti par la location des certains niveaux qui seront destinés à être des locaux de commerce ou des services pour entreprises.

## **CONCLUSION GENERALE**

La conception d'une structure parasismique peut se faire par plusieurs manières et la meilleure conception est celle qui allie conformité aux codes de calcul et économie.

Le RPA nous a amenés à envisager des voiles de 25 cm pour le sous-sol et le RDC l'étude dynamique a permis de s'assurer que la structure est rigide, conséquence du nombre important des voiles dans cette dernière. Pour les fondations nous avons opté pour radier général non nervuré vu le poids de la structure.

Une étude estimative nous a permis d'évaluer le coût de construction de l'ouvrage. Ce coût sera amorti par la location des certains niveaux qui sont destinés à être des locaux commerciaux ou des services pour les entreprises.

Ce projet de fin d'études nous a incités à passer en revue de nombreuses méthodes de calcul, de nous familiariser avec l'utilisation de l'outil informatique et de maîtriser le logiciel « Robot Structural Analysis 2010 » qui est un logiciel très performant dans l'analyse et le calcul des structures.



*Annexe A*

## 1. Introduction

Le système Robot Structural Analysis 2010 est un logiciel CAO/DAO développé par Autodesk et destiné à modéliser, analyser et dimensionner les différents types de structures. Robot permet de créer les structures, de les calculer, de vérifier les résultats obtenus, et de dimensionner les éléments spécifiques de la structure. La dernière étape gérée par Robot est la création de la documentation pour la structure calculée et dimensionnée.

## 2. Caractéristiques principales du logiciel

- Définition de la structure réalisée en mode entièrement graphique dans l'éditeur conçu à cet effet (vous pouvez aussi ouvrir un fichier au format DXF et importer la géométrie d'une structure définie dans un autre logiciel CAO/DAO).
- Possibilité de présentation graphique de la structure étudiée et de représenter à l'écran les différents types de résultats de calcul (efforts, déplacements, travail simultané en plusieurs fenêtres ouvertes etc.),
- Possibilité de calculer (dimensionner) une structure et d'en étudier simultanément une autre.
- Possibilité d'effectuer l'analyse statique et dynamique de la structure.
- Possibilité de composer librement les impressions (notes de calcul, captures d'écran, composition de l'impression, copie des objets vers les autres logiciels).

## 3. Maillage

Dans le logiciel Robot, le maillage se fait par deux méthodes au choix.

### 3.1 Méthode de Coons

Les surfaces de Coons sont des surfaces 3D dont la base est constituée par des contours triangulaires ou quadrangulaires dont les côtés opposés se divisent en un nombre égal de segments.

### 3.2 Méthode de Delaunay

La méthode de triangulation de Delaunay peut être utilisée pour générer un maillage par éléments finis sur une surface plane quelconque. Si la surface contient des trous, vous devez les définir en tant que bords du contour, les trous ne seront pas alors pris en compte lors de la génération du maillage par éléments finis. Après avoir sélectionné la méthode de Delaunay, vous devez définir le contour à base duquel le maillage par éléments finis sera généré.

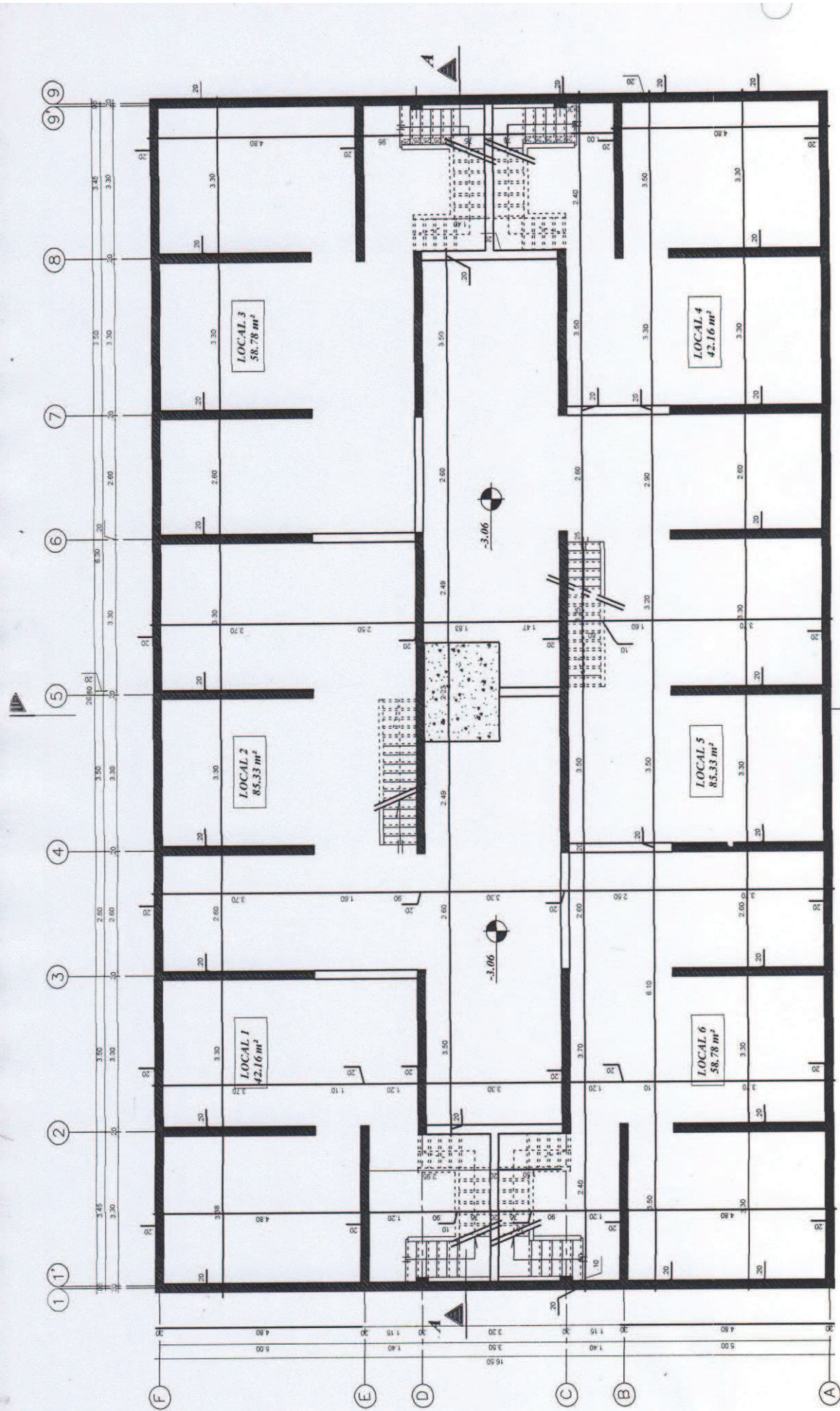
## 4. Analyse dynamique

L'analyse modale permet de calculer les valeurs propres et leurs valeurs connexes (pulsations propres, fréquences propres ou périodes propres), précision, vecteurs propres, coefficients de participation et masses participantes pour l'étude aux vibrations propres de la structure.

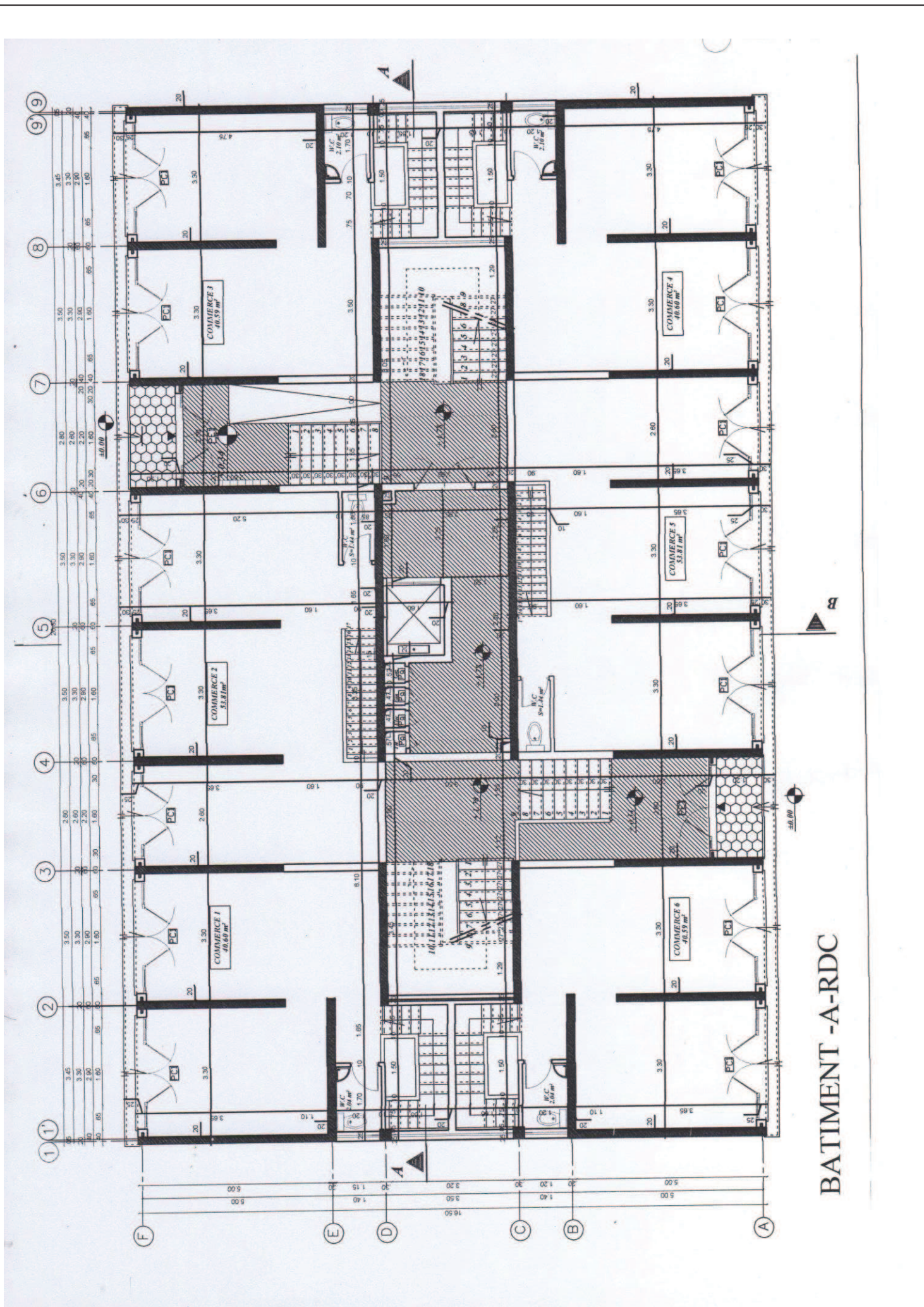
Dans le logiciel, trois modes d'analyse dynamique de la structure sont disponibles : modale, sismique et sismique pseudomodale.

Le nombre de modes propres calculés par le logiciel peut être défini :

- Par la limite supérieure de la pulsation, fréquence ou période,
- Par la limite inférieure du total des masses participantes (en pourcentage),
- Ou de façon directe, par le nombre de modes propres exigés.



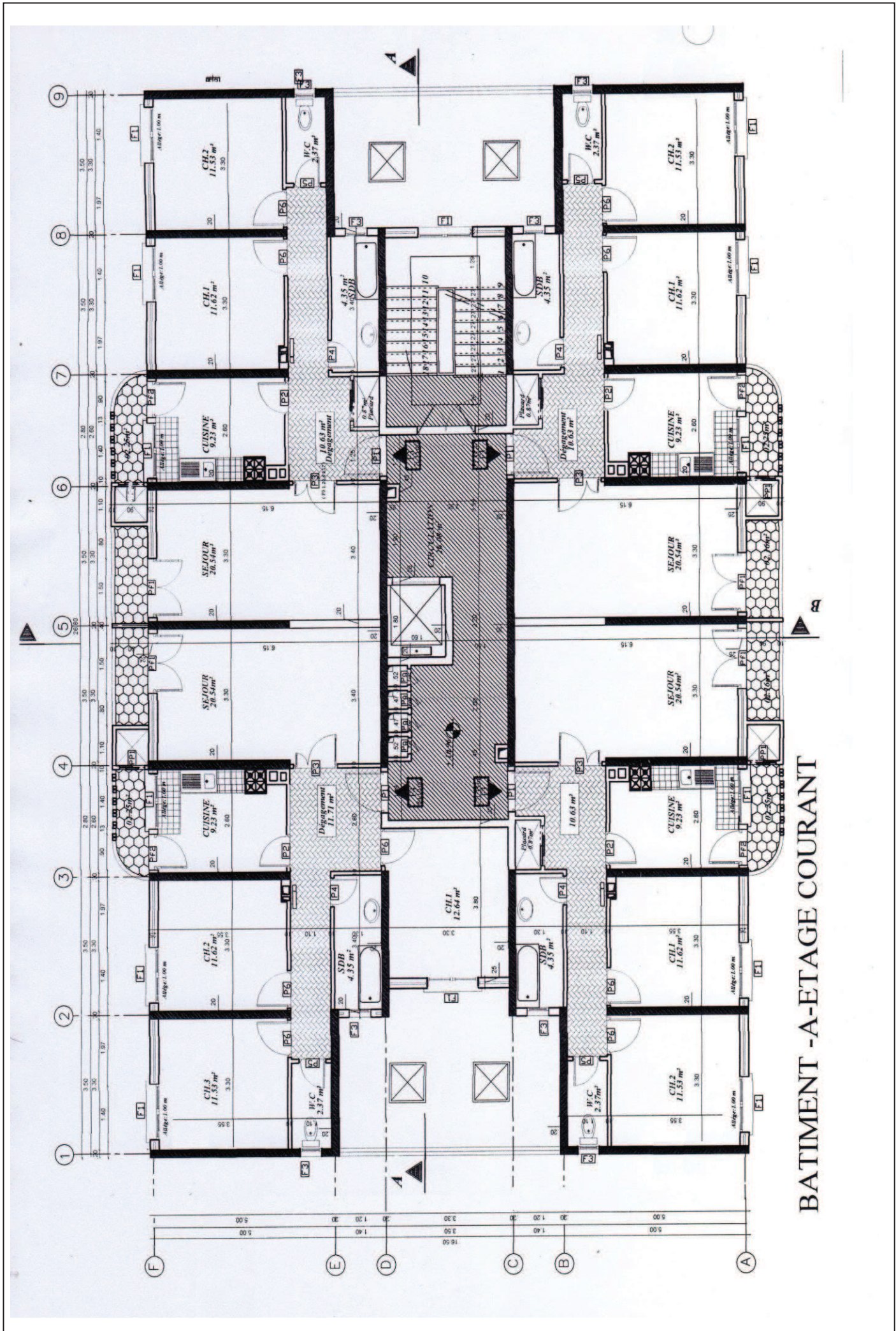
BATIMENT -A-S.SOL



BATIMENT -A-RDC

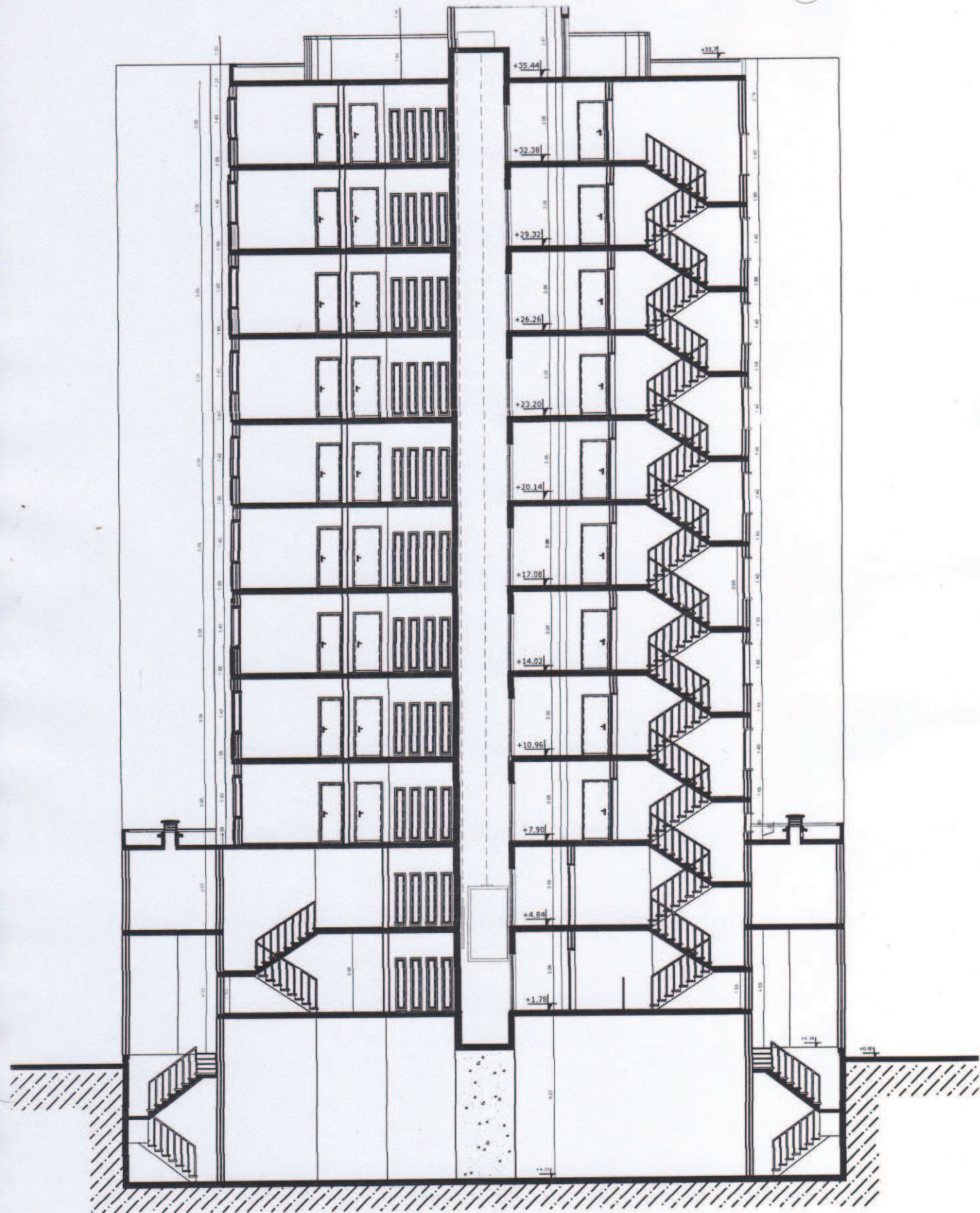




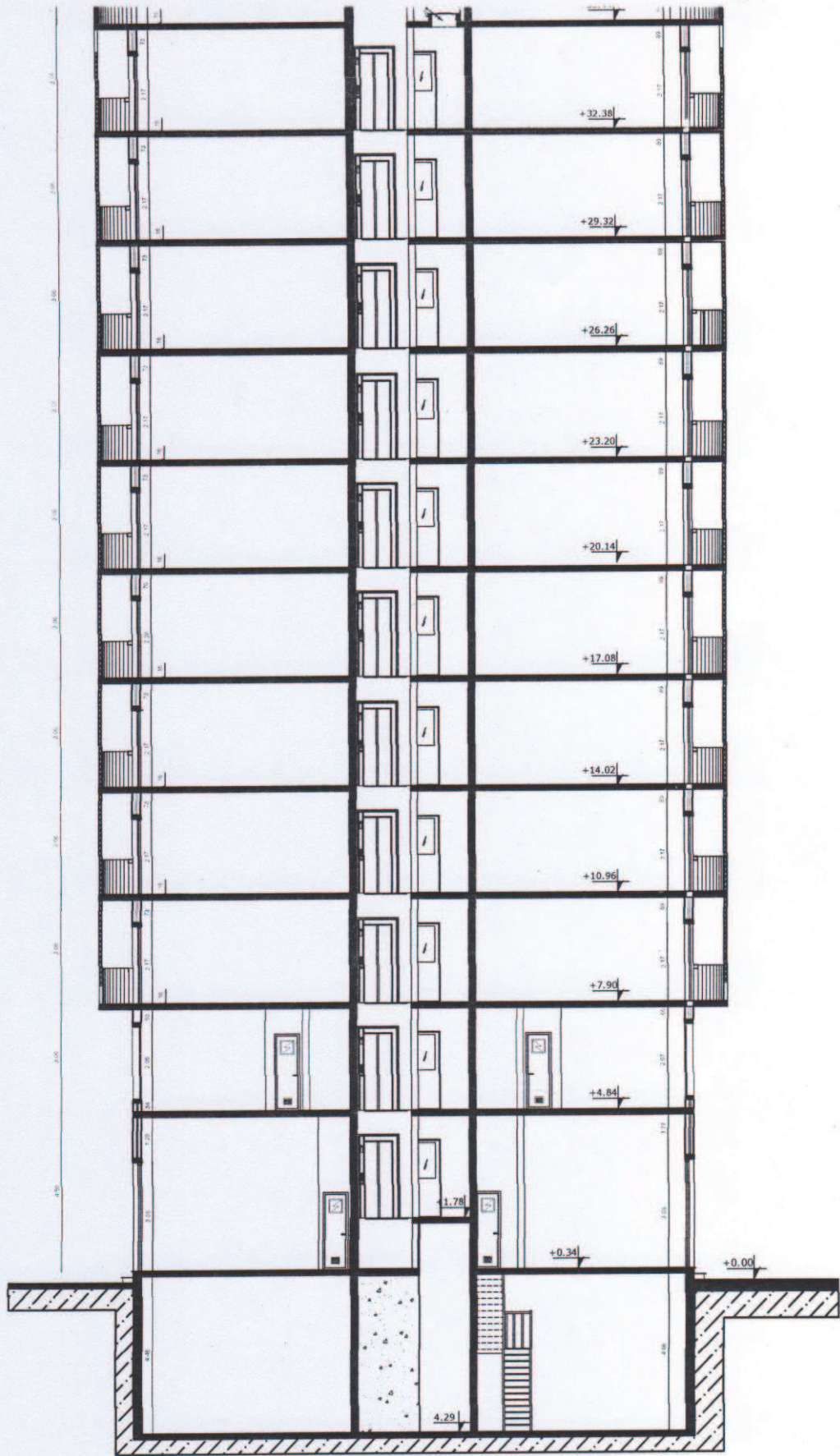


BATIMENT -A-ETAGE COURANT





FIMENT -A-COUCPE A-A



BATIMENT -A-COUPÉ B-B

## **Bibliographie**

- CBA 93 C.G.S
- B.A.E.L. 91.
- RPA 99/2003.
- Perchat. J et al : «Pratique du B.A.E.L. 91 ». Eyrolles 1998.
- Amrar Kader : « Méthodes de calcul des radiers ». Les séminaires du CTC Centre 21 Mars 2006.
- Cours d'ouvrages et structure 5<sup>ème</sup> année ENP Mme Baouche
- Cours de béton armé 4<sup>ème</sup> année ENP M. Boutemeur.
- Thèse « Calcul parasismique d'un bâtiment en R+14 » par Bayoud Rachid INSA Strasbourg Juin 2007

## **Logiciels**

- Robot Structural Analysis 2010
- Dalle, V1.00.026. Socotec.1998.
- Flexi, V1.00.026. Socotec.1998.
- Bael.R, V1.00.026. Socotec.1998.